



Regione Lombardia

Sanità



**LA RADIOPROTEZIONE NELLE ATTIVITÀ
SANITARIE:
MANUALE INFORMATIVO
AD USO DEI LAVORATORI**



Alla redazione del presente manuale informativo hanno contribuito:

Anna Anversa⁽¹⁾, Luisa Biazzì⁽²⁾, Roberto Brambilla⁽³⁾, Cristina Canzi⁽³⁾, Stefano De Crescenzo⁽¹⁾, Giuseppe Eulisse⁽³⁾, Daniele Fantinato⁽⁴⁾, Roberta Matheoud⁽³⁾, Guido Pedrolì⁽⁵⁾, Gabriella Raimondi⁽³⁾, Maurizio Rozza⁽³⁾, Anna Maria Segalini⁽⁶⁾, Franco Voltini⁽³⁾.

⁽¹⁾*Direzione Generale Sanità - U.O. Prevenzione - Regione Lombardia*

⁽²⁾*Università di Pavia*

⁽³⁾*I.R.C.C.S Ospedale Maggiore Milano*

⁽⁴⁾*I.R.C.C.S. Fondazione Salvatore Maugeri Pavia*

⁽⁵⁾*A.O. Niguarda Ca' Granda Milano*

⁽⁶⁾*Libero professionista*

PRESENTAZIONE

Nel quadro dell'attuazione del "Progetto Obiettivo Prevenzione e sicurezza nei luoghi di lavoro in Lombardia, 1998-2000", di cui alla deliberazione del Consiglio Regionale n. VI/0848 dell'8 aprile 1998, e in sintonia con la realizzazione del progetto speciale "La prevenzione del rischio nel comparto Sanità", la Unità Organizzativa Prevenzione della Direzione Generale Sanità della Regione Lombardia ha predisposto anche la realizzazione di una serie di iniziative per la prevenzione dei rischi professionali da esposizione alle radiazioni ionizzanti. Si tratta certamente di un fattore di rischio tra i più conosciuti e meglio affrontati dalla normativa di protezione in ambito occupazionale; infatti gli attuali sistemi e procedure di limitazione delle dosi riescono ad ottenere, se correttamente applicati, la sostanziale protezione della stragrande maggioranza dei lavoratori, anche se permane ovviamente il rischio incidentale e/o di eventi anomali ed in proposito deve essere adottato ogni utile strumento di prevenzione.

A livello regionale sono state realizzate o avviate in questi anni diverse iniziative in materia di radioprotezione dei lavoratori: si ricordano l'altro le seguenti:

- la definizione di linee guida per la classificazione di radioprotezione dei dipendenti pubblici del comparto Sanità esposti a rischio derivante da radiazioni ionizzanti, approvate con la circolare regionale 15/SAN del 18/4/94 ed aggiornate alla fine del 1995 in relazione all'entrata in vigore del D. Lgs. 230/95 il 1/1/1996;
- l'emanazione della circolare regionale n. 4/SAN del 24 gennaio 2001, a seguito della entrata in vigore del D. Lgs. 241/2000, che ha modificato e integrato il D. Lgs. 230/95 recependo la direttiva 96/29/Euratom, introducendo tra l'altro diverse novità nel Capo VIII, riguardante la protezione sanitaria dei lavoratori;
- sono in fase di avanzata elaborazione le informazioni ricevute in questi mesi da una trentina di strutture sanitarie pubbliche e private riguardo ai lavoratori esposti, ai relativi dati dosimetrici ed alla classificazione di radioprotezione: tali informazioni saranno la base per la formulazione di una linea guida regionale relativa all'applicazione del principio di ottimizzazione alle attività sanitarie comportanti il rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti, in ottemperanza a quanto prescritto dall'art. 2 del citato D. Lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni.

Certamente la formazione ed informazione del personale esposto a rischio da radiazioni ionizzanti rappresenta un elemento importante per conseguire l'obiettivo della tutela della salute dei lavoratori in questo campo e si è pertanto progettata la realizzazione di un'iniziativa specifica in materia; in questo contesto si è inserita la proposta, avanzata nell'autunno scorso da un gruppo di fisici dell'Associazione Nazionale Professionale Esperti Qualificati in radioprotezione (ANPEQ – Gruppo Regionale Lombardia), di un manuale informativo specificamente dedicato ai lavoratori esposti che operano nelle strutture sanitarie.

La proposta è stata accolta ed il manuale, rielaborato al fine di renderlo maggiormente coerente con gli obiettivi regionali, è stato sottoposto anche all'esame della Commissione di esperti per l'applicazione del D. Lgs. 230/95 istituita presso la U.O. Prevenzione.

Si ritiene che questo manuale informativo rappresenti un utile strumento per dare concreta applicazione agli obblighi di informazione dei lavoratori, previsti, oltre che dal D. Lgs. 626/94 sul piano generale, in maniera specifica dall'art. 61, comma 3, lettera e) del D. Lgs. 230/95; lo si mette a disposizione prima di tutto dei Direttori Generali delle Aziende Sanitarie lombarde ma anche dei datori di lavoro di tutte le strutture sanitarie pubbliche e private della Lombardia, con l'auspicio che possa essere ampiamente utilizzato nell'ambito dell'attuazione degli adempimenti mirati alla prevenzione dei rischi da esposizione professionale alle radiazioni ionizzanti.

L'Assessore regionale alla Sanità

Carlo Borsani

Milano, ottobre 2001

INDICE

1. Introduzione	6
1.1. Le origini storiche e tecnologiche della radioprotezione	6
1.2. Le radiazioni di origine naturale	8
1.3. L'interazione delle radiazioni con i tessuti	9
1.3.1. Gli effetti delle radiazioni sulle cellule	10
1.3.2. Gli effetti delle radiazioni sull'organismo	10
1.4. I principi della radioprotezione	14
1.5. La normativa nazionale di radioprotezione	15
1.5.1. Criteri di classificazione dei lavoratori e delle zone	17
1.5.2. Sorveglianza fisica	19
1.5.3. Sorveglianza medica	20
1.5.4. La protezione sanitaria della popolazione	21
1.6. Glossario	22
2. Le apparecchiature radiologiche	26
2.1. Generalità	26
2.2. Generalità sui meccanismi di formazione dell'immagine radiografica	27
3. Principi generali di radioprotezione operativa nelle attività comportanti l'utilizzo di apparecchiature radiologiche	29
3.1. Fonti di rischio in attività radiologica	29
3.1.1. Fascio primario	29
3.1.2. Radiazione diffusa	29
3.1.3. Radiazione di fuga	30
3.2. Rischio da irradiazione esterna	30
3.3. Il rischio radiologico nelle attività comportanti l'impiego di apparecchiature radiologiche	32
3.3.1. Il rischio in attività radiologica tradizionale	32
3.3.2. Fonti di rischio in fluoroscopia	33
3.3.3. Rischio radiologico nelle procedure speciali	33
3.4. Esempi di tecniche di radioprotezione per la riduzione della dose agli operatori	33
4. La radiologia tradizionale	34
4.1. Principali apparecchiature e accessori utilizzati in radiologia tradizionale	34
4.2. Misure di prevenzione e protezione	35
5. La mammografia	37
5.1. Generalità	37
5.2. Misure di prevenzione e protezione	37
6. La tomografia computerizzata	38
6.1. Generalità	38
6.2. Misure di prevenzione e protezione	39

7. La radioscopia e la radiologia interventistica	41
7.1. Generalità	41
7.2. Misure di prevenzione e protezione.	41
8. La radiologia dentale	44
8.1. Generalità	44
8.2. L'ortopantomografia	44
8.3. La radiologia dentale	44
8.4. Misure di prevenzione e protezione	45
9. La mineralometria ossea computerizzata	46
9.1. Generalità	46
9.2. Misure di prevenzione e protezione.	46
10. La radioterapia	47
10.1. Generalità	47
10.1.1. Teleradioterapia	47
10.1.2. Brachiterapia	48
10.2. Misure di prevenzione e protezione.	49
10.2.1. Teleradioterapia	49
10.2.2. Brachiterapia	49
11. Radioprotezione nelle attività che comportano l'utilizzo di sostanze radioattive non sigillate	51
11.1. Generalità	51
11.2. Rischio di irradiazione esterna	51
11.3. Valutazione del rischio per irradiazione esterna	53
11.4. Rischio di irradiazione interna	54
11.5. Valutazione del rischio per irradiazione interna in attività diagnostica	54
11.5.1. Incorporazione per inalazione	54
11.5.2. Incorporazione per ingestione	54
11.6. Valutazione del rischio per irradiazione interna in attività terapeutica	55
12. La radioimmunologia (R.I.A.)	56
12.1. Generalità	56
12.2. Misure di prevenzione e protezione.	56
12.3. Rifiuti radioattivi	57
13. Medicina nucleare	58
13.1. Introduzione	58
13.2. Misure di prevenzione e protezione	59
13.3. Rifiuti radioattivi	60
14. Il ciclotrone	62
14.1. Generalità	62
14.2. Misure di prevenzione e protezione.	62
15. La tomografia ad emissione di positroni.	64
16. La terapia radiometabolica	66
16.1. Generalità	66

16.2. Misure di prevenzione e protezione	66
16.3. Rifiuti radioattivi	67
16.3.1. Rifiuti solidi	67
16.3.2. Rifiuti liquidi	68
17. Irradiazione dei preparati biologici.	69
17.1. Generalità	69
17.2. Misure di prevenzione e protezione.	69
18. Norme di radioprotezione	70
18.1. Appendice 1 - Unità di Misura.	70
18.2. Appendice 2 - Norme di radioprotezione in radiodiagnostica.	72

1. INTRODUZIONE

1.1. Le origini storiche e tecnologiche della radioprotezione.

L'8 novembre 1895 Wilhelm Conrad Röntgen, professore di fisica all'Università di Wurzburg, stava studiando le caratteristiche dei raggi prodotti all'interno di un tubo nel quale era stato prodotto il vuoto e generata un'alta differenza di potenziale tra due elettrodi in esso contenuti. Questi raggi, chiamati *raggi catodici*, avevano origine in prossimità dell'elettrodo *catodo* ed erano diretti verso l'elettrodo *anodo*. Röntgen studiava, in particolare, la luminescenza indotta dal fascio di raggi catodici sul vetro del tubo.

A un certo punto decise di "oscurare" questa luminescenza ricoprendo il tubo con un mantello sottile di cartone nero, in grado di impedire il passaggio dei raggi del sole o di una lampada ad arco; in queste condizioni notò una debole emissione luminosa provenire da un piccolo schermo fluorescente di carta spalmato di platinocianuro di bario, che si trovava casualmente a una certa distanza dal tubo.

La fluorescenza indotta sullo schermo durante il funzionamento del tubo persisteva anche allontanando lo schermo fluorescente o ponendo il tubo stesso in una cassetta di legno chiusa ermeticamente.

Tutto questo non trovava ragionevole spiegazione con il fenomeno dei raggi catodici, oggetto di studio da parte di numerosi fisici in quel periodo (J.J. Thomson dimostrò nel 1897 che i raggi catodici sono costituiti da cariche elettriche negative, in seguito chiamate *elettroni*).

Röntgen si accorse inoltre, con grande

emozione, che interponendo la propria mano tra il tubo e lo schermo fluorescente appariva su questo l'ombra delle proprie ossa!

A questo punto comprese che qualcosa di sconosciuto, avente origine nel tubo, era in grado di attraversare il cartone opaco, o la cassetta di legno, la propria mano e di giungere a produrre fluorescenza sullo schermo: aveva scoperto i **raggi X**, così chiamati da Röntgen proprio per sottolinearne la natura sconosciuta. Nel giro di poche settimane Röntgen fu in grado di studiare e di descrivere le più importanti caratteristiche dei raggi X, e in particolare:

- la loro capacità di impressionare lastre fotografiche;
- la loro capacità di produrre ionizzazione in aria o in altri gas;
- la loro capacità di attraversare, senza apprezzabile attenuazione, molti materiali a basso numero atomico e a bassa densità;
- il loro significativo assorbimento durante il passaggio attraverso materiali ad alto numero atomico e ad alta densità.

Il primo lavoro presentato da Röntgen, intitolato "Un nuovo tipo di raggi", riportava, oltre alle modalità di produzione e alle caratteristiche principali dei raggi X, anche l'immagine ormai famosa delle "ombre delle ossa della mano" della moglie.

Proprio il diverso grado di assorbimento dei raggi X in materiali a diverso numero atomico e a diversa densità è la caratteristica che viene sfruttata in radiologia clinica per "vedere" l'interno del corpo umano e, nell'industria e nella ricerca,

per esaminare peculiarità o difetti interni a manufatti in genere metallici.

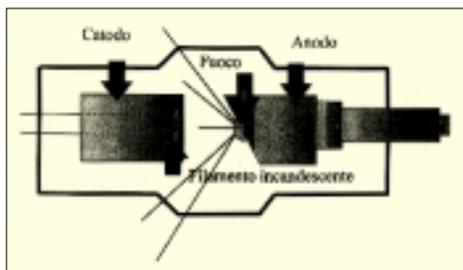
La scoperta dei raggi X diede al clinico medico, da alcuni decenni già in possesso dello *stetoscopio* (lo "strumento che guarda dentro il torace") scoperto da Laennec, un formidabile mezzo diagnostico in grado di indagare l'*invisibile*, attraverso un oggetto fluorescente chiamato *criptoscopio*, lo "strumento che osserva le cose nascoste".

Lo sviluppo delle tecniche radiologiche negli anni successivi fu impressionante anche grazie alla realizzazione nel 1912 da parte di Coolidge di un particolare tipo di tubo a raggi X, dello stesso tipo di quelli ancor oggi utilizzati, sia pure con importanti aggiornamenti tecnici.



W. Röntgen

Il tubo di Coolidge è schematicamente costituito da un'ampolla di vetro, nella quale è praticato il vuoto spinto e nella quale si trovano due elettrodi, un catodo e un anodo (o anticatodo), quest'ultimo costituito da un metallo ad alto numero atomico (ad esempio, tungsteno); nelle vicinanze del catodo si trova un filamento che, riscaldato, libera elettroni. Nella figura seguente è riportato uno schema di massima.



Schema di un tubo a raggi X

Gli elettroni liberati dal filamento riscaldato vengono attratti dall'anticatodo (che è l'elettrodo positivo): l'emissione dei raggi X è dovuta all'interazione degli elettroni (i raggi catodici studiati da Röntgen) con gli atomi dell'anticatodo.

All'epoca della realizzazione di Coolidge era già stata dimostrata da M. Von Laue la natura fisica dei raggi X: sono *onde elettromagnetiche*, fisicamente dello stesso tipo della luce visibile, caratterizzate da una diversa lunghezza d'onda, estremamente piccola (dell'ordine di 10^{-10} m).

Poche settimane dopo la scoperta dei raggi X da parte di Röntgen, il fisico francese Becquerel, ricercando una relazione tra i raggi X appena scoperti e i fenomeni di fluorescenza indotti su sali di uranio, scopriva il fenomeno della *radioattività naturale* e avviava il mondo scientifico dell'epoca alla scoperta della costituzione intima della materia.

Tra il 1898 e il 1902 Pierre Curie e la moglie Marie Sklodowska scoprirono altri elementi (tra i quali il radio) in grado di presentare il fenomeno della radioattività, dimostrando quindi che questo non è esclusivamente caratteristico dell'uranio.

Nel 1934 Irene Curie (figlia dei Curie) e il marito Frederic Joliot scoprirono il fenomeno della *radioattività artificiale*,



I coniugi Curie

cioè la possibilità di produrre artificialmente elementi radioattivi non presenti in natura e aprirono la strada alla scoperta di un grande numero di isotopi radioattivi artificiali (oggi sono centinaia gli isotopi radioattivi producibili artificialmente).

La possibilità successiva di marcare con isotopi radioattivi cellule, molecole o farmaci ha fornito ai ricercatori la possibilità di seguire il comportamento degli stessi all'interno del corpo umano, in particolare consentendo di rilevare, dall'esterno del corpo, la distribuzione della radioattività in un particolare organo (la cosiddetta scintigrafia) ovvero di eseguire indagini funzionali attraverso lo studio dell'accumulo e dell'eliminazione del composto in un organo o in un tessuto biologico.

Proprio lo stesso Becquerel, pochi anni

dopo la scoperta della radioattività naturale, doveva accorgersi che le radiazioni scoperte da lui e da Röntgen producono effetti sugli organismi viventi: nasceva quindi da una parte la **radioterapia**, una nuova disciplina della medicina basata sullo sfruttamento terapeutico degli effetti biologici delle radiazioni, dall'altra la **radioprotezione**, cioè la disciplina che tratta della protezione dalle radiazioni.

1.2. Le radiazioni di origine naturale

La scoperta dei raggi X, avvenuta solo un secolo fa, e la diffusa preoccupazione destata dagli effetti devastanti delle esplosioni nucleari prodotte durante l'ultima guerra mondiale hanno diffuso l'idea che le radiazioni ionizzanti fossero solo un prodotto dell'attività umana.

In realtà le radiazioni ionizzanti esistono da sempre sul nostro pianeta e la specie umana si è evoluta vivendo e riproducendosi in un campo di radiazioni naturali, chiamato *fondo naturale di radiazioni*.

Le radiazioni naturali hanno origine in parte dal sole e dallo spazio e in parte dalla crosta terrestre; inoltre isotopi radioattivi naturali sono normalmente presenti nel nostro organismo, come in tutti gli esseri viventi.

L'intensità del fondo naturale è molto variabile da luogo a luogo, è diversa all'aperto e dentro gli edifici; all'interno degli edifici può cambiare, spesso in modo significativo, in funzione di differenti materiali da costruzione e della presenza di radon, gas nobile radioattivo che emana dal suolo e, in assenza di ventilazione, tende a rimanere al suolo, essendo più pesante dell'aria.

In Tabella 1 sono mostrate le dosi me-

diamente assorbite, espresse in millisievert (mSv), da un individuo della popolazione a causa del fondo naturale di

radiazioni. Per la definizione di dose si rimanda al glossario al termine di questo capitolo.

Tabella 1 Dose efficace media assorbita da un individuo dovuta a fonti di irradiazione naturali presenti nell'ambiente. (fonte Health Physics, 58-3, 1990)

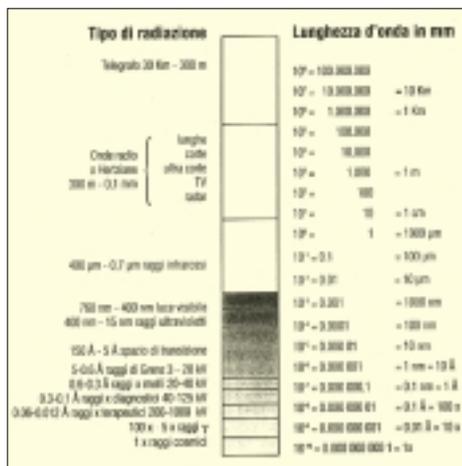
Fonte	mSv/anno
Raggi cosmici	0.355
Radionuclidi presenti in natura prodotti dalla radiazione cosmica	0.015
Radionuclidi primordiali	
Irradiazione esterna	0.41
⁴⁰ K	0.18
Famiglie radioattive (²³⁸ U e ²³² Th)	1.42 (*)
Totale	2.38

(*) valore estremamente variabile (dipende dal contributo dovuto alla inalazione di radon, gas radioattivo naturale emesso sia dal terreno sia dai materiali di costruzione degli edifici).

1.3. L'interazione delle radiazioni con i tessuti

I raggi X appartengono alla famiglia delle radiazioni elettromagnetiche, che comprende anche la luce visibile, l'infrarosso, l'ultravioletto e i raggi gamma provenienti da decadimenti radioattivi; il solo elemento discriminante tra queste radiazioni è la lunghezza d'onda o la frequenza (che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda).

I raggi X, (come anche le radiazioni elettromagnetiche provenienti dai decadimenti radioattivi) a differenza della luce visibile, dell'infrarosso e dell'ultravioletto, sono radiazioni ionizzanti, perché nel loro passaggio attraverso la materia producono ionizzazioni, cioè alterazioni della struttura elettronica degli atomi; quando questo avviene con gli organismi viventi (in particolare con l'uomo) possono prodursi danni biologici, a volte di estrema gravità.



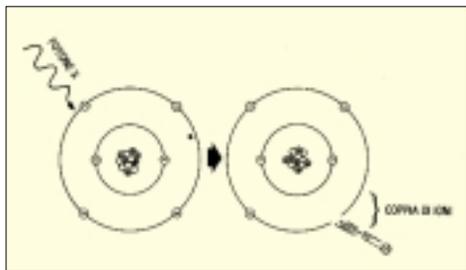
Spettro della radiazione elettromagnetica

Nel seguito vengono riportati i principali meccanismi biologici che comportano danno a seguito di esposizione alle radiazioni ionizzanti e descritti i vari tipi di danno.

1.3.1. Gli effetti delle radiazioni sulle cellule

Il passaggio di radiazioni ionizzanti in una cellula vivente può dare origine a una complessa catena di eventi poiché nella cellula stessa sono presenti molecole molto diverse, alcune molto semplici (l'acqua), altre molto complesse (il DNA).

In ogni caso, il primo evento è la ionizzazione primaria di un atomo o di una molecola della cellula.



Fenomeno della ionizzazione

La ionizzazione provoca la formazione di nuove entità chimiche, a volte molto reattive, come nel caso dei radicali liberi derivanti dalla ionizzazione dell'acqua; in questi casi possono avvenire reazioni chimiche capaci di modificare il contenuto della cellula stessa e quindi in grado di produrre un effetto biologico dipendente dalla natura del danno, dai componenti cellulari danneggiati e dalla specifica funzione della cellula interessata.

La cellula umana contiene 46 cromosomi, che possono essere schematizzati come catene di geni: le caratteristiche di ciascun individuo sono determinate da questi geni e dalla loro disposizione. Ogni cambiamento della struttura di un gene, cioè ogni mutazione, si trasmette alle cellule figlie, che hanno origine dalla cellula mutata.

Dopo un grande numero di replicazioni di cellule mutate può comparire un effetto macroscopico nell'organismo.

Se la mutazione interessa le cellule germinali dell'individuo, è possibile che da una di queste cellule abbia origine un embrione; in questo caso la mutazione avrà un effetto genetico, potendo comparire nell'individuo figlio e/o nei figli che da questo saranno generati.

1.3.2. Gli effetti delle radiazioni sull'organismo

Gli effetti delle radiazioni ionizzanti sull'organismo possono essere di due tipi: somatici e genetici.

Gli effetti somatici si riferiscono ai danni che si osservano nell'individuo esposto e si esauriscono con lui; gli effetti genetici sono riferiti alle conseguenze dei danni prodotti sulle cellule germinali e trasmessi ai discendenti; tali conseguenze si manifestano solo nelle generazioni future.

Gli effetti biologici, inoltre, possono essere suddivisi in "stocastici" e "deterministici".

Gli effetti stocastici sono di tipo probabilistico, ovvero la loro frequenza di comparsa, comunque molto piccola, è funzione della dose; non hanno gradualità di manifestazioni con la dose assorbita, cioè sono del tipo tutto - o - niente quale che sia la dose.

Gli effetti deterministici sono viceversa prevedibili, nel senso che è possibile predire se una persona irradiata con una data dose svilupperà questi effetti. Presentano un valore soglia di dose al di sopra del quale colpiscono tutti o quasi tutti gli irradiati e mostrano un aggravio di sintomi con l'aumentare della dose.

Possono manifestarsi entro qualche giorno o qualche settimana dall'irradiazione (effetti immediati) o dopo mesi o anni (effetti tardivi).

I valori soglia al di sopra dei quali compaiono effetti rilevabili clinicamente sono dell'ordine del sievert o anche più. Gli effetti somatici possono essere di tipo deterministico o stocastico.

Tra gli effetti somatici deterministici, oltre a quelli dovuti all'esposizione globale acuta di un individuo a dosi elevate, di cui viene riportato in Tabella 2 un quadro schematico e semplificato della sintomatologia in rapporto alla dose, rientrano:

- le radiodermiti, dal semplice eritema cutaneo immediato alla "radiodermite

del radiologo", che insorge dopo diversi anni di latenza, ma che non regredisce più, fino ad evolvere, potenzialmente, in epiteloma spinocellulare;

- le alterazioni ematologiche, essenzialmente rappresentate da manifestazioni di aplasia midollare, con riduzione del numero di granulociti, linfociti e piastrine, e da anemie;
- le alterazioni a carico dell'occhio, essenzialmente rappresentate dalla cataratta, che può insorgere, anche a distanza di diversi anni, a seguito dell'esposizione ad una dose unica di 5-8 sievert (Sv);
- danni agli organi genitali, quali la riduzione della fertilità o la sterilità per dosi superiori a 1 Sv.

