



Pubblicazione ICRP Supporting Guidance 2

LE RADIAZIONI ED IL VOSTRO PAZIENTE: UNA GUIDA PER IL MEDICO GENERICO

Traduzione della *ICRP SG2*

“Radiation and your patient: A guide for medical practitioners”

Annals of the ICRP Volume 31 Issue 4, 2001

ISBN 978-88-88648-20-0 (versione on line)

ISBN 978-88-88648-18-7 (versione CD-ROM)

Traduzione della *ICRP Supporting Guidance 2*

“Radiation and your patient: A guide for medical practitioners”

Annals of the ICRP Volume 31 Issue 4, 2001

La presente traduzione è stata curata, nell'ambito delle attività del Comitato Internazionale AIRP, da: *Roberto Moccaldi (AIRM), Giorgio Trenta (AIRM), Giampiero Tosi (AIFM) e Celso Osimani (AIRP)*.

Roma, 29 gennaio 2010, ISBN 978-88-88648-20-0

La realizzazione di questa pubblicazione è stata autorizzata dalla Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP)

La riproduzione della presente pubblicazione è consentita citando la fonte:

Traduzione della *ICRP Supporting Guidance 2* “Radiation and your patient: A guide for medical practitioners” a cura del Comitato Internazionale AIRP, Roma, 29 gennaio 2010, ISBN 978-88-88648-20-0

INTRODUZIONE

La pubblicazione ICRP Supporting Guidance 2 ha lo scopo di offrire al "Medico di Famiglia" ovvero al "Medico di Base" uno strumento pratico per svolgere compiutamente il proprio lavoro nel campo delle radiazioni ionizzanti.

Il Medico di Famiglia è infatti colui che sta più vicino a noi Cittadini, che conosce i nostri bisogni sanitari: egli è il riferimento immediato, che ci aiuta e ci orienta su come accedere alle cure specialistiche del Servizio Sanitario Nazionale. Nella maggior parte delle situazioni, è proprio da lui che si origina la richiesta di esami comportanti esposizione alle radiazioni ionizzanti. Purtroppo, benché previsto dalla legge già da qualche anno, nel suo bagaglio accademico, acquisito nel corso della laurea in medicina, non è presente la radioprotezione.

In virtù di questo suo importante ruolo nel richiedere indagini radiologiche, risulta estremamente opportuno che la sua decisione comprenda anche il processo della "giustificazione" in senso radioprotezionistico.

Il presente documento ha la finalità di integrare le conoscenze accademiche, fornendo al Medico di Famiglia gli elementi di base per poter svolgere con piena consapevolezza il suo ruolo di pertinenza nel processo di richiesta e valutazione dell'esame radiodiagnostico, che il D.Lgs 187/00 affida alle figure sanitarie.

Grazie allo spirito propositivo e pragmatico di due nostri colleghi Medici Autorizzati, il Dott. Giorgio Trenta e il Dott. Roberto Moccaldi, che ringraziamo per il loro sostanziale contributo, è oggi possibile la pubblicazione in italiano e la diffusione di questo documento che risulterà certamente di estrema utilità per tutti i Medici di Famiglia italiani.



Celso Osimani
Presidente del Comitato Internazionale AIRP

LE RADIAZIONI ED IL VOSTRO PAZIENTE: UNA GUIDA PER IL MEDICO GENERICO

*Guida n. 2 di supporto dell'ICRP
Approvata dal Comitato 3 dell'ICRP nel settembre 2001*

RIASSUNTO

Questo testo didattico è dedicato alla protezione del paziente contro l'esposizione indebita a radiazioni ionizzanti. È redatto in un formato di tipo domande-risposte.

Ci sono evidenti benefici per la salute dagli utilizzi medici delle radiazioni, ad esempio in radiodiagnostica, in radiologia interventistica, in medicina nucleare ed in radioterapia. Tuttavia, ci sono rischi ben conosciuti legati a dosi elevate di radiazione se somministrate in modo improprio (terapia, radiologia interventistica) ed eventuali effetti dannosi da piccole dosi di radiazioni (come quelle utilizzate in diagnostica). Il corretto utilizzo di dosi elevate impedisce danni importanti derivanti dalla terapia, ma le dosi basse determinano un rischio che non può essere interamente eliminato. L'utilizzo diagnostico delle radiazioni richiede dunque una metodologia tale da assicurare elevati benefici diagnostici limitando l'eventuale danno al più basso livello possibile.

Per la valutazione del rischio una misura quantitativa dell'esposizione è un presupposto necessario. Sono quindi illustrate e definite le grandezze dosimetriche (dose assorbita, dose efficace). Sono descritti i fenomeni basilari che interessano i meccanismi d'azione delle radiazioni ionizzanti sul substrato biologico. Gli effetti dannosi sull'uomo sono suddivisi in 1) conseguenze derivanti dall'uccisione cellulare massiccia (i cosiddetti effetti deterministici), che richiedono una dose elevata per la loro manifestazione (superiore alla dose soglia), e 2) effetti che derivano da alterazioni mutazionali del DNA cellulare, che può eventualmente condurre allo sviluppo di cancro radioindotto e di effetti ereditari, trasmessi alla discendenza di individui esposti ad irradiazione delle gonadi.

Sono presentati i dati sulla entità delle dosi soglia necessarie per determinare gli effetti di uccisione cellulare. Sulla base di prove sperimentali, cliniche ed epidemiologiche, è stata inoltre valutata la probabilità con la quale tumori e mutazioni ereditarie possono essere indotti da dosi di diversa entità, molto probabilmente senza una dose soglia (sotto la quale non sarebbe osservabile nessun effetto).

Il testo fornisce ampie informazioni sulle opportunità di ridurre al minimo le dosi, e dunque il rischio derivante dagli utilizzi diagnostici delle radiazioni. Quest'obiettivo può essere raggiunto evitando esami inutili (ingiustificati), e ottimizzando le procedure applicate sia dal punto di vista della qualità diagnostica che della riduzione delle dosi ai pazienti.

L'ottimizzazione della protezione del paziente in radioterapia deve contemplare dosi sufficientemente elevate ai tumori irradiati, che garantiscano elevati livelli terapeutici, risparmiando i tessuti sani nella massima misura possibile. Sono presentati i problemi specifici relativi alla protezione dell'embrione e del feto nel corso dell'utilizzo diagnostico e terapeutico delle radiazioni, e le raccomandazioni sulle rispettive soluzioni operative.

INDICE

RIASSUNTO	1
INDICE	2
1. Quale è lo scopo di questo documento?.....	3
2. L'utilizzo delle radiazioni ionizzanti in medicina è utile alla salute dell'uomo?.....	4
3. Ci sono rischi per l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti in medicina?	6
4. Come quantifichiamo la quantità di radiazione?.....	7
5. Che cosa conosciamo circa la natura (i meccanismi) degli effetti biologici indotti dalle radiazioni?.....	8
6. Come sono classificati gli effetti delle radiazioni?	9
6.1. Effetti deterministici	9
6.2. Effetti stocastici.....	11
7. Quale è l'entità del rischio per il cancro e per gli effetti ereditari?	14
8. Oltre alle radiazioni ionizzanti delle sorgenti mediche di diagnosi e terapia la gente è esposta ad altre sorgenti?	15
9. Quali sono le dosi tipiche dovute alle procedure diagnostiche mediche?.....	16
10. In diagnostica le dosi di radiazioni possono essere regolate senza influire sul vantaggio diagnostico?	17
11. Ci sono situazioni nelle quali le indagini radiodiagnostiche dovrebbero essere evitate?	18
12. Ci sono specifiche procedure diagnostiche che dovrebbero avere una particolare giustificazione?	19
13. I bambini e le donne in gravidanza richiedono particolare attenzione nelle procedure diagnostiche?.....	20
14. Che cosa può essere fatto per ridurre il rischio da radiazioni durante l'effettuazione di una procedura diagnostica?.....	21
15. Cosa si può fare per ridurre il rischio di radiazione durante la radioterapia?	23
16. Le donne in gravidanza possono essere trattate con la radioterapia?	24
17. Il trattamento di pazienti con le radiazioni può mettere in pericolo altre persone?	25
18. Fonti di informazioni suggerite.....	26

1. Quale è lo scopo di questo documento?

(1) Durante gli ultimi 100 anni, la radiodiagnostica, la medicina nucleare e la radioterapia si sono evolute passando dalle pratiche grezze originali a tecniche avanzate, che costituiscono uno strumento essenziale per tutte le branche e le specializzazioni mediche. Le caratteristiche proprie delle radiazioni ionizzanti procurano molti vantaggi, ma possono causare anche potenziali danni.

