

I.R.C.C.S. "Casa Sollievo della Sofferenza"
San Giovanni Rotondo
29 ottobre 2001, Corso di Formazione

**Protezione dalle radiazioni ionizzanti in campo medico:
la normativa di riferimento.**



Servizio di Prevenzione e Protezione
Dott. Alberto Maiorana, Dott. Cinzia Fedeli
Servizio di Fisica Sanitaria

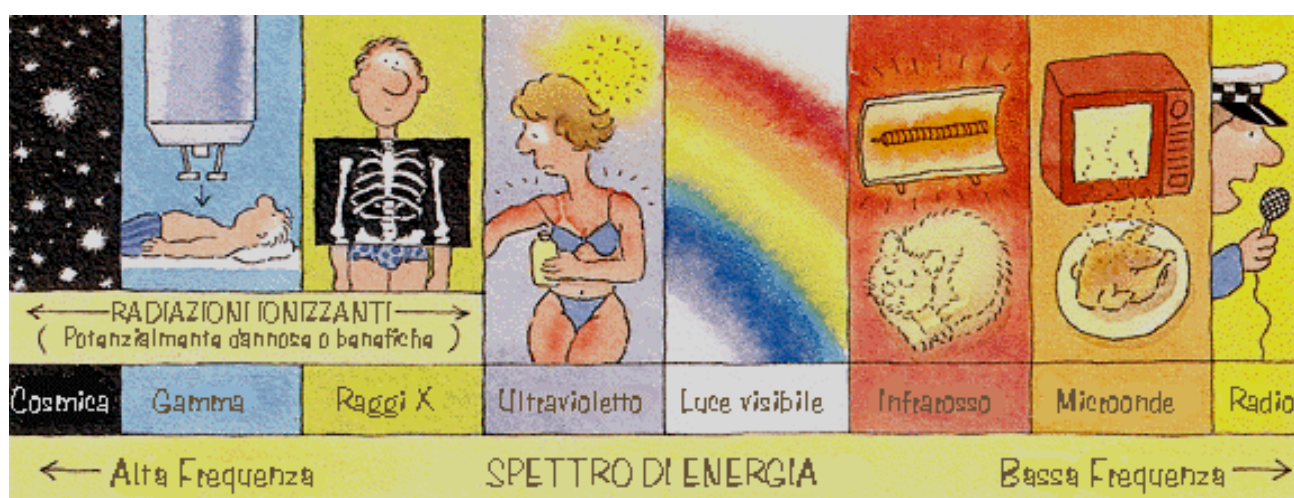
PREMESSA

L'art. 61, comma 3, lettera e) del D.Lgs. 17 marzo 1995, n. 230, come modificato e integrato dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241 in attuazione della direttiva Euratom 96/29 in materia di radiazioni ionizzanti, fa obbligo ai datori di lavoro, ai dirigenti e ai preposti di: rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione, in relazione alle mansioni cui essi sono addetti, dei rischi specifici cui sono esposti, delle norme di protezione sanitaria, delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne di sicurezza. La presente pubblicazione è stata scritta con il duplice scopo di dare un contributo per l'adempimento dell'obbligo stabilito dall'art. 61, comma 3, lettera e), e di rendere i lavoratori più consapevoli dell'importanza di ottemperare, a loro volta, agli obblighi loro imposti dall'art. 68 dello stesso D.Lgs. che stabilisce di:

- a) osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro o dai suoi incaricati, ai fini della protezione individuale e collettiva e della sicurezza, a seconda delle mansioni alle quali sono addetti;
- b) usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
- c) segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza;
- d) non rimuovere nè modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi, e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;
- e) non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza ;
- f) sottoporsi alla sorveglianza medica.

GENERALITA' SULLE RADIAZIONI

Radiazione è il termine generalmente usato per descrivere il trasporto di energia associato alla propagazione di un'onda. Anche le onde generate da un sasso lanciato in uno specchio d'acqua perfettamente calmo possono essere pensate come una forma di radiazione. L'energia impartita dal sasso all'acqua, è trasportata da onde meccaniche, che si allontanano dal punto di impatto sotto forma di anelli concentrici e sono in grado di sollevare a distanza un piccolo oggetto galleggiante.



Onde radio e TV, microonde, infrarossi, luce visibile, ultravioletti, raggi X e raggi gamma (γ), sono esempi di radiazione elettromagnetica, vale a dire onde prodotte da oscillazioni di un campo elettrico e di un campo magnetico. Alcune di queste radiazioni sono utilizzate in medicina a scopo diagnostico e terapeutico.

Le radiazioni elettromagnetiche possono propagarsi anche nel vuoto con velocità pari a quella della luce. Solo la luce visibile può essere percepita direttamente dall'occhio umano e prende il nome da questa sua proprietà, le altre radiazioni

sono rivelate con strumenti specifici dedicati.

Le radiazioni elettromagnetiche sono identificate e caratterizzate, dalla "lunghezza d'onda" vale a dire dalla distanza tra la cresta di un'onda e quella successiva e dalla "frequenza" cioè dal numero di oscillazioni al secondo. Queste due grandezze sono in relazione tra loro e con l'energia trasportata.

Tanto più corta sarà la lunghezza d'onda, tanto più saranno elevate la frequenza e l'energia delle radiazioni elettromagnetiche.

Un'onda elettromagnetica può essere anche pensata come un insieme di piccolissimi pacchetti di energia chiamati fotoni. L'energia di ogni pacchetto, o

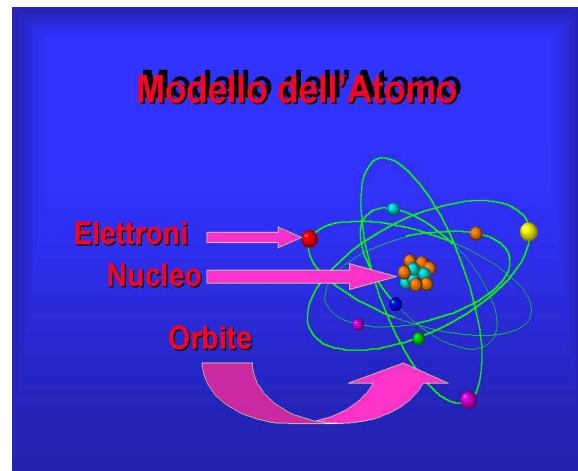
fotone, è direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda: più alta sarà la frequenza, maggiore sarà l'energia trasportata da ogni fotone.