Tabella 2 Sintomatologia a seguito di esposizione globale acuta di un individuo ad alte dosi

Settimane dopo l'esposizione	Dose (Sv)		
	1-3 (subletale)	4 (letale)	> 6 (sopraletale)
1	fase latente	nausea e vomito (1 giorno)	nausea e vomito, malessere, diarrea, febbre
2		depilazione, malessere generale	bocca e gola infiammate, ulcerazioni, deperimento, morte
3	perdita appetito, depilazione, infiammazione gola, emorragie	perdita appetito, emorragia, diarrea, febbre, deperimento, morte eventuale	
4	diarrea, guarigione		
Sopravvivenza	certa salvo complicazioni (2.5 Sv sono mortali nel 5% dei casi)	possibile nel 50% dei casi	impossibile

Gli effetti somatici stocastici sono quelli più importanti dal punto di vista radioprotezionistico in quanto, almeno in via teorica e come vedremo più avanti, si possono verificare anche per livelli di dose molto bassi; viceversa gli effetti deterministici si verificano solo per valori di dose elevati e sono quindi da escludere in attività ospedaliere comportanti l'impiego di radiazioni ionizzanti.

Gli effetti somatici stocastici sono rappresentati da lesioni neoplastiche, quali le leucemie e altre forme tumorali solide (cancro del polmone, tumore della mammella, carcinoma della tiroide, tumori dello scheletro, etc.). Tali effetti hanno tempi di latenza piuttosto lunghi: il tempo di latenza minimo varia da tre anni per le leucemie e i tumori ossei a dieci anni per gli altri tumori solidi.

Vanno inoltre considerati i danni embrionali e fetali: infatti, a seguito dell'azione delle radiazioni sul prodotto del concepimento, si possono osservare sia la morte fetale, sia alterazioni dello sviluppo con rischi di malformazioni. Nel primo mese di gravidanza dosi dell'ordine di 0.1 Sv ricevute dall'embrione possono provocare l'aborto. Dalla fine del primo mese fino al terzo si possono produrre diversi tipi di malformazione, mentre dalla fine del terzo mese si possono indurre effetti tardivi, a carattere probabilistico, manifestanti nei primi anni di vita del bambino. Tra i danni al feto è inoltre da citare il rischio di ritardo mentale grave a seguito di irradiazione nel periodo compreso tra l'ottava e la quindicesima settimana di gestazione e, con minor intensità, tra la sedicesima e la venticinquesima settimana; l'aborto e le malformazioni fetali sono effetti a carattere deterministico con un valore soglia di circa 50 mSv. Gli effetti ereditari, almeno a livello delle dosi conside-

rate a livello radioprotezionistico, sono di tipo stocastico. Essi sono dovuti a due componenti principali: le mutazioni geniche e le aberrazioni cromosomiche. Le mutazioni geniche si distinguono in dominanti e recessive in rapporto alle modalità di trasmissione. Anche le aberrazioni cromosomiche sono di due tipi: aberrazioni numeriche, in relazione alla presenza di cromosomi in più o in meno rispetto al numero caratteristico della specie; aberrazioni strutturali quando, pur mantenendosi questo numero invariato, i geni presenti su uno o più cromosomi sono in eccesso o in difetto rispetto alla norma. Vi sono infine molte condizioni di origine ereditaria aventi trasmissibilità irregolare; esse riguardano, per esempio, le predisposizioni a malattie particolari di grande rilevanza sociale, oppure condizioni non rilevabili nel singolo individuo, ma sulle popolazioni nel loro complesso (fertilità, durata della vita). Al fine di una valutazione più completa del rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti è inoltre utile aver presente, per confronto, i dati relativi all'esposizione degli individui della popolazione alla radiazione dovuta al fondo naturale contenuti in Tabella 1.

Per un più diretto confronto fra il rischio dovuto all'esposizione alle radiazioni ionizzanti ed il rischio dovuto ad altre attività lavorative, in Tabella 3 è mostrata la riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative, mentre in Tabella 4 è mostrata quella associata a varie cause di tipo non lavorativo. Per confronto viene indicata la riduzione media della durata di vita dovuta all'esposizione alle radiazioni ionizzanti valutata utilizzando i fattori di rischio indicati nella pubblicazione 60 della ICRP (International Commission on Radiological Protection) e considerando

che la perdita media di speranza vita, in caso di tumore, risulta rispettivamente, di 13.4 anni per un individuo della popolazione e di 12.7 anni per un lavoratore. Il confronto è effettuato per una esposi-

zione continua di 5 mSv/anno, ovvero l'esposizione massima che si riscontra normalmente nei lavoratori in ambiente sanitario, e di 1 mSv/anno, ovvero il limite di dose per le persone del pubblico.

Tabella 3 Riduzione media della durata di vita dovuta ad incidenti in diverse attività lavorative. (fonte Health Physics, 61-3, 1991)

Attività lavorativa	Riduzione media della durata di vita (giorni)
Commercio	27
Industria manifatturiera	40
Servizi	27
Trasporti	160
Agricoltura	320
Costruzioni	227
Valore medio	60
Esposizione alle radiazioni (5 mSv/anno)	40

Tabella 4 Riduzione media della durata di vita associata a varie cause di tipo non lavorativo. (fonte Health Physics, 36-6, 1979 e 61-3, 1991)

Causa	Riduzione media della durata di vita (giorni)
Abuso di alcool	4000
Essere celibe, vedovo o divorziato	3500
Fumo (1 pacchetto di sigarette/giorno)	2250
Essere nubile, vedova o divorziata	1600
Essere sovrappeso (+ 20%)	1040
Incidenti con veicoli a motore	207
Alcool	130
Incidenti in casa	74
Fumo passivo	50
Esposizione lavorativa alle radiazioni (5 mSv/anno)	40
Cadute	28
Esposizione alle radiazioni di individui della popolazione (1 mSv/anno)	18
Esami RX-diagnostici	6
Caffè	6

1.4. I principi della radioprotezione.

Scopo della radioprotezione è la prevenzione *totale* degli effetti dannosi non stocastici (che, come detto in precedenza, avvengono sopra una determinata soglia di dose) e la limitazione a livelli considerati *accettabili* della probabilità di accadimento degli effetti stocastici.

La prevenzione degli effetti deterministici si ottiene fissando limiti di equivalente di dose individuale a valori sufficientemente bassi, tali che nessuna dose soglia venga mai raggiunta. La limitazione degli effetti stocastici si ottiene con il "sistema di limitazione delle dosi", che si propone di contenerli ai livelli più bassi ragionevolmente ottenibili.

La radioprotezione si fonda su tre principi:

– primo principio, detto di **giustificazione**: nessuna attività umana che esponga alle radiazioni deve essere accolta o seguita, a meno che la sua

introduzione o prosecuzione produca un beneficio netto e dimostrabile;

– secondo principio, detto di **ottimizzazione**: ogni esposizione umana alle radiazioni deve essere tenuta tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile, facendo luogo a considerazioni economiche e sociali (principio ALARA, dalle iniziali della frase inglese: "tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile");

– terzo principio, detto di **limitazione delle dosi individuali**: l'equivalente di dose ai singoli individui non deve superare determinati limiti appropriatamente sicuri, stabiliti per le varie circostanze.

Nella tabella 5 è riportato, sia pure in maniera schematica e incompleta, il corso storico della radioprotezione dagli albori a oggi.

Tabella 5: Alcune date importanti nella storia della radioprotezione.

Periodo	Evento
1915	Prime raccomandazioni per la protezione dei lavoratori emanate dalla British Röntgen Society
Anni venti	Definizione della <i>dose di tolleranza</i> , uguale per lavoratori e popolazione, pari a 1 R/settimana al corpo intero, cioè 50 R/anno.
1925	I Congresso internazionale di Radiologia a Londra e costituzione dell'ICRU (Commissione Internazionale per le unità di misura)
1928	II Congresso internazionale di Radiologia a Stoccolma e costituzione dell'ICRP (Commissione internazionale per la radioprotezione)
1931	Il <i>röntgen</i> (R) è adottato come unità di misura della dose da esposizione al fine di "misurare" i raggi X
1934-1935	In Italia sono promulgati il Testo Unico delle leggi sanitarie e il relativo regolamento di attuazione; viene disciplinato l'esercizio della radiologia
Anni quaranta	Definizione di <i>dose genetica</i> intesa come dose media alle gonadi tra gli individui in età fertile. Detta dose è posta che sia "dose di tolleranza"
1941	Il Comitato USA per la radioprotezione raccomanda per il Radio il "deposito corporeo massimo di 0.1 μCi "

Periodo	Evento
Anni cinquanta	Ipotesi di linearità nella relazione dose/effetto stocastico, caduta del concetto di dose di tolleranza, ricerca di una dose a basso rischio biologico
1952	Le malattie professionali da Radio, raggi X e sostanze radioattive sono incluse, in Italia, nella tabella delle lavorazioni per cui è obbligatoria l'assicurazione contro gli infortuni e le malattie professionali
1953	Il <i>rad</i> è adottato come unità di misura della dose assorbita
1956	È introdotto in Italia per decreto l'obbligo delle visite mediche preventive e periodiche sui lavoratori addetti a mansioni che implicano l'uso del Radio, dei raggi X e delle sostanze radioattive.
1956-1959	L'ICRP definisce le dosi massime ammissibili al corpo intero per i lavoratori (5 rem/anno) e per gli individui della popolazione (0,5 rem/anno), la dose genetica media per gli individui di una vasta popolazione (5 rem in 30 anni), e propugna la lotta a ogni rischio indebito
1958	È obbligatoria in Italia l'assicurazione dei medici contro le malattie e le lesioni da raggi X e da sostanze radioattive
1959	La Comunità Europea emana proprie direttive di radioprotezione
1960	L'ICRP raccomanda di porre in atto ogni sforzo inteso a ridurre le esposizioni nei limiti più ristretti possibili
1964	L'Italia ha la normativa di radioprotezione (il DPR n. 185)
1965	Principio ALARA (as low as reasonably achievable): le dosi siano mantenute tanto basse quanto è ragionevolmente ottenibile, facendo luogo a considerazioni economiche e sociali
1965-1969	Sono promulgate leggi italiane sulla professione del <i>tecnico sanitario di radiologia medica</i>
1969	Il DPR n. 128 sancisce l'obbligo di istituire in taluni ospedali un Servizio di Fisica Sanitaria
1977	La ICRP raccomanda un nuovo sistema di limitazione delle dosi
1995	L'Italia ha una nuova <i>normativa di radioprotezione</i> , in attuazione di varie direttive Euratom (il D.Lgs. n. 230)
2000	Viene modificato e integrato il D.Lgs. 230/95 recependo le Direttive Euratom 96/29 e 97/43

1.5. La normativa nazionale di radioprotezione

In Italia esiste un regime giuridico dell'impiego pacifico dell'energia nucleare, nel quale rientra quindi, come caso particolare, la detenzione e l'impiego di macchine generatrici di raggi X o la detenzione e l'impiego di sorgenti radioattive artificiali a scopi diagnostici o terapeutici.

Il testo fondamentale in materia di protezione sanitaria contro il rischio derivante dall'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti è il *Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230*; questo, al fine di recepire la direttiva Euratom 96/29, è stato modificato e integrato dal D. Lgs. 26 maggio 2000, n. 241, e dal D. Lgs. 9 maggio 2001, n. 257.

Per quanto riguarda in particolare la radioprotezione del paziente, la normativa di riferimento è attualmente rappresentata dal D. Lgs. 26 maggio 2000, n. 187, con il quale è stata recepita la direttiva Euratom 97/43. L'obiettivo fondamentale del D. Lgs. 230/95 può essere riassunto dall'art. 2 che recepisce le raccomandazioni internazionali emanate dall'I.C.R.P. 60 del 1991 (International Commission on Radiological Protection) e di cui di seguito vengono riportati i passi più rilevanti:

1. *Nuovi tipi o nuove categorie di pratiche che comportano un'esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere giustificati, anteriormente alla loro prima adozione o approvazione, dai loro vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare.*
2. *I tipi o le categorie di pratiche esistenti sono sottoposti a verifica per quanto concerne gli aspetti di giustificazione ogniqualvolta emergano nuove ed importanti prove della loro efficacia e delle loro conseguenze.*
3. *Qualsiasi pratica deve essere svolta in modo da mantenere l'esposizione al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali.*
4. *La somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti di dose stabiliti per i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e gli individui della popolazione.*

Nel seguito, salvo diversa indicazione, si farà quindi riferimento al citato Decreto Legislativo n. 230/95, del quale si riporta l'indice.

In appendice è anche riportato un glossario dei termini, delle grandezze e delle unità di misura più comunemente utilizzati in radioprotezione.

Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230 "Attuazione delle direttive Euratom 89/618, 90/641, 92/3 e 96/29 in materia di radiazioni ionizzanti".

Sommario

Capo I: Campo di applicazione. Principi generali di protezione dalle radiazioni ionizzanti.

Capo II: Definizioni.

Capo III: Organi.

Capo III bis: Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni

Capo IV: Lavorazioni minerarie.

Capo V: Regime giuridico per importazione, produzione, commercio, trasporto e detenzione.

Capo VI: Regime autorizzativo per le installazioni e particolari disposizioni per i rifiuti radioattivi.

Capo VII: Impianti.

Capo VIII: Protezione sanitaria dei lavoratori.

Capo IX: Protezione sanitaria della popolazione.

Capo X: Stato di emergenza nucleare.

Capo XI: Norme penali.

Capo XII: Disposizioni transitorie e finali.

Allegato I: Determinazione delle condizioni di applicazione delle disposizioni per le materie radioattive e per le macchine radiogene.

Allegato I bis: Condizioni per l'applicazione del Capo III bis

Allegato II: Spedizioni, importazioni ed esportazioni di rifiuti radioattivi.

Allegato III: Determinazione, ai sensi dell'art. 82, delle modalità e dei criteri per l'adozione della sorveglianza fisica nonché dei criteri e delle modalità per la classificazione dei lavoratori, degli apprendisti e degli studenti, nonché delle aree di lavoro.

Allegato IV: Determinazione, ai sensi dell'art. 96, dei limiti di dose per i lavoratori, per gli apprendisti, gli studenti e le persone del pubblico gli individui della popolazione, nonché dei criteri di computo e di utilizzazione delle grandezze radioprotezionistiche connesse.

Allegato V: Determinazione, ai sensi degli artt. 78 e 88, delle modalità, titoli di studio, accertamento delle capacità tecnico professionali per l'iscrizione negli elenchi degli esperti qualificati e dei medici autorizzati. Istituzione degli elenchi degli esperti qualificati e dei medici autorizzati e determinazione ai sensi degli articoli 77 e 88 delle modalità, titoli di studio, accertamento della capacità tecnico-professionale per l'iscrizione.

Allegato VI: Determinazione, ai sensi dell'art. 74, delle modalità e dei livelli di esposizione professionale di emergenza.

Allegato VII: Determinazione, ai sensi dell'articolo 18, delle modalità della notifica delle pratiche di importazione e di produzione, a fini commerciali, di materie radioattive, di prodotti, apparecchiature e dispositivi in genere contenenti dette materie, nonché delle esenzioni da tale obbligo; determinazione, ai sensi dell'articolo 18-bis delle disposizioni procedurali per il rilascio dell'autorizzazione per l'aggiunta intenzionale di materie radioattive nella produzione e manifattura di beni di consumo e per l'importazione o l'esportazione di tali beni di consumo; determinazione delle modalità di notifica delle pratiche di cui al comma 1 dell'articolo 22 e dei valori di attività e dei valori di concentrazione di attività per unità di massa di cui alle lettere a) e b) del comma 2 dello stesso articolo; determinazione, ai sensi dell'articolo 19 delle modalità di attuazione dell'obbligo di informativa relativo alle materie radioattive

immesse in commercio, nonché delle esenzioni da tale obbligo.

Allegato VIII: Determinazione dei criteri e delle modalità per il conferimento della qualifica di sorgente di tipo riconosciuto, ai sensi dell'articolo 26.

Allegato IX: Determinazione, ai sensi dell'articolo 27, comma 2, delle condizioni per la classificazione in Categoria A ed in Categoria B dell'impiego delle sorgenti di radiazioni, delle condizioni per l'esenzione dal nulla osta e delle modalità per il rilascio e la revoca del nullaosta.

Allegato X: Determinazione, ai sensi dell'articolo 31, delle disposizioni procedurali per il rilascio dell'autorizzazione all'attività di raccolta di rifiuti radioattivi provenienti da terzi e delle esenzioni da tale autorizzazione.

Allegato XI: Determinazione ai sensi dell'art. 62, comma 3, dell'art. 81, comma 6 e dell'art. 91, comma 5, delle modalità di tenuta della documentazione relativa alla sorveglianza fisica e medica della protezione dalle radiazioni ionizzanti e del libretto personale di radioprotezione per i lavoratori esterni.

Allegato XII: Determinazione, ai sensi dell'art. 115 comma 2, dei livelli di intervento nel caso di emergenze radiologiche e nucleari.

1.5.1. Criteri di classificazione dei lavoratori e delle zone

Secondo il D. Lgs. 230/95 si definisce lavoratore esposto chiunque sia suscettibile, durante l'attività lavorativa, di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore a uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

I lavoratori che non sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore a detti limiti sono da classificarsi lavoratori non esposti.

I lavoratori esposti, a loro volta, sono classificati in *categoria A* e *categoria B*. I lavoratori esposti sono classificati in *categoria A* se sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, a uno dei seguenti valori:

- 6 mSv di dose efficace;
- i tre decimi di uno qualsiasi dei limiti di dose equivalente per il cristallino (150 mSv in un anno solare), per pelle, mani, avambracci, piedi e caviglie (500 mSv in un anno solare).

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

Nella tabella seguente sono riportati i limiti di dose in funzione della classificazione.

	Lavoratori esposti	Lavoratori non esposti
Dose efficace	20 mSv/anno	1 mSv/anno
Dose equivalente cristallino	150 mSv/anno	15 mSv/anno
Dose equivalente pelle e estremità	500 mSv	50 mSv

Il sistema di limitazione delle dosi individuali rappresenta un mezzo per garantire che il lavoro che si espone ai rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti possa essere ricompreso tra i "lavori comunemente ritenuti sicuri" (utile al proposito il raffronto con i dati contenuti nella tabella 3).

Per quanto riguarda la *classificazione degli ambienti di lavoro*, la normativa prescrive al datore di lavoro di classificare e segnalare gli ambienti in cui è presente il rischio di esposizione alle radiazioni ionizzanti e regolamentarne l'accesso.

In particolare, viene definita *zona controllata* un ambiente di lavoro in cui sussistono per i lavoratori in essa operanti le

condizioni per la classificazione di lavoratori esposti di *categoria A*.

Viene definita *zona sorvegliata* un ambiente di lavoro in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata.

A integrazione di quanto sopra indicato, si segnalano alcuni aspetti della normativa citata di particolare rilevanza:

1. l'accertamento delle condizioni che portino alla classificazione dei lavoratori è di *competenza esclusiva* dell'esperto qualificato; al datore di lavoro compete, ovviamente, solo la definizione delle attività che i lavoratori devono svolgere;
 2. il criterio di classificazione non viene più associato al tipo, al luogo, ai tempi, all'abitudine o all'occasionalità ed alle modalità di svolgimento del lavoro, ma resta legato al *rischio effettivo* di ricevere dosi superiori a limiti prefissati, in considerazione del rischio di irradiazione esterna e contaminazione interna e anche in considerazione di esposizioni potenziali conseguenti a eventi anomali e malfunzionamenti che siano suscettibili di aumentare le dosi dei singoli derivanti dalla normale attività lavorativa programmata. Quanto sopra comporta, per esempio, che la presenza di operatori in zone classificate non determini automaticamente la classificazione dei lavoratori stessi come lavoratori esposti.
- In altre parole, esemplificando, all'interno di una zona controllata è possibile avere lavoratori classificati esposti di *categoria A* e/o lavoratori classificati esposti di *categoria B* e/o lavoratori classificati non esposti, a seconda dell'entità del rischio radiologico associato all'attività lavorativa.

3. Un'attenzione particolare viene dedicata dalla normativa agli apprendisti e studenti.
4. Un'attenzione particolare viene altresì dedicata dalla normativa anche alla tutela della lavoratrice gravida e del neonato: viene infatti prescritto che, ferma restando l'applicazione delle norme speciali concernenti la tutela delle lavoratrici madri, 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. È inoltre vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.
5. I principali casi di non applicazione della citata normativa possono essere riassunti come segue:
 - a) esposizione di pazienti nell'ambito di un esame diagnostico o di una terapia che li concerne;
 - b) esposizione di persone che coscientemente e volontariamente collaborano a titolo non professionale al sostegno e all'assistenza di pazienti sottoposti a terapia o a diagnosi medica;
 - c) esposizione di volontari che prendono parte a programmi di ricerca medica o biomedica, essendo tale esposizione disciplinata da altro provvedimento legislativo.
6. Il D.Lgs. 241/00 ha introdotto, tra l'altro, al Capo III bis la tutela dei lavoratori nei confronti della esposizione derivante da attività con particolari sorgenti naturali di radiazioni che non può essere trascurata dal punto di vista della radioprotezione.

Le attività lavorative considerate sono:

- quelle che si svolgono in tunnel, sottovie, catacombe, grotte e in tutti i luoghi di lavoro sotterranei, oppure in superficie in zone ben individuate, in relazione alla possibile esposizione a radon e a radiazioni gamma;
- quelle che implicano l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi naturali, o che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi naturali;
- quelle in stabilimenti termali o quelle connesse ad attività estrattive non disciplinate dal Capo IV;
- quelle su aerei, con riferimento al personale navigante.

Sono previsti una serie di obblighi per gli esercenti le attività di cui sopra, i quali devono provvedere, a seconda dei casi, a misurazioni di radon e/o a valutazioni di esposizione nei luoghi di lavoro; in caso di superamento dei livelli di azione fissati nell'Allegato 1 bis, gli esercenti devono adottare azioni di rimedio entro tempi definiti. Qualora tali azioni di rimedio risultino inefficaci, l'esercente adotta i provvedimenti previsti dal Capo VIII.

1.5.2. Sorveglianza fisica

Il Capo VIII del D.Lgs. 230/95 (*Protezione sanitaria dei lavoratori*) prevede che i datori di lavoro, esercenti attività comportanti la classificazione degli ambienti di lavoro in una o più zone controllate o sorvegliate oppure la classificazione degli addetti interessati come lavoratori esposti, assicurino la sorveglianza fisica per mezzo di *esperti qualificati* iscritti in elenchi nominativi presso l'Ispettorato medico centrale del lavoro.

Tra le attribuzioni specifiche dell'esperto qualificato si ricordano (art. 79 del D. Lgs. 230/95):

- a) redazione della relazione contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione inerenti le attività esponenti a rischio al fine di integrare il documento di cui all'art. 4 del Decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626 (la normativa sulla prevenzione e sicurezza nei luoghi di lavoro) per gli aspetti concernenti i rischi da radiazioni ionizzanti e la collaborazione con il *Servizio di prevenzione e protezione dell'azienda* (art. 80 comma 3, D. Lgs. 230/95);
- b) fornire indicazioni al datore di lavoro affinché gli ambienti di lavoro in cui sussista un rischio da radiazioni *ven-gano individuati, delimitati, segnalati, classificati in zone e che l'accesso ad essi sia adeguatamente regolamentato*;
- c) fornire indicazioni al datore di lavoro affinché i lavoratori interessati siano classificati ai fini della radioprotezione;
- d) fornire indicazioni al datore di lavoro per *predisporre norme interne di protezione e di sicurezza, consultabili nei luoghi frequentati dai lavoratori, in particolare nelle zone controllate*;
- e) fornire indicazioni al datore di lavoro perché siano forniti ai lavoratori, ove necessario, i *mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione*;
- f) fornire indicazioni al datore di lavoro al fine di *rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione*;
- g) effettuare l'esame e la verifica delle attrezzature, dei dispositivi e degli strumenti di protezione e in particolare:
 - procedere *all'esame preventivo* e ri-

lasciare il *relativo benessere*, dal punto di vista della sorveglianza fisica, dei progetti di installazione che comportano rischi di esposizione, nonché delle modifiche alle installazioni implicanti rilevanti trasformazioni delle condizioni, dell'uso o della tipologia delle sorgenti;

- effettuare la *prima verifica*, dal punto di vista della sorveglianza fisica, di nuove installazioni e delle eventuali modifiche apportate alle stesse;
 - eseguire la *verifica periodica* dell'efficacia dei dispositivi e delle tecniche di radioprotezione;
 - effettuare la *verifica periodica* delle buone condizioni di funzionamento degli strumenti di misurazione;
- h) effettuare la *sorveglianza ambientale* di radioprotezione nelle zone controllate e sorvegliate;
 - i) procedere alla *valutazione delle dosi* in considerazione del rischio di irradiazione esterna e, ove pertinente, del rischio di contaminazione interna.