(2) Nella pratica medica, deve essere fatta una valutazione in merito al rapporto beneficio/rischio e ciò richiede non solo le conoscenze di medicina, ma anche dei rischi da radiazione. Questo documento ha lo scopo di fornire le informazioni di base sui meccanismi delle radiazioni, sulla dose dovuta alle diverse sorgenti di radiazioni di impiego medico, sull'entità e sul tipo di rischio, come pure sulle risposte alle domande che generalmente vengono avanzate (per esempio: radiazione e gravidanza). Per facilitare la lettura il formato del testo è organizzato in domande e risposte.

(3) I cardiologi interventisti, i radiologi, i chirurghi ortopedici e vascolari ed altri, che effettivamente impiegano strumentazione medica a raggi x o utilizzano sorgenti di radiazioni, dovrebbero possedere un complesso di informazioni sulla corretta gestione della tecnica e della dose maggiori di quanto non sia qui contenuto, anche se questo testo può fornire un utile punto di partenza.

(4) Le radiazioni ionizzanti più comunemente utilizzate in medicina sono i raggi x, i raggi gamma, i raggi beta e gli elettroni. La radiazione ionizzante è soltanto una parte dello spettro elettromagnetico. Ci sono numerose altre radiazioni (per esempio: luce visibile, raggi infrarossi, onde elettromagnetiche ad alta frequenza e a radiofrequenza) che non possiedono la capacità di ionizzare gli atomi della materia con la quale interagiscono. Il presente testo si occupa soltanto dell'utilizzo di radiazioni ionizzanti in medicina.

2. L'utilizzo delle radiazioni ionizzanti in medicina è utile alla salute dell'uomo?

(5) Sì. Il beneficio per i pazienti dagli impieghi medici delle radiazioni è stato stabilito con certezza.

(6) *La radiodiagnostica moderna* assicura diagnosi più veloci e più accurate e permette di controllare una grande percentuale di malattie.

Si è stimato che in circa la metà dei casi, le procedure radiologiche (la radiografia tradizionale su pellicola, la fluoroscopia, la tomografia computerizzata) hanno un'influenza sostanziale sulla velocità diagnostica e sono di importanza decisiva in un grande numero di casi. Inoltre, sono state sviluppate diverse procedure diagnostiche (come la mammografia) che risultano utili per specifiche popolazioni che sono a rischio relativamente elevato per alcune malattie. Inoltre una serie di applicazioni radiologiche interventistiche (per esempio: l'angioplastica), introdotte durante gli ultimi 10-20 anni, contribuiscono significativamente all'efficacia del trattamento di malattie molto gravi e pericolose per la vita che colpiscono il sistema nervoso centrale, quello cardiovascolare e altri sistemi dell'organismo. Queste applicazioni sono anche convenienti in termini economici.

(7) *La medicina nucleare* utilizza sostanze radioattive, chiamate radiofarmaci, nella diagnosi e nel trattamento di una serie di malattie. Queste sostanze sono state prodotte con l'intento particolare di essere assorbite nell'organismo in modo selettivo da parte di un organo, o di un tipo di cellula. A seguito della introduzione di radiofarmaci nel corpo per scopi diagnostici, il loro metabolismo viene studiato con misure esterne, che riproducono immagini della loro distribuzione (sia in termini spaziali che temporali), oppure a mezzo di misure di attività nel sangue, nelle urine ed in altri fluidi corporei. In ogni caso le informazioni ottenute sono di carattere funzionale. Queste informazioni non si ottengono, o sono ottenibili con minor precisione, con altre modalità. La medicina nucleare offre dunque informazioni diagnostiche esclusive in oncologia (diagnosi e stadiazione), cardiologia, endocrinologia, neurologia, nefrologia, urologia ed in altre specialità mediche. La maggior parte dei metodi attualmente in uso sono quelli di scelta nel processo diagnostico, perché mostrano alta sensibilità, specificità e buona riproducibilità. Anche la loro convenienza economica è alta. Inoltre si dovrebbe sottolineare il fatto che queste procedure non sono invasive e non presentano alcun rischio di complicazioni dirette per il paziente.

(8) Si deve ricordare che mentre i generatori elettrici di radiazioni ionizzanti (macchine a raggi x, acceleratori di elettroni) cessano di emettere la radiazione quando vengono spenti, le sorgenti radioattive emettono radiazioni che non possono essere modificate nel corso del decadimento radioattivo. Questo significa che devono essere prese alcune precauzioni, data la grande quantità (in radioterapia) di radionuclidi, quando questi pazienti sono ricoverati, ed in seguito quando vanno a casa - per proteggere contro l'esposizione il personale, i parenti, gli amici e i membri del pubblico.

(9) *La radioterapia* utilizza per il *trattamento* le radiazioni ionizzanti. Supponendo una speranza di vita lunga, l'incidenza di cancro è circa del 40%. Il cancro inoltre porta ad una mortalità cumulativa di circa il 20-30 per cento. La pratica medica in uso utilizza la radioterapia in circa la metà dei casi di cancro di nuova diagnosi. Le tecniche terapeutiche possono essere molto complesse, e richiedono una elevata attenzione sulla accuratezza dell'irradiazione. Per essere efficaci devono essere attuate su base interdisciplinare, cosa che richiede la cooperazione efficace ed armoniosa tra radioterapisti oncologi, fisici medici e tecnici molto qualificati.

(10) Tuttavia, si dovrebbe ricordare che la radioterapia del cancro è spesso accompagnata dagli effetti collaterali negativi dovuti al trattamento. Alcuni effetti negativi sono inevitabili e spesso si risolvono spontaneamente o con un trattamento appropriato. Si possono però verificare effetti negativi gravi che possono dipendere dalla vicinanza dei tessuti normali sensibili al campo di trattamento o, raramente, a seguito della sensibilità del singolo paziente alle radiazioni; essi non sminuiscono comunque la finalità della radioterapia. L'utilizzo adeguato della radioterapia salva

milioni di vite ogni anno in tutto il mondo. Anche se il trattamento è soltanto palliativo la terapia riduce comunque la sofferenza. Ci sono inoltre alcune malattie benigne il cui trattamento con la radiazione costituisce un metodo di scelta.

(11) La radioterapia che utilizza radiofarmaci è generalmente non invasiva ma limitata ad alcune situazioni ben individuate nelle quali è importante l'uccisione delle cellule iperfunzionanti o maligne (per esempio ipertiroidismo, cancro della tiroide, malattie degenerative o infiammatorie delle articolazioni, trattamento palliativo di metastasi dello scheletro). Inoltre, ci sono molti studi che mostrano la promettente capacità degli anticorpi radiomarcati e di peptidi ad elevata affinità recettoriale di essere utilizzati nel trattamento di diverse malattie maligne. Tuttavia, questo metodo di trattamento è ancora nelle fasi iniziali.

(12) Le radiazioni ionizzanti sono, dunque, uno degli strumenti di base della medicina contemporanea, sia nella diagnosi che nella terapia. Sembra al momento impensabile l'esercizio della attuale medicina avanzata senza l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti.

3. Ci sono rischi per l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti in medicina?

(13) Ci sono ovviamente alcuni rischi. L'entità del rischio da radiazioni è correlata alla dose, nel senso che ad una più alta quantità di radiazioni sono associati rischi più elevati. Gli indiscussi benefici sanitari della diagnostica a raggi x e della diagnostica medico-nucleare possono essere accompagnate da un rischio generalmente piccolo (probabilmente) di effetti dannosi. Questo fatto deve essere tenuto in conto quando si utilizzano in diagnostica le fonti di radiazioni ionizzanti. Il rischio di effetti negativi da radiazioni è sensibilmente più elevato nella radioterapia, dal momento che sono richieste quantità di radiazioni elevate.