Il modo in cui le onde elettromagnetiche influenzano i sistemi biologici è determinato in parte dalla loro intensità, vale a dire dalla quantità di fotoni che le compongono, ma in primo luogo dalla loro energia, cioè dall'energia posseduta da ciascun fotone.



Le onde elettromagnetiche di bassa frequenza sono denominate "campi elettromagnetici" e quelle a frequenza molto alta "radiazioni elettromagnetiche. Le radiazioni elettromagnetiche possono essere classificate", secondo la loro energia, come "radiazioni ionizzanti" o "radiazioni non ionizzanti".

Nella descrizione classica, gli atomi che costituiscono la materia sono costituiti da un nucleo, composto da neutroni e protoni, circondato da elettroni. I protoni hanno carica positiva e gli elettroni negativa, mentre i neutroni sono privi di carica.



Le radiazioni elettromagnetiche non hanno massa né carica elettrica, tuttavia, anche alcune particelle provenienti dal decadimento radioattivo di atomi instabili o da reazioni di collisione, dotate di massa e di carica elettrica come protoni o particelle alfa oppure, come i neutroni, dotati di massa, ma non di carica elettrica, sono considerate radiazioni e denominate radiazioni corpuscolari.

Gli effetti che le radiazioni producono nella materia con cui interagiscono, sono determinati principalmente dalla loro energia, carica e intensità.

RADIAZIONI IONIZZANTI

Il termine radiazione è abitualmente usato per descrivere fenomeni apparentemente molto diversi tra loro, come l'emissione di luce da una lampada, di calore da un fuoco, di particelle elementari o raggi gamma (γ) da una sorgente radioattiva, con la caratteristica comune di trasportare energia a distanza.



Quest'energia viene ceduta quando la radiazione è assorbita nella materia e in generale, determina un aumento di temperatura in prossimità del punto in cui è avvenuto l'assorbimento.

L'aumento di temperatura non è però il principale effetto prodotto dall'assorbimento di radiazioni nella materia, infatti, l'aumento di temperatura per un corpo sottoposto all'assorbimento di dosi molto elevate di raggi X o γ è soltanto di pochi centesimi di grado centigrado. Tuttavia, se la luce può impressionare una pellicola fotografica, le radiazioni ionizzanti possono anche danneggiare gli organismi viventi.

L'azione lesiva di alcune radiazioni sull'organismo è una diretta conseguenza di processi di eccitazione e ionizzazione degli atomi e delle molecole dei tessuti biologici, causati dall'assorbimento di energia nella materia. Ciò può avvenire solo quando l'energia delle radiazioni è sufficiente per rimuovere elettroni dagli atomi della materia attraversata, producendo ioni positivi e negativi.

Per questa loro caratteristica solo alcune radiazioni come i raggi X e γ o le particelle elementari cariche sono definite

ionizzanti. Al contrario, emissioni di onde radio o luce visibile, anche se di elevata intensità, non hanno abbastanza energia da produrre ionizzazione.

Maggiore sarà la carica posseduta dalle radiazioni, tanto maggiore sarà la loro capacità di cedere rapidamente energia ionizzando direttamente e per un breve tratto la materia attraversata. Maggiore sarà l'energia, maggiore sarà la profondità di penetrazione.

Radiazioni elettromagnetiche penetranti come i raggi X e γ , pur essendo prive di carica, hanno comunque la proprietà di ionizzare indirettamente la materia che attraversano, mettendo in moto particelle cariche di elevata energia e per questo prendono il nome di radiazioni indirettamente ionizzanti.

RADIAZIONI IONIZZANTI IN CAMPO MEDICO

In molti, la parola "radiazioni" evoca scenari popolati di bombe atomiche, incidenti e disastri nucleari, scorie, ricadute radioattive e un epilogo di malattie mortali e inguaribili. Effettivamente l'uso incontrollato delle radiazioni ionizzanti può essere molto pericoloso, ma questo vale in generale per qualunque attività umana.

L'impiego delle radiazioni in campo medico è però limitato ad attività che, da un lato hanno un ridotto contenuto di pericolosità intrinseca e sono sotto il pieno controllo degli operatori, dall'altro offrono un elevato e insostituibile beneficio per i pazienti.

Nelle attuali applicazioni mediche con le radiazioni si usano solo:

- FOTONI (X, Gamma)
- ELETTRONI (Beta, Veloci)



Sorgenti radioattive.

Alcune sostanze sono costituite da atomi i cui nuclei sono energeticamente instabili. Il ritorno alla stabilità avviene spontaneamente, con emissione di radiazione corpuscolare beta (β), spesso accompagnata da radiazione elettromagnetica sotto forma di raggi γ .

Produzione di radiazioni ionizzanti in campo medico

Decadimento di nuclei instabili



Queste sostanze sono definite radioattive e l'emissione di radiazione viene detta decadimento radioattivo o radioattività. La frequenza con cui avviene il decadimento si chiama "attività" e si misura in Becquerel (Bq).