1.5.3. Sorveglianza medica

I datori di lavoro esercenti attività comportanti la classificazione degli addetti interessati come lavoratori esposti devono assicurare la *sorveglianza medica* per mezzo di *medici autorizzati*, iscritti in elenchi nominativi presso l'Ispettorato medico centrale del lavoro, nel caso di lavoratori esposti di *categoria A* e per mezzo di *medici autorizzati o medici competenti* (D. Lgs. 277/91) nel caso di lavoratori esposti di *categoria B* (art. 83 del D. Lgs. 230/95).

Il datore di lavoro deve inoltre provvedere a che:

- i lavoratori esposti siano tutti sottoposti a *visita medica preventiva* a cura del

medico addetto alla sorveglianza medica (medico autorizzato o medico competente, come già spiegato);

- i lavoratori esposti classificati in *categoria B* siano sottoposti a *visita medica periodica* almeno una volta all'anno a cura del medico autorizzato o del medico competente;
- i lavoratori esposti classificati in *categoria A* siano sottoposti a *visita medica periodica* almeno con periodicità semestrale a cura di un medico autorizzato.

Per quanto riguarda la *visita medica preventiva*, essa deve comprendere una anamnesi completa dalla quale risultino anche le eventuali esposizioni precedenti, dovute sia alle mansioni esercitate sia a esami e trattamenti medici, e un esame clinico generale completato da adeguate indagini specialistiche e di laboratorio per valutare lo stato generale di salute del lavoratore.

In base alle risultanze della visita medica preventiva il medico addetto alla sorveglianza medica comunica per iscritto al datore di lavoro la classificazione dei lavoratori come:

- idonei;
- idonei a determinate condizioni;
- non idonei (devono essere immediatamente allontanati dal lavoro comportante esposizione a radiazioni ionizzanti).

In base alle risultanze delle *visite mediche periodiche e straordinarie* il medico addetto alla sorveglianza medica della protezione può disporre anche la sorveglianza medica dopo la cessazione del lavoro che ha esposto i lavoratori alle radiazioni ionizzanti.

Particolarmente innovativo rispetto alla precedente normativa è poi l'obbligo, da parte del medico addetto alla sorveglianza medica, di illustrare al lavoratore il si-

gnificato delle dosi ricevute, delle introduzioni di radionuclidi, degli esami medici e radiotossicologici.

Tra le attribuzioni specifiche del medico addetto alla sorveglianza medica si ricordano i seguenti adempimenti (art. 83 del D. Lgs. 230/95):

- a) analisi dei rischi individuali connessi alla destinazione lavorativa e alle mansioni al fine della programmazione di indagini specialistiche e di laboratorio atte a valutare lo stato di salute del lavoratore, anche attraverso accessi diretti negli ambienti di lavoro;
- b) gestione dei documenti sanitari personali;
- c) prestazione di consulenza al datore di lavoro per la messa in atto di infrastrutture e procedure idonee a garantire la sorveglianza medica dei lavoratori esposti, sia in condizioni di lavoro normale che in caso di esposizioni accidentali o di emergenza.

1.5.4. La protezione sanitaria della popolazione

Il Capo IX del D. Lgs. 230/95 è relativo alla protezione sanitaria della popolazione. Di questo aspetto vengono qui riportati solo gli elementi fondamentali, in qualche modo connessi alle attività sanitarie.

Viene esplicitato il *divieto di utilizzare sorgenti di radiazioni ionizzanti sulle persone se non per scopi di diagnostica, di terapia o di ricerca*. Viene affermato che chiunque espliciti attività comportanti l'uso di sorgenti di radiazioni ionizzanti *deve evitare* che le persone del pubblico siano esposte al rischio di ricevere o impegnare dosi superiori ai limiti, anche a seguito di contaminazione di matrici ambientali.

In particolare viene sottolineato che, in

caso di contaminazione radioattiva non prevista o accidentale all'interno di una installazione o durante un'operazione di trasporto che comporti un rischio di significativo incremento del rischio di esposizione delle persone, l'esercente, ovvero il vettore autorizzato al trasporto, deve intraprendere le iniziative idonee ad evitare l'aggravamento del rischio.

Nei casi di maggiore gravità, cioè nel caso che l'evento comporti diffusione della contaminazione all'aria, all'acqua, al suolo e ad altre matrici, o comunque esposizione delle persone all'esterno del perimetro dell'installazione, l'esercente deve darne immediata comunicazione al Prefetto, ai Vigili del fuoco, agli organi del Servizio Sanitario Nazionale e all'ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente).

Sempre al fine di ridurre rischi di esposizione alle persone del pubblico, il D. Lgs. 230/95 prevede la necessità di adottare le misure necessarie affinché la gestione dei rifiuti radioattivi, ad esempio provenienti da un servizio di Medicina Nucleare ovvero da un laboratorio di ricerca scientifica, avvenga nel rispetto delle specifiche norme di buona tecnica e delle eventuali prescrizioni tecniche contenute nei provvedimenti autorizzativi.

1.6. Glossario

- **attività (A):** quoziente di dN diviso per dt, in cui dN è il numero atteso di transizioni nucleari spontanee di una determinata quantità di un radionuclide da uno stato particolare di energia in un momento determinato, nell'intervallo di tempo dt;
- **becquerel (Bq):** nome speciale dell'unità di attività (A); un becquerel equivale ad una transizione per secondo.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

I fattori di conversione da utilizzare quando l'attività è espressa in curie (Ci) sono i seguenti:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7027 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

- **contaminazione radioattiva:** contaminazione di una matrice, di una superficie, di un ambiente di vita o di lavoro o di un individuo, prodotta da sostanze radioattive. Nel caso particolare del corpo umano, la contaminazione radioattiva include tanto la contaminazione esterna quanto la contaminazione interna, per qualsiasi via essa si sia prodotta;
- **detrimento sanitario:** stima del rischio di riduzione della durata e della qualità della vita che si verifica in una popolazione a seguito dell'esposizione a radiazioni ionizzanti. Essa include la riduzione derivante da effetti somatici, cancro e gravi disfunzioni genetiche;
- **dose:** grandezza radioprotezionistica ottenuta moltiplicando la dose assorbita (D) per fattori di modifica determinati a norma dell'articolo 96, al fine di qualificare il significato della dose assorbita stessa per gli scopi della radioprotezione;
- **dose efficace (E):** somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti, ponderate nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione; l'unità di dose efficace è il sievert (Sv);
- **dose efficace impegnata (E(t)):** somma delle dosi equivalenti impegnate nei diversi organi o tessuti $H_T(t)$ risultanti dall'introduzione di uno o più radionuclidi, ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione del tessuto w_T ; la dose efficace impegnata $E(t)$ è definita da:

$$E(t) = \sum_T w_T \cdot H_T(t)$$
 dove t indica il numero di anni per i quali è effettuata l'integrazione; l'unità di dose efficace impegnata è il sievert;

- **dose impegnata:** dose ricevuta da un organo o da un tessuto, in un determinato periodo di tempo, in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi;
 - **dose equivalente (H_T):** dose assorbita media in un tessuto o organo T, ponderata in base al tipo e alla qualità della radiazione nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione; l'unità di dose equivalente è il sievert;
 - **dose equivalente impegnata:** integrale rispetto al tempo dell'intensità di dose equivalente in un tessuto o organo T che sarà ricevuta da un individuo, in quel tessuto o organo T, a seguito dell'introduzione di uno o più radionuclidi;
 - **emergenza:** una situazione che richiede azioni urgenti per proteggere lavoratori, individui della popolazione ovvero l'intera popolazione o parte di essa;
 - **esperto qualificato:** persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione. La sua qualificazione è riconosciuta secondo procedure stabilite;
 - **esposizione:** qualsiasi esposizione di persone a radiazioni ionizzanti. Si distinguono:
 - 1) **l'esposizione esterna:** esposizione prodotta da sorgenti situate all'esterno dell'organismo;
 - 2) **l'esposizione interna:** esposizione prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo;
 - 3) **l'esposizione totale:** combinazione dell'esposizione esterna e dell'esposizione interna;
 - **esposizione accidentale:** esposizione di singole persone a carattere fortuito e involontario;
 - **esposizione d'emergenza:** esposizione giustificata in condizioni particolari per soccorrere individui in pericolo, prevenire l'esposizione di un gran numero di persone o salvare un'installazione di valore e che può provocare il superamento di uno dei limiti di dose fissati per i lavoratori esposti;
 - **esposizione parziale:** esposizione che colpisce soprattutto una parte dell'organismo o uno o più organi o tessuti, oppure esposizione del corpo intero considerata non omogenea;
 - **esposizione potenziale:** esposizione che, pur non essendo certa, ha una probabilità di verificarsi prevedibile in anticipo;
 - **esposizione soggetta ad autorizzazione speciale:** esposizione che comporta il superamento di uno dei limiti di dose annuale fissati per i lavoratori esposti, ammessa in via eccezionale solo nei casi indicati nel decreto di cui all'articolo 82;
 - **fondo naturale di radiazioni:** insieme delle radiazioni ionizzanti provenienti da sorgenti naturali, sia terrestri che cosmiche, semprechè l'esposizione che ne risulta non sia accresciuta in modo significativo da attività umane;
 - **gray (Gy):** nome speciale dell'unità di dose assorbita

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$
- I fattori di conversione da utilizzare quando la dose assorbita è espressa in rad sono i seguenti:
- $$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$
- $$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

- **gruppi di riferimento (gruppi critici) della popolazione:** gruppi che comprendono persone la cui esposizione è ragionevolmente omogenea e rappresentativa di quella degli individui della popolazione maggiormente esposti, in relazione ad una determinata fonte di esposizione;
- **incidente:** evento imprevisto che provoca danni ad un'installazione o ne perturba il buon funzionamento e può comportare, per una o più persone, dosi superiori ai limiti;
- **intervento:** attività umana intesa a prevenire o diminuire l'esposizione degli individui alle radiazioni dalle sorgenti che non fanno parte di una pratica o che sono fuori controllo per effetto di un incidente, mediante azioni sulle sorgenti, sulle vie di esposizione e sugli individui stessi;
- **introduzione:** attività dei radionuclidi che penetrano nell'organismo provenienti dall'ambiente esterno;
- **lavoratore esterno:** lavoratore di categoria A che effettua prestazioni in una o più zone controllate di impianti, stabilimenti, laboratori, installazioni in genere gestiti da terzi in qualità sia di dipendente, anche con contratto a termine, di una impresa esterna, sia di lavoratore autonomo, sia di apprendista o studente;
- **lavoratori esposti:** persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a un'esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico. Sono lavoratori esposti di categoria A i lavoratori che, per il lavoro che svolgono, sono suscettibili di ricevere in un anno solare una dose superiore a uno dei pertinenti valori stabiliti con il decreto di cui all'articolo 82; gli altri lavoratori esposti sono classificati in categoria B;
- **limiti di dose:** limiti massimi fissati per le dosi derivanti dall'esposizione dei lavoratori, degli apprendisti, degli studenti e delle persone del pubblico alle radiazioni ionizzanti causate dalle attività disciplinate. I limiti di dose si applicano alla somma delle dosi ricevute per esposizione esterna nel periodo considerato e delle dosi impegnate derivanti dall'introduzione di radionuclidi nello stesso periodo;
- **livelli di allontanamento:** valori, espressi in termini di concentrazioni di attività o di attività totale, in relazione ai quali possono essere esentati dalle prescrizioni le sostanze radioattive o i materiali contenenti sostanze radioattive derivanti da pratiche soggette agli obblighi previsti dal decreto;
- **livello di intervento:** valore di dose oppure valore derivato, fissato al fine di predisporre interventi di radioprotezione;
- **materia radioattiva:** sostanza o insieme di sostanze radioattive contemporaneamente presenti. Sono fatte salve le particolari definizioni per le materie fissili speciali, le materie grezze, i minerali quali definiti dall'articolo 197 del trattato che istituisce la Comunità europea dell'energia atomica e cioè le materie fissili speciali, le materie grezze e i minerali nonché i combustibili nucleari;
- **matrice ambientale:** qualsiasi componente dell'ambiente, ivi compresi aria, acqua e suolo;
- **medico autorizzato:** medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite;

- **persone del pubblico:** individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti in ragione della loro attività e gli individui durante l'esposizione di cui all'articolo 3, comma 5;
- **popolazione nel suo insieme:** l'intera popolazione, ossia i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e le persone del pubblico;
- **pratica:** attività umana che è suscettibile di aumentare l'esposizione degli individui alle radiazioni provenienti da una sorgente artificiale, o da una sorgente naturale di radiazioni, nel caso in cui radionuclidi naturali siano trattati per le loro proprietà radioattive, fissili o fertili, o da quelle sorgenti naturali di radiazioni che divengono soggette a disposizioni ai sensi del capo III bis. Sono escluse le esposizioni dovute ad interventi di emergenza;
- **radiazioni ionizzanti o radiazioni:** trasferimento di energia in forma di particelle o onde elettromagnetiche con lunghezza di onda non superiore a 100 nm o con frequenza non minore di $3 \cdot 10^{15}$ Hz in grado di produrre ioni direttamente o indirettamente;
- **rifiuti radioattivi:** qualsiasi materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, di cui non è previsto il riciclo o la riutilizzazione;
- **servizio riconosciuto di dosimetria individuale:** struttura riconosciuta idonea alle rilevazioni delle letture dei dispositivi di sorveglianza dosimetrica individuale, o alla misurazione della radioattività nel corpo umano o nei campioni biologici. L'idoneità a svolgere tali funzioni è riconosciuta secondo procedure stabilite;
- **sievert (Sv):** nome speciale dell'unità di dose equivalente o di dose efficace. Se il prodotto dei fattori di modifica è uguale a 1:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$
 Quando la dose equivalente o la dose efficace sono espresse in rem valgono le seguenti relazioni:

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$
- **smaltimento:** collocazione dei rifiuti, secondo modalità idonee, in un deposito, o in un determinato sito, senza intenzione di recuperarli;
- **smaltimento nell'ambiente:** immissione pianificata di rifiuti radioattivi nell'ambiente in condizioni controllate, entro limiti autorizzati o stabiliti;
- **sorgente artificiale:** sorgente di radiazioni diversa dalla sorgente naturale di radiazioni;
- **sorgente di radiazioni:** apparecchio generatore di radiazioni ionizzanti (macchina radiogena) o materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, dei quali, ai fini della radioprotezione, non si può trascurare l'attività, o la concentrazione di radionuclidi o l'emissione di radiazioni;
- **sorgente naturale di radiazioni:** sorgente di radiazioni ionizzanti di origine naturale, sia terrestre che cosmica;
- **sorgente non sigillata:** qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata;
- **sorgente sigillata:** sorgente formata da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive, o sigillate in un involucro inattivo che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di ma-

terie radioattive superiore ai valori stabiliti - dalle norme di buona tecnica applicabili;

- **sorveglianza fisica:** 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;
- **sorveglianza medica:** l'insieme delle visite mediche, delle indagini specialistiche e di laboratorio, dei provvedimenti sanitari adottati dal medico, al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti;
- **sostanza radioattiva:** ogni specie chimica contenente uno o più radionuclidi di cui, ai fini della radioprotezione,

non si può trascurare l'attività o la concentrazione;

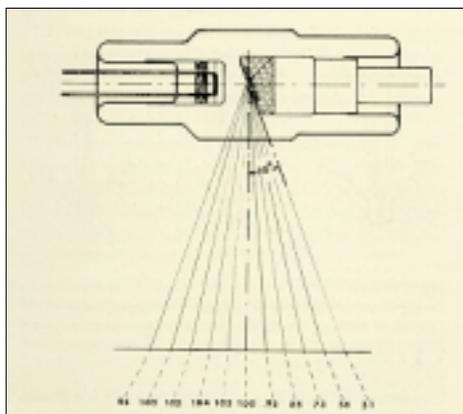
- **zona classificata:** ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti. Le zone classificate possono essere zone controllate o zone sorvegliate. È zona controllata un ambiente di lavoro, sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione dalle radiazioni ionizzanti, in cui si verificano le condizioni stabilite con il decreto di cui all'articolo 82 ed in cui l'accesso è segnalato e regolamentato. È zona sorvegliata un ambiente di lavoro in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata.

2. LE APPARECCHIATURE RADIOLOGICHE

2.1. Generalità

Vengono di seguito sinteticamente e semplicemente descritti i costituenti comuni delle apparecchiature radiologiche utilizzate in radiodiagnostica o in radioterapia con particolare riferimento a quegli aspetti più direttamente connessi alla radioprotezione degli operatori addetti al loro funzionamento.

- **Il tubo radiogeno:** consta di un'ampolla di vetro in cui è stato creato il vuoto e in cui sono collocati due elettrodi affacciati denominati catodo e anodo; un fascio di elettroni emessi dal catodo per effetto termoelettronico viene accelerato da una differenza di potenziale e colpisce un bersaglio metallico, l'anodo: questa interazione è causa dell'emissione dei raggi X e del riscaldamento del tubo.



Tubo radiogeno

- **La guaina o cuffia:** per evidenti esigenze pratiche ci si trova nella necessità di limitare l'emissione delle radiazioni ad un fascio utile, collimato ed orientato in una precisa direzione: a tale scopo i tubi radiogeni vengono sempre

impiegati in "contenitori" denominati "guaine" o "cuffie" che hanno lo scopo, unitamente al sistema costituito dai collimatori e dai diaframmi, di evitare la dispersione di radiazione X non utile all'effettuazione dell'esame o della terapia. Norme di buona tecnica definiscono la massima entità della radiazione di fuga dalla cuffia dipendentemente dalla tipologia di apparecchiatura.

- **Generatore di alta tensione:** si intende la combinazione di tutti gli elementi per il controllo e la produzione dell'energia elettrica necessaria all'alimentazione di un tubo radiogeno; comprende necessariamente un trasformatore di alta tensione e un sistema di controllo. Un tubo radiogeno utilizzato in una attività diagnostica, infatti, funziona con tensioni comprese tra circa 25 kVp e circa 150 kVp, mentre un tubo radiogeno utilizzato in terapia può arrivare a circa 300 kVp. La tecnologia mette a disposizione vari tipi di generatori (sistemi trifase, triesafase, dodecafase, a scarica di condensatore, ad alta frequenza).
- **Tavolo di comando:** è quel componente dell'impianto radiologico nel quale sono raggruppati tutti gli organi elettrici di regolazione e controllo dei dati di esposizione, gli eventuali dispositivi di sicurezza necessari alla protezione dei circuiti elettrici e del tubo da eventuali sovraccarichi e i dispositivi di comando dell'emissione raggi. I principali parametri impostabili dal tavolo di comando sono:
 - il valore dell'alta tensione (in kVp), che determina la qualità della radiazione emessa dal tubo radiogeno;
 - il valore della corrente del filamento (in mA) che determina, a parità

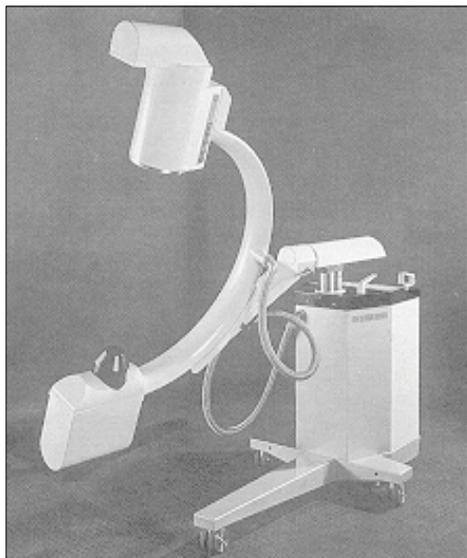
di kVp e di durata dell'esposizione, la quantità di fotoni X emessa dal tubo radiogeno;

– la durata dell'esposizione.

- **L'intensificatore di brillantezza (I.B.) e la catena televisiva:** alcuni materiali, interagendo con le radiazioni ionizzanti, presentano la proprietà di emettere luce (fluorescenza): tale fenomeno è alla base di tutte le attività diagnostiche che utilizzano gli schermi fluorescenti; l'intensità della luce emessa da tali schermi è sempre molto bassa in rapporto alle capacità visive dell'occhio umano: gli intensificatori di brillantezza sono dispositivi elettronici che hanno la funzione di accrescere il livello luminoso dell'osservazione per portarlo a condizioni più favorevoli per l'occhio umano. La radiazione X, dopo aver attraversato il paziente, investe la finestra d'ingresso dell'intensificatore di brillantezza, dietro la quale è posto un fotocatodo; questo, investito dai fotoni, emette elettroni che vengono accelerati e focalizzati da lenti elettroniche verso lo schermo fluorescente posto sulla finestra d'uscita. Il segnale d'uscita, amplificato varie volte grazie all'accelerazione degli elettroni e alla riduzione del campo di vista, può essere visualizzato tramite una opportuna catena elettronica su uno schermo televisivo. L'immagine analogica ottenuta può essere trasformata in immagine digitale e successivamente memorizzata in un computer per una eventuale elaborazione. Un tipico esempio è costituito dal procedimento di sottrazione d'immagine in angiografia digitale.

2.2. Generalità sui meccanismi di formazione dell'immagine radiografica

La proprietà più evidente che presentano



Apparecchiatura radiologica dotata di intensificatore di brillantezza (I.B.)

dei raggi X in energia luminosa, aumentano considerevolmente la sensibilità dei sistemi radiografici. Per rendere visibili organi cavi (vasi sanguigni, stomaco, intestino) è poi possibile effettuare l'indagine dopo la somministrazione al paziente di un "mezzo di contrasto", cioè una sostanza opaca ai raggi X che evidenzia la cavità rispetto ai tessuti circostanti.



L'evoluzione dell'immagine radiografica

La capacità di attraversare la materia. Se sul percorso dei raggi X vengono interposti rispettivamente una struttura anatomica e una pellicola, su di essa verrà registrata "l'ombra" della struttura in esame. Alla base, quindi, delle immagini fornite dalle tecniche radiologiche sta il tipo di interazione dei raggi X con la materia, che dipende dalla densità della sostanza attraversata e dal suo numero atomico. Tessuti di bassa densità, come il polmone e il grasso, lasciano passare più facilmente i raggi X e provocano pertanto sulle pellicole radiografiche annerimenti più consistenti; i tessuti ossei, di alta densità e alto numero atomico, assorbono maggiormente i raggi X e lasciano le pellicole meno impressionate, più chiare. Per ridurre la dose al paziente e i tempi di esposizione rendendoli compatibili con il movimento degli organi indagati, la pellicola è racchiusa in una cassetta dotata di "schermi di rinforzo", vale a dire schermi fluorescenti che, trasformando l'energia

Con l'affinamento delle metodiche diagnostiche e l'evoluzione tecnica delle apparecchiature, le immagini ottenute con l'uso dei raggi X hanno subito costanti miglioramenti (alimentazione ad alta frequenza, riduzione delle dimensioni della macchia focale, anodo rotante, digitalizzazione dell'immagine), con un sostanziale aumento delle informazioni diagnostiche e una decisa diminuzione della dose al paziente attraverso l'uso di schermi di rinforzo alle terre rare, di pellicole ad alta sensibilità, di fasci opportunamente filtrati.

Appunti

- Caratteristiche tecniche principali di una apparecchiatura radiogena
- Tipo di generatore: trifase, alta frequenza, scarica di condensatore.
 - Tensione di alimentazione (kVp)
 - Corrente anodica (mA)
 - Tempo di esposizione (secondi)
 - Cuffia
 - Presenza o meno di I.B. e catena televisiva

del campo irradiato, dalla direzione considerata, dalla tensione applicata al tubo radiogeno.