(14) Lo scopo della gestione dell'esposizione alle radiazioni è quello di ridurre al minimo il rischio presunto, senza sacrificare o ridurre in maniera indebita gli evidenti vantaggi nella prevenzione, nella diagnosi ed anche nella cura efficace di malattie (ottimizzazione). Si dovrebbe precisare che quando viene utilizzata una quantità di radiazione troppo bassa per la diagnosi o per la terapia c'è un aumento di rischio, ma questi rischi non sono dovuti agli effetti negativi della radiazione di per sé. Una quantità troppo bassa di radiazioni in diagnostica darà come risultato un'immagine che non ha informazioni sufficienti, neanche per fare una diagnosi, mentre in radioterapia, la somministrazione di una quantità di radiazioni insufficiente darà come risultato un aumento di mortalità, perché il cancro in trattamento non sarà curato.

(15) L'esperienza ha fornito ampia prova che la scelta ragionevole delle condizioni entro cui in medicina sono utilizzate le radiazioni ionizzanti può condurre a benefici per la salute che superano abbondantemente gli eventuali effetti deleteri stimati.

4. Come quantifichiamo la quantità di radiazione?

(16) La frequenza o la gravità degli effetti biologici dipende dall'energia totale di radiazione assorbita (in joule) per unità di massa (in kg) di organi o tessuti sensibili. Questa quantità è chiamata *dose assorbita* ed è espressa in gray (Gy) o milligray (mGy). 1 Gy è uguale a 1 J per kg.

(17) Alcuni raggi x o gamma attraversano il corpo senza subire alcuna interazione: essi pertanto non produrranno alcun effetto biologico. Di contro, la radiazione che è assorbita, può produrre degli effetti. Le dosi di radiazione assorbite possono essere misurate e/o calcolate e costituiscono la base per la valutazione della probabilità degli effetti indotti dalle radiazioni.

(18) Nella valutazione degli effetti biologici delle radiazioni a seguito di esposizione parziale del corpo, devono essere presi in considerazione ulteriori fattori, come la diversa sensibilità dei differenti tessuti e le dosi assorbite nei diversi organi. Per confrontare i rischi per irradiazione di parte del corpo e del corpo intero per le dosi utilizzate in radiodiagnostica e medicina nucleare, viene utilizzata una grandezza chiamata dose efficace; essa viene espressa in sievert (Sv) o millisievert (mSv). Un Sv è uguale a 1 J per kg. La dose efficace non è utilizzabile in radioterapia, dove sono in gioco dosi assorbite molto grandi sui singoli tessuti o sui singoli organi. Ciò è dovuto al fatto che in diagnostica non si può assumere la stessa correlazione proporzionale tra rischio e dose.

5. Che cosa conosciamo circa la natura (i meccanismi) degli effetti biologici indotti dalle radiazioni?

(19) Le cellule possono essere uccise dalle radiazioni. Durante la divisione cellulare le aberrazioni cromosomiche determinate dalle radiazioni possono risolversi nella perdita di parte del DNA cromosomico e ciò determina la morte delle cellule. La probabilità di aberrazioni cromosomiche è proporzionale alla dose e quelle cellule che non hanno subito danni gravi al DNA conservano la loro capacità di divisione.

(20) Le cellule superstiti possono veicolare le modificazioni del DNA ad un livello molecolare (mutazioni). Il danno elementare primario al DNA deriva dal danno chimico prodotto dai radicali liberi, che provengono dalla radiolisi dell'acqua. Il danno al DNA può derivare anche dall'interazione diretta delle particelle ionizzanti con la doppia elica del DNA (raramente).

(21) Le modificazioni importanti nel DNA, anche se si verificano altre forme di danno, si presentano sotto forma di rotture nella continuità delle catene di DNA. Queste rotture possono riguardare un solo filamento dell'elica (rotture di un singolo filamento, SSB) o di entrambi i filamenti nella stessa posizione (rotture doppie del filamento, DSB). Le SSB si presentano molto spesso nel DNA in assenza di irradiazione, e sono facilmente ed efficacemente riparate da specifici sistemi enzimatici. Al contrario, molte DSB indotte sono più complesse e meno facilmente riparabili. Di conseguenza, una proporzione significativa del danno non viene riparata correttamente (malriparazione o riparazione errata). Queste rotture non correttamente riparate possono condurre ad aberrazioni cromosomiche ed a mutazioni geniche.

(22) Alcuni geni in tal modo mutati costituiscono la prima fase (iniziazione) del processo molto lungo e complesso di carcinogenesi, che richiede inoltre, nelle cellule trasformate, diverse mutazioni successive (più probabilmente non indotte da radiazioni). Simili meccanismi di mutazione, quando interessano le cellule germinali, possono dar luogo a mutazioni ereditarie che vengono espresse nella discendenza delle persone irradiate. Naturalmente, il punto essenziale nella valutazione di queste eventuali conseguenze dell'irradiazione è la frequenza (o probabilità di verificarsi) in funzione della dose di effetti indesiderati nelle persone irradiate, o nella loro discendenza.

6. Come sono classificati gli effetti delle radiazioni?

(23) Ci sono due categorie principali di effetti biologici che possono essere osservati nelle persone irradiate. Questi sono: 1) dovuti in gran parte all'uccisione delle cellule (*effetti deterministici*) e 2) mutazioni che possono dar luogo al cancro e agli effetti ereditari (*stocastici o probabilistici*).

(24) Gli effetti imputabili all'uccisione delle cellule (come la necrosi della pelle) hanno una soglia pratica di dose sotto la quale l'effetto non è evidente, ed in generale quando l'effetto è presente la sua gravità aumenta con la dose di radiazioni. La dose soglia non è un numero universale ma varia di poco da individuo a individuo. Gli effetti dovuti alle mutazioni (come il cancro) hanno una probabilità di verificarsi che aumenta con la dose, si ritiene attualmente che non ci sia una soglia sotto la quale l'effetto non si presenterà e inoltre che la gravità degli effetti sia indipendente dalla dose. Così un cancro provocato da una piccola dose di radiazioni può essere maligno come uno causato da una dose elevata.

6.1. Effetti deterministici

(25) Questi effetti sono osservati dopo l'assorbimento di elevate dosi di radiazioni e sono soprattutto una conseguenza della morte cellulare indotta dalle radiazioni. Si verificano soltanto se è stata uccisa dalle radiazioni nel tessuto irradiato una grande percentuale di cellule, e la perdita non può essere compensata dall'aumento della proliferazione cellulare. La conseguente perdita di tessuto è ulteriormente complicata dai processi infiammatori e, se il danno è sufficientemente esteso, anche dai fenomeni secondari a livello sistemico (per esempio febbre, disidratazione, batteriemia ecc.).

(26) Inoltre, gli effetti eventuali del processo di guarigione, per esempio la fibrosi, possono contribuire ad un danno aggiuntivo e alla perdita funzionale di un tessuto o di un organo. Gli esempi clinici di tali effetti sono: alterazioni necrotiche della pelle, necrosi e modificazioni fibrotiche in organi interni, sindrome acuta da radiazioni a seguito di irradiazione al corpo intero, cataratta e sterilità (Vedi Tabella 1).

(27) Le dosi richieste per produrre gli effetti deterministici sono nella maggior parte dei casi elevate (di solito al di sopra di 1-2 Gy). Una parte di questi si presenta in piccola percentuale nei pazienti come effetti secondari della radioterapia. Si possono anche osservare dopo complesse indagini interventistiche (come lo "stenting" vascolare) qualora vengano impiegati lunghi tempi di fluoroscopia.

Tabella 1.
Effetti deterministici conseguenti a irradiazione X e gamma a tutto il corpo e localizzata; soglie di dose assorbita per esposizioni singole (a breve termine) e frazionate o a basso rateo di dose (a lungo termine). Da fonti varie; vedi le Pubblicazioni ICRP n. 41, 58 e 85.