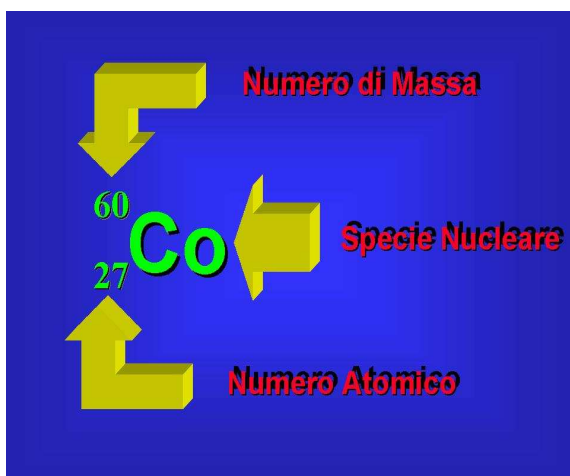
In una sostanza radioattiva la cui attività è pari a un Becquerel, avviene un decadimento al secondo. La durata del decadimento è stimata dal "tempo di dimezzamento" in pratica dal tempo, caratteristico di ciascuna specie radioattiva, affinché il numero di nuclei radioattivi presenti si riduca spontaneamente alla metà. Il tempo di dimezzamento può essere compreso tra le frazioni di secondo e i milioni di anni.



Il fenomeno della radioattività può manifestarsi in alcune sostanze presenti in natura o essere indotto artificialmente in nuclei stabili, per mezzo di reazioni nucleari. In questo caso si parla di radioattività artificiale per distinguerla dalla precedente, detta invece naturale.

In campo medico vengono impiegate solo alcune specie radioattive artificiali che, oltre ad essere vantaggiose da un punto di vista diagnostico, sono tutte caratterizzate da basse attività e tempi di dimezzamento molto brevi, dell'ordine di minuti, ore o giorni, in modo che la loro radioattività e quindi la loro eventuale pericolosità, si esaurisca rapidamente e sia limitata al periodo di tempo necessario per eseguire l'esame.

In alcune applicazioni di terapia si fa uso di specie radioattive artificiali ad elevata attività e con tempi di dimezzamento più lunghi, dell'ordine di settimane, mesi o anni, chiuse però in appositi contenitori comandati a distanza, che permettono la fuoriuscita delle radiazioni solo per il tempo necessario ad effettuare i trattamenti, oppure somministrate ai pazienti in ambienti confinati.



Sono definite “sigillate”, quelle sorgenti contenute in un involucro inattivo e resistente in grado di evitare qualunque dispersione all'esterno.

Sono definite “non sigillate”, le sorgenti radioattive per le quali esiste la possibilità di una dispersione verso l'esterno.

Macchine radiogene.

E' possibile produrre raggi X per mezzo di apparecchi generatori di radiazione. Questi sono costituiti da un involucro di vetro sotto vuoto in cui sono contenuti due elettrodi denominati catodo e anodo. Quando tra questi elettrodi è applicata l'alta tensione, gli elettroni, generati riscaldando il catodo, così come avviene per il filamento di una lampadina, saranno

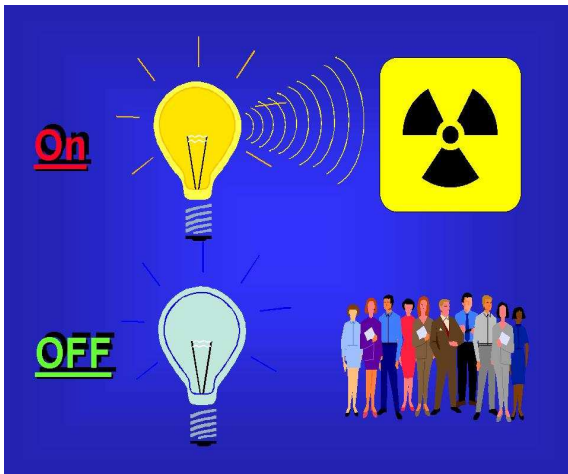
attratti verso l'anodo e lo colpiranno ad altissima velocità.

Nell'urto con il metallo di cui è fatto l'anodo, gli elettroni saranno frenati e dissiperanno la loro energia, oltre che sotto forma di calore, anche sotto forma di radiazione elettromagnetica penetrante ad alta frequenza, vale a dire raggi X.



L'accelerazione può essere prodotta per mezzo di tecniche più sofisticate, come negli acceleratori lineari per radioterapia con cui è possibile ottenere raggi X di energia molto elevata, necessari per raggiungere e curare tumori situati in profondità all'interno del corpo.

L'emissione di radiazione da parte di un apparecchio radiogeno, avviene unicamente quando si agisce su un apposito comando e cessa non appena tale azione viene interrotta.



A questo punto l'apparecchio ha un contenuto di rischio paragonabile a quello di un elettrodomestico.

Le applicazioni in diagnostica con raggi X, sono fondate sul fatto che le radiazioni sono assorbite in maniera selettiva secondo la composizione e la densità della materia che attraversano.



L'intensità del fascio viene modulata in base alla morfologia degli organi interni del paziente, e produce sulla pellicola un'immagine con un annerimento maggiore o minore in relazione al tipo di tessuto attraversato.

I rischi connessi con questo tipo di applicazioni sono dovuti alla sola irradiazione esterna e, in primo luogo, dall'esposizione al fascio primario, vale a dire al fascio di radiazione emesso dall'apparecchio nella direzione del paziente sottoposto all'esame. Durante il funzionamento si producono anche delle esposizioni di minore entità, di cui tuttavia è necessario tenere conto: la radiazione diffusa dal paziente o dagli oggetti investiti dal fascio primario e la radiazione di fuga trasmessa in piccola parte dall'involucro dell'apparecchio in ogni direzione. L'intensità di queste radiazioni, è circa mille volte inferiore a quella del fascio primario, e può essere pensata come la penombra che si produce al di fuori del cono di luce di una lampada da tavolo in un ambiente poco illuminato. La diagnostica con radiotraccianti è fondata sulla proprietà degli organi e dei tessuti di metabolizzare in maniera selettiva alcune sostanze chimiche.



Se queste sostanze sono "marcate" con un loro isotopo cioè con un tracciante radioattivo che ha le loro stesse proprietà chimiche, lo studio della concentrazione

di queste sostanze nei tessuti, per mezzo di opportuni rivelatori delle radiazioni emesse dai traccianti, permette di ricavare delle importanti informazioni cliniche di tipo morfologico e funzionale sugli organi interessati.