Nella tabella successiva sono indicati a ti-

tole esemplificativo, tipici campi di radiazione dovuti alla radiazione diffusa a varie distanze dal paziente in attività di grafia e scopia.

distanza	GRAFIA μGy per radiografia (90 kVp, 100 mAs)	SCOPIA μGy per minuto di scopia (90 kVp, 1.6 mA)
in prossimità del fascio	200	200
a 30 cm	40	40
a 65 cm	20	20
a 1 m	10	10
a 2 m	2	2

3.1.3. Radiazione di fuga

Come già detto il fascio di raggi X prodotto all'interno del tubo radiogeno viene emesso in tutte le direzioni; per evidenti esigenze pratiche ci si trova nella necessità di limitare l'emissione delle radiazioni ad un fascio utile, e pertanto di collimarlo ed orientarlo in una precisa direzione: a tale scopo i tubi radiogeni vengono sempre impiegati in "contenitori" denominati "guaine" o "cuffie" che hanno lo scopo, unitamente al sistema costituito dai collimatori e dai diaframmi, di evitare la dispersione di radiazione X non utile all'effettuazione dell'esame o della terapia. Si definisce radiazione di fuga la radiazione emergente dalla cuffia. Le norme di buona tecnica implicano che la radiazione di fuga debba essere inferiore a valori predeterminati, dipendentemente dal tipo di apparecchiatura; ad esempio, nel caso di apparecchiature per radiodiagnostica specialistica, la radiazione di fuga deve essere inferiore a 1 mGy per ora di funzionamento a 1 metro.

3.2. Rischio da irradiazione esterna

Durante le varie fasi dell'utilizzo dei raggi X a scopo diagnostico in ambiente ospe-

daliero è presente il pericolo di irradiazione esterna del corpo intero o di alcune sue parti (es. mani).

La definizione e la quantificazione del rischio da irradiazione esterna non può prescindere da tre elementi fondamentali:

- 1. tempo** (durata dell'esposizione): determina in maniera lineare, a parità di condizioni di esposizione, l'intensità dell'esposizione e conseguentemente del rischio radiologico;
- 2. distanza:** la dose di radiazioni segue la legge dell'inverso del quadrato della distanza rispetto al punto di emissione:

$$D_1 x r_1^2 = D_2 x r_2^2$$
 dove D_1 è l'intensità di dose alla distanza r_1 dalla sorgente e D_2 è l'intensità di dose alla distanza r_2 dalla sorgente (esempio: passando dalla distanza di 1 m a quella di 2 m, l'intensità di dose si riduce di un fattore 4);
- 3. disponibilità di schermature:** la radiazione viene attenuata a seguito dell'interazione con il materiale con cui interagisce; pertanto, la dose da radiazione in un punto viene ridotta interponendo del materiale tra la sorgente e il punto d'interesse. La quantità e il tipo di materiale necessario di-

pende dal tipo della radiazione: ad esempio le radiazioni X sono penetranti e, nel caso di energie elevate, richiedono spessori considerevoli di piombo (Pb). Nella tabella successiva sono indicati, a titolo esemplificativo, i fattori di attenuazione della radiazione X per diversi spessori di Pb e diverse tensioni di lavoro.

Spessore in Pb	50 kV	75 kV	100 kV
0.25 mm	250	20	10
0.50 mm	10000	200	50
1 mm	>10000	3000	300
2 mm	>>10000	>>10000	5000

Fattori di attenuazione della radiazione X per diversi spessori di Pb e diverse tensioni di lavoro

Si osservi in proposito che:

- ✓ **l'uso di un grembiule in gomma piombifera di spessore equivalente a 0.25 mm, riduce da 10 a 20 volte la dose assorbita e conseguentemente il rischio professionale;**
- ✓ **l'uso di occhiali anti-X, quando prescritto, porta a livelli trascurabili la dose assorbita dal cristallino.**

La sicurezza nell'attività radiologica si esplica in due momenti diversi:

1. La realizzazione di condizioni di "sicurezza passiva" attraverso:
 - la predisposizione di sale radiologiche di dimensioni adeguate al fine di consentire l'eventuale posizionamento di barriere mobili e/o di sfruttare l'elemento "distanza dalla sorgente" come elemento di protezione individuale;
 - l'ottimizzazione del progetto della sala radiologica e delle schermature fisse e mobili a protezione degli operatori attraverso la valutazione

del carico di lavoro della/e apparecchiatura/e in essa presente/i, la valutazione delle geometrie dell'irradiazione, la valutazione dei campi di radiazione dovuti alla radiazione di fuga e diffusa, la valutazione dei fattori di occupazione delle aree, la possibilità di utilizzi futuri della sala stessa;

- la disponibilità e l'efficienza di dispositivi tecnici di protezione quali microswitch inibitori dei raggi a porte aperte là dove opportuni o necessari, la disponibilità e l'efficienza di segnalazioni luminose indicanti l'erogazione raggi, la presenza della segnaletica di sicurezza;
- una corretta classificazione, ai fini della radioprotezione, delle aree e del personale;
- la regolamentazione degli accessi alle zone classificate ai fini della radioprotezione;
- la disponibilità e l'efficienza dei dispositivi di sicurezza delle apparecchiature radiologiche quali la presenza di pulsanti di erogazione raggi del tipo "a uomo morto", la presenza di protezioni contro l'azionamento involontario dei pedali di erogazione raggi, la disponibilità di segnalazioni acustiche che segnalino il raggiungimento di un tempo di scopia superiore alla norma, i dispositivi di controllo automatico della luminosità, la disponibilità di sistemi digitali di stop dell'immagine e di sistemi pulsati e, in generale, la conformità delle apparecchiature alle norme di buona tecnica;
- la disponibilità e l'efficienza di indumenti protettivi quali grembiuli in gomma piombifera, guanti e occhiali anti-X;

- la disponibilità e la presenza di norme di radioprotezione specifiche per le attività di interesse;
 - verifiche periodiche dell'efficienza dei dispositivi tecnici di protezione disponibili.
2. La realizzazione di un sistema di "sicurezza attiva" attraverso:
- la formazione e l'informazione specifica del personale addetto all'utilizzo delle apparecchiature radiologiche, soprattutto nelle attività che non vengono svolte da personale con una specifica preparazione radiologica;
 - la formazione della consapevolezza, negli operatori addetti, dell'importanza del rispetto delle norme di radioprotezione e dell'utilizzo dei dispositivi tecnici di protezione, ed eventualmente di misura della dose, disponibili.

3.3. Il rischio radiologico nelle attività comportanti l'impiego di apparecchiature radiologiche

Il rischio lavorativo nelle attività radiologiche comportanti l'utilizzo di apparecchiature radiologiche dipende da numerosi elementi: in particolare dipende in modo determinante dal tipo di pratica radiologica considerata.

In generale è possibile definire tre tipi di fonti di esposizione per i lavoratori:

1. le procedure radiografiche tradizionali
2. le procedure radiosopiche
3. le procedure speciali (angiografia e radiologia interventistica)

Le procedure radiografiche tradizionali risultano essere la pratica radiologica più diffusa e contribuiscono nella maniera più rilevante all'esposizione della popolazione a scopo medico, ma le procedure fluoroscopiche (comprendendo in questa

dizione anche le procedure speciali) pur costituendo solo circa il 10 % delle procedure radiologiche risultano essere di gran lunga la fonte di rischio radiologico più rilevante per gli addetti.

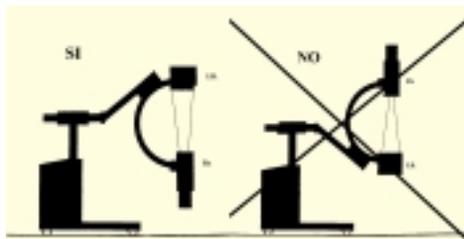
3.3.1. Il rischio in attività radiologica tradizionale

Durante l'attività radiologica tradizionale, il personale staziona normalmente in un box comandi schermato: un progetto ottimizzato di una sala radiologica garantisce che la dose efficace assorbita dall'operatore sia mediamente dell'ordine di $0.1 \mu\text{Sv}/\text{radiogramma}$. Anche per esami su pazienti allettati si può stimare un campo di radiazioni dovuto alla radiazione diffusa variabile da 0.4 a $1 \mu\text{Sv}/\text{radiogramma}$ a 1 m. Va sottolineato che, sia al fine di garantire una efficace radioprotezione del paziente che di ottimizzare la protezione del personale, il ricorso ad esami radiologici su pazienti allettati dovrebbe essere fortemente motivato dalla reale impossibilità di spostamento del paziente.

In tomografia computerizzata le dosi al paziente possono essere elevate (dipendentemente dallo spessore dello strato e dal numero di strati) ma le dosi efficaci assorbite dal personale in sala comandi risultano di solito estremamente basse. Per il personale alla console di una TAC la tomografia computerizzata non rappresenta una significativa fonte di rischio; solo in esami particolari, in cui è necessario lo stazionamento nelle vicinanze del gantry, il personale è interessato a campi di radiazioni rilevanti (da 5 a $20 \mu\text{Gy}/\text{strato}$). Per quanto attiene le procedure mammografiche, con apparecchiature dedicate e procedure ottimizzate le esposizioni lavorative risultano di assoluta irrilevanza radioprotezionistica.

3.3.2. Fonti di rischio in fluoroscopia

Premesso che l'uso della fluoroscopia diretta non è più consentito, l'uso della fluoroscopia con intensificatori di brillanza (I.B.) rappresenta la maggiore fonte di esposizione professionale in ambito sanitario; infatti da un lato i tempi di scopia possono, dipendentemente dalle procedure, risultare elevati, dall'altro è quasi sempre necessaria la presenza di uno o più operatori in sala durante l'erogazione raggi. I campi di radiazioni cui sono sottoposti gli operatori in prossimità del paziente possono risultare, dipendentemente dalle procedure e dalle tecniche utilizzate e in assenza di indumenti protettivi, dell'ordine di 20-30 $\mu\text{Gy}/\text{min}$. L'uso di apparecchiature telecomandate può ridurre a livelli trascurabili le esposizioni per il personale nel box comandi, ma va sottolineato che in questo caso, se risulta necessaria la presenza di operatori in prossimità del paziente durante l'erogazione raggi, i campi di radiazione cui gli operatori sono sottoposti possono risultare ancora più elevati di quelli caratteristici della fluoroscopia convenzionale, a seguito delle particolari condizioni geometriche dell'irradiazione. Di frequente utilizzo, soprattutto nelle camere operatorie, risultano gli apparecchi radiologici ad arco dotati di intensificatori di brillanza. Con tali apparecchiature, a titolo esemplificativo, i campi di radiazione a 50 cm dal paziente, variano da 10 a 30 $\mu\text{Gy}/\text{min}$ a 100 kVp, 2.5 mA; i livelli di esposizione e il rischio professionale conseguente in tali casi dipendono fortemente dalla posizione del tubo radiogeno: geometrie con il tubo radiogeno al di sopra del tavolo portano ad un incremento della dose assorbita dal personale di un fattore 3, oltre che aumentare la possibilità di esposizione delle estremità al fascio diretto.



3.3.3. Rischio radiologico nelle procedure speciali

Per procedure speciali in radiologia sono da intendersi gli esami angiografici e le loro applicazioni in neuroradiologia e cardiologia, nonché le procedure di radiologia interventistica.

Tali procedure sono caratterizzate da tempi di esposizione considerevoli (dell'ordine anche delle decine di minuti/procedura), da campi di radiazione in prossimità del paziente dell'ordine di 10 - 30 $\mu\text{Gy}/\text{min}$, dalla difficoltà di utilizzo di barriere mobili da parte di tutto il personale presente in sala. In relazione ai carichi di lavoro radiologici individuali spesso molto elevati è estremamente importante la disponibilità e l'utilizzo di grembiuli in gomma piombifera di spessore equivalente a 0.25, 0.35 mm di Pb e l'uso di occhiali anti-X a protezione del cristallino.

3.4. Esempi di tecniche di radioprotezione per la riduzione della dose agli operatori

La riduzione del rischio radiologico per gli operatori addetti all'utilizzo di apparecchiature radiologiche passa anche attraverso l'ottimizzazione della dose al paziente; la riduzione delle esposizioni in radiologia tradizionale può pertanto essere ottenuta:

1. con l'uso di accoppiamenti pellicola /schermi di rinforzo rapidi;

2. attraverso l'ottimizzazione delle condizioni di utilizzo delle sviluppatrici;
3. attraverso una analisi sistematica degli scarti delle pellicole al fine di ridurli il più possibile;
4. attraverso un'accurata collimazione del campo di radiazioni.

Anche nel caso della fluoroscopia e delle procedure speciali la riduzione dell'esposizione professionale passa attraverso la riduzione della dose al paziente; la riduzione delle esposizioni in fluoroscopia può pertanto essere ottenuta:

1. attraverso l'uso di tempi di scopia brevi;
2. in cine-fluoroscopia usando velocità non superiori a 25 fotogrammi/secondo e riprese di soli 3 - 5 secondi;
3. attraverso l'uso di stop di immagine o di sistemi "a memoria";

4. attraverso l'uso del sistema automatico di controllo della luminosità;
5. mantenendo, ogni volta che è possibile, il tubo radiologico al di sotto del tavolo.

Al fine di rendere conto del rischio reale associato alle attività in questione possono risultare utili i risultati della campagna di rilevazione condotta dall'I.S.P.E.S.L. nel 1990 relativamente alle dosi da radiazioni ionizzanti assorbite dai lavoratori degli istituti pubblici di ricovero e cura: dallo studio citato emerge infatti che, nel 99.9 % dei casi, nell'anno di rilevazione, i lavoratori esposti hanno ricevuto dosi non superiori a 50 mSv, nel 95 % dei casi dosi non superiori a 5 mSv, nel 77 % dei casi dosi non superiori a 2 mSv, nel 60 % dei casi dosi non superiori a 1 mSv.

4. LA RADIOLOGIA TRADIZIONALE

4.1. Principali apparecchiature e accessori utilizzati in radiologia tradizionale

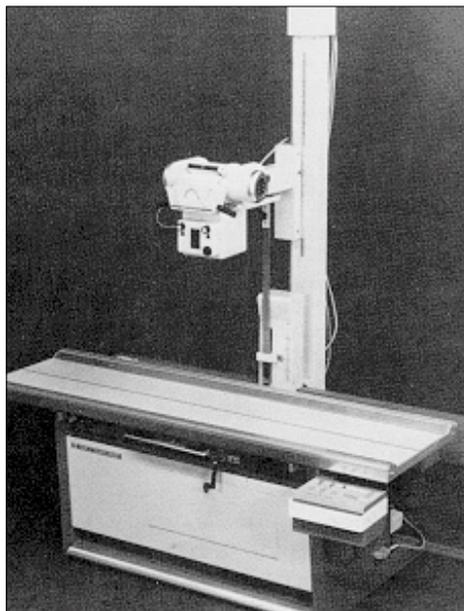
- **Ortoclinoscopio:** è l'apparecchiatura radiologica che svolge il maggior lavoro in un servizio di radiologia tradizionale; opportunamente accessorizzato consente di eseguire anche gli esami che la pratica radiologica consiglia di eseguire in proiezione A.P. (antero-posteriore) come ad esempio: urografie, colecistografie. Sono spesso dotati di intensificatore di brillantezza e telecomandabili.
- **Telecomandato:** è costituito da un tavolo ribaltabile, dotato di intensificatore di brillantezza e catena televisiva, in cui tutti i movimenti del tavolo

e del tubo radiologico sono comandabili a distanza, in modo che l'operatore stazioni pertanto in posizione protetta.

- **Stativo a colonna:** è essenzialmente costituito da una struttura tubolare solidale al pavimento, alta circa 250 cm, che si può spostare lungo il tavolo d'esame sul quale è montato un carrello dotato di un sistema telescopico che supporta il tubo radiogeno che può quindi spostarsi lungo tre direzioni; oltre alle tre traslazioni il tubo radiologico può inoltre essere ruotato per ottenere la proiezione necessaria all'effettuazione dell'esame.
- **Stativo pensile:** è essenzialmente

costituito da una struttura telescopica che supporta il tubo radiogeno, in grado di scorrere su rotaie collocate sul soffitto della sala.

- **Teleradiografo:** è un accessorio messo a punto specificatamente per la radiografia del torace con elevate distanze fuoco-pelle (almeno 2 m), in modo da ridurre al massimo le sfuocature geometriche e migliorare la nitidezza dei dettagli. È pertanto spesso a corredo di uno stativo pensile o a colonna.
- **Seriografo:** è un accessorio utilizzato quasi sempre per l'esame dell'apparato digerente, presente sui telecomandati e che consente di passare rapidamente dal regime di scopia al regime di grafia.
- **Craniostato:** è un accessorio radiologico concepito per eseguire radiografie del cranio sotto qualsiasi angolazione. I recenti protocolli diagnostici ne hanno ridotto in maniera consistente l'utilizzo.
- **Apparecchiature radiologiche portatili:** si tratta di apparecchiature radiologiche utilizzate di norma per effettuazione di esami su pazienti allettati, alimentate da generatori monoblocco generalmente a scarica di condensatore.
- **Tomografi:** sono apparecchiature che consentono di radiografare i dettagli che giacciono su un determinato piano all'interno del paziente, sfumando i piani soprastanti e sottostanti: questo risultato si ottiene facendo muovere in modo correlato il tubo radiogeno, il paziente e la pellicola secondo determinate direzioni. L'avvento della Tomografia Computerizzata ha notevolmente ridotto il ricorso a tale tecnica diagnostica.



Tavolo con stativo a colonna

Gli ultimi anni hanno visto la sostituzione dei tradizionali sistemi di rivelazione dell'immagine costituiti dai sistemi schermo-pellicola con sistemi digitali costituiti da schermi ai fosfori che memorizzano l'informazione che viene successivamente raccolta in forma digitale mediante lettrici laser.

4.2. Misure di prevenzione e protezione

La radioprotezione in attività radiologica tradizionale viene assicurata soprattutto dalla presenza di idonee schermature nelle sale in cui sono collocate le apparecchiature; le schermature vengono dimensionate principalmente in funzione dei materiali utilizzati (cemento, mattoni, piombo), in relazione al numero di esami effettuati, alla destinazione d'uso dei locali confinanti e al loro grado di occupazione. In taluni casi possono essere presenti anche mi-

crosswitch inibitori dell'emissione raggi a porte aperte.

La sala radiologica, normalmente classificata *zona controllata*, è indicata, oltre che dalla apposita segnaletica, anche da un dispositivo luminoso che lampeggia durante l'emissione raggi; il suo accesso è interdetto ad apparecchiatura in funzione, a meno che non vengano richiesti interventi particolari al personale addetto (assistenza a pazienti non collaboranti, neonati, ecc.).

Le aree adiacenti alla zona controllata, e in particolare la sala o cabina comandi,

possono essere classificate *zona sorvegliata* o non essere classificate, in funzione dell'intensità dei campi di radiazione presenti in tali zone. È obbligatorio per gli operatori addetti l'uso dei dosimetri personali (se prescritti) e degli eventuali dispositivi di protezione individuali assegnati (camici piombiferi, guanti attenuatori, collari e occhiali anti-X) in relazione alle mansioni svolte. Ai fini della protezione dei pazienti è necessario collimare il più possibile il campo e schermare gli organi riproduttivi quando il fascio primario incide in prossimità delle gonadi.

Attività radiologica tradizionale



- Il pericolo di esposizione alle radiazioni ionizzanti sussiste solo a generatore acceso.
- Assicurarsi sempre che le porte della sala radiologica siano chiuse prima di iniziare l'esame radiologico.
- Di norma disporsi al riparo della barriera al tavolo di comando.
- In caso di necessità di stazionamento in prossimità del paziente durante l'erogazione raggi, utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuale disponibili.
- L'assistenza ai pazienti è vietata alle donne gravide.
- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- Nel caso di utilizzo di apparecchiature radiologiche portatili, assicurarsi che nessun lavoratore stazioni a meno di 2 metri dal paziente durante l'erogazione raggi.
- Utilizzare sempre il campo di radiazioni più piccolo possibile compatibilmente con le esigenze diagnostiche (collimare).
- Se il fascio primario incide in prossimità delle gonadi, schermare gli organi riproduttivi del paziente.

5. LA MAMMOGRAFIA

5.1. Generalità

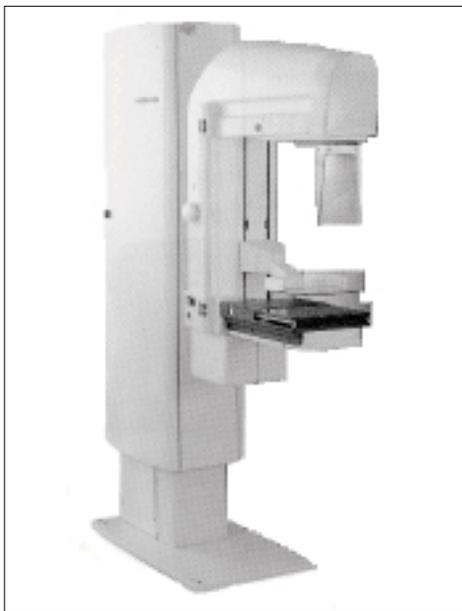
La mammografia costituisce senz'altro il metodo più affidabile per la rivelazione delle lesioni mammarie.

La mammografia, più di ogni altra procedura di radiologia convenzionale, richiede:

- l'utilizzo di apparecchiature dedicate che ottimizzino la dose somministrata alla mammella;
- l'utilizzo di sviluppatrici dedicate;
- elevato contrasto a causa della esigua differenza di densità fra lesioni e tessuto;
- elevata risoluzione spaziale al fine di rivelare microcalcificazioni.

Tali obiettivi possono essere perseguiti attraverso:

- l'utilizzo di radiazioni X di energia molto bassa, normalmente minori o uguali a 30 keV, in modo da migliorare il contrasto dell'immagine;
- l'utilizzo di anodi di molibdeno o di tungsteno con una finestra di berillio ed una filtrazione aggiuntiva di 0.03 mm di molibdeno, per eliminare la componente di energia più bassa dello spettro, che è inutile alla formazione dell'immagine ma contribuisce a somministrare dose;
- l'uso di tubi radiogeni dotati di un fuoco di dimensioni molto piccole;
- l'utilizzo di pellicole monoemulsione ad alto contrasto;
- l'utilizzo del compressore, che migliora il contrasto e la risoluzione e diminuisce la dose all'organo.



Mammografo

5.2. Misure di prevenzione e protezione

Anche in questo caso la radioprotezione viene assicurata soprattutto dalla presenza di idonee schermature nella sala in cui sono collocate le apparecchiature. Poiché l'energia del fascio X impiegato in questa indagine è estremamente bassa, molto spesso le sole pareti perimetrali costituite di mattoni forati sono in grado di garantire una protezione adeguata; per lo stesso motivo sono sufficienti piccoli spessori di vetro piombifero per proteggere adeguatamente l'operatore addetto all'esecuzione dell'esame radiologico.

La sala radiologica, normalmente classificata zona controllata, è indicata, oltre che dalla apposita segnaletica, anche

da un dispositivo luminoso che lampeggia durante l'emissione raggi; il suo accesso è interdetto ad apparecchiatura in funzione.

Le aree adiacenti alla zona controllata,

non sono, di solito, classificate ai fini della radioprotezione.

È obbligatorio per gli operatori addetti l'uso dei dosimetri personali (se prescritti).

Mammografia



- Il pericolo di esposizione alle radiazioni ionizzanti sussiste solo a generatore acceso.
- Assicurarsi sempre che le porte della sala radiologica siano chiuse prima di iniziare l'esame radiologico.
- Di norma disporsi al riparo della barriera protettiva.
- L'assistenza alle pazienti è vietata alle donne gravide.
- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.

6. LA TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA

6.1. Generalità

La tomografia computerizzata a trasmissione di raggi X (TC) si è imposta negli ultimi anni in maniera crescente tra i metodi di diagnostica per immagini, fino a divenire praticamente indispensabile in ogni tipo di indagine specialistica.

Il sistema TC permette di ottenere la ricostruzione della sezione di una zona anatomica di interesse tramite un fascio collimato emesso da un tubo a raggi X in rotazione attorno all'asse del paziente. Le radiazioni emergenti vengono raccolte da una serie di rivelatori il cui segnale è inviato ad un computer che, tramite appositi algoritmi matematici, ricostruisce in una matrice numerica (numerati CT) i va-

lori di densità dei tessuti attraversati dai raggi X.