Organo/tessuto	Effetto	Soglie di dose assorbita (Gy)	
		Esposizione a breve termine (dose singola)	Esposizione a lungo termine (annuale - ripetute per molti anni)
Testicoli	Sterilità temporanea	0,15	0,4
	Sterilità permanente	3,5 - 6,0	2,0
Ovaio	Sterilità	2,5 - 6,0	> 0,2
Cristallino	Opacità rilevabili	0,5 - 2,0	> 0,1
	Difficoltà visive (cataratta)	5,0	> 0,15
Midollo osseo	Difficoltà dell'emopoiesi	0,5	> 0,4
Pelle	1. Eritema (desquamazione secca)	2	-
	2. Desquamazione umida	18	-
	3. Necrosi dell'epidermide e della cute profonda	25	-
	4. Atrofia cutanea con complicazioni e teleangiectasie	10-12	1,0
Corpo intero	Malattia acuta da raggi (lieve)	1,0	-

(28) La relazione tra la frequenza di un dato effetto deterministico e la dose assorbita ha la forma generale presentata nella Figura 1. Si può vedere che la caratteristica fondamentale di questa relazione dose-risposta è la presenza di una dose soglia. Al di sotto di questa dose nessun effetto può essere diagnosticato, ma con il crescere della dose la gravità del danno indotto aumenta nettamente, in alcune situazioni, in modo drammatico.

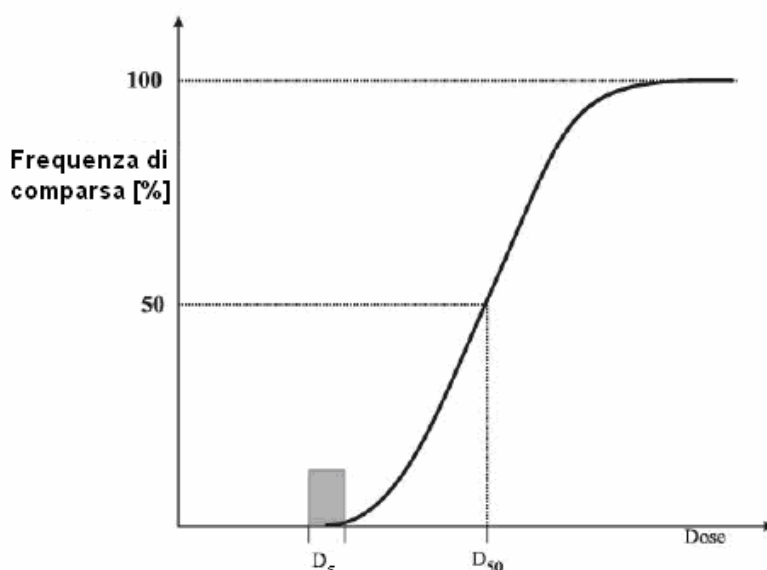


Figura 1. Relazione dose-risposta per gli effetti deterministici (uccisione delle cellule).
D_s - dose soglia

(29) Un esempio di danno deterministico alla pelle è presentato nella Figura 2. Il danno fu causato da una prolungata fluoroscopia nella stessa regione cutanea durante un'angioplastica coronarica.



Figura 2. Fotografia del dorso di un paziente 21 mesi dopo una angiografia coronarica e due interventi di angioplastica eseguiti entro 3 giorni; la dose cumulativa è stata valutata tra 15000 e 20000 mGy. Il paziente ha rifiutato ripetutamente un trapianto cutaneo dopo excisione del tessuto necrotico.
(Foto per cortesia di F. Mettler)

(30) Malformazioni indotte dalle radiazioni nel concepito nel periodo dell'organogenesi (3a-8a settimana di gravidanza), sono anche dovute all'uccisione di cellule e sono classificate come effetti deterministici. La stessa cosa si verifica per le malformazioni del prosencefalo – che conducono al ritardo mentale - indotte dall'esposizione tra l'8a e la 15a settimane (e in modo ridotto fino alla 25a settimana) dopo il concepimento.

(31) Le dosi soglia sono in questo caso sostanzialmente più basse rispetto a quelle trovate per gli effetti deterministici a seguito di irradiazione nella vita extrauterina: così, l'intervallo 100-200 mGy costituisce un intervallo per la soglia relativa alle malformazioni indotte tra la 3^a e l'8^a settimana, e la dose di ~ 200 mGy per il danno cerebrale sopra riferito (8^a-25^a settimana).

6.2. Effetti stocastici

(32) Come detto precedentemente, le cellule irradiate che sopravvivono possono risultare modificate a causa delle mutazioni indotte (somatiche, ereditarie). Queste modifiche possono condurre a due effetti clinicamente significativi: neoplasia maligna (cancro) e mutazioni ereditarie.

(33) *Cancro*: Le radiazioni ionizzanti sono un agente cancerogeno anche se relativamente debole. L'accurato follow-up durante gli ultimi 50 anni di oltre 80.000 sopravvissuti alle bombe atomiche di Hiroshima e Nagasaki indica che ci sono stati 12.000 casi di cancro, dei quali meno di 700 morti in eccesso sono dovuti alle radiazioni. Detto in altro modo, soltanto circa il 6% di cancro verificatisi in questi superstiti è correlato con le radiazioni.

(34) Queste osservazioni permettono di valutare la probabilità con la quale una data dose può condurre alla diagnosi (incidenza) ed alla morte (mortalità) da parte dei diversi cancri. Fra questi ultimi ci sono diverse forme di leucemia e tumori solidi di diversi organi, principalmente carcinomi del polmone, della tiroide, del seno, della pelle e del tratto gastrointestinale. I cancri indotti dalle radiazioni non appaiono immediatamente dopo l'esposizione alle radiazioni, ma richiedono tempo per diventare clinicamente evidenti (periodo di latenza).

(35) Esempi di periodi di latenza minimi sono: 2 anni per la leucemia non di tipo linfatico cronico; circa 5 anni per il cancro della tiroide e dell'osso e 10 anni per la maggior parte degli altri cancri. Il periodo medio di latenza è di 7 anni per la leucemia non di tipo linfatico cronico e più di 20 anni per la maggior parte degli altri cancri. È importante notare che alcuni tumori non sembrano essere indotti dalle radiazioni o lo sono soltanto debolmente. Questi comprendono il carcinoma della prostata, della cervice, dell'utero, i linfomi e la leucemia linfatica cronica.

(36) *Effetti ereditari*: Il rischio di effetti ereditari da radiazioni ionizzanti è stato stimato sulla base di esperimenti su diverse specie animali, perché non ci sono effetti dimostrati negli esseri umani (i valori verosimili di probabilità per unità di dose vengono dati in seguito).

(37) Dall'accurata analisi degli studi sperimentali e delle indagini epidemiologiche trasversali si può concludere che le relazioni dose-risposta per queste due categorie di effetti stocastici hanno una forma distintamente diversa da quella che caratterizza gli effetti deterministici. Una relazione generale dose-risposta per il cancro è presentata nella Figura 3. Le caratteristiche principali della relazione possono essere riassunte come segue:

- a. L'induzione di cancro da raggi x o gamma dà luogo ad un effetto a frequenza crescente con la dose fino ad un massimo, al di sopra del quale la curva si appiattisce, con possibile andamento decrescente a dosi ancora più elevate.

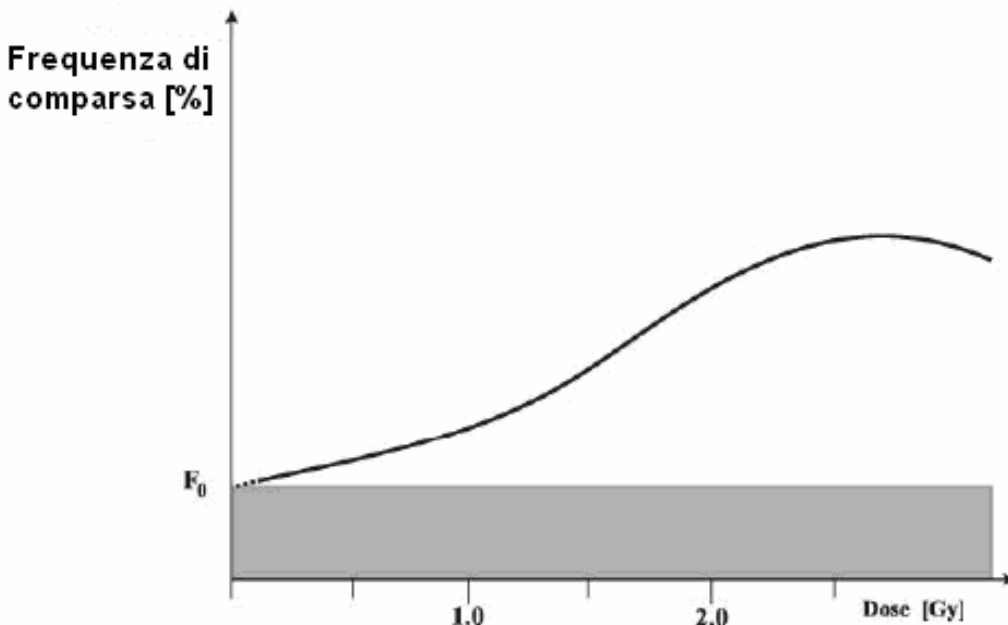


Figura 3. Relazione generale dose-risposta per gli effetti stocastici radioindotti (qui incidenza di cancro a seguito di irradiazione gamma)

