

RADIOPROTEZIONE

CORSO DI LAUREA IN INFERMIERISTICA

Dott. DANIELE SERGI

*MEDICO – RADIOLOGO
U.O.C. RADIOLOGIA
“V. FAZZI” - LECCE*

L'immagine radiografica tradizionale è prodotta dai **raggi X** (scoperti nel 1895). Le radiazioni elettromagnetiche (ondulatorie) comportano un trasporto di energia radiante, senza un corrispondente trasporto di materia o di carica elettronica; queste radiazioni sono caratterizzate dalla frequenza (ν), lunghezza d'onda (λ) e velocità di propagazione (c) uguale a quella della luce, 300000 km al secondo (3×10^8 m/s) il tutto correlato dalla relazione $\lambda \nu = c$.

1.571

Le radiazioni si distinguono in:

Radiazioni ionizzanti: la parte a maggior contenuto energetico delle radiazioni ultraviolette, fotoni X e γ , particelle atomiche;

Radiazioni non ionizzanti: onde hertziane, radiazioni infrarosse e ottiche, la parte a minor contenuto energetico delle radiazioni ultraviolette; le radiazioni non ionizzanti hanno energia insufficiente a provocare alterazioni atomiche: l'energia delle radiazioni non ionizzanti si trasforma essenzialmente in energia termica.

In radiodiagnostica si usano **fotoni X** di energia compresa fra 25 e 150 KeV; mentre in radioterapia oncologica si utilizzano energie superiori ai 400 KeV.

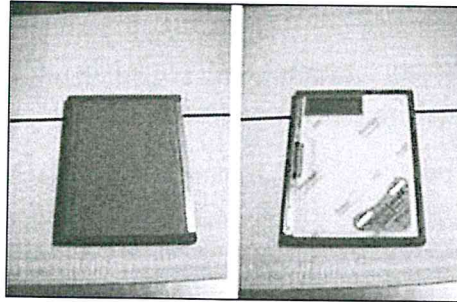
I fotoni X in radiodiagnostica hanno le seguenti proprietà:

- capacità di attraversare i mezzi opachi alle radiazioni ottiche, essendone in parte riassorbiti;
- capacità di impressionare le emulsioni fotografiche;

%

%

- capacità di provocare il fenomeno della fluorescenza in determinate sostanze dette fluorescenti;
- capacità di provocare complessi fenomeni di interazione alla cui base sono gli effetti elementari dell'eccitazione e della ionizzazione.

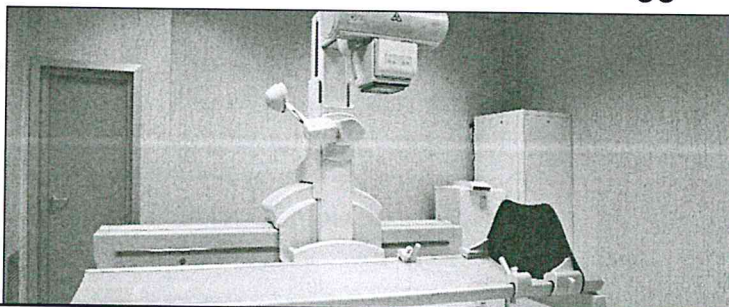


**Il mezzo più efficace per produrre i raggi X è:
il tubo radiogeno.**

La **qualità dell'immagine radiologica** dipende dal:

Potere risolutivo: cioè la distanza minima tra due dettagli che un sistema di trasmissione è ancora in grado di riprodurre separatamente;

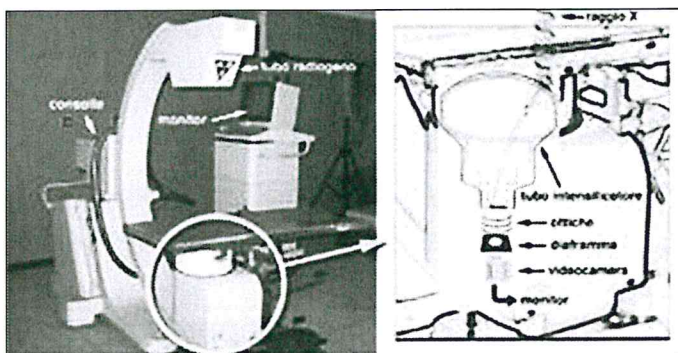
Contrasto: cioè l'immagine radiologica è la rappresentazione delle ombre di diverse intensità d'assorbimento di un oggetto non omogenee, queste differenze di intensità sono definite come contrasto;



Funzione di trasferimento della modulazione (MTF): che fornisce la relazione tra dimensione del dettaglio e contrasto;

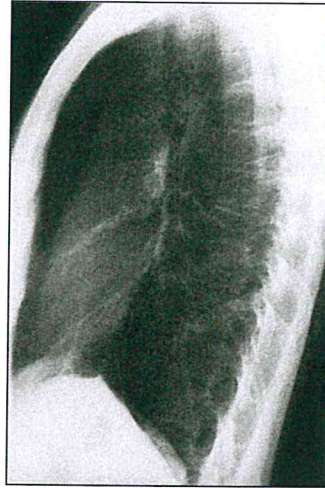
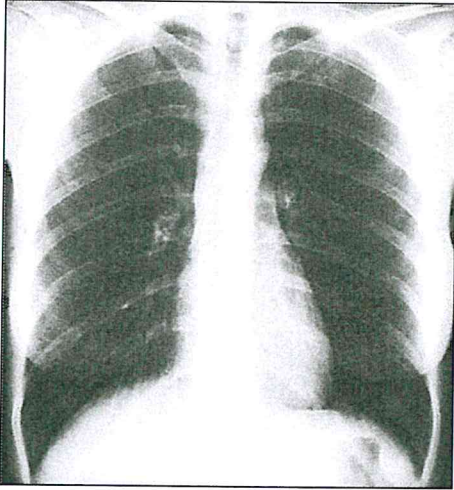
Rumore quantico: cioè fluttuazioni statistiche che si manifestano come rumore nell'immagine radiologica. I dettagli fini con scarso contrasto possono perciò venire nascosti;

Fattore di conversione: cioè la misura della resa luminosa del sistema rivelatore in oggetto.