Le applicazioni di radioterapia sono fondate sulla capacità delle radiazioni di danneggiare i sistemi biologici.



Naturalmente i tessuti tumorali devono essere irradiati in maniera selettiva.

In alcuni casi tuttavia, questa efficacia prevale nei confronti dei tessuti tumorali rispetto ai tessuti sani, questi ultimi infatti hanno una più spiccata capacità di riparare il danno prodotto dalle radiazioni e questo si traduce in un ulteriore vantaggio terapeutico.

EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

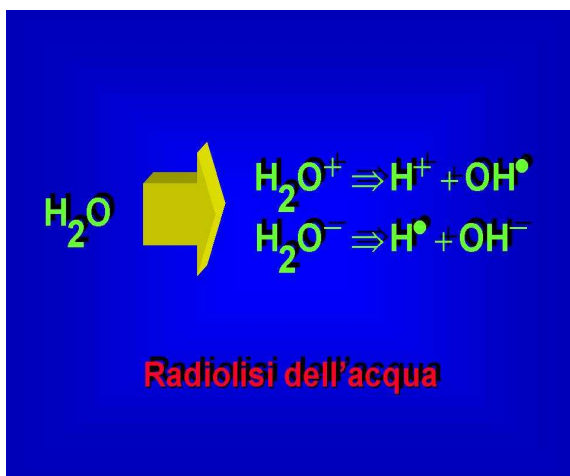
Il danno biologico indotto dalle radiazioni ionizzanti viene prodotto su scala cellulare ed è misurato dalla “dose”.



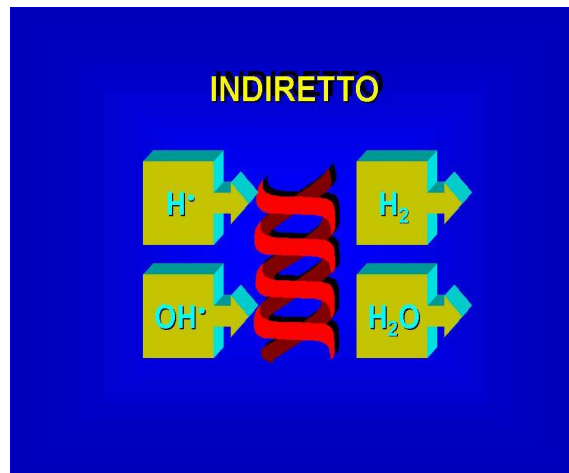
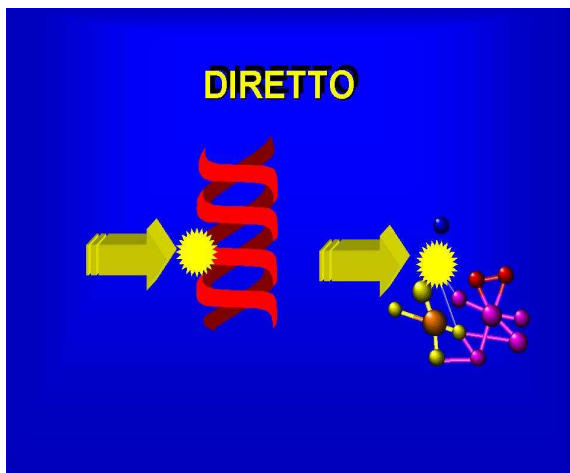
Le particelle cariche trasferiscono la loro energia al tessuto biologico producendo ionizzazioni ed eccitazioni, le radiazioni elettromagnetiche prive di carica come i raggi X e gamma, possono interagire con gli atomi di cui sono costituite le cellule e trasferire energia ad elettroni che, a loro volta, possono provocare eccitazione e ionizzazione nella materia circostante.



Dato che la maggior parte del corpo umano è costituito di acqua, molte di queste interazioni avverranno con molecole di acqua e il trasferimento di energia potrà provocare la divisione di queste molecole e l'induzione di radicali liberi, vale a dire specie molecolari chimicamente molto reattive. Questo fenomeno viene chiamato "radiolisi".



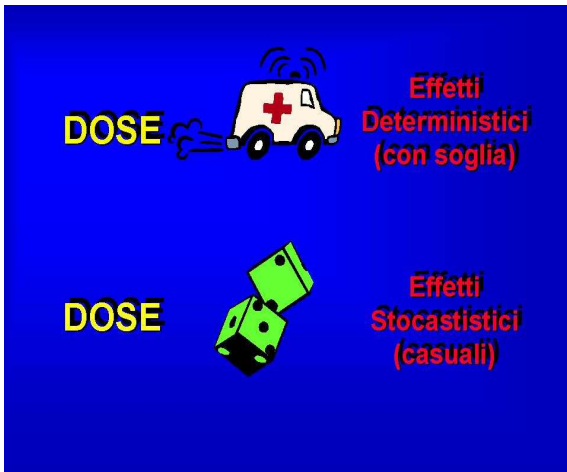
In questo modo, per effetto delle radiazioni, importanti strutture biologiche della cellula possono essere alterate in via diretta, per ionizzazione o eccitazione, oppure indirettamente per azione chimica dei radicali liberi.



A basse dosi, il danno prodotto dalle radiazioni può essere facilmente riparato dalle cellule e questo è dimostrato dal fatto che la sopravvivenza cellulare aumenta se la dose assorbita è frazionata nel tempo. Se il danno non viene riparato, questo può impedire alla cellula di riprodursi, oppure dar luogo ad una cellula modificata.

La sensibilità degli organi e dei tessuti degli individui esposti alle radiazioni presenta un'estrema variabilità, maggiore per le gonadi e gli organi ematopoietici, minore per la pelle, le ossa e il tessuto nervoso. Molti organi o tessuti non sono danneggiati dalla perdita di un piccolo numero di cellule in conseguenza dell'esposizione alle radiazioni. Solo se questo numero è piuttosto grande sarà possibile osservare un effetto dannoso sotto forma di perdita di funzionalità di quell'organo o tessuto. La probabilità di comparsa del danno, sarà trascurabile a piccole dosi e aumenterà rapidamente sopra un certo valore di soglia per il quale diventerà certa la manifestazione del danno.