Area ombreggiata - incidenza di controllo F_0 in una popolazione non irradiata
 Linea tratteggiata - estrapolazione alle dosi più basse alle quali non c'è evidenza diretta

- b. All'estremità inferiore della curva, sotto ~ 100-200 mGy, non può essere misurato facilmente nessun potenziale effetto a causa degli errori statistici delle osservazioni dovuti al notevole numero di cancro spontanei e all'impatto di fattori di confondimento. Questo fatto non dovrebbe essere interpretato come la presenza di una soglia di dose. Si suppone che alle basse dosi (< 0,2 Gy), la probabilità (frequenza) dell'effetto molto verosimilmente aumenti in modo proporzionale con la dose.
- c. C'è sempre una frequenza spontanea dell'effetto (mutazioni, cancro) nelle popolazioni non irradiate (F_0 in Fig 3), che non può essere differenziata qualitativamente da quella indotta dalle radiazioni. In effetti, le mutazioni o i cancro indotti dall'irradiazione hanno le stesse caratteristiche morfologiche, biochimiche, e cliniche ecc. dei casi che si verificano negli individui non irradiati.

7. Quale è l'entità del rischio per il cancro e per gli effetti ereditari?

(38) L'analisi dei dati epidemiologici relativi a popolazioni irradiate ha permesso la derivazione del rischio approssimativo di cancro indotto dalle radiazioni. Il valore dell'aumento di cancro mortale esteso alla vita per una persona media è approssimativamente del 5% per una dose al corpo intero di 1 Sv (che è molto più alta di quanto si possa incontrare nella maggior parte delle procedure mediche). Un aumento statisticamente significativo del cancro non è stato rilevato in popolazioni esposte a dosi inferiori a 50 mSv.

(39) Sembra che il rischio nella vita fetale, nei bambini e negli adolescenti superi di poco questo livello medio di rischio (di un fattore di 2 o di 3) e che nelle persone al di sopra dell'età di 60 anni dovrebbe essere più basso approssimativamente di un fattore circa 5 (a causa della limitata speranza di vita e quindi del minor tempo a disposizione per la manifestazione di un cancro, che è un effetto tardivo dell'esposizione).

(40) I procedimenti medici diagnostici a dose più elevata (come un esame di tomografia computerizzata dell'addome o del bacino) comportano una dose efficace di circa 10 mSv. Se ci fosse una grande popolazione nella quale ogni persona fosse stata sottoposta ad un tale esame, il rischio teorico esteso alla vita di un cancro mortale indotto dalle radiazioni sarebbe di circa 1 su 2.000 (0,05%). Questo valore può essere confrontato con il normale rischio spontaneo di cancro mortale che è di circa 1 su 4 (25%) nei paesi industrializzati.

(41) Il rischio individuale può essere diverso rispetto ai calcoli teorici. La dose cumulativa da radiazioni dovuta alle procedure sanitarie è molto piccola in molti individui, però in alcuni pazienti le dosi accumulate superano i 50 mSv; in tal caso dovrebbe essere accuratamente considerato il rischio di cancro.

(42) Molti procedimenti diagnostici con dosi relativamente elevate (come la tomografia computerizzata) dovrebbero senza dubbio essere giustificati e quando questa valutazione viene fatta, il vantaggio supererà di gran lunga il rischio. Le procedure non giustificate, a qualsiasi livello di dose, dovrebbero essere evitate. In radioterapia c'è un rischio di secondi cancri, ma il rischio è piccolo paragonato alla necessità di trattare il tumore maligno in corso.

(43) Gli effetti ereditari a seguito dell'esposizione alle radiazioni non sono stati osservati negli esseri umani. Nessun effetto ereditario è stato trovato negli studi della progenie e dei nipoti dei sopravvissuti alla bomba atomica. Tuttavia, sulla base dei modelli animali e sulla conoscenza della genetica umana, si è stimato che il rischio di effetti ereditari deleteri non sia maggiore del 10% del rischio cancerogeno indotto dalle radiazioni.

8. Oltre alle radiazioni ionizzanti delle sorgenti mediche di diagnosi e terapia la gente è esposta ad altre sorgenti?

(44) Sì. tutti gli organismi viventi su questo pianeta, compresi gli esseri umani, sono esposti alle radiazioni provenienti dalle sorgenti naturali. Una media annuale della dose efficace dovuta a questo cosiddetto fondo naturale, ammonta a circa 2,5 mSv. Questa esposizione varia in modo sostanziale con la geografia (da 1,5 a diverse decine di mSv in aree geografiche limitate). Le fonti artificiali - eccetto la medicina - aggiungono dosi minime alla popolazione in generale.

9. Quali sono le dosi tipiche dovute alle procedure diagnostiche mediche?

(45) Diverse procedure radiodiagnostiche e di medicina nucleare richiedono l'impiego di dosi su un vasto intervallo di valori, in funzione della procedura stessa. Le dosi possono essere espresse sia come dose assorbita da un unico tessuto, sia come dose efficace all'intero organismo, il che facilita il raffronto di dosi dovute ad altre sorgenti di radiazioni (come il fondo naturale di radiazioni).

(46) Valori tipici di dose efficace per alcune procedure sono presentati nella Tabella 2. Le dosi sono una funzione di una serie di fattori come la composizione del tessuto, la densità e lo spessore del corpo. Per esempio, l'organismo assorbe meno radiazioni quando queste attraversano l'aria presente nei polmoni per una radiografia del torace che quando attraversano i tessuti dell'addome.

Tabella 2.
Dosi efficaci tipiche per esposizioni di diagnosi medica negli anni 1990 (U.K.)

Procedura diagnostica	Dose efficace tipica (mSv)
Esami con raggi X	
Arti e articolazioni (anche escluse)	< 0,01
Torace (proiezione singola PA)	0,02
Cranio	0,07
Colonna toracica	0,7
Colonna lombare	1,3
Anche	0,3
Pelvi	0,7
Addome	1,0
Urogramma intravenoso	2,5
Bolo baritato	1,5
Pasto baritato	3
Esame baritato del tenue	3
Clisma opaco	7
TC del capo	2,3
TC del torace	8
TC dell'addome e delle pelvi	10
Esami con radionuclidi	
Ventilazione polmonare (^{133}Xe)	0,3
Perfusione polmonare ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1
Reni ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1
Tiroide ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	1
Osso ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	4
Esame cardiologico ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	6
PET Capo ($^{18\text{F}}\text{FDG}$)	5
Fondo naturale annuo	circa 2,5

Dati del National Radiation Protection Board dell'U.K.

(47) Si dovrebbe anche essere consapevoli che persino per una data procedura ci può essere un'ampia variazione nella dose ricevuta, per la stessa procedura e su un individuo specifico, se eseguita in strutture diverse. Questa variazione può arrivare fino ad un fattore dieci ed è spesso dovuta alle differenze nei fattori tecnici della procedura come la rapidità dell'accoppiamento pellicola/schermo, lo sviluppo della pellicola e la tensione al tubo radiogeno. Inoltre, per un dato tipo di procedura ci sono spesso ampie variazioni sia all'interno di una stessa struttura che in strutture diverse a causa di una insoddisfacente conduzione della procedura.