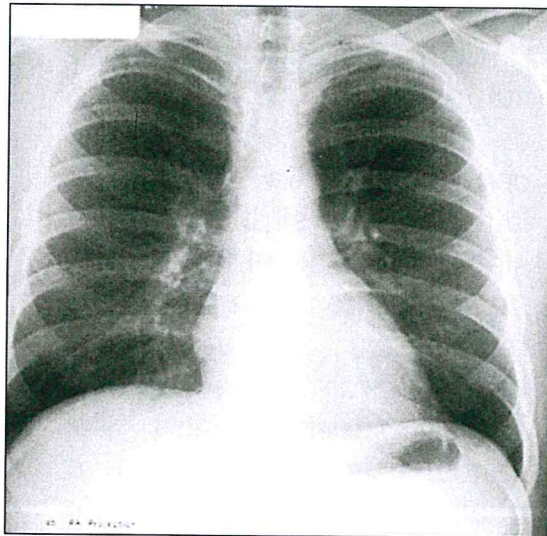


L'intensificatore di brillantezza (sinonimo: fluoroscopio) è l'apparecchio utilizzato per effettuare radioscopie (sinonimo: fluoroscopie). Si tratta di apparecchi che lavorano con bassissime quantità di mA (3-8) e per questo riducono notevolmente l'esposizione e, quindi, i rischi radiologici. Alcuni apparecchi radiografici fissi possono lavorare, oltre che in grafia, anche in scopia.

L'immagine radiografica è data da zone **“scure”** dovute alle radiazioni che non sono state assorbite e zone **“chiare o trasparenti”** dove le formazioni attraversate hanno assorbito in toto o in parte le radiazioni incidenti.



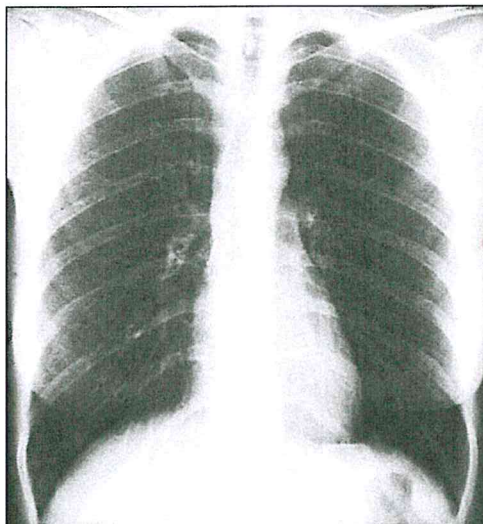
L'immagine radiologica è un'ombra proiettata con un fascio di raggi X divergenti, le dimensioni delle parti rappresentate sono sempre superiori a quelle dell'oggetto stesso (ingrandimento radiologico) ad esempio la distanza ideale tra tubo radiogeno (sorgente raggi X) e piano di proiezione (dove si inserisce la cassetta radiologica) è di 1,5 mt.



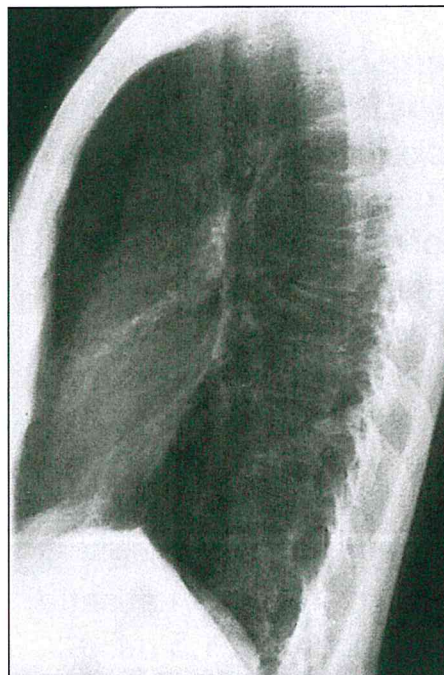
Proiezioni

Le proiezioni utilizzate riferite ai piani di sezione del corpo umano possono essere rispettivamente **frontale**, **laterale**, **obliqua** e **assiale** (trasversale).

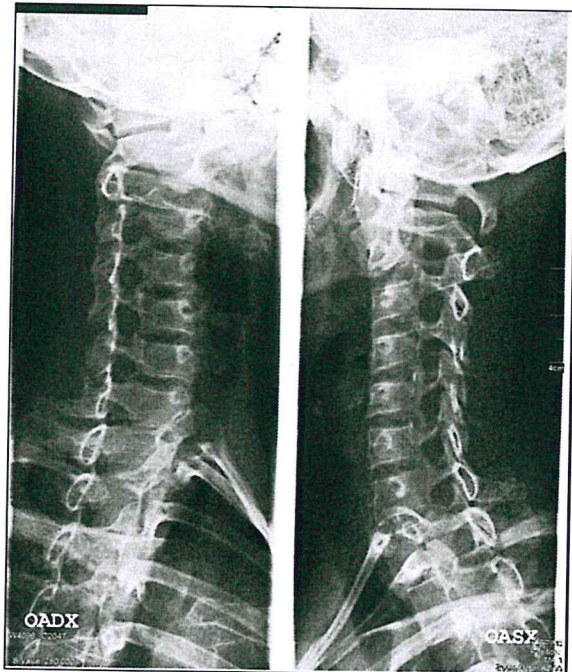
Nella proiezione **frontale** l'incidenza del fascio di raggi X è in direzione postero-anteriore (dorso-ventrale) o antero-posteriore (ventro-dorsale).