Effetti di questo tipo, come l'eritema cutaneo, la leucopenia, l'opacità del cristallino o altri di maggiore gravità, sono chiamati deterministici e si verificano solo a dosi elevate. La severità clinica del danno aumenterà con la dose assorbita.



Se la cellula viene modificata, invece che inattivata e se risultano inefficaci i meccanismi di riparazione, dopo un tempo di latenza variabile fino a molti anni è possibile che il gruppo di cellule formate dalla riproduzione della cellula modificata dia origine ad una manifestazione di tipo neoplastico. Questi effetti vengono chiamati stocastici, cioè casuali.

Viene adottata l'ipotesi cautelativa secondo la quale, almeno per valori di soglia inferiori alla comparsa di effetti deterministici, la probabilità che le radiazioni producano effetti stocastici (casuali), aumenti in maniera proporzionale alla dose assorbita. In questo caso la gravità clinica del danno non sarà in relazione con la dose assorbita.



Se il danno si produce in una cellula germinale, possono manifestarsi effetti di tipo e gravità diversi nella progenie dell'individuo irradiato. Effetti stocastici di questo tipo vengono chiamati ereditari.

GENERALITÀ' SULLA PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Obiettivo della protezione dalle radiazioni è di fornire un livello di sicurezza adeguato nelle attività che comportano il rischio di esposizione, senza per questo limitare in maniera ingiustificata i benefici che derivano da queste attività.



Conseguire questo obiettivo significa prevenire ed escludere gli effetti deterministici, limitando le dosi al di sotto dei valori di soglia previsti e garantire inoltre che siano state intraprese tutte le possibili e ragionevoli iniziative per ridurre quanto più possibile l'induzione di effetti stocastici.

Sono definite "pratiche" le attività che aumentano il livello di esposizione alle radiazioni, sia introducendo nuove sorgenti, sia modificando la rete di percorsi tra le sorgenti e l'uomo, con il risultato di aumentare il livello di esposizione o il numero di individui esposti.

Sono definiti "interventi" le attività rivolte alla diminuzione delle esposizioni esistenti, eliminando le sorgenti, modificando i percorsi e riducendo il livello di esposizione o il numero degli individui esposti.

Le esposizioni alle radiazioni per ragioni professionali sono riconducibili all'uso intenzionale di sorgenti di radiazioni sul posto di lavoro. Queste esposizioni possono essere divise in due categorie: esposizioni effettive ed esposizioni potenziali.

Le prime sono quelle che si prevede ragionevolmente di dover subire durante l'attività lavorativa, cioè quelle che derivano sia da operazioni pianificate sia da imprevisti di lieve entità.

Le esposizioni potenziali sono definite come quelle esposizioni non volute per le quali c'è la probabilità ma non la certezza di verificarsi. Questi eventi possono essere ipotizzati e può essere stimata la loro probabilità di manifestarsi, ma non possono essere previsti con certezza. Anche la valutazione della gravità e della frequenza di quest'ultimo tipo di

esposizioni fa parte dell'insieme di interventi rivolto alla protezione dalle pratiche.

Il sistema di protezione radiologica è basato sui due seguenti principi generali.

Principio di giustificazione: non deve essere adottata alcuna pratica che comporti esposizione alle radiazioni salvo che essa produca agli individui esposti o alla società, un beneficio sufficiente a bilanciare il detrimento causato dalle radiazioni. E' evidente che nelle attuali applicazioni mediche con radiazioni questo principio è pienamente soddisfatto.

Principio di ottimizzazione: in relazione a ciascuna delle sorgenti di radiazioni all'interno di una pratica, la grandezza delle dosi individuali, il numero delle persone esposte e la probabilità di subire esposizioni, nel caso in cui esse non siano certe, dovrebbero essere ridotti quanto più ragionevolmente possibile, tenuto conto di fattori economici e sociali.

Questo si traduce in un insieme di interventi rivolti all'organizzazione dell'ambiente di lavoro, anche in fase di progetto, con l'obiettivo di raggiungere l'assetto più favorevole che può essere raggiunto in quella situazione. Quando il livello di protezione raggiunto con questi interventi è stato ottimizzato, il rischio residuo può essere affrontato con adeguate norme operative, come la definizione di tempi di permanenza nelle aree a rischio o l'uso di strumenti di protezione individuale. Questi ultimi dovrebbero essere presi in considerazione solo quando non sia possibile ridurre o eliminare in altro modo l'esposizione alle radiazioni. Anche allora deve essere valutata la possibilità che l'uso di strumenti protettivi individuali possa portare ad una ridotta efficienza lavorativa

e ad un aumento conseguente del tempo di esposizione alle radiazioni o a rischi di natura diversa.

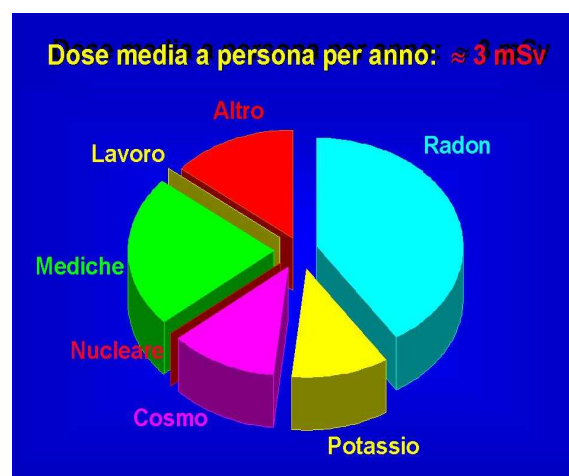
Per evitare la disparità che potrebbe derivare da un processo di ottimizzazione limitato soltanto dalla valutazione di fattori economici e sociali, l'esposizione degli individui, derivante dalla somma di tutte le pratiche, è soggetta a limiti di dose. I limiti di dose non devono essere intesi come una garanzia contro l'insorgenza degli effetti deterministici, che in ogni caso non devono avere ricadute sugli individui coinvolti nelle pratiche ma, in relazione agli effetti stocastici, come valori di separazione tra il campo di ciò che viene considerato accettabile e quello che viene considerato inaccettabile, allo stesso modo in cui avviene per la valutazione di altre attività a rischio.