10. In diagnostica le dosi di radiazioni possono essere regolate senza influire sul vantaggio diagnostico?

(48) Sì. Ci sono diversi modi di ridurre i rischi a livelli molto, molto bassi ottenendo nel contempo dalla procedura radiologica effetti molto benefici sulla salute, che superano di gran lunga l'impatto di un eventuale detrimento sanitario. In questo contesto dovrebbe essere ricordato anche che un alto rapporto tra benefici e rischio radiologico dipende in grande misura dalla buona metodologia delle procedure e dall'alta qualità della loro esecuzione. Pertanto la garanzia della qualità e il controllo di qualità in radiodiagnostica e medicina nucleare svolgono tra l'altro un ruolo fondamentale nel fornire al paziente una protezione dalle radiazioni appropriata e sicura.

(49) Ci sono diversi modi per ridurre al minimo il rischio senza sacrificare le preziose informazioni che possono essere ottenute a beneficio dei pazienti. Fra le possibili misure è necessario *giustificare l'esame* prima di indirizzare un paziente al radiologo o al medico di medicina nucleare.

(50) Dovrebbe essere evitata la ripetizione di indagini effettuate di recente in un'altra clinica o in un altro ospedale. I risultati delle indagini dovrebbero essere registrati con un sufficiente dettaglio nella documentazione del paziente, in modo da essere trasferibili ad un'altra struttura sanitaria. Questa regola potrebbe evitare una significativa quota di esami non necessari.

(51) Il mancato trasferimento di informazioni cliniche adeguate da parte del medico prescrivente può risolversi nella scelta da parte del radiologo o dello specialista in medicina nucleare di una procedura o di una tecnica inappropriata. Il risultato può essere una indagine inutile, con un esame che determina soltanto una esposizione indebita del paziente.

(52) Un esame può essere considerato come esame utile se il suo risultato - positivo o negativo - influenza la gestione del paziente. Un altro fattore che potenzialmente si aggiunge all'utilità dell'esame è il rafforzamento della certezza della diagnosi.

(53) Per soddisfare questi criteri, devono essere forniti dal medico specialista, sulla base delle conoscenze mediche, indicazioni per lo specifico esame sia nella situazione clinica generale che nel caso di un singolo paziente. Difficoltà possono sorgere nel procedimento di invio allo specialista soprattutto a causa dello sviluppo dinamico nel campo della diagnostica medica per immagini. Negli ultimi 30 anni i progressi tecnici realizzati in radiologia medica e in medicina nucleare sono stati enormi; inoltre sono entrate in campo due nuove modalità: la rappresentazione per immagini attraverso gli ultrasuoni e la risonanza magnetica.

(54) Non è sorprendente, dunque, che il seguire gli sviluppi tecnici possa essere difficile sia per un medico generico sia finanche per gli specialisti in molti campi della medicina. Esistono, tuttavia, diverse linee guida pubblicate (vedere le letture suggerite), che possono aiutare ad inviare il paziente allo specialista sulla base di motivazioni cliniche adeguate, utilizzando criteri ben fondati, basati sull'esperienza clinica e sull'epidemiologia.

(55) Le più importanti alternative che dovrebbero essere prese in considerazione per evitare prescrizioni non appropriate possono essere le seguenti: possibilità di ottenere analoghe informazioni senza utilizzare radiazioni ionizzanti, ad esempio per mezzo di ultrasuoni (US) o di risonanza magnetica (MRI). Il loro utilizzo è indicato laddove queste modalità sono disponibili, e quando il costo (principalmente per la MRI), i tempi di attesa e le difficoltà organizzative non sono proibitivi. Le linee guida sopramenzionate forniscono inoltre informazioni quando queste tecniche sono da preferire come primo esame ed a volte come unico esame da eseguire.

11. Ci sono situazioni nelle quali le indagini radiodiagnostiche dovrebbero essere evitate?

(56) Sì. Ci sono pareri consolidati – ma non sempre considerati - che indicano che in alcune circostanze la radiografia o la fluoroscopia non contribuiscono a migliorare la gestione dei pazienti. Questo si verifica in situazioni nelle quali l'andamento di una malattia non è modificato o risolto dall'esecuzione dell'esame, o i dati ottenuti non influenzano il trattamento dei pazienti.

(57) I principali esempi di esami non giustificati sono: la radiografia sistematica del torace alla accettazione in ospedale o prima di un atto chirurgico, in assenza di sintomi che indicano un coinvolgimento (o insufficienza) cardiaco o polmonare; la radiografia del cranio in vittime asintomatiche di incidenti; la radiografia del tratto sacro-lombare in condizioni degenerative stabili della colonna nella quinta o successive decadi di vita, ma ce ne sono naturalmente molte altre.

(58) Lo screening di pazienti asintomatici per la diagnosi di una malattia può essere attuato soltanto laddove i servizi sanitari nazionali decidano che l'alta incidenza della malattia in una determinata fascia di età, l'elevata efficacia della diagnosi precoce, la bassa esposizione degli individui sottoposti allo stesso, e l'esistenza di un trattamento terapeutico facilmente disponibile ed efficace possano produrre un elevato beneficio a fronte del rischio (connesso con l'esposizione).

(59) Gli esempi positivi comprendono la radiografia per la diagnosi di tubercolosi nelle collettività o nei gruppi con un'alta prevalenza della malattia, la mammografia per la diagnosi precoce del cancro del seno nelle donne dopo 50 anni d'età, o lo screening del carcinoma gastrico con la fluoroscopia specialistica con mezzo di contrasto nei paesi con un'alta incidenza di questa malattia. Tutti i fattori legati agli screening devono essere periodicamente esaminati e rivalutati. Se i criteri positivi cessano di essere soddisfatti lo screening dovrebbe essere interrotto.

(60) L'irradiazione per motivi medico-legali e assicurativi dovrebbe essere valutata con molta attenzione, e limitata o esclusa. In generale l'irradiazione di individui per scopi medico-legali non presenta vantaggi sanitari. Uno degli esempi più comuni si riferisce al fatto che le compagnie d'assicurazione possono richiedere diverse indagini radiografiche al fine di verificare lo stato di buona salute della persona da assicurare. In numerosi casi tali richieste, in particolare negli individui asintomatici, dovrebbero essere trattate con prudenza e spesso sembrano non giustificate, poiché non di interesse medico diretto della persona coinvolta.

12. Ci sono specifiche procedure diagnostiche che dovrebbero avere una particolare giustificazione?

(61) Sebbene tutti gli utilizzi medici delle radiazioni dovrebbero essere giustificati, più alta è la dose ed il connesso rischio di una procedura, più il medico dovrebbe considerare se il beneficio ottenuto sia maggiore del rischio. Ci sono procedure radiologiche che determinano dosi al limite superiore della scala indicata nella Tabella 2.

(62) Fra queste una posizione particolare è occupata dalla tomografia computerizzata (TC), ed in particolare dalle sue varianti più avanzate come la TC spirale o la TC multi strato. L'utilità e l'efficacia di queste tecnologie avanzate sono inequivocabili in particolare situazioni cliniche, tuttavia la facilità di ottenere risultati e il desiderio di controllare spesso il decorso di una malattia o eseguire uno screening dovrebbero essere mitigati dal fatto che esami ripetuti possono esporre ad una dose efficace dell'ordine di 100 mSv, dose per la quale esiste una prova epidemiologica diretta di cancerogenicità.

13. I bambini e le donne in gravidanza richiedono particolare attenzione nelle procedure diagnostiche?

(63) Sì. Sia il feto che i bambini sono ritenuti più radiosensibili degli adulti.

(64) È estremamente improbabile che le procedure di radiodiagnostica e di diagnostica in medicina nucleare (anche in associazione) determinino dosi in grado di provocare malformazioni o diminuzione della funzione intellettiva. Il principale problema conseguente all'esposizione in utero o nell'infanzia ai livelli diagnostici tipici (< 50 mGy) è l'induzione del cancro.

(65) Prima di effettuare una procedura diagnostica, si dovrebbe determinare se una paziente è, o potrebbe essere, in gravidanza, se il feto è nell'area di irradiazione primaria, e se la procedura è a dose relativamente elevata (per esempio clisma opaco o TC pelvica). Gli esami diagnostici a distanza dal feto (per esempio radiografie del torace o delle estremità, esami funzionali polmonari di ventilazione/perfusione) possono essere eseguiti in sicurezza in qualunque momento della gravidanza se l'attrezzatura è correttamente funzionante. Generalmente il rischio di non fare diagnosi è maggiore del rischio da radiazioni.