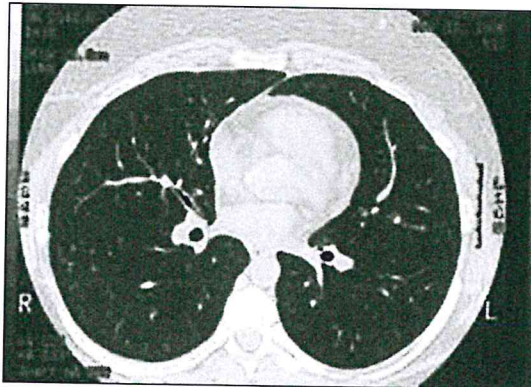
Nella proiezione **laterale** l'incidenza è sul lato destro o sul sinistro con emergenza del fascio dal controlato; per convenzione la proiezione latero-laterale si dice destra o sinistra in base al lato che si trova vicino alla pellicola radiografica (la radiazione nella proiezione latero-laterale destra entra dal fianco sinistro e fuoriesce da quello destro; il contrario ovviamente avviene nella proiezione latero-laterale sinistra).



Nella proiezione **obliqua** l'incidenza del fascio ha direzione intermedia alle precedenti. Nella proiezione obliqua anteriore destra (OAD) le radiazioni entrano dorsalmente dalla spalla sinistra e fuoriescono ventralmente dalla spalla destra che è più vicina alla pellicola rispetto alla controlaterale; il contrario si ha nella proiezione obliqua anteriore sinistra (OAS).



Le proiezioni **assiali** sono definite dal piano di sezione trasversale del corpo, usata per lo studio della base cranica, come anche in TC, RM e Mammografia. Il lato destro del paziente corrisponde al lato sinistro dell'osservatore e il contrario per l'altro lato.



MEZZI DI CONTRASTO ARTIFICIALI

L'introduzione nell'organismo di sostanze chimiche estranee implica la possibilità di interazione con i sistemi biologici.

Il m.d.c. ideale dovrebbe essere farmacologicamente inerte, ma attualmente pur essendo in commercio prodotti sufficientemente ben tollerati e con caratteristiche idonee e selettive per i vari organi e apparati, non è stata ancora sintetizzata una molecola che possieda atossicità assoluta e priva di effetti collaterali e secondari.

m.d.c. radiotrasparenti o negativi (rarissimamente usati):

- aria
- ossigeno
- CO₂
- elio
- protossido di azoto

m.d.c. radiopachi o positivi (alto numero atomico con elevata radiopacità, devono avere impiego efficace e sicuro, buona tollerabilità, senza attività farmacologica, non interferire nocivamente con organi ed apparati, rapida e totale eliminazione dell'organismo):

- mezzi di contrasto baritati
- mezzi di contrasto iodati

MEZZI DI CONTRASTO

CONTRASTOGRAFIA NATURALE SFRUTTA LE NATURALI DIFFERENZE DI ASSORBIMENTO AI RAGGI X DEI TESSUTI ORGANICI IN RAPPORTO AL LORO DIVERSO SPESSORE E ALLA COMPOSIZIONE CHIMICA.

**POSSIBILITA' BUONE IN PRESENZA DI CALCIO E/O ARIA
MA LIMITATE NELLA DIFFERENZIAZIONE DEI PARENCHIMI**

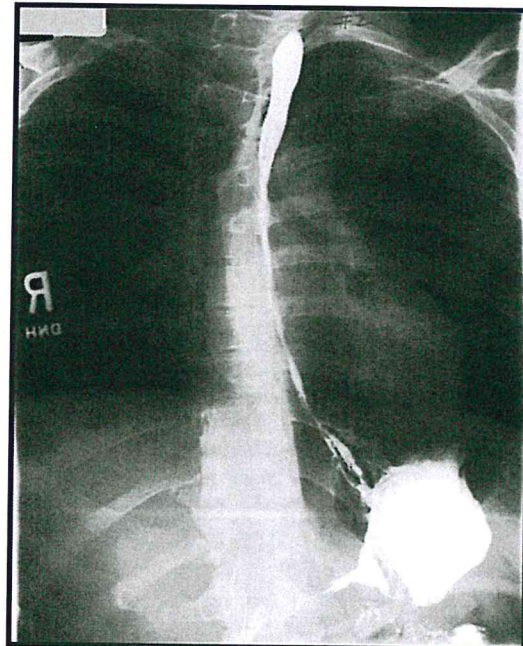
ARIA



MEZZI DI CONTRASTO

**Nell' immagine radiografica
possono essere riconosciuti 5
tipi di densità principali:**

1. Aria
2. Grasso
3. Tessuti molli
4. Fluidi
5. Osso
6. MEZZI DI CONTRASTO



CLASSIFICAZIONE DEI M.D.C.

CONTRASTOGRAFIA ARTIFICIALE UTILIZZA SOSTANZE ESTRANEE ATTE A MODIFICARE L'ASSORBIMENTO AI RAGGI X DI ORGANI O TESSUTI CHE SONO SIMILI PER COMPOSIZIONE E/O SPESSORE RISPETTO AD ORGANI ED APPARATI CIRCOSTANTI.