Tali valori vengono quindi convertiti in una scala di tonalità di grigi e rappresentati sotto forma di immagine su un monitor. I rivelatori utilizzati possono essere a stato solido o a gas e sono disposti o su un'intera circonferenza o su un arco rotante solidale con il tubo radiogeno.

Uno dei vantaggi offerti da questo sistema di indagine è l'alta risoluzione per oggetti a basso contrasto, per i quali la radiologia convenzionale non è sempre del tutto soddisfacente.

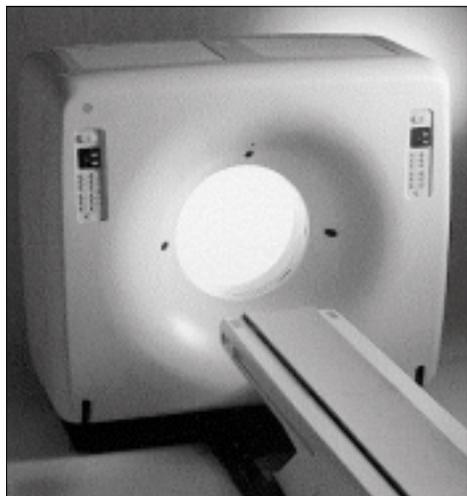
Nuove applicazioni tecnologiche hanno consentito la messa a punto di modelli TC di tipo elicoidale, con acquisizione

contemporanea allo spostamento del lettino; ciò ha consentito l'effettuazione di esami in tempi molto ridotti, l'eliminazione di artefatti dovuti al respiro, la riduzione della dose grazie a particolari scelte dei parametri di acquisizione.

L'uso della TC come metodica diagnostica comporta in generale un certo incremento della dose da radiazioni per il paziente, anche se, proprio per la natura stessa del tipo di indagine, tale dose risulta concentrata solo nella zona d'esame.



Immagine TC del torace



Modello di TC

Appunti

- ✓ La TC produce immagini digitali di settori trasversali del corpo.
- ✓ Gantry: struttura circolare che contiene il tubo radiogeno e il sistema di rilevazione.
- ✓ Le immagini ottenute sono ad alta risoluzione.
- ✓ La dose da radiazioni al paziente è localizzata nella zona in esame.
- ✓ Sono possibili ulteriori elaborazioni delle immagini digitali ottenute.
- ✓ Gli apparecchi dell'ultima generazione (TC spirale) consentono acquisizioni particolarmente veloci.

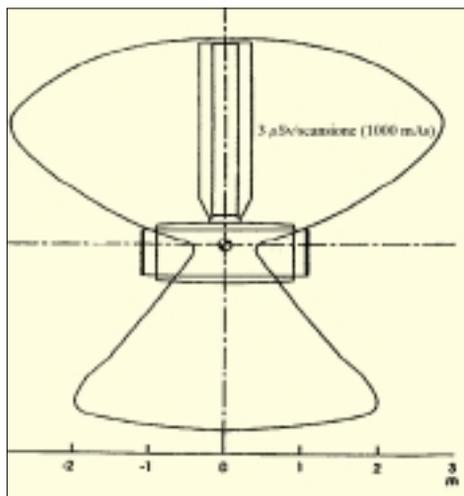
6.2. Misure di prevenzione e protezione

La sezione TC è costituita da una sala di controllo e da una sala di esame. Nella sala d'esame, durante l'emissione raggi, deve essere presente solo il paziente; in caso di necessità stazionamento in sala durante l'esame (esami dinamici, assistenza a pazienti non autosufficienti, etc.) dovranno obbligatoriamente essere utilizzati i dispositivi di protezione individuale disponibili e si dovrà stazionare di fianco al gantry; in ogni caso non dovranno mai essere introdotte parti del corpo nel gantry durante la scansione.

Anche in questo caso la radioprotezione in attività TC viene assicurata soprattutto dalla presenza di idonee schermature nelle sale in cui sono collocate le apparecchiature; le schermature vengono dimensionate principalmente in funzione dei materiali utilizzati (cemento, mattoni, piombo), in relazione al numero di esami effettuati, alla destinazione d'uso dei locali confinanti e al loro grado di occupazione. Possono essere presenti anche microswitch inibitori dell'emissione raggi a porte aperte. La sala radiologica, normalmente classificata *zona controllata*, è in-

dicata, oltre che dalla apposita segnaletica, anche da un dispositivo luminoso che lampeggia durante l'emissione raggi; il suo accesso è interdetto ad apparecchiatura in funzione, a meno che non vengano richiesti interventi particolari al personale addetto.

Le aree adiacenti alla zona controllata, e in particolare la sala o cabina comandi, possono essere classificate zona sorvegliata o non essere classificate, in funzione dell'intensità dei campi di radiazione presenti in tali zone. È obbligatorio per gli operatori addetti all'attività di diagnostica radiologica l'uso dei dosimetri personali (quando prescritti).



Campi di radiazione tipici all'interno di una Sala T.C.

Attività TC



- Il pericolo di esposizione alle radiazioni ionizzanti sussiste solo a generatore acceso.
- Assicurarsi sempre che le porte della sala radiologica siano chiuse prima di iniziare l'esame radiologico.
- Durante l'esecuzione dell'esame, stazionare all'interno del box comandi.
- In caso di necessità di stazionamento in prossimità del paziente durante l'erogazione raggi, utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuale disponibili e stazionare ai bordi del gantry.
- L'assistenza ai pazienti è vietata alle donne gravide.
- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- Se il fascio primario incide in prossimità delle gonadi, schermare gli organi riproduttivi del paziente.

7. LA RADIOSCOPIA E LA RADIOLOGIA INTERVENTISTICA

7.1. Generalità

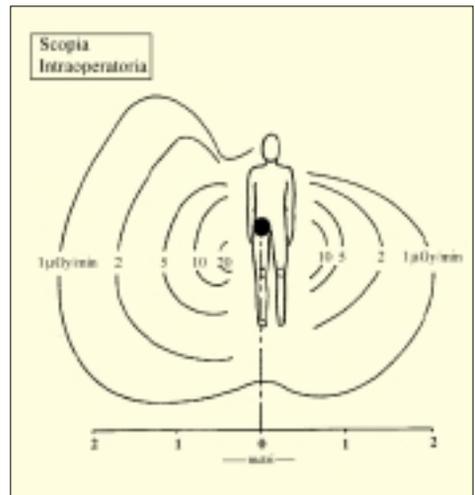
I raggi X utilizzati come ausilio alla diagnostica medica consentono di ottenere non solo immagini statiche (grafia), ma anche di valutare l'evoluzione dinamica del mezzo di contrasto introdotto nel corpo del paziente (es. clisma opaco) oppure di guidare il medico durante interventi chirurgici o procedure endoscopiche. Questa particolare applicazione ha tra i suoi precursori le tecniche di fluoroscopia, largamente utilizzate fino ad alcuni anni fa, che permettevano al radiologo di visualizzare su uno schermo fluorescente le strutture anatomiche del paziente direttamente durante l'esame. Questa tecnica comportava, oltre a notevoli difficoltà nella percezione delle immagini dato lo scarso livello di luminosità di tali schermi, una dose di radiazioni rilevante per l'operatore e ancor più significativa per il paziente (fino a centinaia di volte più elevata di quella di una radiografia convenzionale), a causa del basso rendimento e dei tempi prolungati di esposizione (anche alcuni minuti). L'introduzione di speciali apparecchiature, gli intensificatori di brillantezza (I.B.), ha permesso di ridurre drasticamente l'intensità del fascio incidente e di conseguenza la dose al paziente e agli operatori. Le apparecchiature dotate di I.B. possono essere:

- ✓ **fisse** (collocate normalmente presso i servizi di radiologia, neuroradiologia, cardiologia ed utilizzate per le cosiddette procedure speciali);
- ✓ **mobili** (collocate normalmente presso le camere operatorie, le sale gessi, le sale cistoscopiche, etc.) e costituite normalmente da I.B. ad arco.

Appunti

Principali applicazioni degli intensificatori di brillantezza

- Esami radiologici dinamici
- Traumatologia
- Impianti di pace-maker, studi elettrofisiologici, emodinamica
- Angiografie ed embolizzazioni



Tipici campi di radiazione nell'utilizzo di I.B. ad arco

7.2. Misure di prevenzione e protezione

La rilevanza e l'entità dei dispositivi radioprotettivi in attività radioscopica è fortemente legata al tipo di procedura considerata.

Nelle procedure speciali, che di solito utilizzano apparecchiature fisse, la radioprotezione viene assicurata soprattutto dalla presenza di idonee schermature

nelle sale in cui sono collocate le apparecchiature; le schermature vengono dimensionate principalmente in funzione dei materiali utilizzati (cemento, mattoni, piombo), in relazione al numero di esami effettuati, alla destinazione d'uso dei locali confinanti e al loro grado di occupazione. In taluni casi possono essere presenti anche microswitch inibitori dell'emissione raggi a porte aperte. La sala radiologica, normalmente classificata *zona controllata*, è indicata, oltre che dalla apposita segnaletica, anche da un dispositivo luminoso che lampeggia durante l'emissione raggi. Le aree adiacenti alla zona controllata, e in particolare la sala o cabina comandi, possono essere classificate *zona sorvegliata* o non essere classificate, in funzione dell'intensità dei campi di radiazione presenti in tali zone. Viceversa nelle procedure chirurgiche e/o ortopediche, in cui si utilizzano intensificatori di brillantezza ad arco, le pareti perimetrali della sala sono di norma sufficienti a schermare adeguatamente i campi di radiazione. Le sale sono normalmente classificate *zona sorvegliata* o controllata, e indicate dalla apposita segnaletica.

Nel caso in cui il personale abbia la necessità di restare in prossimità della fonte radiogena, la sua protezione deve essere assicurata tramite l'utilizzo di schermi mobili, se possibile, e/o di dispositivi di protezione individuale: camici piombiferi, guanti.

Lo stazionamento in sala durante l'erogazione raggi deve essere comunque limitato al personale strettamente indispensabile e per il tempo strettamente necessario. Dipendentemente dal tipo di attività svolta e dall'entità del rischio può o meno essere prescritto l'uso dei dosimetri personali e possono inoltre essere pre-

scritti dosimetri per la valutazione della dose assorbita dalle estremità e dal cristallino.

Alcuni semplici accorgimenti possono poi ridurre in maniera sostanziale il rischio radiologico degli operatori:

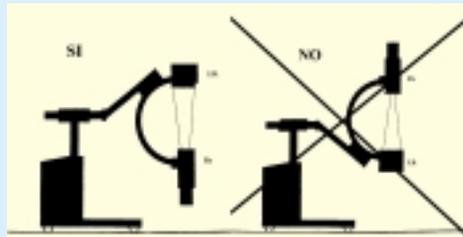
- ✓ l'utilizzo dello stop di immagine di cui sono dotati gli intensificatori di brillantezza consente di ridurre sensibilmente la durata dell'erogazione raggi e conseguentemente la dose assorbita dagli operatori;
- ✓ l'utilizzo del sistema di controllo automatico della luminosità, oltre ad ottimizzare l'immagine radiologica, riduce la dose al paziente e agli operatori;
- ✓ l'utilizzo dell'apparecchiatura nella configurazione "tubo radiologico in basso I.B. in alto" tutte le volte che è possibile, riduce di tre volte la dose assorbita dagli operatori e rende impossibile l'esposizione delle estremità al fascio diretto.

Per proteggere i pazienti, quando possibile, deve essere limitato il tempo di scopia allo stretto necessario, devono essere usati grembiolini protettivi in piombo per schermare in particolare gli organi riproduttivi quando il fascio primario è orientato in prossimità delle gonadi e mai deve essere usata la scopia per la centatura degli esami di grafia.

Radioscopia e radiologia interventistica



- Il pericolo di esposizione alle radiazioni ionizzanti sussiste solo a generatore acceso.
- Assicurarsi sempre che le porte della sala radiologica siano chiuse prima di utilizzare l'apparecchiatura.
- Durante l'erogazione raggi disporsi al riparo delle barriere mobili o il più lontano possibile dal paziente ogni volta che è possibile.
- Durante l'erogazione raggi tutto il personale la cui presenza non è indispensabile deve uscire dalla sala.
- Durante l'erogazione raggi, il personale il cui stazionamento in sala è indispensabile deve utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuale disponibili.
- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- Se il fascio primario incide in prossimità delle gonadi schermare gli organi riproduttivi del paziente.
- Utilizzare lo stop di immagine ogni qualvolta sia possibile
- Utilizzare sempre il dispositivo di controllo automatico della luminosità
- Utilizzare sempre, qualora le esigenze cliniche lo consentano, l'apparecchio nella configurazione "tubo radiologico in basso, intensificatore di brillantezza in alto"



8. LA RADIOLOGIA DENTALE

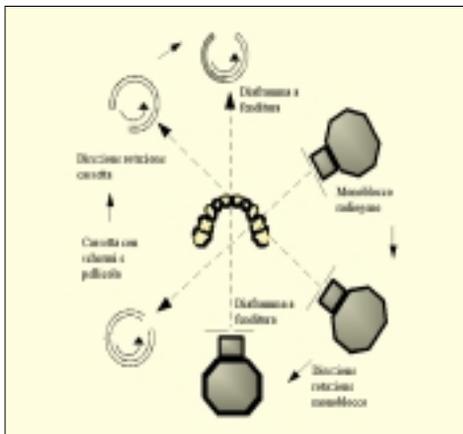
8.1. Generalità

Per gli esami dentali si usano gli ortopantomografi con o senza bracci per cefalometria e gli apparecchi endorali.

8.2. L'ortopantomografia

L'ortopantomografo è una apparecchiatura che consente di eseguire radiogrammi panoramici delle arcate dentarie, consentendo di visualizzare i denti, i seni paranasali, le mascelle superiori e inferiori e le articolazioni temporo-mascellari; funzionano con tensioni variabili normalmente comprese tra i 55 e 90 kV e corrente compresa tra i 8 e 12 mA. I tempi di esposizione si collocano attorno ai 12 – 15 secondi.

È costituito da un braccio rotante che supporta da un lato la sorgente radiogena e dall'altro un tamburo rotante contenente la pellicola con il relativo schermo di rinforzo. Il movimento di rotazione avviene lungo una traiettoria pseudo ellittica al fine di seguire la morfologia dell'arcata dentaria del paziente.



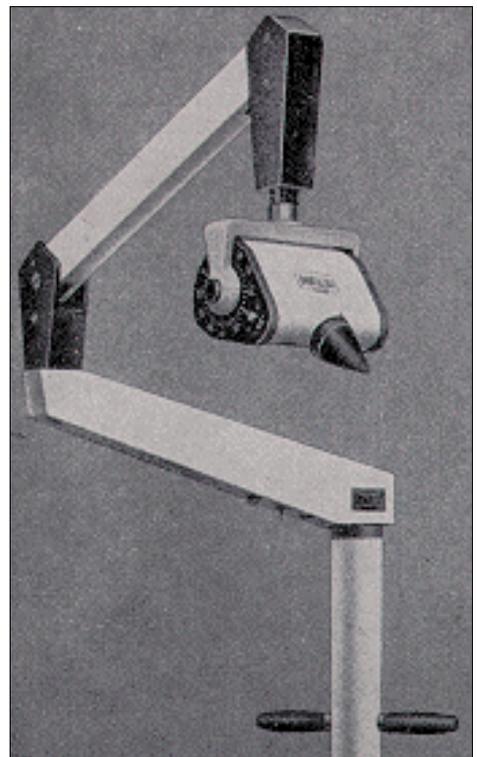
Schema di funzionamento di un ortopantomografo

L'immagine radiologica è costituita da una proiezione sul piano di una superficie che giace su un arco coincidente con la sezione delle arcate dentarie.

Nel settore delle apparecchiature dentali vanno ricordate le apparecchiature anche per cefalometria, costituite da accessori normalmente abbinati agli ortopantomografi, utilizzate per le radiografie del cranio in proiezione postero-anteriore e latero-laterale normalmente usate per procedure ortognatodontiche.

8.3. La radiologia dentale

I monoblocchi dentali sono apparecchiature con generatore di alta tensione e tubo



Monoblocco dentale

contenuti in un unico involucro, utilizzati per radiografie endorali nel settore stomatologico, per eseguire radiografie di piccolo formato; funzionano con tensioni fisse normalmente comprese tra i 50 e 70 kV e corrente compresa tra i 7 e 10 mA. I tempi di esposizione variano da qualche decimo di secondo fino a qualche secondo; sono dotati di coni o cilindri limitatori utilizzati anche come centratori, che vengono appoggiati sulla zona da radiografare.

8.4. Misure di prevenzione e protezione

Anche in questo caso la radioprotezione viene assicurata soprattutto dalla presenza di idonee schermature nella sala in cui sono collocate le apparecchiature. Quasi sempre le sole pareti perimetrali sono in grado di garantire una protezione adeguata nel caso di impiego di apparecchiature endorali, in relazione al basso carico di lavoro che normalmente caratterizza l'impiego di tali apparecchiature; la sala in

cui è collocata l'apparecchiatura radiologica è segnalata dalla apposita segnaletica, ed è normalmente classificata *zona sorvegliata*. Le aree adiacenti alla zona sorvegliata, non sono, di solito, classificate ai fini della radioprotezione. L'utilizzo del cavo estensibile che consente di comandare l'erogazione raggi a circa 2 metri dall'apparecchiatura o, meglio, il controllo remotizzato della stessa all'esterno della sala, garantiscono che le dosi assorbite dal personale siano del tutto trascurabili. La tabella successiva contiene una tipica valutazione dei campi di radiazioni riscontrabili in attività radiologica endorale.

alla distanza di 1 m	$\leq 0.5 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 1,5 m	$\leq 0.22 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 2 m	$\leq 0.13 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 3 m	$\leq 0.06 \mu\text{Gy}$
dietro barriere	$< 0.003 \mu\text{Gy}$

Dosi da radiazione diffusa a 90° da un apparecchio per radiografie endorali funzionante a: 70 kV-7 mA tempo di esposizione di 1 s

Radiologia dentale



- Il pericolo di esposizione alle radiazioni ionizzanti sussiste solo a generatore acceso
- Se il comando non è collocato all'esterno della sala, durante l'erogazione raggi tenersi il più lontano possibile dal paziente utilizzando il cavo estensibile nella massima estensione
- In caso di necessità di stazionamento in prossimità del paziente durante l'erogazione raggi, utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuale disponibili
- L'assistenza ai pazienti è vietata alle donne gravide
- Il personale non deve sostenere con le mani le pellicole durante l'erogazione raggi

9. LA MINERALOMETRIA OSSEA COMPUTERIZZATA

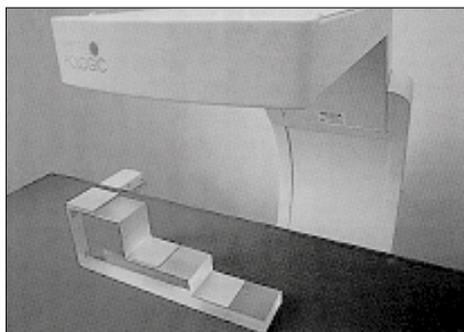
9.1. Generalità

Tra le tecniche destinate alla valutazione della densitometria ossea, particolare importanza riveste la mineralometria ossea computerizzata (MOC); le apparecchiature destinate alla MOC consentono pertanto di misurare il contenuto di minerale osseo nelle strutture dell'apparato scheletrico, consentendo di diagnosticare la condizione patologica dell'osteoporosi. Alcune tecniche utilizzate a questo scopo (basate sull'esame di particolari distretti corporei come il calcagno, alcuni corpi vertebrali, l'avambraccio) possono utilizzare la radiologia convenzionale, la tomografia computerizzata, gli ultrasuoni, la risonanza magnetica, l'attivazione neutronica. Le apparecchiature MOC possono essere suddivise in apparecchiature a sorgente radioisotopica e apparecchiature a raggi X prodotti da tubo radiogeno. Le apparecchiature a sorgente radioisotopica, attualmente poco utilizzate e in fase di sostituzione con quelle a raggi X, utilizzano sorgenti sigillate di ^{125}I o di ^{241}Am con singola energia di emissione rispettivamente a 30 keV e 60 keV, e sorgenti di ^{153}Gd con doppia energia di 44 e 100 keV. Le apparecchiature che utilizzano un tubo radiogeno emettono raggi X collimati in fascio stretto o a ventaglio, di energia compresa tra 76 e 134 kV o a doppia energia di 70 e 140 kV. In entrambi i casi le sorgenti sono inserite in contenitori schermati in piombo e il fascio di radiazioni in uscita risulta estremamente collimato.

9.2. Misure di prevenzione e protezione

Generalmente tali tipi di installazioni non necessitano di particolari accorgimenti per garantirne il funzionamento in condizioni

di sicurezza in quanto il fascio primario collimato investe esclusivamente il paziente e la bassa intensità provoca un irraggiamento trascurabile dovuto alla componente diffusa. I campi di radiazione risultano inferiori a $1 \mu\text{Sv/ora}$ a circa 50 cm di distanza. L'operatore posto alla console di comando in sala è situato normalmente ad almeno 2 m di distanza dalla sorgente, con un rateo di dose di circa $0.3 \mu\text{Sv/ora}$. Non è necessaria normalmente nessuna schermatura aggiuntiva. La sala d'esame può normalmente essere classificata zona sorvegliata. Buona norma è impedire l'accesso alla sala durante tutta la durata dell'esame. Il personale addetto deve rimanere a distanza di sicurezza durante il funzionamento dell'apparecchiatura e in nessun caso deve intercettare con parti del corpo (mani, braccia, etc.) il fascio di raggi X.



Apparecchiatura MOC

Appunti

Principali tecniche di densitometria ossea

- ✓ Mineralometria ossea computerizzata
- ✓ Radiologia convenzionale
- ✓ Tomografia computerizzata
- ✓ Ultrasuoni
- ✓ Risonanza magnetica
- ✓ Attivazione neutronica

Attività MOC



- Il pericolo di esposizione alle radiazioni ionizzanti sussiste solo a generatore acceso.
- Assicurarsi sempre che le porte della sala siano chiuse prima di iniziare l'esame radiologico.
- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- Non intercettare il fascio di raggi X con le mani.

10. LA RADIOTERAPIA

10.1. Generalità

L'obiettivo della radioterapia è il controllo locale del tumore, che si attua somministrando al focolaio tumorale una dose tale da poterlo distruggere o almeno ridurre di dimensioni.

Le basi fisiche della radioterapia sono:

1. individuazione e definizione dei contorni del focolaio tumorale con la massima accuratezza;
2. determinazione delle caratteristiche del fascio o dei fasci da impiegare e delle modalità di irraggiamento da adottare affinché il volume bersaglio riceva la dose richiesta ed i tessuti circostanti siano il più possibile risparmiati.

La radioterapia comprende la teleradioterapia (effettuata con fasci che arrivano al focolaio dall'esterno) e la brachiterapia (effettuata con sorgenti posizionate in prossimità del focolaio in cavità naturali o attraverso infissioni).

10.1.1. Teleradioterapia

In teleradioterapia si utilizzano fasci di

raggi X o elettroni di alta energia prodotti da acceleratori lineari oppure fasci di raggi γ prodotti da sorgenti radioattive come nel caso della cobaltoterapia.



Acceleratore lineare

Gli acceleratori lineari utilizzano onde elettromagnetiche ad alta frequenza per accelerare elettroni che, urtando contro un bersaglio, danno origine a radiazione X in maniera analoga a quanto avviene nei tubi radiogeni.

Alcuni acceleratori sono inoltre realizzati in modo da poter utilizzare oltre ai fasci

di fotoni anche direttamente i fasci di elettroni.

Oltre alle macchine generatrici di fasci di radiazione X o di elettroni, in molti centri sono ancora in uso unità di cobaltoterapia. In questo caso si sfrutta la radiazione γ da 1.173 e 1.333 MeV emessa da una sorgente di cobalto di alta attività. La sorgente è situata all'interno di una testata con alto potere schermante e viene "scoperta" con un dispositivo elettromeccanico azionato solo al momento dell'irradiazione del paziente.



Schema della testata di una unità di cobaltoterapia: A = ruota porta-sorgente, B = involucro di piombo, C = sorgente, D = collimatore.