In questo senso il dato dosimetrico ambientale o individuale permette di individuare delle condizioni di lavoro a basso rischio, tollerabili oppure intollerabili e che richiedono perciò degli interventi.

Spesso non è facile dare una stima significativa del rischio da radiazioni

infatti, nella maggior parte dei casi le dosi a cui sono esposti gli individui sono confrontabili con il valore del fondo di radiazione dovuto principalmente, sia ai raggi cosmici provenienti dallo spazio ed al radon, un gas radioattivo contenuto in piccolissime quantità nel terreno e nei materiali da costruzione, sia alle esposizioni da noi subite come pazienti durante esami e cure mediche.



Per questa ragione, gli eventuali effetti dovuti all'esposizione a bassi livelli di radiazioni non sono distinguibili dall'incidenza spontanea degli stessi effetti, riscontrabili per cause naturali nella popolazione.

Infatti, poiché il tasso medio di mortalità spontanea per tumore è di circa il 20 %, questo significa che in un gruppo di 100000 individui non esposti, circa 20000 probabilmente moriranno per questa causa. Se questi fossero esposti alle dosi di 1 mSv, il numero di morti probabilmente sarebbe di 20008, cioè 8 in più del numero atteso, pari allo 0.04%. Tuttavia questo piccolissimo aumento non potrà essere osservato a causa delle notevoli fluttuazioni del tasso medio di mortalità spontanea.

Un altro modo di visualizzare il rischio in modo intuitivo è quello di quantificarlo come numero di giorni di vita “persi” e confrontarlo con differenti situazioni o attività che fanno parte della vita normale, considerate rischiose:

Attività rischiosa	Giorni di vita “persi”
Fumare 20 sigarette al giorno	2160
Obesità	720
Alcool	360
Incidenti	214
Esposizioni lavorative (10 mSv per anno)	51
Esposizioni lavorative (1 mSv per anno)	5

È possibile anche effettuare un simile confronto con delle attività lavorative considerate rischiose:

Attività rischiosa	Giorni di vita “persi”
Industria	60
Agricoltura	320
Edilizia	227
Esposizioni lavorative (10 mSv per anno)	51
Esposizioni lavorative (1 mSv per anno)	5

E' bene notare che, mentre le esposizioni professionali alle radiazioni raggiungono molto raramente i 10 mSv per anno e nella maggior parte dei casi sono comprese tra 1 e 3 mSv, la dose assorbita

da un paziente durante un esame radiologico è compresa tra 1 e 50 mSv secondo il tipo di esame, ma può raggiungere in alcuni casi anche centinaia di mSv come in radiologia interventistica.

INTERVENTI OPERATIVI DI RADIOPROTEZIONE

Per ridurre l'irradiazione esterna è possibile intervenire su questi fattori: le schermature, il tempo e la distanza.

Schermature.

L'esposizione alle radiazioni diminuisce notevolmente quando la sorgente è posta dietro ad un materiale denso o pesante, per questo motivo le sorgenti radioattive quando non vengono usate, sono conservate in contenitori schermati. Maggiore è lo spessore del materiale, minore sarà la quantità di radiazione che riesce ad oltrepassare la schermatura.



Maggiore è l'energia delle radiazioni, maggiore sarà la loro capacità di penetrare e attraversare la materia. L'energia si misura in elettronvolt (eV) e con i suoi multipli: kiloelettronvolt (keV) pari a 1000 eV e Megaelettronvolt (MeV) pari a 1000000 di eV.

Per schermare quasi completamente radiazioni di energia pari a qualche decina di keV sono sufficienti alcuni centimetri di muratura o pochi decimi di millimetro di piombo.

Per schermare quasi completamente radiazioni di energia pari a qualche MeV

può essere necessario l'impiego di barriere in muratura di cemento superiori al metro oppure spessori di alcuni centimetri di piombo.

Durante l'uso sistematico di sorgenti o apparecchiature radiologiche, l'operatore deve proteggersi dietro barriere piombate o pareti in muratura, oppure, qualora ciò non sia possibile, deve indossare indumenti protettivi come grembiuli, occhiali o guanti in materiale piombifero, in modo che queste schermature riducano l'esposizione alle radiazioni.

Tempo.

L'esposizione alle radiazioni è proporzionale al tempo. Ciò significa che per ridurre l'esposizione occorre rimanere il minor tempo possibile in presenza della sorgente di radiazione. Questo si realizza con l'acquisizione di una buona manualità durante delle simulazioni "in bianco", in pratica delle prove eseguite in assenza delle sorgenti radioattive, oppure nelle applicazioni di radioscopia, limitando il tempo di erogazione dell'apparecchio radiologico al minimo necessario.

Distanza.

L'esposizione alle radiazioni diminuisce fortemente con l'aumentare della distanza dalla sorgente. Ad esempio, raddoppiare la distanza, significa ridurre l'esposizione di quattro volte. Perciò, compatibilmente con le operazioni da svolgere, è opportuno che l'operatore si trovi alla maggiore distanza possibile dalle sorgenti di radiazione.

In molti casi questo è possibile con l'uso di telecomandi posti sufficientemente lontani dalle apparecchiature, oppure con l'uso di telemanipolatori nel caso della preparazione di sorgenti radioattive.