→ **M.D.C. NEGATIVI** ASSORBIMENTO DELLE RADIAZIONI INFERIORE A QUELLO DEGLI ORGANI O APPARATI IN CUI VENGONO INTRODOTTI

→ **M.D.C. POSITIVI** ASSORBIMENTO DELLE RADIAZIONI SUPERIORE A QUELLO DEGLI ORGANI O APPARATI IN CUI VENGONO INTRODOTTI

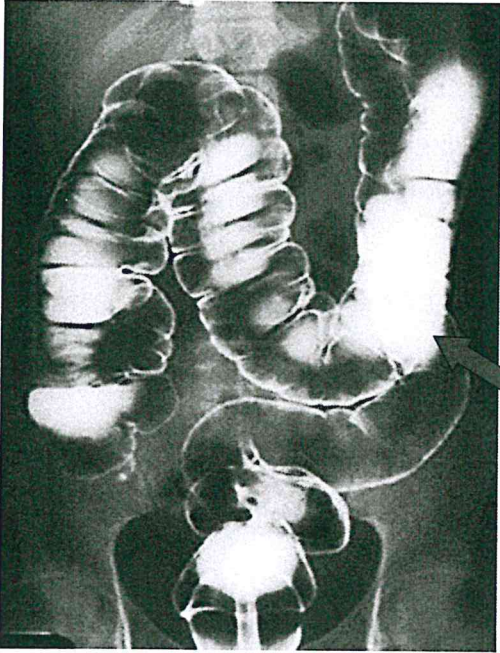
MEZZI DI CONTRASTO NEGATIVI

M.D.C. NEGATIVI SOSTANZE ALLO STATO GASSOSO, CON MOLECOLE RAREFATTE, A DENSITA' SCARSA, COMPOSTE DA ELEMENTI A BASSO NUMERO ATOMICO.

- ARIA
- OSSIGENO
- ANIDRIDE CARBONICA


ESEMPIO:

- ESAME A "DOPPIO CONTRASTO" DELLE VIE DIGESTIVE.



Carcinoma Gastrico
Diagnosi Strumentale

Radiografia con pasto baritato (x os anche a doppio contrasto)



a. Nicchia ulcerosa b. Forma vegetante c. Infiltrante

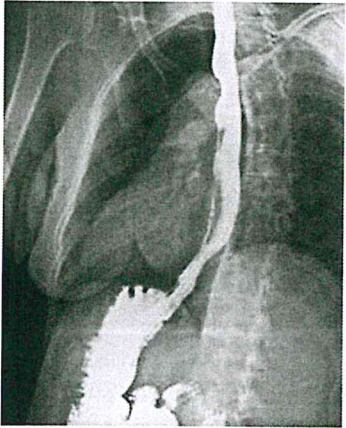

BARIO E ARIA

Tumori dello stomaco

CANCRO GASTRICO

Diagnosi

- Rx tubo digerente con rdc: sensibilità 70-75%



MEZZI DI CONTRASTO POSITIVI

M.D.C. POSITIVI SONO SOSTANZE CHE DANNO LUOGO AD UN ASSORBIMENTO DELLE RADIAZIONI SUPERIORE A QUELLO DEGLI ORGANI O TESSUTI NEI QUALI VENGONO INTRODOTTI.

BARITATI (Ba SO₄) D. GASTROENTEROLOGICA

<u>IODATI</u> - IDROSOLUBILI	{	URO-ANGIO-MIELOGRAFICI	{ IONICI
			NON IONICI
	{	COLECISTO-COLANGIOGRAFICI	{ ORALI
- LIPOSOLUBILI			ENDOVENOSI

MEZZI DI CONTRASTO POSITIVI

CARATTERISTICHE GENERALI RICHIESTE AD UN BUON M.D.C. POSITIVO:

-- ELEVATA RADIO-OPACITA'

- GARANTITA DAL CONTENUTO IN ELEMENTI AD ALTO NUMERO ATOMICO = ELEVATO ASSORBIMENTO DI RAGGI X

-- BUONA TOLLERABILITA'

- IL M.D.C. IDEALE DOVREBBE AVERE TOSSICITA' NULLA

-- ASSENZA DI ATTIVITA' FARMACOLOGICA

- LA FUNZIONALITA' DI ORGANI E/O APPARATI NON DEVE ESSERE MODIFICATA DALL'INTRODUZIONE NELL'ORGANISMO DI M.D.C. (ATTIVITA' FARMACODINAMICA VICINO A ZERO)

-- RAPIDA E TOTALE ELIMINAZIONE

Mezzi di contrasto baritati

Solfato di bario ($BaSO_4$) con elevato numero atomico:

- insolubile in H_2O e liquidi organici;
- non assorbibile dalle mucose digestive;
- facile eliminazione;
- relativa inerzia
- opaco (dipende dal numero atomico)
- stabile (cioè omogeneo in quanto non subisce modificazioni durante il transito gastrointestinale)
- viscoso
- adesivo (cioè capace di aderire uniformemente alla superficie mucosa)

MEZZI DI CONTRASTO BARITATI

IMPIEGO DEI MEZZI DI CONTRASTO BARITATI:

- 1) STUDIO A CALCO DEL VISCERE
- 2) STUDIO A DOPPIO CONTRASTO DELLE VIE DIGESTIVE

REQUISITI PER UN BUON VERNICIAMENTO DI PARETE NELLO STUDIO A DOPPIO CONTRASTO:

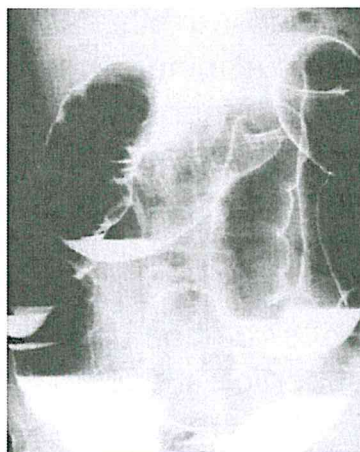
- UNIFORMITA' DELLA PELLICOLA
- ASSENZA DI CREPATURE DELLA PELLICOLA
- STRATO DELLA PELLICOLA SUFFICIENTEMENTE SOTTILE
- RESISTENZA AGLI EFFETTI DINAMICI DI ROTTURA
- ADEGUATA RADIO-OPACITA'

MEZZI DI CONTRASTO BARITATI

ESAMI A DOPPIO CONTRASTO

TECNICA CHE SI AVVALE SIA DEL M.D.C. POSITIVO CHE DI QUELLO NEGATIVO, ASSOCIATI PER EVIDENZIARE UN ORGANO CAVO (TUBO DIGERENTE).

ESAME CHE STUDIA LA SUPERFICIE INTERNA DELL'ORGANO CAVO, CHE VIENE "PITTURATA" DAL M.d.C. POSITIVO E "DISTESA" DAL M.d.C. NEGATIVO (in associazione ad ipotonizzanti: atropina e buscopan)



MEZZI DI CONTRASTO BARITATI

PROBLEMI DEI MEZZI DI CONTRASTO BARITATI

- SEDIMENTAZIONE
- FLOCCULAZIONE
- SCARSA ADESIVITA' ALLA PARETE
- SEGMENTAZIONE DELLA COLONNA BARITATA
- FORMAZIONE DI SCHIUMA

MEZZI DI CONTRASTO IODATI

LIPOSOLUBILI

OLI IODATI IN CUI LO IODIO E' LEGATO AD ACIDI GRASSI INSATURI DI OLI VEGETALI. SONO SOSTANZE INSOLUBILI IN ACQUA E NEI LIQUIDI ORGANICI PER CUI NON SONO UTILIZZATI ENDOVENA. SI UTILIZZANO PER INDAGINI LINFOGRAFICHE, BRONCOGRAFICHE, MIELOGRAFICHE ED ISTEROSALPINGOGRAFICHE

IDROSOLUBILI

STRAGRANDE MAGGIORANZA DI TUTTE LE PREPARAZIONI CONTRASTOGRAFICHE CONTENENTI IODIO. IL LORO IMPIEGO E' VASTISSIMO: DALLO STUDIO MORFOLOGICO E FUNZIONALE DELLE VIE BILIARI ED URINARIE, ALL'ARTROGRAFIA, ALL'OPACIZZAZIONE DEI VASI E DELLE CAVITA' CARDIACHE, ALLA MIELOGRAFIA, ECC.

Mezzi di contrasto iodati (idrosolubili)

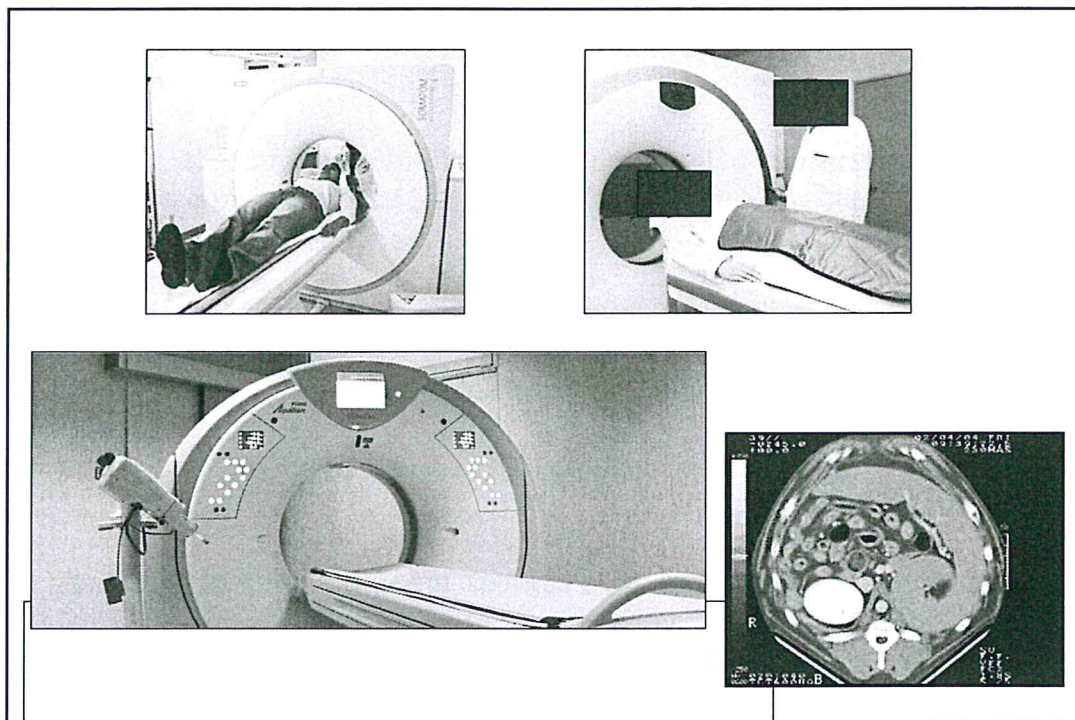
Effetti collaterali:

- ✓ ipotensione arteriosa
- ✓ reazioni allergiche (anche gravi)
- ✓ tachipnea
- ✓ vomito
- ✓ agitazione
- ✓ convulsioni
- ✓ coma
- ✓ dispnea
- ✓ cianosi
- ✓ edema polmonare
- ✓ arresto respiratorio

TC: tomografia computerizzata

1. misura le densità dei volumi elementari (**voxel**) costituenti una sezione corporea
2. fascio ristretto e collimato di raggi X rilevato da detettori contrapposti al tubo radiogeno
3. tubo radiogeno e detettori ruotano attorno ad un fulcro (cioè il paziente)
4. sistema di elaborazione dati è il PC che dalle informazioni provenienti dai detettori ricava i dati per riprodurre le immagini
5. consolle operativa per il funzionamento delle apparecchiature sia a studiare l'immagine

6. i valori di densità sono compresi nel range tra -1000 (aria) e +1000 (osso) unità di Hounsfield, utilizzando come riferimento la densità dell'acqua che è uguale a 0
7. dall'immagine digitale che si forma nella memoria de PC origina l'immagine radiologica che si visualizza su consolle operative/refertazione ad alta risoluzione
8. ogni singolo punto o **pixel** del monitor assume differente grado di luminosità
9. l'immagine radiologica è costituita da una griglia di punti luminosi con diverse tonalità di grigio (dal bianco al nero) con aumento dei pixel migliora la definizione dell'immagine radiologica
10. immagini in tempo reale



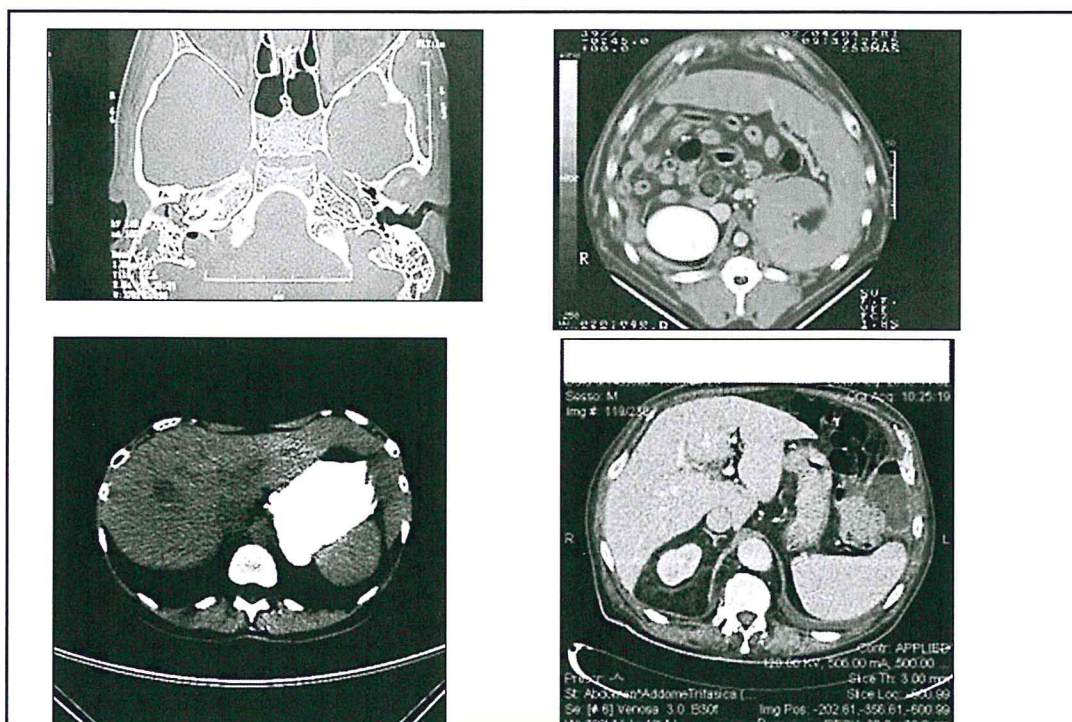
M.d.C.

Sia per via endovenosa che orale (dopo diluizione al 2% nello studio dell'apparato digerente).

- enhancement** (potenziamento) cioè aumento di densità misurabile a livello di tessuti/struttura ove si è distribuito il mezzo di contrasto
- distinzione** dei tessuti patologici rispetto a quelli normali adiacenti in rapporto alla differente vascolarizzazione e quindi alla differenza di incremento di densità dopo introduzione di mezzo di contrasto

IMMAGINE TC

- **scanogramma:** è la prima immagine ottenuta con tecnica di volume e indica i piani di sezioni eseguiti, spessore degli stessi e distanza intercorrente
- **immagine:** di ciascuna immagine bisogna conoscere il livello e l'ampiezza della finestra e se sia stata eseguita in condizione di base o dopo somministrazione di mezzo di contrasto
- **densità:** può essere valutata in un punto o in una zona dell'immagine
- **parametri:** misurazioni di distanze, aree, diametri di strutture, valutazione spaziale e di volume



Qualità dell'immagine

risoluzione spaziale ⇒ minima distanza di separazione fra due punti alla quale essi possano essere riconosciuti come distinti (pixel)

contrasto ⇒ relativa differenza di densità esistente in un'immagine digitale fra due strutture anatomiche differenti:

▪ **fattori intrinseci al paziente:**

- ✓ *densità dei tessuti esaminati (è possibile discriminare tessuti di densità differente tra loro)*
- ✓ *movimenti fisiologici del paziente (respirazione, ciclo cardiaco portano artefatti da rendere indistinguibili i contorni delle strutture in esame, ovviabili in parte dall'apnea del paziente e da acquisizioni rapide)*
- ✓ *dimensioni del paziente (ovviato dalle moderne apparecchiature)*
- ✓ *presenza di oggetti metallici (protesi, pacemaker etc)*

▪ **fattori estrinseci al paziente (modificabili dall'operatore):**

- ✓ *spessore della sezione*
- ✓ *ampiezza della matrice di ricostruzione (o numero di pixel)*
- ✓ *ampiezza del campo di ricostruzione*
- ✓ *numero di ripetizioni delle misurazioni*
- ✓ *mA e kV utilizzati durante la scansione*
- ✓ *tempo di acquisizione*
- ✓ *impiego di mezzi di contrasto*
- ✓ *livello e finestra di riproduzione*

ASPETTI RADIOBIOLOGICI NELL'UTILIZZO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Alterazioni cellulari

Effetti somatici: se la dose assorbita è sufficientemente elevata gli effetti saranno osservabili nell'individuo colpito dopo un periodo di latenza di ore, giorni o anni

Effetti genetici: se l'effetto delle radiazioni interessa il genoma delle cellule della riproduzione, gli effetti saranno evidenti solo nelle generazioni

□ **Effetti non-stocastici:** effetti per i quali la probabilità che l'effetto si verifichi è in funzione della dose delle radiazioni (rapporto dose/effetto). Possono dare effetti specifici a livello di vari organi come cataratta, lesioni cutanee, sterilità ecc.

□ **Effetti stocastici:** o probabilmente statistici, invece, sono quelli per i quali l'intensità, più o meno marcata, con la quale l'effetto si verifica a carico di ciascuna delle cellule esposte, non è funzione dell'esposizione, ma solo dell'evento rappresentato dall'irradiazione. Possono indurre la comparsa di tumori solidi, di leucemie e di effetti genetici

Radiosensibilità

□ **RADIOSENSIBILI**

spermatogoni
linfociti
oociti
eritroblasti
tessuto emopoietico

□ **MEDIA SENSIBILITA'**

epitelio del tenue
epitelio dello stomaco
epitelio del colon
epitelio del follicolo pilifero
cellule dell'epidermide
cellule dei tubuli renali
epatociti

□ **RADIORESISTENTI**

cellule nervose
cellule muscolari

Le "4 R" della radiobiologia

- **RECUPERO:** insieme di fenomeni che tendono a riportare allo stato iniziale la cellula irradiata e alterata nella sua struttura e funzione.
- **RIPARAZIONE:** è il ripristino della situazione iniziale di una popolazione di cellule, che avviene solo negli elementi cellulari che non hanno subito alterazioni radiologiche.
- **RIOSSIGENAZIONE:** è l'apporto di ossigeno da parte delle cellule di riparazione.
- **RIDISTRIBUZIONE:** la popolazione cellulare, dopo irradiazione, è asincrona, cioè distribuita in tutte le fasi del ciclo.

Esposizione del paziente in radiodiagnostica

L'uso delle radiazioni ionizzanti in medicina, attraverso le metodiche strumentali ha assunto un ruolo insostituibile nell'iter diagnostico del paziente, sostituendo metodiche di indagine più cruenta.

L'incremento dell'uso delle radiazioni ionizzanti ha fatto emergere il problema della valutazione del **rischio** e del **rapporto costo/beneficio**, in modo da definire meglio le indicazioni relative a ciascun esame radiologico.

Sono costantemente oggetto di studio i criteri più specifici per l'utilizzazione della radiologia diagnostica, sia per quanto riguarda le indicazioni che le controindicazioni.

Regole per l'uso opportuno delle radiazioni ionizzanti sono:

- a) il paziente deve essere sottoposto a indagini radiologiche solo se necessario ed in base a reperti clinico-obiettivi;
- b) le indagini radiodiagnostiche dovrebbero essere eseguite ed indirizzate nel distretto od organo in esame e non su tutto l'organismo;
- c) cercare il migliore rapporto rischio/beneficio, per ridurre il rischio biologico tanto per il singolo individuo quanto, di conseguenza, per la collettività umana (effetti genetici).

L'esposizione al fascio diretto di radiazioni in radiodiagnostica, non interessa tutto l'organismo, ma uno o più distretti; l'assorbimento avviene in modo disomogeneo per la diversa radiosensibilità di tessuti ed organi e i valori di dose sono solitamente modesti specie se l'indagine è condotta con tecniche di studio corrette e con proiezioni adeguate.

Il medico radiologo dovrà esprimersi sia sulla convenienza degli esami radiologici proposti, sia sulle tecniche da impiegare in rapporto al quesito clinico.

Quindi a parità di resa diagnostica tra due metodiche, si opterà da parte del radiologo alla scelta dell'indagine meno cruenta, oltre ad usare la metodica di indagine che dà la dose di radiazione più bassa al paziente. Infine si deve analizzare se la diagnosi non possa essere ottenuta senza l'apporto di radiazioni ionizzanti (ad es. l'ecografia o la RM).

Esiste una **responsabilità** da parte del medico radiologo che deve utilizzare correttamente le singole tecniche radiografiche determinando al massimo i parametri di ottimizzazione dell'immagine e i controlli di qualità.

RADIOPROTEZIONE

Si occupa della protezione degli individui e del genere umano nel suo insieme prevenendo i possibili effetti dannosi legati alle radiazioni ionizzanti.