Una menzione particolare meritano poi le apparecchiature per roentgenterapia, utilizzate ormai soprattutto per terapia antalgica ma che presentano ancora una elevata diffusione.

In tal caso vengono utilizzati fotoni prodotti da un tubo a raggi X funzionante con tensioni da 40 -50 kVp fino a 300 kVp.

- Fasci prodotti da tensioni di 40-60 kVp sono indicati per irradiare volumi bersaglio non più profondi di 1-2 mm e sono utilizzati per terapia di contatto (plesioterapia);
- Fasci prodotti da tensioni di 60-120 kVp sono usati per irradiare volumi a una

profondità di circa 5 mm (mesoplesioterapia);

- Fasci prodotti da tensioni di 120-300 kVp accoppiate a filtrazioni particolari e distanziatori, sono usati per irradiare volumi a 2-3 cm di profondità (roentgenterapia).

10.1.2. Brachiterapia

In brachiterapia vengono utilizzate sorgenti sigillate per somministrare una dose locale grazie ad applicazioni di contatto, interstiziali ed endocavitare. Con questa tecnica è possibile rilasciare una dose elevata al tumore con una rapida diminuzione della dose nel tessuto circostante.

I radionuclidi più comunemente usati sono ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{125}I e ^{198}Au . Le sorgenti vengono fornite incapsulate per formare aghi, o cilindretti.

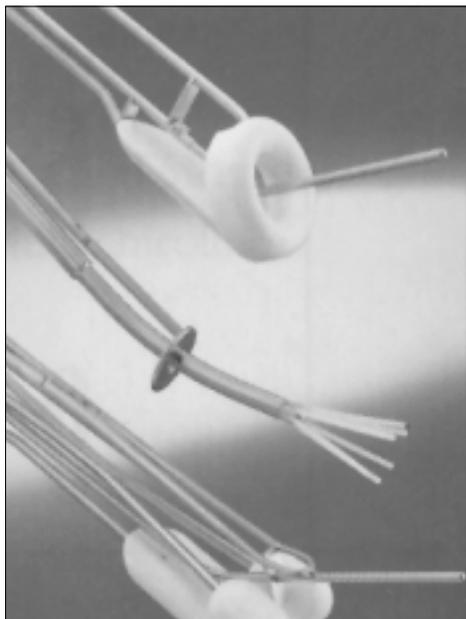
Il ^{192}Ir viene prodotto anche in fili sottili e flessibili che possono essere tagliati alla lunghezza desiderata.

Nella terapia di contatto le sorgenti, inserite in forme di plastica che aderiscono alla zona da trattare, vengono utilizzate per il trattamento di piccole aree superficiali, per esempio per l'orecchio e per le labbra.

Nella terapia interstiziale le sorgenti, inserite direttamente nella lesione, possono essere impiegate quando il tumore è ben localizzato.

Nella terapia endocavitaria le sorgenti vengono introdotte tramite vettori nelle cavità corporee.

Negli ultimi anni è stato introdotto l'impiego, prima in via sperimentale, poi nella pratica clinica, di sorgenti radioattive sigillate di $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, ^{192}Ir , ^{32}P veicolate da appositi cateteri a livello coronarico per prevenire la restenosi dopo procedure interventzionistiche.



Applicatori per brachiterapia endocavitaria

10.2. Misure di prevenzione e protezione

10.2.1. Teleradioterapia

I locali in cui sono sistemate le apparecchiature per i trattamenti di radioterapia (bunker) hanno pareti schermate realizzate con materiali e spessori diversi dipendentemente dall'energia della radiazione e dal numero di pazienti trattati.

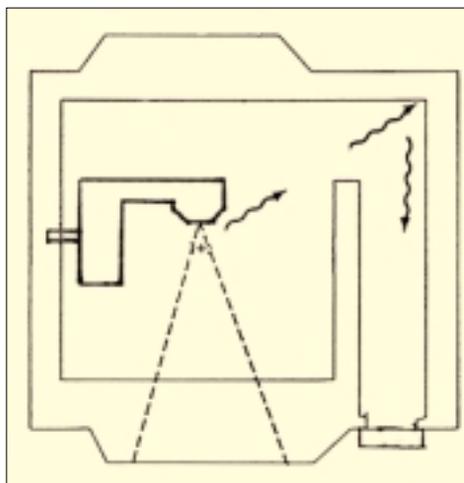
L'accesso alla sala di trattamento è rigorosamente vietato durante i trattamenti e anche l'assistenza a pazienti eventualmente non autosufficienti deve essere delegata a parenti dello stesso, possibilmente anziani.

Il controllo del paziente nel caso di bunker contenenti acceleratori lineari o testate di cobaltoterapia avviene normalmente attraverso una telecamera.

La sala di trattamento, normalmente classificata *zona controllata*, è indicata, oltre che dalla apposita segnaletica,

anche da un dispositivo luminoso che lampeggia durante l'emissione raggi e da una segnalazione acustica. Gli accessi alla sala sono dotati di microswitch che impediscono l'emissione raggi se la porta non è perfettamente chiusa e la interrompono in caso di apertura durante l'irradiazione.

Le aree adiacenti alla zona controllata, e in particolare la sala comandi, possono essere classificate *zona sorvegliata* o non essere classificate, in funzione dell'intensità dei campi di radiazione in essa presenti. Nel caso di apparecchiature per plesioterapia la console di comando può essere situata all'interno della sala di terapia dietro opportune barriere protettive.



Bunker per un acceleratore lineare

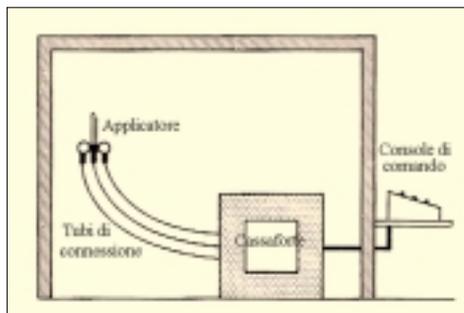
10.2.2. Brachiterapia

I controlli periodici effettuati sulle sorgenti garantiscono la conservazione della loro ermeticità. Le sorgenti non devono mai essere manipolate senza far uso degli appositi mezzi di protezione e i preparati radioattivi non in uso devono sempre essere riposti in appositi contenitori schermati.

Dal punto di vista radioprotezionistico notevoli miglioramenti sono stati introdotti con l'utilizzo della tecnica "after loading" che consente il posizionamento di un vettore all'interno del paziente al fine della verifica geometrica e la simulazione del trattamento senza sorgenti.

I pazienti portatori di impianti interstiziali sono ricoverati in camere di degenza protette l'accesso alle quali è consentito solo al personale autorizzato che tuttavia dovrà stazionarvi per il minor tempo possibile, mantenendosi alla massima distanza consentita compatibilmente con le necessità di assistenza. Di norma gli ambienti in cui si manipolano le sorgenti

e in cui sono ricoverati i pazienti portatori di impianti sono classificati zona controllata.



Schema della tecnica "remote loading" in brachiterapia endocavitaria ginecologica

Radioterapia

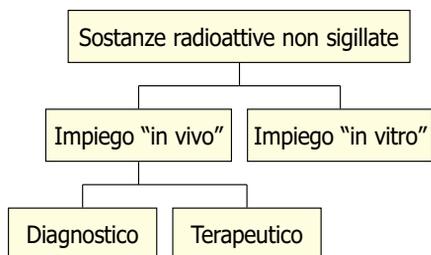


- Assicurarsi sempre che le porte della sala siano chiuse prima di iniziare il trattamento
- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione
- L'accesso alla sala durante il trattamento è interdetto a tutto il personale
- L'eventuale assistenza a pazienti non autosufficienti deve essere affidata a parenti che si prestino volontariamente, che siano dotati di indumenti protettivi (se del caso) e possibilmente anziani
- Manipolare le sorgenti radioattive facendo uso degli appositi mezzi di protezione
- Dopo la rimozione delle sorgenti radioattive infisse, procedere sistematicamente all'inventario delle sorgenti radioattive
- Stazionare presso il paziente portatore di radioattività solo per il tempo strettamente necessario alla sua assistenza

11. RADIOPROTEZIONE NELLE ATTIVITÀ CHE COMPORTANO L'UTILIZZO DI SOSTANZE RADIOATTIVE NON SIGILLATE

11.1. Generalità

L'impiego di sostanze radioattive non sigillate in ambito sanitario può essere ricondotto alla seguente suddivisione generale:



L'impiego di sostanze radioattive non sigillate comporta un pericolo di irradiazione esterna ed un pericolo di contaminazione degli ambienti di lavoro e del personale (irradiazione interna).

Il rischio di irradiazione esterna e di contaminazione interna dipende dal tipo e forma del radioisotopo utilizzato; è direttamente legato alla quantità di radioattività manipolata, al tempo di manipolazione e di stazionamento nei locali in cui sono presenti sorgenti radioattive o pazienti a cui siano state somministrate sostanze radioattive, alla cattiva pulizia degli ambienti, delle superfici e del personale.

Nelle attività comportanti la manipolazione di sostanze radioattive il rischio professionale è ridotto dalla distanza alla quale si opera, dai mezzi di protezione utilizzati (banchi di lavoro protetti, contenitori e siringhe schermati, tele-

manipolatori quando necessari, guanti in lattice), dalla funzionalità delle strutture, dalla perizia e professionalità dell'operatore.

11.2. Rischio di irradiazione esterna

L'impiego "in vivo" di sostanze radioattive non sigillate comporta la manipolazione di attività relativamente elevate soprattutto nella preparazione dei radiofarmaci da somministrare (eluizione dal generatore e marcatura del radiofarmaco) in ambito diagnostico ed, in generale, in ambito terapeutico.

L'impiego "in vitro" comporta viceversa un rischio molto più contenuto. In generale è pertanto possibile affermare che il rischio di irradiazione esterna è rilevante nella attività in vivo mentre non riveste particolare importanza nell'attività in vitro.

Nelle tabelle successive sono contenute informazioni utili alla quantificazione del rischio di irradiazione esterna nelle attività comportanti l'utilizzo di sostanze radioattive non sigillate in considerazione del fatto che le situazioni di rischio più rilevanti sono costituite da:

- ✓ la manipolazione delle sostanze radioattive durante la loro preparazione e somministrazione
- ✓ l'irradiazione da parte dei pazienti durante l'effettuazione dell'esame e o la loro assistenza.

Anche in questo caso si osservi l'efficacia dei dispositivi radioprotettivi disponibili e la conseguente importanza del loro utilizzo ogni qualvolta sia possibile.

Radioisotopo	Attività somministrata (MBq)	$\mu\text{Sv/h}$ a 1 m per MBq (flacone da 10 ml)
^{99m}Tc	37 - 740	0.022
^{131}I	1 - 5550	0.064
^{67}Ga	74 - 185	0.025
^{111}In	74 - 185	0.072
^{201}Tl	74 - 370	0.018

Parametri di interesse radioprotezionistico di alcuni radioisotopi utilizzati "in vivo"

Radioisotopo	Attività annue manipolate (MBq)	$\mu\text{Sv/h}$ a 1 m per MBq (flacone da 10 ml)
^{125}I	37 - 3700	0.014
^{57}Co	74 - 370	0.022
^{32}P	1 - 5550	0.0013
^{35}S	74 - 185	0
^{14}C	74 - 185	0
^3H	74 - 185	0

Parametri di interesse radioprotezionistico di alcuni radioisotopi utilizzati "in vitro"

Radioisotopo	$\mu\text{Sv/h}$ a contatto senza schermatura	Schermatura	$\mu\text{Gy/h}$ a contatto con schermatura
^{99m}Tc	12950	2 mm Pb	130
^{125}I	12580	1 mm Pb	0
^{32}P	888000	1 mm Pb	0
^{57}Co	12580	2 mm Pb	126

Campi di radiazione a contatto di una siringa da 5 ml per una attività di 37 MBq (1 mCi)

Radioisotopo	$\mu\text{Sv/h}$ a 100 cm senza schermatura	Schermatura	$\mu\text{Gy/h}$ a 100 cm con schermatura
^{99m}Tc	0.814	2 mm Pb	0.008
^{131}I	2.37	11 mm Pb	0.024
^{125}I	0.52	1 mm Pb	0
^{32}P	0.05	1 mm Pb	0
^{57}Co	0.81	2 mm Pb	0.008

Campi di radiazione attorno ai contenitori di sostanze radioattive maggiormente impiegate (flacone 10 ml) per una attività di 37 MBq (1 mCi)

Esame	radiofarmaco	attività (MBq)	μSv/h		
			a contatto	a 0.3 m	a 1 m
scintigrafia ossea	^{99m} Tc MDP	555	15	7.2	2.2
scintigrafia epatica	^{99m} Tc colloide	150	4	2	0.6
angiocardio scintigrafia	^{99m} Tc RBC	740	20	10	3
scintigrafia miocardica	²⁰¹ Tl	110	4	2	0.7

Campi di radiazione medi attorno ad un paziente cui sia stata somministrata una sostanza radioattiva a scopo diagnostico subito dopo la somministrazione.

	attività media somministrata ¹³¹ I (GBq)	μGy/h max a 1 m	dose equivalente a 1 m dal paziente (T=0 → ∞) (mSv)
terapia ablativa	2.96	100	4.9
terapia delle metastasi	5.55	165	5
ipertiroidismo	0.185	5.5	1

Campi di radiazione medi attorno ad un paziente cui sia stata somministrata una sostanza radioattiva a scopo terapeutico (¹³¹I)

11.3. Valutazione del rischio per irradiazione esterna

È possibile contenere il rischio di irradiazione esterna ottimizzando le procedure e il lay-out dei servizi di Medicina nucleare.

1. Gli ambienti devono avere adeguate dimensioni e opportune dislocazioni: devono avere strutture fisse di radioprotezione (es. cella calda), sale di attesa ben separate, percorsi logici osservabili nella pratica quotidiana di lavoro.
2. L'operatore sanitario dovrà porre le soluzioni madre negli appositi alloggiamenti schermati in cassaforte o nei frigoriferi di stoccaggio non appena queste vengano consegnate al reparto; dovrà utilizzare sempre contenitori e siringhe schermati riducendo al minimo possibile il contatto diretto con contenitori, siringhe e provette.

3. L'operatore non dovrà stazionare in prossimità del paziente se non per le operazioni connesse alla corretta esecuzione dell'esame diagnostico; dovrà osservare scrupolosamente i contenuti delle norme di protezione e sicurezza ed esigere il loro rispetto.

Il rispetto delle semplici indicazioni sopra indicate rende possibile contenere il rischio di irradiazione esterna secondo quanto indicato nella tabella successiva.

impiego diagnostico in vivo	2 - 5 μ Sv/esame	3 - 4 mSv/anno per operatore (< 8 mSv/anno)	5 - 20 μ Sv/esame alle mani
impiego terapeutico (terapia dell'ipertiroidismo)	< 1 μ Sv/terapia (preparazione e somministrazione)	< 5 μ Sv/terapia (assistenza al paziente)	
impiego terapeutico (terapia delle metastasi da tumore tiroideo)	< 10 μ Sv/terapia (preparazione e somministrazione)	< 50 μ Sv/terapia (assistenza al paziente)	
impiego "in vitro"	rischio molto contenuto salvo casi particolari, quali l'impiego di emettitori beta di alta energia (ad es. ^{32}P), per cui occorre l'impiego di particolari mezzi di protezione.		<< 1 mSv/anno (per le normali attività sanitarie)

Tipiche dosi connesse all'impiego di sostanze radioattive in forma non sigillata a scopo terapeutico

11.4. Rischio di irradiazione interna

Nelle attività in questione è sempre presente il rischio di incorporazione di sostanze radioattive.

I principali potenziali meccanismi di incorporazione sono costituiti da:

- l'ingestione di sostanze radioattive
- l'inalazione di radionuclidi presenti sulle superfici di lavoro contaminate e risospesi nell'aria o a causa di una evaporazione di sostanze radioattive durante la manipolazione.

11.5. Valutazione del rischio per irradiazione interna in attività diagnostica

11.5.1. Incorporazione per inalazione

I radiofarmaci normalmente impiegati in ambito sanitario sono prevalentemente in forma non volatile; in generale i dati in letteratura riportano valori della frazione di attività inalata, rispetto all'attività impiegata, molto piccoli; pertanto, al fine della stima del rischio, si valuta, normalmente, che venga ingeri-

ta una frazione dell'attività impiegata pari a 10-6.

Un discorso particolare va fatto nel caso dell'impiego di sostanze marcate con iodio radioattivo, in particolare ioduri, data la maggior volatilità di questi composti.

Pertanto:

- si può considerare un rischio molto limitato di inalazione nel caso dell'attività diagnostica "in vivo" ed "in vitro", a meno che non si usino grandi quantità di ^{131}I ;
- particolare attenzione va prestata per quanto riguarda l'attività terapeutica con ^{131}I .

11.5.2. Incorporazione per ingestione

L'incorporazione per ingestione di sostanze radioattive da parte del personale operatore è dovuta alla eventuale contaminazione radioattiva delle mani, pelle e vestiti. In letteratura viene riportato che la più importante via di incorporazione è quella mani-bocca durante la preparazione del radiofarmaco. Le frazioni di attività ingerite, qualora si adottino gli oppor-

Radionuclide	Attività impiegata comportante E(50) = 1 mSv/anno (GBq/anno)
^{99m} Tc	4000
¹³¹ I	4
⁶⁷ Ga	450
¹¹¹ In	300
²⁰¹ Tl	950

tuni accorgimenti operativi, sono comunque molto piccole. Al fine della stima del rischio si valuta normalmente che venga ingerita una frazione dell'attività impiegata pari a 10^{-5} . Sulla base dei dati sopra indicati, nella tabella successiva è indicata la quantità di sostanze radioattive che è necessario manipolare annualmente per dare origine alla possibilità di assorbire una dose pari a 1 mSv.

È possibile contenere il rischio di irradiazione interna applicando delle semplici regole comportamentali:

- evitando le contaminazioni personali (usando gli indumenti protettivi ed, in particolare, i guanti monouso);
- evitando le contaminazioni delle superfici e mantenendo i luoghi di lavoro il più possibile "puliti";
- mantenendo la pulizia personale e degli indumenti di lavoro;
- controllando regolarmente la presenza di eventuale contaminazione all'uscita della zona controllata;
- eliminando velocemente e con la dovuta cautela qualsiasi contaminazione superficiale;
- mettendo sempre in funzione le cappe di aspirazione e gli impianti di ventilazione;
- osservando tutte le indicazioni contenute nelle norme di protezione e sicurezza.

11.6. Valutazione del rischio per irradiazione interna in attività terapeutica

Come già detto le soluzioni di radioiodio presentano un alto potenziale di volatilizzazione. La volatilità dipende dalle caratteristiche della soluzione (può variare di un fattore fino a 100).

In letteratura vengono riportati i seguenti valori di attività incorporata come frazione dell'attività manipolata:

soluzione volatile: 6.3×10^{-6}

soluzione volatile sotto cappa: 2.2×10^{-6}

soluzione non volatile: 7×10^{-8}

È importante che la soluzione abbia le seguenti caratteristiche:

- pH > 7
- aggiunta di antiossidanti (disodio fosfato) e agenti chelanti (disodio EDTA)

Le capsule presentano di norma una volatilizzazione potenziale del radioiodio molto inferiore.

Da quanto sopra esposto risultano evidenti le procedure necessarie per ridurre il rischio di irradiazione interna degli operatori addetti alla somministrazione, oltre ovviamente all'impiego degli usuali mezzi di protezione contro la contaminazione personale:

- ✓ impiegare capsule o, comunque, soluzioni non volatili;
- ✓ operare sotto cappa (in modo particolare nell'apertura dei contenitori);
- ✓ evitare l'esposizione all'aria del materiale radioattivo.

L'irradiazione interna dovuta all'assistenza al paziente è dovuta sia alla contaminazione dell'aria, sia alla contaminazione delle suppellettili, della biancheria, etc.

Infatti si ha una escrezione di radioattività da parte del paziente con conseguente contaminazione dell'aria e di tutto il

materiale con cui entra in contatto il paziente stesso; ovviamente vi è presenza di contaminazione nei servizi igienici: in questo caso, al fine della protezione dell'operatore, oltre ai normali mezzi di protezione contro la contaminazione personale (uso di guanti monouso, ecc.), si sottolinea l'importanza dei seguenti interventi:

- uso di materiale a perdere;
- riduzione del tempo di permanenza nella camera di degenza al minimo indispensabile.

Sulla base delle precedenti valutazioni è possibile riassumere i livelli di rischio legati all'impiego di sostanze radioattive non sigillate in ambito sanitario nel modo seguente:

Tipo di impiego	Rischio da irradiazione esterna	Rischio da irradiazione interna
"in vivo" diagnostico	moderato - alto	basso - moderato
"in vivo" terapeutico	alto	alto
"in vitro"	basso - moderato	basso

12. LA RADIOIMMUNOLOGIA (R.I.A.)

12.1. Generalità

Nel campo della biochimica clinica la tecnica del dosaggio radioimmunologico (Radio Immuno Assay - RIA) ha avuto in questi anni una notevole diffusione.

Questa tecnica si basa sulla reazione fra antigene marcato con radiotracciante ed anticorpo offrendo il grande vantaggio della specificità della reazione immunologica con la notevole sensibilità delle misure di radioattività in vitro.

La scelta del radiotracciante è vincolata dalle seguenti necessità: tipo di radiazione emessa facilmente rilevabile, emivita sufficientemente lunga, reattività chimica elevata, elevato grado di purezza ed elevata attività specifica.

Attualmente lo ^{125}I risulta essere il radioisotopo più utilizzato; la sostanza marcata in genere è sotto forma liquida o liofilizzata.

Tra le più comuni indagini RIA si possono ricordare: dosaggi ormonali, marker tumorali, marker dell'epatite.

È da ricordare tuttavia che in questi laboratori vengono normalmente effettuate anche indagini "non RIA", sempre in vitro, utilizzando radionuclidi per la ricerca, tra l'altro, di cellule citotossiche in corso di immunizzazione, misurazione della sintesi di DNA in corso di blastizzazione linfocitaria da alloantigeni, diagnosi molecolare di anemie emolitiche da difetto di membrana ed enzimopatie eritrocitarie.

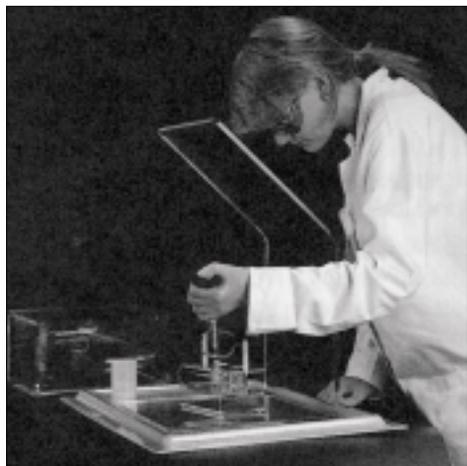
12.2. Misure di prevenzione e protezione

La protezione dei lavoratori in un laboratorio RIA si fonda in larga misura su accorgimenti progettuali.

Un laboratorio RIA è normalmente strutturato a blocchi consistenti in: sala prelievi, deposito materiale radioattivo, sala dosaggi, sala conteggi, deposito rifiuti radioattivi sia liquidi che solidi, ed eventualmente, in relazione alle attività manipolate, una zona di decontaminazione.

Ai fini della protezione dei lavoratori in esso operanti, un Laboratorio RIA deve essere dotato:

- ✓ di un sistema di ventilazione adeguato alla tipologia e alle quantità di sostanze radioattive in esso utilizzate;
- ✓ una cappa
- ✓ pavimenti a sguscio e superfici lavabili per facilitare le operazioni di decontaminazione;
- ✓ adeguata strumentazione di monitoraggio della contaminazione superficiale (monitor per contaminazioni superficiali);
- ✓ un deposito per lo stoccaggio e il decadimento di rifiuti liquidi e solidi radioattivi, prima del loro smaltimento.



Modalità di manipolazione beta emittenti di alta energia

Di solito il rischio di irradiazione esterna è praticamente trascurabile in tali attività a meno che non si utilizzino beta emettitori di alta energia; ai fini della protezione dai rischi di irradiazione interna è indispensabile utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuali disponibili e in particolare guanti monouso da utilizzare durante la manipolazione del tracciante.