(66) Se la dose correlata ad un esame è situata tipicamente nella fascia superiore dell'intervallo della dose diagnostica media, ed il feto è vicino al fascio o alla sorgente di radiazione, dovrebbe essere posta particolare attenzione per ridurre al minimo la dose al feto durante la procedura diagnostica. Ciò può essere realizzato adattando l'esame alla situazione ed esaminando immediatamente ogni singola radiografia effettuata, fino al raggiungimento della diagnosi, e interrompendo quindi la procedura.

Molti radiofarmaci utilizzati in medicina nucleare sono escreti dall'apparato urinario. In questi casi l'idratazione materna e l'induzione della diuresi ridurrà il tempo di permanenza nella vescica del radiofarmaco e quindi ridurrà la dose al feto.

(67) Nei bambini, la riduzione della dose è ottenuta utilizzando modalità tecniche specifiche per bambini piuttosto che i fattori normalmente in uso per gli adulti. In radiodiagnostica dovrebbe essere prestata attenzione a concentrare il fascio di radiazione soltanto nell'area d'interesse. In medicina nucleare, poiché i bambini sono piccoli, è possibile produrre immagini accettabili somministrando attività inferiori a quelle utilizzata nell'adulto, riducendo così la dose al bambino.

14. Che cosa può essere fatto per ridurre il rischio da radiazioni durante l'effettuazione di una procedura diagnostica?

(68) Lo strumento più potente per ridurre al minimo il rischio è l'accurata esecuzione dell'esame e l'ottimizzazione della radioprotezione del paziente. Queste sono responsabilità del radiologo, del medico nucleare e del fisico sanitario.

(69) Il principio di base della protezione dei pazienti “*nelle indagini radiologiche con raggi x e nelle indagini diagnostiche di medicina nucleare*” è che le necessarie informazioni diagnostiche di qualità clinicamente soddisfacente dovrebbero essere ottenute mantenendo la dose “tanto bassa quanto ragionevolmente ottenibile, considerando i fattori economici e sociali”.

(70) I dati provenienti da numerosi paesi indicano che l'intervallo di dose in ingresso (cioè le dosi misurate sulla superficie del corpo nel punto dove il fascio di raggi x penetra nel corpo stesso) per un dato tipo d'esame radiografico, è molto ampio. Un esempio è mostrato nella Figura 4.

(71) A volte le dosi più alte e più basse, misurate in singole installazioni radiologiche, variano di un fattore di circa 100. Poiché la maggior parte delle dosi misurate tende a raggrupparsi all'estremità inferiore della distribuzione (vedi Figura 4) è chiaro che le dosi più elevate, superiori, per esempio, al 70°-80° percentile della distribuzione, non possono essere ragionevolmente giustificate. Attraverso la individuazione dei cosiddetti *livelli di diagnostici di riferimento* a un determinato percentile per ciascuna delle principali indagini, si possono identificare i luoghi (istituzioni, apparecchiature a raggi x) che necessitano di azioni correttive, che facilmente e sostanzialmente ridurranno la dose media ai pazienti per l'intero paese in esame.

(72) Questo obiettivo può essere raggiunto attraverso la cooperazione tra i radiologi, i fisici sanitari e i verificatori della qualità o l'intero team radiologico. Ci sono numerosi fattori tecnici, che una volta sistematicamente applicati, riducono significativamente l'esposizione. Lo sforzo per ottimizzare la protezione richiede una buona organizzazione come pure volontà e vigilanza permanenti per tenere le dosi tanto basse quanto ragionevolmente ottenibile. Si può facilmente dimostrare che il rischio, anche se piuttosto piccolo, può ancora essere ridotto diverse volte rispetto alla situazione prevalente nei decenni precedenti.

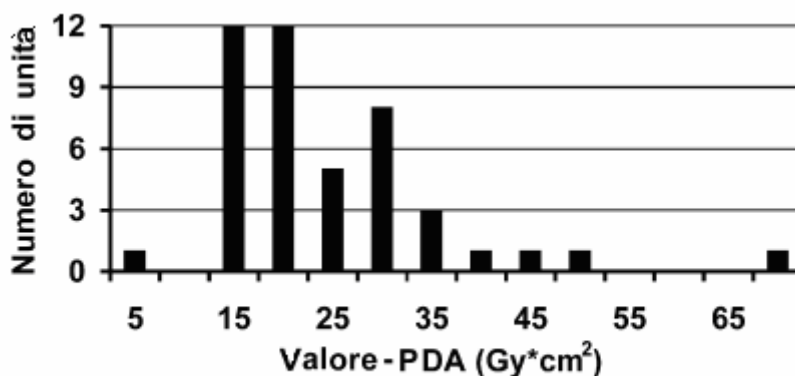


Figura 4. Distribuzione della dose al paziente negli esami di urografia intravenosa (IVU) in 45 cliniche svedesi. Dati provenienti dall'Autorità di Radioprotezione Svedese. PDA - prodotto dose-area

(73) Fra le procedure che dovrebbero essere evitate ci sono: 1) la radioscopia e la fotofluorografia per lo screening della tubercolosi in bambini e in adolescenti (a quest'età dovrebbero invece essere fatte soltanto le radiografie normali). 2) radioscopia senza intensificazione elettronica dell'immagine. Nella maggior parte dei paesi industrializzati tale procedura - che dà dosi piuttosto elevate al paziente - è ora legalmente vietata.

(74) Si dovrebbe sottolineare che le *procedure radiologiche interventistiche* conducono a dosi ai pazienti più elevate rispetto alle indagini diagnostiche normali. Tuttavia, le indicazioni per tali

procedure nella maggior parte dei casi derivano da situazioni chirurgiche a rischio elevato. Le moderne attrezzature specifiche e la formazione del personale permettono di limitare l'esposizione dei pazienti ad un livello accettabile, che assicura un rapporto benefici/rischi molto elevato.

(75) In *medicina nucleare* il livello di dose al paziente deriva principalmente dalla attività¹ del radiofarmaco somministrato. Il range di attività di quest'ultimo, somministrato per un dato scopo, varia fra i diversi dipartimenti di un piccolo fattore - di solito un fattore 3 tra i valori più alti e quelli più bassi. In diversi paesi sono stati fissati livelli di riferimento o livelli raccomandati il cui superamento dovrebbe essere di solito evitato nell'esame di un individuo di dimensione standard.

(76) Ci sono anche regole riconosciute (formule) per la modificazione dell'attività in funzione della massa del corpo e per ridurre l'attività somministrata ai bambini rispetto a quella degli adulti. Le dosi efficaci tipiche ai pazienti in medicina nucleare diagnostica sono simili a quelle osservate nella diagnostica a raggi x (vedi Tabella 2). Le corrette procedure ed il rispetto dei principi di garanzia e controllo della qualità assicurano un elevato rapporto beneficio/rischio per gli esami giustificati in modo appropriato.

(77) Durante la gravidanza, le indagini che utilizzano radiofarmaci dovrebbero essere gestite in un modo simile alle procedure radiografiche normali. Di conseguenza, dovrebbero essere eseguite soltanto se nessun metodo diagnostico alternativo è disponibile e se le indagini non possono essere ritardate fino a dopo il parto. Per evitare un danno importante alla tiroide fetale è *controindicata qualsiasi procedura con utilizzo di ioni liberi ¹³¹I - anche con piccole attività* - ad iniziare dalla 10^a-12^a settimana di gravidanza (a partire dalle quali la tiroide fetale diventa funzionante).

(78) Le donne in allattamento possono essere studiate con radiofarmaci. Ci sono alcuni radiofarmaci ad emivita relativamente più lunga e che sono escreti nel latte ¹materno (come lo Iodio-131). Dopo somministrazione di tali radiofarmaci, l'allattamento deve essere interrotto per evitare il trasferimento al bambino. Ci sono, tuttavia altri radionuclidi con emivita più breve (come la maggior parte dei composti del tecnezio-99m) che possono non richiedere la sospensione dell'allattamento o richiederla soltanto per alcune ore o per un giorno.

¹ Attività - numero di disintegrazioni nucleari al secondo (dps) in un dato campione. Utilizzato come misura di quantità di sostanze radioattive, in questo caso di radiofarmaci somministrati a pazienti. L'unità è il becquerel che è 1 dps. Un megabecquerel (MBq) è 1 milione di dps.