La protezione dall'irradiazione interna, cioè dall'ingestione o dall'inalazione di

sostanze radioattive, si realizza essenzialmente cercando di impedire la trasmissione di queste tra ambienti diversi e dall'ambiente all'uomo.

Le sorgenti non sigillate devono essere conservate in appositi contenitori a tenuta che devono essere manipolati solo dopo aver indossato indumenti protettivi monouso, come guanti o camici, per evitare la contaminazione degli abiti e delle estremità e allontanare così il rischio di ingestione. Le operazioni che possono sviluppare vapori o gas da sostanze radioattive debbono essere eseguite sotto cappa aspirante dotata di filtro assoluto per ridurre il rischio di inalazione. Le superfici su cui si opera devono essere facilmente lavabili e non porose, inoltre i materiali che possono essere venuti a contatto con sostanze radioattive devono essere allontanati come rifiuto radioattivo.



La presenza del rischio da radiazione deve essere segnalata con cartelli, etichette ed avvisatori acustici o luminosi. Il simbolo generico di rischio di irradiazione è il cosiddetto "trifoglio". A questo simbolo viene in genere associata una voce esplicativa che evidenzia il tipo di rischio, di irradiazione, di contaminazione o,

entrambi, oppure la tipologia e la classificazione del locale contrassegnato.

I contenitori di sorgenti radioattive devono essere contrassegnati dall'apposito simbolo di materiale radioattivo con l'indicazione del tipo di radioisotopo e della sua attività.

In alcune zone, come le sale radiologiche o le camere calde dei servizi di medicina nucleare, sono installati degli avvisatori ottici, che lampeggiando segnalano la presenza di radiazioni nella sala. Nelle sezioni di Radioterapia sono previste, oltre alle segnalazioni grafiche e luminose, dei dispositivi di interblocco che impediscono l'accesso alle sale durante l'applicazione in corso.

NORMATIVA DI SICUREZZA SULLE RADIAZIONI IONIZZANTI

In generale, qualunque attività in cui viene fatto uso delle radiazioni ionizzanti per scopi pacifici è regolata dal Decreto Legislativo del 17 marzo 1995, n°230 come modificato e integrato dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241 in attuazione della direttiva Euratom 96/29.

In particolare, L'art. 61 del D.Lgs. 230/95, obbliga i datori di lavoro, i dirigenti e i preposti a rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione, in relazione alle mansioni cui essi sono addetti, dei rischi specifici cui sono esposti, delle norme di protezione sanitaria, delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne di sicurezza. I datori di lavoro inoltre devono garantire la tutela dei lavoratori, sia per mezzo della Sorveglianza Medica effettuata da Medici Autorizzati, sia per mezzo della Sorveglianza Fisica individuale e ambientale effettuata da Esperti Qualificati. Entrambe queste figure professionali sono abilitate e riconosciute dall'Autorità Centrale.

La Sorveglianza Medica è l'insieme delle visite mediche, delle indagini specialistiche e di laboratorio, dei provvedimenti e delle disposizioni sanitarie adottate dal Medico Autorizzato al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti.

La Sorveglianza Fisica è l'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'Esperto Qualificato al fine

di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione.

L'art. 68 dello stesso D.Lgs., stabilisce a sua volta una serie di obblighi per i lavoratori, i quali devono:

- a) osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro o dai suoi incaricati, ai fini della protezione individuale e collettiva e della sicurezza, secondo le mansioni alle quali sono addetti;
- b) usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
- c) segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza;
- d) non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi, e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;
- e) non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;
- f) notificare obbligatoriamente al datore di lavoro, nel caso di personale femminile, il proprio stato di gravidanza non appena accertato.

I lavoratori che svolgono, per più datori di lavoro, attività che li esponano al rischio di radiazioni ionizzanti, devono rendere edotto ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri, ai fini di quanto previsto al precedente articolo 66.

Analoga dichiarazione deve essere resa per eventuali attività pregresse.

I lavoratori esterni sono tenuti ad esibire il libretto personale di radioprotezione all'esercente le zone controllate prima di effettuare le prestazioni per le quali sono stati chiamati.

Per valutare i rischi che derivano dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti vengono usate diverse grandezze: la dose assorbita, la dose equivalente e la dose efficace.

La *dose assorbita* è semplicemente una misura dell'energia ceduta dalle radiazioni ionizzanti alla materia. L'unità di misura della dose assorbita è il Gray (Gy), che rappresenta l'assorbimento di 1 Joule di energia per chilogrammo di materia. Questa grandezza può essere usata per stimare il rischio di insorgenza di effetti deterministici.

A ciascun tipo di radiazione corrisponde una differente capacità di produrre danno biologico, a parità di dose assorbita. Perciò la *dose equivalente*, definita come il prodotto tra la dose assorbita ed un fattore peso specifico per tipo di radiazione, permette di valutare su una scala comune il rischio di insorgenza di effetti deterministici, in maniera indipendente dal tipo di radiazione.

Infine la *dose efficace*, in relazione agli effetti stocastici, tenendo conto della diversa radiosensibilità di organi e tessuti attraverso degli specifici fattori peso, permette di effettuare delle stime di rischio relative ad esposizioni a basse dosi di radiazioni, inferiori alla soglia di insorgenza degli effetti deterministici, e perciò viene usata per valutazioni di radioprotezione. L'unità di misura di questa grandezza è il Sievert (Sv).

In relazione alla diversa radiosensibilità degli organi, vengono definite esposizione globale e parziale, rispettivamente, l'esposizione omogenea del corpo intero o di una parte dell'organismo. In relazione alle modalità di irradiazione vengono definite esposizione esterna, interna e totale, rispettivamente, l'esposizione prodotta da sorgenti situate all'esterno dell'organismo, l'esposizione prodotta da sorgenti situate all'interno dell'organismo e la somma dell'esposizione interna ed esterna.