12.3. Rifiuti radioattivi

Le attività radioimmunologiche comportano l'inevitabile produzione di rifiuti radioattivi. Una corretta gestione dei rifiuti radioattivi, riveste pertanto rilievo particolare in relazione al loro possibile impatto sull'ambiente. In tali attività il rifiuto solido consiste principalmente in materiale di risulta della attività del laboratorio quali flaconi, ampole, provette e tubi a perdere, puntali di pipettrice, materiale assorbente per banchi, guanti in lattice o polietilene etc.; si tratta, in generale, di materiale ad alto volume e a bassa concentrazione radioattiva.

Il rifiuto liquido consiste viceversa essenzialmente nel siero marcato con la sostanza radioattiva, vials contenenti liquido scintillante e, in alcuni casi, nelle acque di primo risciacquo delle provette o tubi contenenti il composto al quale il marker radioattivo si associa; si tratta, in generale, di materiale di modesta volumetria e concentrazione radioattiva dell'ordine del centinaio di Bq/ml.

Radioimmunologia



- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- Durante la manipolazione di sostanze radioattive indossare sempre i guanti monouso.
- In Zona Controllata è vietato bere, mangiare e fumare.
- All'uscita eseguire il controllo della contaminazione personale con l'apposito strumento di misura. Nel caso venga riscontrata contaminazione attenersi alle specifiche procedure ed avvisare il Responsabile del reparto e l'Esperto Qualificato.
- Evitare di portare mani e oggetti (penne) alla bocca.
- È vietato trasportare all'esterno del laboratorio qualunque attrezzatura senza prima averne controllato la possibile contaminazione.

13. MEDICINA NUCLEARE

13.1. Introduzione

La Medicina nucleare si occupa dello studio della morfologia e della funzionalità di alcuni organi del corpo umano, utilizzando sorgenti γ emittenti non sigillate (energia dei fotoni emessi: da 100 a 400 keV circa).

L'esame scintigrafico viene effettuato somministrando al paziente, principalmente per via endovenosa, una sostanza radioattiva legata ad un composto chimico (tracciante) diverso a seconda dell'organo che si desidera studiare.

Il composto chimico a cui il radionuclide viene legato deve fare in modo che esso venga condotto nei tessuti dell'organo di interesse.

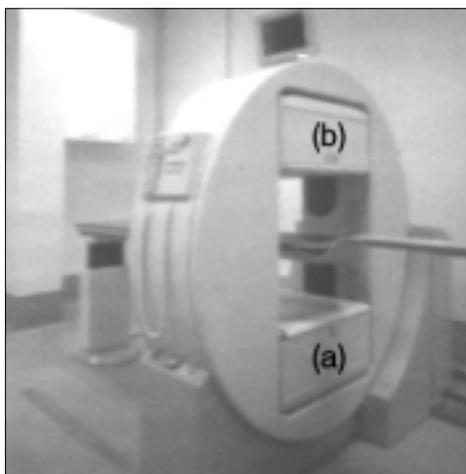
I radionuclidi più comunemente usati sono ^{99m}Tc , ^{67}Ga , ^{111}In , ^{201}Tl e ^{123}I ; nella

tabella successiva sono indicati alcuni dei parametri di interesse radioprotezionistico ad essi relativi.

Isotopo	T1/2	Energia (keV)
^{67}Ga	3.26 d	93.3
		184.6
		300.2
^{111}In	2.81 d	171.3
		245.4
^{123}I	13.2 h	159.0
^{99m}Tc	6.0 h	140.5
^{201}Tl	3.0 d	167.4

Parametri di interesse radioprotezionistico relativi ad alcuni radionuclidi utilizzati in medicina nucleare

Alla base della formazione di una immagine scintigrafica è la possibilità, accostando al corpo del paziente un rivelatore di radiazioni, di rivelare i fotoni emessi dalla sostanza somministrata; i segnali prodotti dal rivelatore, opportunamente processati da un sistema elettronico, forniscono a video l'immagine della distribuzione del tracciante. L'insieme costituito da rivelatore e dal sistema elettronico di elaborazione del segnale viene chiamato comunemente **gamma camera**.



Gamma camera a doppia testa

L'esame scintigrafico può essere effettuato con tecnica planare o tomografica. Nel primo caso la testa del tomografo viene posizionata in corrispondenza della regione corporea da indagare della quale vengono acquisite una o più immagini.

L'acquisizione planare può essere statica o, quando si voglia studiare un fenomeno a rapida variazione temporale (per esempio la funzionalità renale), dinamica: in tal caso vengono acquisite molte immagini in rapidissima successione, nell'ordine di 1 immagine al secondo.

Nell'acquisizione tomografica la gamma camera ruota attorno al paziente in corrispondenza del distretto corporeo da indagare fornendo un elevato numero di proiezioni da cui, con opportuni algoritmi matematici, si ottengono sezioni dell'organo in studio transassiali o secondo assi orientati in qualsiasi direzione.

Una gamma camera può essere a testa singola, doppia o tripla: solitamente le ultime due vengono impiegate per esami tomografici perché, potendo acquisire contemporaneamente più proiezioni, riducono la durata dell'esame.

13.2. Misure di prevenzione e protezione

La protezione dei lavoratori, in un Servizio di Medicina nucleare, si fonda in larga misura su accorgimenti progettuali; un Servizio di medicina nucleare deve infatti essere caratterizzato da:

- ✓ sistemi di ventilazione che convogliano l'aria dalle zone fredde alle zone calde e garantiscano adeguati ricambi di aria;
- ✓ un locale apposito per la manipolazione di radionuclidi (camera calda);
- ✓ pavimenti a sguscio e superfici lavabili per facilitare le operazioni di decontaminazione;
- ✓ percorsi differenziati in ingresso e in uscita dal reparto e una zona di decontaminazione;
- ✓ adeguata strumentazione di monitoraggio della contaminazione superficiale (monitor mani - piedi, monitor per contaminazioni superficiali)
- ✓ un deposito per lo stoccaggio e il decadimento di rifiuti liquidi e solidi radioattivi, prima del loro smaltimento.

Come già detto, l'attività svolta nel servizio di Medicina nucleare espone gli operatori alla irradiazione esterna e alla possibilità di contaminazione interna.

Irradiazione esterna: è dovuta principalmente alle seguenti attività:

- preparazione delle attività da somministrare: l'operatore normalmente lavora inserendo solo le braccia in una cella completamente schermata con piombo e vetro piombifero; le mani sono la parte del corpo esposta;
- somministrazione del tracciante al paziente: la siringa utilizzata dal medico è schermata ma solo in parte;
- assistenza al paziente: gli operatori prestano assistenza ai pazienti che talvolta, per le modalità di esecuzione di alcuni esami, rimangono nel servizio per tempi prolungati (anche qualche ora).

Contaminazione interna: si può verificare:

- durante la manipolazione per inalazione o per contaminazione cutanea;
- in seguito a comportamenti inadeguati: ad esempio, portarsi le mani alla bocca e mangiare e bere negli ambienti esposti a contaminazione;

Ai fini della protezione dai rischi di irradiazione esterna è necessario che vengano utilizzate tutte le schermature strutturali presenti nel servizio: cella di manipolazione in camera calda, barriere fisse e mobili. È altresì indispensabile utilizzare tutti i dispositivi di protezione disponibili e in particolare gli schermi in piombo per le siringhe, per i flaconi contenenti traccianti e per i contenitori di rifiuti.

Ai fini della protezione dai rischi di irradiazione interna è indispensabile utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuali disponibili e in particolare guanti monouso da utilizzare durante la manipolazione del tracciante, gli indumenti e



Cella schermata di manipolazione



Schermi per siringhe

le calzature da indossare solo durante la permanenza in reparto.

13.3. Rifiuti radioattivi

Le attività di Medicina nucleare comportano l'inevitabile produzione di rifiuti radioattivi. Una corretta gestione dei rifiuti

radioattivi riveste pertanto rilievo particolare in relazione al loro possibile impatto sull'ambiente. Nell'esercizio delle attività di diagnostica in vivo vengono prodotti, di norma, solo rifiuti radioattivi in forma solida e liquida, a condizione che:

- a) i vapori o gas radioattivi, peraltro prodotti normalmente in piccole quantità, vengano filtrati prima della loro immissione in ambiente da parte degli impianti di ventilazione e/o condizionamento di cui sono normalmente dotate le strutture di medicina nucleare;
- b) si provveda alla sostituzione programmata dei filtri assoluti e/o a carbone attivo dei servizi di medicina nucleare al fine di mantenerne inalterata la funzionalità e il potere filtrante.

I rifiuti solidi derivanti dall'uso di sostanze radioattive a scopo diagnostico in vivo sono principalmente costituiti da:

- * siringhe, provette e contenitori vuoti di sostanze radioattive;
- * materiale di medicazione;
- * biancheria contaminata;
- * materiale venuto a contatto con escreti di pazienti sottoposti ad esame scintigrafico (pannoloni, teli, cateteri, sondini, etc);
- * materiale di consumo utilizzato in camera operatoria e venuto a contatto con pazienti portatori di radioattività sottoposti a intervento chirurgico (ad es. nel caso di ^{99m}Tc utilizzato nella ricerca del linfonodo sentinella);
- * materiali utilizzati per operazioni di lavaggio e decontaminazione;
- * filtri degli impianti di estrazione dell'aria dei servizi di Medicina nucleare.

In generale si tratta di materiale, prevalentemente "a perdere", contaminato da sostanze radioattive a breve tempo di dimezzamento e spesso con presenza di tossicità batteriologica o chimica. Materiale

contaminato non "a perdere" (ad esempio biancheria) può essere riutilizzato dopo adeguate procedure di decontaminazione e/o dopo un tempo sufficiente a consentire il decadimento della sostanza radioattiva a livelli trascurabili.

Un residuo solido molto frequente è costituito dalle colonne di resine a scambio ionico utilizzate per l'eluizione di ^{99m}Tc . Va inoltre sottolineato che spesso per la manipolazione, il trasferimento e il contenimento di soluzioni radioattive pronte per l'impiego clinico, si utilizzano prevalentemente siringhe, provette e altri tipi di contenitori di materiale plastico, del tipo a perdere; è opportuno trattare tale materiale, anche se contenente residui liquidi, come un rifiuto solido.

I principali rifiuti liquidi derivanti dall'uso di sostanze radioattive non sigillate a scopo diagnostico in vivo, sono costituiti da:

- * **residui di soluzioni somministrate**, costituiti da piccoli volumi con attività inferiore, in genere, al centinaio di MBq; sono in gran parte contenuti in flaconcini con tappo a tenuta e, proprio in considerazione di questi elementi, non è consigliabile estrarre il liquido dai contenitori ma è viceversa opportuno considerare i contenitori stessi come rifiuti solidi;
- * **acque utilizzate per il lavaggio di vetrie o altri oggetti contaminati**, con un volume non precisabile e attività massima dell'ordine di qualche kBq; tale fonte di produzione è evidentemente estremamente contenuta nel caso di utilizzo di materiale "disposable";
- * **acque di lavaggio di biancheria contaminata**, con volume non precisabile e attività non stimabili a priori ma comunque estremamente contenute;
- * **escreti dei pazienti**, di solito raccolti in sistemi di vasche.

Medicina nucleare



- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- Durante la manipolazione di sostanze radioattive indossare sempre i guanti monouso.
- In Zona Controllata è vietato bere, mangiare e fumare.
- All'uscita eseguire il controllo della contaminazione personale con l'apposito strumento di misura. Nel caso venga riscontrata contaminazione attenersi alle specifiche procedure ed avvisare il Responsabile del reparto e l'Esperto Qualificato.
- Evitare di portare mani e oggetti (penne) alla bocca.
- La preparazione dei radiofarmaci da somministrare deve avvenire sotto cappa.
- Per la somministrazione utilizzare sempre siringhe schermate.
- Durante l'esame non rimanere in prossimità del paziente.
- L'assistenza ai pazienti è vietata alle donne gravide.
- È vietato trasportare all'esterno del Servizio qualunque attrezzatura senza prima averne controllato la possibile contaminazione.

14. IL CICLOTRONE

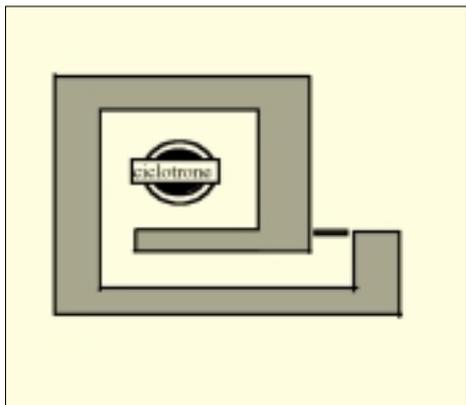
14.1. Generalità

Uno dei metodi più usati nella produzione di radionuclidi si basa sull'utilizzo di un acceleratore di particelle cariche, il ciclotrone. In tale apparecchiatura le particelle cariche vengono accelerate fino ad ottenere elevate energie e fatte collidere su opportuni bersagli, target, producendo reazioni nucleari che portano alla formazione di nuovi elementi radioattivi.

14.2. Misure di prevenzione e protezione

I problemi radioprotezionistici relativi alla

installazione di un ciclotrone in ambito ospedaliero sono spesso rilevanti poiché difficilmente esso può essere collocato lontano da ambienti destinati all'utilizzo delle sostanze radioattive da esso prodotte. Pertanto esso viene alloggiato in un bunker avente pareti di cemento dello spessore di 2 metri circa. Tale necessità è dovuta ai notevoli campi di radiazioni gamma e neutroniche prodotti dalla collisione delle particelle cariche accelerate sia con i bersagli che con le strutture stesse del ciclotrone (pozzi di spegnimento, collimatore, etc.).



Bunker per ciclotrone

L'interazione dei neutroni prodotti con i gas che compongono l'aria ne produce l'attivazione cioè la produzione di radioisotopi gassosi.

Dato il significativo livello di rischio cui potrebbero essere esposte le persone che accidentalmente dovessero trovarsi nel bunker durante il funzionamento della macchina, occorre corredare l'impianto con sistemi di sicurezza che per offrire sufficiente affidabilità devono avere i requisiti di:

- molteplicità (più di un dispositivo di sicurezza);
- automaticità (funzionamento indipendente da errore umano);
- interdipendenza.

Essi agiscono a livelli diversi in funzione dell'entità del rischio inserendosi automaticamente e impedendo qualsiasi esecuzione di operazioni che non rispettino una determinata sequenza. Qualora un dispositivo di sicurezza venisse forzato si avrebbe lo spegnimento immediato dell'acceleratore. Nel bunker, nel camino di espulsione dell'aria ed in generale nei luoghi frequentati dagli operatori sono presenti sistemi di monitoraggio ambientale, sia fissi che mobili.

Tutti questi sistemi di controllo sono tali da escludere, nella normale attività della macchina, qualunque possibilità di incidente. Qualunque operazione all'interno del bunker del ciclotrone, classificato come zona controllata, richiede la valutazione preventiva del rischio e pertanto deve essere autorizzata dall'esperto qualificato.

Recentemente sono stati posti in commercio ciclotroni autoschermanti, tali da non richiedere la costruzione di un bunker dedicato.



Esempio di schermature per ciclotrone

Il materiale schermante è normalmente costituito da boro, polietilene, piombo e cemento. La maggior parte di questi ciclotroni risulta avere una energia delle particelle accelerate di circa 10 – 11 MeV e una corrente di circa 50 μ A. Per ciclotroni aventi energie superiori, pari a circa 16-18 MeV, rimane comunque la necessità di schermare il locale di installazione con pareti in cemento aventi spessore di circa 20 cm per ridurre i campi di radiazione sia gamma che neutronici.

Ciclotrone



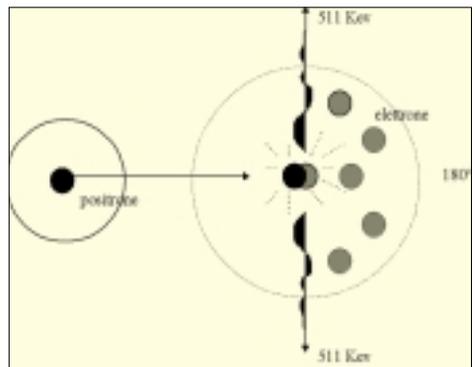
- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- In Zona Controllata è vietato bere, mangiare e fumare.
- All'uscita eseguire il controllo della contaminazione personale con l'apposito strumento di misura. Nel caso venga riscontrata contaminazione attenersi alle specifiche istruzioni ed avvisare il Responsabile del reparto e l'Esperto Qualificato.
- Evitare di portare mani e oggetti (penne) alla bocca.
- L'accesso al bunker è consentito solo quando si verificano tutti i consensi forniti dai sistemi di sicurezza.
- Gli addetti che devono comunque accedere al bunker entro le prime ore dopo l'irraggiamento devono essere autorizzati preventivamente dall'Esperto Qualificato.
- Ogni operazione di manutenzione ordinaria o straordinaria sul ciclotrone ed in particolare in prossimità dei pozzi di spegnimento deve essere preventivamente autorizzata dall'Esperto Qualificato.

15. LA TOMOGRAFIA AD EMISSIONE DI POSITRONI

La tomografia ad emissione di positroni (PET) consente di misurare la concentrazione dei traccianti radioattivi nell'organo in esame e di ricostruire immagini di sezioni dell'organo stesso in termini di distribuzioni di concentrazione del radiotracciante.

La concentrazione di questi radiotraccianti può poi essere messa in relazione a processi fisiologici e metabolici attraverso appropriati modelli matematici.

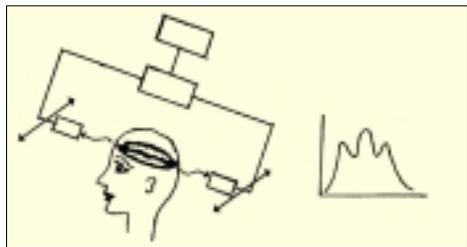
La PET utilizza radionuclidi emittenti positroni (decadimento β^+) e rileva le radiazioni γ da 511 keV emesse a 180° in seguito alla annichilazione del positrone con un elettrone.



Processo di annichilazione

Un sistema di coppie di rivelatori opposti permettono la rivelazione dei γ emessi in coincidenza ed il segnale viene inviato ad

un computer per il trattamento dei dati per la creazioni di immagini tomografiche. Tra i vantaggi sostanziali dell'impiego dei



Ricostruzione del segnale

radionuclidi emittenti positroni nella tomografia ad emissione rispetto a quelli a singolo fotone normalmente usati in Medicina nucleare si possono citare:

- miglioramento della rivelazione in profondità;
- incremento della statistica di conteggio dei tomogrammi;
- maggiore accuratezza delle informazioni fornite dai tomogrammi;
- possibilità di utilizzare come traccianti isotopi di elementi fisiologicamente contenuti nei tessuti e da essi metabolizzati.

L'applicazione biomedica della PET ha contribuito alla selezione di quattro traccianti da destinare all'uso in vivo e che soli coprono circa il 90% delle attuali applicazioni della tomografia a positroni.

La diffusione dei tomografi ad emissione di positroni risulta limitata dal fatto che la breve emivita dei radioisotopi che, tra l'altro, comporta una riduzione della dose al paziente, implica la loro utilizzazione vicino al luogo di produzione.

Radioisotopo	Emivita
^{18}F	1,7 ore
^{11}C	20,3 minuti
^{13}N	10 minuti
^{15}O	123 secondi

Campi di radiazione a 1 metro di distanza dalle sorgenti radioattive impiegate

Radioisotopo	$\mu\text{Sv/h}$ per 37 MBq (1 mCi)
^{18}F	5,69
^{11}C	5,88
^{13}N	5,88
^{15}O	5,81

PET



- Se prescritti, assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- In Zona Controllata è vietato bere, mangiare e fumare.
- All'uscita eseguire il controllo della contaminazione personale con l'apposito strumento di misura. Nel caso venga riscontrata contaminazione attenersi alle specifiche procedure ed avvisare il Responsabile del reparto e l'Esperto Qualificato.
- Evitare di portare mani e oggetti (penne) alla bocca.
- Per la somministrazione utilizzare sempre siringhe schermate.
- Durante l'esame non rimanere in prossimità del paziente.
- L'assistenza ai pazienti è vietata alle donne gravide.

16. LA TERAPIA RADIOMETABOLICA

16.1. Generalità

In terapia radiometabolica vengono somministrate sostanze radioattive a scopo terapeutico.

La scelta del radiofarmaco da impiegare dipende dalle caratteristiche fisiche del radionuclide, dalla natura chimica del composto e da come questo viene metabolizzato dall'organismo. Da un punto di vista fisico i radionuclidi più indicati sono gli emettitori beta puri caratterizzati da un rilascio di energia localizzato. La mancata disponibilità di emettitori beta puri comporta, talvolta, la necessità di utilizzo di emettitori beta - gamma che, oltre all'effetto terapeutico, creano un campo di radiazioni indesiderato attorno al paziente. Nella tabella successiva sono riportati alcuni dati sui radionuclidi più comunemente usati in terapia.

Nuclide	$T_{1/2}$ (g)	$E_{\beta\max}$ (MeV)	E_{γ} (MeV)
^{131}I	8.02	0.600	0.364
^{89}Sr	52	1.463	
^{90}Y	2.7	2.27	
^{32}P	14.3	1.71	

Caratteristiche dei radionuclidi più usati in terapia radiometabolica.

Per quanto riguarda la forma chimica del composto somministrato, essa deve consentire una captazione selettiva nel sito patologico.

16.2. Misure di prevenzione e protezione

È importante sottolineare che la somministrazione di ^{131}I in attività superiori a 600 MBq implica la necessità di ospedalizzazione del paziente in un apposito reparto di degenza protetta. In tal caso la

protezione dei lavoratori si fonda in larga misura su accorgimenti progettuali; un reparto di degenza protetta deve infatti essere caratterizzato da:

- ✓ sistemi di ventilazione che convogliano l'aria dalle zone fredde (corridoi) alle zone calde (camere di degenza) e garantiscano adeguati ricambi di aria;
- ✓ pavimenti a sguscio e superfici lavabili per facilitare le operazioni di decontaminazione;
- ✓ schermature adeguate delle sale di degenza;
- ✓ disponibilità di schermature mobili all'interno delle stanze di degenza;
- ✓ sistemi di raccolta e contenimento degli escreti dei pazienti;
- ✓ percorsi differenziati in ingresso e in uscita dal reparto per il personale e per i pazienti e una zona di decontaminazione;
- ✓ adeguata strumentazione di monitoraggio della contaminazione superficiale (monitor mani - piedi, monitor per contaminazioni superficiali);
- ✓ un deposito per lo stoccaggio e il decadimento di rifiuti liquidi e solidi radioattivi, prima del loro smaltimento.

Anche questa attività espone gli operatori alla irradiazione esterna e alla possibilità di contaminazione interna.

Irradiazione esterna: è dovuta principalmente alle seguenti attività:

- preparazione delle attività da somministrare nel caso in cui non vengano somministrate capsule;
- assistenza al paziente ricoverato;

Contaminazione interna: si può verificare:

- a seguito di inalazione;
- a seguito di comportamenti inadeguati: ad esempio, portarsi le mani alla bocca;

Ai fini della protezione dai rischi di irradiazione esterna è necessario che:

1. il personale stazioni nelle stanze di degenza per il tempo strettamente necessario all'assistenza ai pazienti;
2. vengano utilizzate tutte le schermature mobili presenti nelle sale di degenza;
3. il paziente provveda da solo a portare la capsula alla bocca.

Ai fini della protezione dai rischi di irradiazione interna è indispensabile utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuali disponibili, e in particolare guanti monouso da utilizzare durante la manipolazione del tracciante, indumenti e calzature o sovrascarpe da indossare solo durante la permanenza in reparto.

16.3. Rifiuti radioattivi

Anche le attività di terapia radiometabolica comportano l'inevitabile produzione di rifiuti radioattivi. Una corretta gestione dei rifiuti radioattivi riveste pertanto rilievo particolare in relazione al loro possibile impatto sull'ambiente.

La quasi totalità delle sorgenti non sigillate utilizzate a scopo terapeutico sono disponibili allo stato liquido o solido (capsule).