15. Cosa si può fare per ridurre il rischio di radiazione durante la radioterapia?

(79) La radioterapia attuata sulla base di appropriate indicazioni è spesso un modo efficace per prolungare la vita di un paziente o per ridurre le sue sofferenze quando è possibile soltanto una terapia palliativa, migliorando così la qualità della vita dei pazienti stessi. Raggiungere questo risultato richiede i più elevati livelli di prestazione (accuratezza della dose somministrata) per ogni singolo paziente, sia nella pianificazione dell'irradiazione che nella sua effettuazione.

(80) L'efficace eradicazione di un tumore maligno attraverso la radioterapia richiede dosi assorbite elevate sul tessuto bersaglio (tumore) con un successivo rischio (di solito basso) di complicanze a lungo termine.

(81) In realtà, mentre la giustificazione per la radioterapia in generale non può essere messa in discussione nella maggior parte di casi, sforzi crescenti sono rivolti, in alcuni casi, a diminuire la dose somministrata e a ridurre i volumi irradiati. Questo è particolarmente vero per alcuni tipi specifici di tumore, come il morbo di Hodgkin e i tumori infantili, dove l'associazione quasi costante con la chemioterapia può permettere al radioterapista oncologo di ridurre la dose ed il volume irradiato e conseguentemente di ridurre gli effetti secondari negativi.

(82) In un gran numero di casi non è possibile diminuire la dose all'organo bersaglio senza contestualmente diminuire in modo inaccettabile i tassi di guarigione. Pertanto l'ottimizzazione della protezione dei pazienti è basata sul principio che la dose al bersaglio irradiato (tumore) deve essere tanto alta quanto è necessario per l'efficacia del trattamento, proteggendo contestualmente i tessuti sani nella massima misura possibile. A tal riguardo la terapia conformazionale ha grandemente aiutato.

(83) La decisione di iniziare un ciclo di radioterapia è presa in modo ottimale attraverso un gruppo multidisciplinare che comprende chirurghi, oncologi medici e radioterapisti oncologi. Tale gruppo dovrebbe confermare la giustificazione della procedura, l'assenza di trattamenti alternativi più utili e in generale individuare il modo ottimale di combinare le diverse tecniche (radioterapia, chirurgia e chemioterapia). Quando tale approccio multidisciplinare non è possibile, il radioterapista oncologo dovrebbe tenere presente i trattamenti alternativi o combinare le strategie del trattamento.

16. Le donne in gravidanza possono essere trattate con la radioterapia?

(84) Un tumore maligno in una donna in gravidanza può richiedere l'utilizzo della radioterapia nel tentativo di salvare la vita della paziente. Se il tumore è situato in una parte del corpo distante dall'utero, la terapia può essere effettuata con protezione sull'addome predisposta caso per caso. Se il fascio deve essere indirizzato in una zona più vicina al feto, ma senza irradiazione diretta, devono essere prese particolari precauzioni, ed un esperto in dosimetria dovrebbe effettuare le valutazioni di dose al feto prima di prendere una decisione sull'effettuazione della terapia stessa.

(85) L'irradiazione diretta dell'embrione (nelle settimane 3°-8° dopo la fecondazione) tramite il fascio primario comporterà invece valori di dose sostanzialmente superiori alle soglie per malformazioni di diversi organi, o del cervello (8° - 25° settimana), con conseguente ritardo mentale dopo la nascita. Questa irradiazione può determinare inoltre l'arresto della crescita fetale, anche se il trattamento avesse luogo nel terzo trimestre di gravidanza.

(86) Si dovrebbe anche ricordare che l'irradiazione del feto in tutti i trimestri della gravidanza porta ad un aumentato rischio di cancro nel nascituro nel primo o secondo decennio di vita, e a *dosi terapeutiche* questo rischio può essere rilevante. Pertanto, in considerazione di tutti gli aspetti sopramenzionati, potrà essere presa in considerazione una interruzione di gravidanza. Tale decisione dovrebbe essere basata sull'accurata valutazione del rischio connesso per il feto, che a sua volta richiede il calcolo della dose al feto da parte di un esperto di dosimetria. La stessa decisione dovrebbe essere presa dalle donne da trattare in collaborazione con il loro medico, con l'aiuto del partner e con il consiglio di altre persone vicine.

(87) Particolari e complessi problemi sorgono quando la radioterapia è eseguita in una donna all'inizio di una gravidanza non conosciuta. Il risultato è, a volte, una intensa irradiazione dell'embrione in un periodo in cui le malformazioni sono facilmente indotte (alla 3° settimana gestazionale o successivamente). Per evitare tali involontarie irradiazioni è necessario eseguire i test di gravidanza per evidenziare, o escludere, una gravidanza prima di intraprendere la radioterapia.

(88) La terapia dell'ipertiroidismo con ^{131}I in una donna in gravidanza è tassativamente controindicata a causa non solo della possibilità della irradiazione esterna del feto ma principalmente a causa del fatto che lo ioduro radioattivo entra nella circolazione fetale attraverso la placenta e viene successivamente assorbito dalla sua tiroide. La ghiandola potrebbe essere distrutta dalla radiazione beta emessa dal radionuclide assorbito (^{131}I). Dovrebbero pertanto essere usati, se possibile, altri metodi di trattamento fino al parto.

(89) In caso di diagnosi di cancro tiroideo con metastasi in una donna in gravidanza, il trattamento con ^{131}I , se non può essere ritardato dopo il parto, non è compatibile con la continuazione della gravidanza.

17. Il trattamento di pazienti con le radiazioni può mettere in pericolo altre persone?

(90) Un paziente può essere esposto alle radiazioni per scopi medici per mezzo di una sorgente esterna al paziente stesso (ad esempio una apparecchiatura a raggi x per diagnosi o un acceleratore lineare per radioterapia). Indipendentemente da quanta dose ha ricevuto, il paziente non diventa radioattivo e non emette radiazioni. Di conseguenza non rappresenta alcun rischio di irradiazione per la sua famiglia o per altri soggetti.

(91) L'altro modo attraverso il quale viene somministrata una dose di radiazioni per scopi medici è quella di introdurre materiale radioattivo nel paziente. In questi casi il paziente stesso emetterà radiazioni. Per gli esami *diagnostici* di medicina nucleare (come la scintigrafia ossea o della tiroide) la quantità di radioattività iniettata è piccola e tali pazienti non rappresentano alcun rischio per la loro famiglia o per il pubblico. Tali pazienti sono dimessi immediatamente dopo la procedura.

(92) I pazienti possono essere sottoposti a *radioterapia* attraverso una iniezione di radiofarmaco o il posizionamento di sorgenti radioattive direttamente nel tumore. Tali pazienti possono o non possono rappresentare un rischio per gli altri in relazione al potere di penetrazione della radiazione emessa dal radionuclide. Alcune radiazioni sono scarsamente penetranti (come quelle emesse dallo ^{125}I per impianti prostatici). Tali pazienti vengono dimessi. Altri sottoposti a impianti di ^{192}Ir o di ^{137}Cs devono rimanere in ospedale fino a quando le sorgenti saranno rimosse. In questo caso le radiazioni, sufficientemente penetranti, determineranno una limitazione alla visita di questi pazienti.

(93) Pazienti trattati con alte attività di ^{131}I per cancro della tiroide, o in alcuni casi per ipertiroidismo, o pazienti con impianto permanente di sorgenti radioattive (categoria speciale di brachiterapia) rappresentano dei casi particolari. Una volta a casa dopo il ricovero possono rappresentare un qualche rischio – per quanto minimo - per i membri della loro famiglia se non osservano le specifiche regole di comportamento in tali situazioni. Lo specialista responsabile della gestione della terapia deve dare indicazioni a questi pazienti per evitare lo stretto contatto del corpo con i bambini e per altre precauzioni necessarie.

18. Fonti di informazioni suggerite

Internet offre molte sorgenti di informazioni aggiuntive. Non è possibile darne qui una lista esaustiva. Un limitato numero di siti vengono qui riportati come punti di partenza per ricerche aggiuntive:

Commissione Europea (pagine di radioprotezione)

europa.eu.int/comm/environment/radprot

International Atomic Energy Agency (medical pages) – www.naweb.iaea.org/nahu

International Commission on Radiological Protection – www.icrp.org

World Health Organization – www.who.int