Nello stesso D.Lgs. n° 230/95 come modificato e integrato dal D.Lgs. 26 maggio 2000, n. 241, vengono date alcune definizioni relative alla classificazione degli ambienti di lavoro e dei lavoratori. Queste definizioni sono particolarmente importanti, poiché identificano dei luoghi di lavoro e dei gruppi di lavoratori sottoposti ad adempimenti, oppure a restrizioni a causa del rischio di esposizione.

Sono classificati lavoratori esposti i soggetti che, in ragione dell'attività lavorativa svolta per il datore di lavoro sono suscettibili in un anno solare, di un'esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico, vale a dire: 1 mSv di dose efficace; 15 mSv di dose equivalente per il cristallino; 50 mSv di dose equivalente per la pelle calcolato in media su 1 cm² di pelle indipendentemente dalla superficie esposta. Sono considerati lavoratori non esposti i soggetti che, in ragione dell'attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, sono sottoposti ad un'esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

Sono classificati in Categoria A i lavoratori esposti che, in un anno solare, sono suscettibili di un'esposizione superiore ad uno dei seguenti valori:

6 mSv per esposizione globale, oppure i tre decimi di uno qualsiasi dei limiti di dose fissati per i lavoratori esposti per esposizione parziale.

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

Il limite di dose efficace per i lavoratori esposti è stabilito in 20 mSv per anno solare. Devono altresì essere rispettati, in un anno solare, i seguenti limiti di dose equivalente per i lavoratori esposti: 150 mSv per il cristallino, 500 mSv per la pelle, 500 mSv per le estremità.

Nel computo delle dosi da confrontare con i limiti ammessi non deve essere considerato il contributo dovuto al fondo naturale di radiazione e ad esami o cure mediche.

Le donne gestanti non possono svolgere attività in zone classificate o comunque attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda 1 mSv durante il periodo della gravidanza. Inoltre i minori di anni 18 non possono essere adibiti alle mansioni proprie dei lavoratori esposti alle radiazioni ionizzanti

E' classificato Zona Controllata, un ambiente di lavoro in cui sussista il rischio di superamento del livello di dose previsto per la classificazione dei lavoratori in Categoria A e in cui l'accesso è segnalato e regolamentato per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti.

E' classificato Zona Sorvegliata un ambiente di lavoro che non è Zona Controllata e in cui può essere superato in

un anno uno dei limiti fissati per le persone del pubblico.

Il dato dosimetrico permette di individuare delle condizioni di lavoro intollerabili, accettabili, oppure a basso rischio. Questo è il significato attribuito ai valori di dose relativi alla classificazione delle aree a rischio e del personale esposto. La classificazione come lavoratore esposto in Categoria A perciò non è una specie di premio o riconoscimento che viene fatto al personale, ma significa semplicemente ammettere, da parte di chi è preposto alla protezione, radiazioni, che non c'è altro modo per ridurre ulteriormente il detrimento dovuto all'esposizione e che i soli accorgimenti possibili per continuare a considerare tollerabile una pratica sono quelli di adottare delle restrizioni per gli individui coinvolti e aumentare il livello di sorveglianza sanitaria.

La novità più importante introdotta dal D. Lgs. 230/95, nella parte modificata poi dal D.Lgs. 187/00 in attuazione della Direttiva Euratom 97/43, riguarda la protezione dei pazienti sottoposti ad esami e cure mediche con radiazioni ionizzanti, in considerazione del fatto che questi trattamenti costituiscono la principale fonte di esposizione della popolazione a sorgenti di radiazioni artificiali. Il decreto dispone che:

- il titolare dell'impianto radiologico deve attuare adeguati programmi di garanzia della qualità, di valutazione della dose o dell'attività somministrata ai pazienti;
- Le pratiche di nuovo tipo devono essere preventivamente giustificate, in relazione al bilancio rischio beneficio che deriva per l'individuo e la

collettività, in conseguenza delle radiazioni;

- le pratiche esistenti devono essere periodicamente rivalutate alla luce delle nuove conoscenze acquisite e dell'evoluzione tecnologica;
- si deve tenere conto dell'efficacia, dei vantaggi e dei rischi di tecniche alternative disponibili che si propongono lo stesso obiettivo, ma non comportano esposizione alle radiazioni ionizzanti;
- devono essere attuate procedure particolari per le pazienti durante la gravidanza e l'allattamento;
- Devono essere adottate procedure di giustificazione e vincoli di dose per

coloro che assistono e confortano persone sottoposte ad esposizioni mediche;

- per l'attuazione di questo programma le figure di riferimento sono il Medico Specialista e l'Esperto in Fisica Medica.

Riferimenti:

“1990 Recommendations of the international Commission on Radiological Protection” Annals of the ICRP, ICRP Publication 60, 1991.

“Safety Standards” Safety Series N° 115 IAEA 1996.

“Protection from Potential Exposure: a Conceptual Framework” Annals of the ICRP, ICRP Publication 64, 1993.

“General Principles for the Radiation Protection of Workers” Annals of the ICRP, ICRP Publication 75, 1997.

“Protection from Potential Exposures: Application to selected Radiation Sources” Annals of the ICRP, ICRP Publication 76, 1997.

“Catalogue of Risks Extended and Updates” Health Physics 61, 1991

D.Lgs. 230/95 “Attuazione delle Direttive Euratom in materia di radiazioni ionizzanti”.

D.Lgs. 241/00 “Attuazione della Direttiva Euratom 96/29 in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti”.

D.Lgs. 187/00 “Attuazione della Direttiva Euratom 97/43 in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche”.

INDICE

		pag.
	Premessa	
1	Generalità sulle radiazioni	3
2	Radiazioni ionizzanti	4
3	Radiazioni ionizzanti in campo medico	5
3.1	Sorgenti radioattive	
3.2	Macchine radiogene	
4	Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti	9
5	Generalità sulla protezione dalle radiazioni ionizzanti	11
6	Interventi operativi di radioprotezione	14
6.1	Schermature	
6.2	Tempo	
6.3	Distanza	
7	Normativa di sicurezza sulle radiazioni ionizzanti	16