Nelle attività terapeutiche è possibile riferirsi principalmente ai rifiuti radioattivi prodotti in forma solida o liquida sotto forma di escreti dei pazienti; per quanto riguarda i vapori e/o gas radioattivi prodotti, particolare attenzione dovrà essere posta alla progettazione e alla gestione dei reparti di degenza protetta in cui viene utilizzato ^{131}I a scopo terapeutico. In tali situazioni, al fine di limitare l'immissione di aeriformi radiocontaminati in atmosfera, è necessario che:

- a) il reparto di degenza sia dotato di impianto di condizionamento radioprotezionisticamente ottimizzato;

- b) l'aria espulsa dal reparto sia filtrata attraverso filtri a carbone attivo;
- c) si provveda alla sostituzione programmata dei filtri a carbone attivo al fine di mantenere inalterata l'efficienza di filtrazione dell'impianto;
- d) non si addizionino composti chimici che possano favorire la produzione di iodio in forma gassosa (ad esempio ipoclorito di sodio) ai liquami contenuti nelle vasche che raccolgono gli escreti dei pazienti.

16.3.1. Rifiuti solidi

I rifiuti solidi derivanti dall'uso di sostanze radioattive non sigillate a scopo terapeutico sono costituiti da:

- * contenitori vuoti di sostanze radioattive, siringhe eventualmente utilizzate per la somministrazione;
- * contenitori da trasporto delle sostanze radioattive;
- * materiale di medicazione;
- * guanti e materiale utilizzato per la pulizia e la decontaminazione;
- * siringhe e bicchieri contaminati;
- * residui di sostanze alimentari consumate dai pazienti;
- * piatti e stoviglie utilizzati dai pazienti;
- * biancheria e lenzuola contaminate;
- * filtri degli impianti di estrazione dell'aria in particolare dai reparti di degenza protetta che ospitano pazienti portatori di ^{131}I .

In generale si tratta di materiale contaminato da sostanze radioattive a breve o medio tempo di dimezzamento e spesso con presenza di una certa tossicità batteriologica o chimica.

Nel caso di somministrazione di ^{131}I a scopo terapeutico in reparti di degenza protetta, tutto il materiale a contatto con il paziente (residui di cibo, stoviglie, biancheria, lenzuola etc.) presenta valori di

radiocontaminazione anche rilevanti e pertanto dovrà essere considerato un potenziale rifiuto radioattivo.

16.3.2. Rifiuti liquidi

I principali rifiuti liquidi derivanti dall'uso di sostanze radioattive non sigillate a scopo terapeutico sono costituiti da:

- * residui di radiofarmaci per i quali valgono le considerazioni già esposte a proposito delle attività diagnostiche;
- * acque eventualmente utilizzate per il lavaggio di vetrerie o altri oggetti con-

taminati per le quali valgono le considerazioni già esposte a proposito delle attività diagnostiche;

- * acque di lavaggio di biancheria contaminata con volume non precisabile e attività non stimabili a priori per le quali valgono le considerazioni già esposte a proposito delle attività diagnostiche a condizione di una corretta gestione della biancheria eventualmente radiocontaminata;
- * escreti dei pazienti raccolti in un sistema di vasche.

Terapia radiometabolica



- Assicurarsi di portare i dosimetri personali secondo le modalità indicate nelle norme di radioprotezione.
- Durante la manipolazione di sostanze radioattive indossare sempre i guanti monouso.
- In Reparto è vietato bere, mangiare e fumare.
- All'uscita eseguire il controllo della contaminazione personale con l'apposito strumento di misura. Nel caso venga riscontrata contaminazione attenersi alle specifiche istruzioni ed avvisare il Responsabile del reparto e l'Esperto Qualificato.
- Evitare di portare mani e oggetti (penne) alla bocca.
- Trattare tutto il materiale proveniente dalle stanze di degenza (stoviglie, piatti, residui di cibo, etc.) come radiocontaminato.
- Trattarsi nelle sale di degenza per il tempo strettamente necessario all'assistenza.

17. IRRADIAZIONE DEI PREPARATI BIOLOGICI

17.1. Generalità

Per irradiare preparati biologici, in particolare sangue, concentrati piastrinici ed emoderivati, cellule, tessuti ed organi da trapianto, si usano macchine dedicate. Esse sono costituite normalmente da una cella schermata contenente la sorgente radiogena e nella quale vengono inseriti i campioni da irradiare. Esistono apparecchiature a sorgente radioisotopica e apparecchiature a raggi X prodotti da tubo radiogeno.

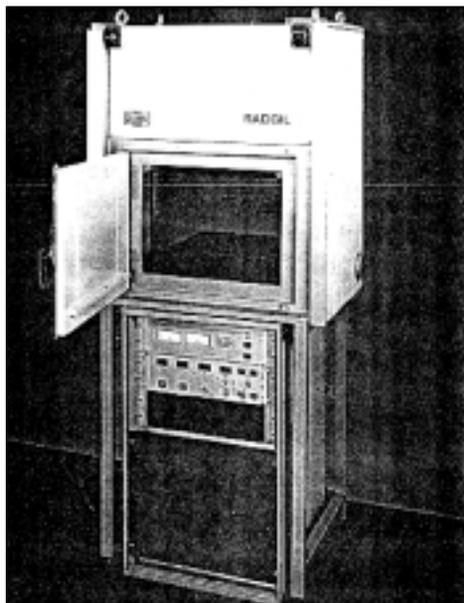
Le apparecchiature a sorgente radioisotopica, attualmente poco utilizzate e in fase di sostituzione con quelle a raggi X, utilizzano normalmente sorgenti sigillate di ^{137}Cs . L'apparecchiatura utilizzando il tubo radiogeno funziona a tensioni fino a 200 kV.

17.2. Misure di prevenzione e protezione

Generalmente queste installazioni non necessitano di particolari accorgimenti per garantirne il funzionamento in condizioni di sicurezza in quanto il fascio radiante rimane completamente confinato all'interno della cella. La schermatura di

questa è studiata per garantire all'esterno di essa una riduzione della dose a valori praticamente confrontabili con il fondo naturale.

Il personale addetto deve essere istruito sul corretto funzionamento delle apparecchiature e deve seguire scrupolosamente tutte le indicazioni tecniche e di sicurezza.



Apparecchiatura per irraggiamento di emoderivati

18. NORME DI RADIOPROTEZIONE

Da quanto indicato nei capitoli precedenti, emerge con chiarezza che condizioni di sicurezza nelle attività che comportano il rischio di esposizioni alle radiazioni ionizzanti possono essere ottenute da un lato con azioni e/o provvedimenti definiti preventivamente all'esercizio dell'attività, dall'altro utilizzando procedure di lavoro condotte correttamente da un punto di vista radioprotezionistico. In tale contesto assume particolare importanza quanto disposto in materia di norme di radioprotezione alla lettera f) del comma 3 dell'art. 61 del D. Lgs. 230/95 e successive modifiche integrazioni. La redazione di norme appropriate in relazione alla tipologia e all'entità del rischio da radiazioni ionizzanti non deve rappresentare pertanto una mera ottemperanza formale a un disposto di legge, ma viceversa deve costituire il risultato di un'analisi condotta, situazione per situazione, delle modalità con cui il lavoro a rischio si deve esplicare. In tale contesto le norme contenute nell'appendice 2 di questo manuale informativo vanno intese solo ed esclusivamente come esempio delle situazioni che dovrebbero essere prese in considerazione e non come un tentativo di standardizzare delle raccomandazioni che viceversa non devono prescindere dalla specifica realtà lavorativa. Per tale motivo si è preferito limitarsi a prendere in considerazione solo alcune attività di radiodiagnostica che, oltre ad essere le fonti di rischio più frequenti, presentano caratteristiche tali da consentire sufficienti margini di generalizzazione.

18.1. Appendice 1 - Unità di misura

Si riportano le principali definizioni di grandezze e unità di misura.

1. **Attività (A):** numero di disintegrazioni di un nucleo radioattivo che avviene nell'unità di tempo. L'unità di misura è il bequerel (Bq):

$$1\text{Bq} = 1 \text{ disintegrazione/s}$$

I fattori di conversione da utilizzare quando l'attività è espressa nella vecchia unità di misura, il Curie (Ci), sono i seguenti:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7027 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

2. **Energia (E):** è la capacità della radiazione di provocare ionizzazioni, eccitazioni o trasformazioni nucleari. L'unità di misura dell'energia di un fascio di radiazioni ionizzanti è l'elettronvolt (eV). Comunemente impiegati sono i suoi multipli keV e MeV.
3. **Tensione (V):** indica la differenza di potenziale tra due elettrodi. La sua unità di misura è il volt; comunemente viene usato il kV.
4. **Intensità di corrente (I):** quantità di carica elettrica che attraversa nell'unità di tempo una sezione di un materiale. La sua unità di misura è l'ampere (A):
$$1\text{A} = 1 \text{ coulomb/s}$$
Comunemente viene utilizzato il mA.
5. **Dose assorbita (D):** quoziente di dE diviso per dm, in cui dE è l'energia media ceduta dalle radiazioni ionizzanti alla materia in un elemento volumetrico e dm la massa di materia contenuta in tale elemento volumetrico.
L'unità di misura è il gray (Gy):
$$1\text{Gy} = 1 \text{ J/ Kg}$$
I fattori di conversione da utilizzare quando la dose assorbita è espressa

nella vecchia unità di misura, il rad, sono i seguenti:

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

Tabella 1. Prefissi equivalenti alle potenze di 10.

Prefisso	Simbolo	Potenza di dieci
giga-	G	10^9
mega-	M	10^6
kilo-	k	10^3
centi-	c	10^{-2}
milli-	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}

Tabella 2. Grandezze fondamentali e relative unità di misura.

Grandezza	Unità di misura
Attività	bequerel (Bq)
Energia	elettronvolt (eV)
Tensione	volt (V)
Intensità di corrente	ampere (A)
Dose assorbita	gray (Gy)
Equivalente di dose	sievert (Sv)
Equivalente di dose efficace	sievert (Sv)
Dose impegnata	sievert (Sv)

Tabella 3. Alcuni fattori di peso w_R per la radiazione.

Radiazioni	w_R
Radiazioni X, γ , β , elettroni, positroni e muoni di qualsiasi energia	1
Protoni con energia (E) >di 2 MeV	5
Neutroni con $E < 10 \text{ KeV}$	5
Neutroni con $10 < E < 100 \text{ keV}$	10
Neutroni con $100 \text{ KeV} < E < 2 \text{ MeV}$	20
Neutroni con $2 < E < 20 \text{ MeV}$	10
Neutroni con $E > 20 \text{ MeV}$	5
Particelle α di frammenti di fissione, nuclei pesanti	20

Tabella 4. Fattori di peso, w_T , per tessuti ed organi.

Tessuto o organo	w_T
Gonadi	0,20
Colon	0,12
Midollo osseo (rosso)	0,12
Polmone	0,12
Stomaco	0,12
Mammelle	0,05
Esofago	0,05
Fegato	0,05
Tiroide	0,05
Vescica	0,05
Ossa (superfici ossee)	0,01
Pelle	0,01
Rimanenti organi e tessuti	0,05

6. **Dose equivalente (H):** grandezza radioprotezionistica ottenuta moltiplicando la dose assorbita (D) per fattori (Tab. 3) che dipendono dal tipo e dall'energia della radiazione, al fine di qualificare il significato della dose assorbita stessa per gli scopi della radioprotezione. L'unità di misura è il sievert (Sv):

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$$

I fattori di conversione da utilizzare quando la dose equivalente è espressa nella vecchia unità di misura, il rem, sono i seguenti:

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

7. **Dose efficace (E):** somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti, ponderate secondo i fattori indicati in Tabella 4:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

L'unità di misura è il sievert (Sv).

8. **Dose impegnata:** dose ricevuta da un organo o da un tessuto, in un determinato periodo di tempo, in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi. L'unità di misura è il sievert (Sv).

18.2. Appendice 2 - Norme di radio-protezione in radiodiagnostica

ADEMPIMENTI DI RADIOPROTEZIONE

I LAVORATORI

che svolgono attività che li espongono al rischio da radiazioni ionizzanti

DEVONO

(rif. articoli 68 e 69 D. Lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni)

1. 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;
2. usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
3. 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;
4. non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi, e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione;
5. non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;
6. sottoporsi alla sorveglianza medica ai sensi del presente decreto.
7. I lavoratori che svolgono, per più datori di lavoro, attività che li espongono al rischio da radiazioni ionizzanti, devono rendere edotto

ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri, ai fini di quanto previsto all'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.

8. Ferma restando l'applicazione delle norme speciali concernenti la tutela delle lavoratrici madri, le donne gestanti non possono svolgere attività **in zone classificate o, comunque, ad attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda un mSv durante il periodo della gravidanza.**
9. È fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione, non appena accertato.
10. È altresì vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.

ISTRUZIONI PER L'USO DEI DOSIMETRI PERSONALI

1. Il controllo dosimetrico personale, **laddove previsto**, è di norma eseguito mediante un dosimetro individuale da portare al petto (usualmente in corrispondenza dell'emitorace sinistro). Per attività particolari possono essere assegnati ulteriori dosimetri da portare alle mani o al polso (dosimetri ad anello o a bracciale) e/o in corrispondenza di organi particolari (p.e. il cristallino).
2. I dosimetri devono essere utilizzati solo dal lavoratore a cui sono stati as-

segnati: essi non possono essere ceduti o prestati ad altri. Inoltre gli stessi dosimetri non devono essere utilizzati per eventuali attività svolte per conto di altri datori di lavoro.

3. I dosimetri devono essere portati in modo da non essere mai schermati, in tutto o in parte, da oggetti personali quali penne, tesserini, bracciali, orologi, ecc.
4. In presenza di indumenti protettivi, i dosimetri devono essere portati secondo le modalità indicate dall'esperto qualificato
5. I dosimetri assegnati devono essere impiegati e conservati con cura; in particolare, quando non sono utilizzati, devono essere riposti in luoghi lontani da fonti di radiazione, di calore e di umidità. È vietata qualunque manomissione che possa deteriorarli.
6. Segnalare al Responsabile del Servizio/ Reparto l'eventuale esposizione di un dosimetro individuale verificatasi al di fuori del normale uso nell'attività lavorativa (p.e. nel caso che un dosimetro sia stato perso o lasciato, anche temporaneamente, all'interno di una sala radiologica in uso o in prossimità di una fonte di radiazione).
7. Comunicare al Responsabile del Servizio/ Reparto l'eventuale deterioramento o smarrimento di un dosimetro personale richiedendone la sostituzione.
8. Osservare le procedure stabilite per il cambio periodico dei dosimetri.

RADIODIAGNOSTICA SPECIALISTICA

Il personale addetto è tenuto al rispetto delle norme nonché all'osservanza degli *adempimenti di radioprotezione per i la-*

voratori e delle istruzioni per l'uso dei dosimetri personali.

1. Se l'operatore è sottoposto al controllo dosimetrico individuale, prima di iniziare l'attività deve verificare di essere munito dei dosimetri individuali assegnati che devono essere portati secondo le specifiche istruzioni e per tutta la durata dell'attività.
2. Nel caso di pazienti che necessitano di assistenza durante l'esame radiologico richiedere, ove possibile, la collaborazione di un parente o di un accompagnatore, diversamente tale compito **deve** essere svolto da personale sanitario classificato ai fini della radioprotezione; è in ogni caso vietato affidare l'incarico di assistenza a minori di 18 anni e donne in gravidanza. La persona che presta assistenza deve essere dotata di indumenti anti-X e disposta in modo da evitare l'esposizione al fascio diretto.

Impiego di apparecchi radiologici fissi

1. Durante l'esecuzione degli esami le porte della sala radiologica devono essere chiuse.
2. Negli esami radiodiagnostici di tipo convenzionale gli addetti devono operare di norma dalla zona comandi, schermata dall'apposita cabina anti-X.
3. Negli esami radiodiagnostici che devono essere eseguiti a contatto ravvicinato con il paziente ogni operatore deve indossare i mezzi di protezione individuale stabiliti dall'Esperto Qualificato secondo il rischio di esposizione connesso alla propria mansioni.
4. Utilizzare di preferenza, se presente, il dispositivo di collimazione automa-

tica del fascio di raggi X, altrimenti regolare manualmente la collimazione del campo di radiazione alle dimensioni del ricevitore dell'immagine o, in fluoroscopia, alle dimensioni dello schermo di ingresso dell'intensificatore di immagine.

5. Utilizzare di preferenza, se presente, il dispositivo di controllo automatico dell'esposizione, altrimenti – per gli esami radiodiagnostici di cui è nota la tecnica impiegata - impostare manualmente i parametri di esposizione (kV, mAs o mA) attenendosi ai valori prestabiliti.

Impiego di apparecchi radiologici mobili

1. Il paziente e il ricevitore dell'immagine devono essere posizionati con cura in modo da evitare possibili cause di ripetizione del radiogramma. Quando è possibile il fascio di raggi X va orientato nella direzione in cui non vi sono altri pazienti o ambienti con presenza di personale.
2. La collimazione del campo di radiazione deve essere regolata in modo da corrispondere alle dimensioni del ricevitore dell'immagine.
3. Nei casi in cui il paziente debba essere assistito da personale sanitario durante l'esame radiografico, questi deve indossare i mezzi di protezione individuali. L'eventuale altro personale presente in sala deve allontanarsi.
4. Quando l'esame radiografico è eseguito in una camera di degenza a un paziente allettato è opportuno che eventuali pazienti presenti, se deambulanti, siano allontanati oppure siano protetti con barriere mobili o grembiuli anti-X.
5. L'operatore deve eseguire l'esame

avendo indossato il grembiule anti-X, allontanandosi dal fascio X alla distanza massima consentita dal filo del pulsante di scatto.

6. È vietato lasciare incustodito un apparecchio radiologico mobile acceso.
7. Al termine dell'impiego l'apparecchio deve essere spento e scollegato dalla rete o bloccato il comando di accensione.

FLUOROSCOPIA NELLE ATTIVITÀ RADIODIAGNOSTICHE COMPLEMENTARI

Il personale addetto è tenuto al rispetto delle norme nonché all'osservanza degli *adempimenti di radioprotezione per i lavoratori e delle istruzioni per l'uso dei dosimetri personali.*

1. L'impiego dell'apparecchio radiogeno è consentito unicamente in fluoroscopia; l'esecuzione di esami radiografici è di esclusiva competenza del personale abilitato di Radiologia.
2. Se l'operatore è sottoposto al controllo dosimetrico individuale, prima di iniziare l'attività deve verificare di essere munito dei dosimetri individuali assegnati che devono essere portati secondo le specifiche istruzioni e per tutta la durata dell'attività.
3. Tutto il personale presente in sala deve indossare il grembiule anti-X e gli eventuali altri indumenti anti-X (guanti, occhiali, collare, ecc.) stabiliti dall'Esperto Qualificato secondo il rischio di esposizione connesso alle mansioni di ogni operatore.
4. In sala deve essere presente solo il personale strettamente necessario all'esecuzione dell'esame.
5. Gli apparecchi radiogeni mobili, dotati di norma di uno stativo ad arco a C,

devono essere utilizzati preferibilmente con il tubo radiogeno sotto il paziente e l'intensificatore di brillantezza sopra, regolandone l'altezza in modo che lo schermo dell'I.B. sia il più vicino possibile al paziente.

6. Utilizzare il dispositivo di controllo automatico dell'esposizione.
7. Durante l'emissione del fascio di raggi X ogni operatore deve allontanarsi il più possibile dal campo di radiazione compatibilmente con le esigenze dell'esame. Deve essere evitata l'esposizione al fascio diretto delle mani o di altre parti del corpo.
8. Il sanitario addetto al funzionamento dell'apparecchiatura deve avvisare prima di ogni esposizione per consentire agli operatori non indispensabili alla esecuzione della procedura di allontanarsi.
9. Al termine dell'impiego l'apparecchio deve essere spento e, secondo le possibilità, scollegato dalla rete o bloccato il comando di accensione.

TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA (TC)

Il personale addetto è tenuto al rispetto delle norme nonché all'osservanza degli *adempimenti di radioprotezione per i lavoratori e delle istruzioni per l'uso dei dosimetri personali.*

1. Se l'operatore è sottoposto al controllo dosimetrico individuale, prima di iniziare l'attività deve verificare di essere munito dei dosimetri individuali assegnati che devono essere portati secondo le specifiche istruzioni e per tutta la durata dell'attività.
2. Prima di iniziare l'esame è necessario accertarsi che nella sala radiologica

sia presente solo il paziente e che la porta d'accesso sia chiusa.

3. L'operatore deve eseguire l'esame dalla sala comandi tenendo il paziente sotto controllo dall'apposita visiva anti-X e comunicando tramite l'interfono.
4. Gli operatori sanitari che eseguono interventi specialistici TC guidati (p.e. blocchi peridurali, biopsie, ...) dovranno di norma accedere alla sala radiologica solo al termine della scansione, in assenza di emissione di raggi X.
5. Il personale che dovesse restare in sala durante la scansione per inderogabili esigenze cliniche deve essere munito di grembiule in gomma piombifera e deve stazionare di fianco al gantry.
6. In caso di emergenza attivare l'apposito pulsante (di norma di colore rosso) presente sulla console di comando.

MINERALOMETRIA OSSEA COMPUTERIZZATA (MOC)

Il personale addetto è tenuto al rispetto delle norme nonché all'osservanza degli *adempimenti di radioprotezione per i lavoratori e delle istruzioni per l'uso dei dosimetri personali.*

1. Se l'operatore è sottoposto al controllo dosimetrico individuale, prima di iniziare l'attività deve verificare di essere munito dei dosimetri individuali assegnati che devono essere portati secondo le specifiche istruzioni e per tutta la durata dell'attività.
2. Durante l'impiego del mineralometro in sala deve essere presente solo il paziente e l'operatore addetto: eventuali altre attività cliniche svolte nella stessa sala devono essere sospese.
3. Il posizionamento del paziente deve

- essere effettuato sempre in assenza di scansione del fascio di radiazione.
4. Durante l'esecuzione dell'esame l'operatore deve stazionare nella postazione di comando, avvicinandosi al paziente solo in caso di necessità.
 5. L'operatore deve seguire l'esame dalla postazione di comando per tutta la sua durata non allontanandosi dalla sala quando un esame in corso.
 6. In caso di mancata cessazione dell'erogazione raggi al termine della scansione (riscontrabile dai dispositivi di segnalazione sulla console e sul mineralometro stesso) spegnere l'apparecchio e allontanare il paziente. Avvisare il Responsabile del Reparto.
 7. Qualunque intervento di riparazione o di manutenzione del mineralometro deve essere eseguito dal personale specializzato della Ditta fornitrice. Nei mineralometri che impiegano sorgenti sigillate tutte le operazioni di sostituzione della sorgente e la relativa calibrazione devono essere effettuate esclusivamente dal personale specializzato della ditta incaricata.
 8. Al termine dell'impiego il mineralometro deve essere spento.

RADIODIAGNOSTICA ODONTOIATRICA

1. Se il medico odontoiatra è sottoposto al controllo dosimetrico individuale prima di eseguire l'esame radiografico deve verificare di essere munito del dosimetro individuale assegnato che va portato secondo le specifiche istruzioni.
2. Il paziente e il ricevitore dell'immagine devono essere posizionati con cura in modo da evitare possibili cause di

- ripetizione del radiogramma. Nelle radiografie endorali la pellicola o il sensore deve essere sostenuto direttamente dal paziente stesso.
3. Deve essere disponibile un grembiule o una mantellina anti-X per la protezione del paziente.
 4. In caso di pazienti non collaboranti richiedere l'assistenza di un accompagnatore (escludendo donne in gravidanza o minori di 18 anni); la persona incaricata dovrà essere dotata di indumento anti-X e disposta in modo da evitare l'esposizione al fascio diretto.
 5. Il medico odontoiatra deve eseguire l'esame radiografico avendo preventivamente allontanato dalla sala l'eventuale assistente di studio e, se il comando di esposizione dell'apparecchio non è installato all'esterno della sala, collocarsi il più lontano possibile dal paziente nella direzione opposta al fascio di radiazione.
 6. In caso di malfunzionamento dell'apparecchio radiogeno o di suoi componenti quali la centralina per la selezione dei tempi di esposizione o il pulsante di comando raggi, sospendere l'impiego dell'apparecchio stesso e richiedere l'intervento dell'assistenza tecnica della Ditta fornitrice.
 7. Comunicare all'Esperto Qualificato la sostituzione di parti o componenti dell'apparecchio radiogeno o l'esecuzione di interventi di manutenzione al fine di stabilire, se del caso, le relative verifiche.

Finito di stampare:
Ottobre 2001 - Modulimpianti s.n.c. - Capriate S.G.

Bianca