- Vi è una **dose massima ammissibile**, cioè la dose di radiazioni che non provoca danni (non stocastici) all'individuo che la riceve durante la sua aspettativa di vita.
- Occorre sempre valutare in maniera corretta il bilancio costo-beneficio nell'utilizzare le radiazioni ionizzanti, considerando non solo i costi (in termini economici, sociali e ambientali) e i possibili rischi dell'attività radiologica, ma anche i numerosi vantaggi che derivano dal loro impiego in ambito sanitario.

❖ Nella radioterapia, a fronte della guarigione da un tumore, il costo eventuale in danni non stocastici (come radiodermiti ecc.) oltre che prevedibile è sicuramente accettabile.

❖ Nella radiodiagnostica il bilancio costo-beneficio è importantissimo: cioè evitare esami superflui o sostituibili, con il medesimo risultato, mediante altre metodiche alternative non ionizzanti, riaffermando il principio che l'atto radiologico è un atto medico, perciò ogni esame deve essere eseguito secondo specifiche necessità cliniche (**principio giustificativo**).

Il **principio della ottimizzazione** tiene conto delle condizioni economiche e sociali, affinché qualsiasi attività avvenga con un sistema che consenta di ottenere il massimo beneficio riducendo al minimo i costi sempre con una sufficiente protezione dell'uomo esposto.

Il **principio della limitazione** della dose tende a mantenere quest'ultima al di sotto del valore soglia.

DIAGNOSTICA PER IMMAGINI

CORSO DI LAUREA IN INFERMIERISTICA

Dott. DANIELE SERGI

*MEDICO – RADIOLOGO
U.O.C. RADIOLOGIA
“V. FAZZI” - LECCE*

ECOTOMOGRAFIA

L'ecografia impiega come fonte di energia gli **ultrasuoni (US)**. Gli US sono onde di tipo meccanico che necessitano di un mezzo idoneo per propagarsi. Queste onde, incontrandosi con le strutture che attraversano, subiscono delle modificazioni: di queste la più importante è quella di venire riflessa verso la sorgente compiendo in senso inverso lo stesso percorso. In tal modo si producono gli **“echi”** che, opportunamente elaborati e rappresentati, danno luogo all'*immagine ecografica*.



Gli **US** sono onde di tipo meccanico che hanno le stesse caratteristiche delle onde sonore, ma differiscono da esse per la maggiore frequenza.

Le frequenze dei suoni udibili per l'orecchio umano sono comprese tra 16 e 20000 Hz, mentre quelle degli US variano da 20000 Hz a 12 MHz; si usano quindi per la diagnostica frequenze dell'ordine di milioni di Hz (MHz) e precisamente si sfruttano quelle fra 1 e 12 MHz.

La propagazione degli ultrasuoni non determina uno spostamento di materia, ma una semplice vibrazione delle molecole del mezzo attraversato, con conseguenti fasi alterne di compressione e rarefazione del mezzo. Naturalmente nel vuoto non avviene alcuna propagazione degli ultrasuoni.

Alcuni *cristalli* hanno la capacità di produrre **US** se stimolati elettricamente con l'applicazione di una differenza di potenziale; inoltre gli stessi cristalli, sottoposti a *pressione* o *trazione*, danno origine ad una differenza di potenziale il cosiddetto **effetto piezo-elettrico**.

Nell'ecografia diagnostica gli **US** sono prodotti e rilevati da una parte fondamentale dell'apparecchiatura ecografica, la *sonda* o *trasduttore*, altre parti dell'apparecchio servono per produrre lo stimolo elettrico e per amplificare, decodificare e rappresentare gli *echi di ritorno*; il processo di amplificazione è necessario in quanto essi sono di debole intensità.



Il mezzo idoneo alla propagazione degli **US** e nello stesso tempo i “riflettori” o generatori di echi, sono le strutture del corpo umano, in quanto i tessuti biologici e i liquidi organici costituiscono un mezzo idoneo alla propagazione degli **US**: la sonda viene, infatti, direttamente poggiata sulla superficie corporea nella zona da esplorare.

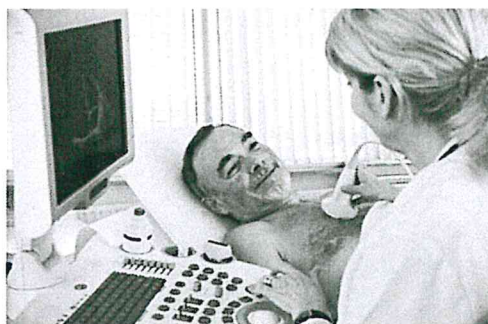


Non essendo invece l'aria (*o il vuoto*) mezzo idoneo alla propagazione degli US è necessario interporre tra sonda e superficie corporea un mezzo conduttore, quale il gel, per far sì che neanche una piccola quantità d'aria si possa interporre al passaggio degli US ostacolando.

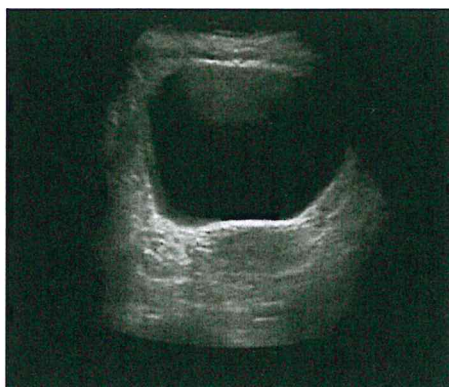
Le onde ultrasonore si propagano nei tessuti molli e nei liquidi organici con velocità simile e costante pari a 1540 m/s.

La velocità di propagazione delle onde **US** è tanto maggiore quanto più grande è la densità.

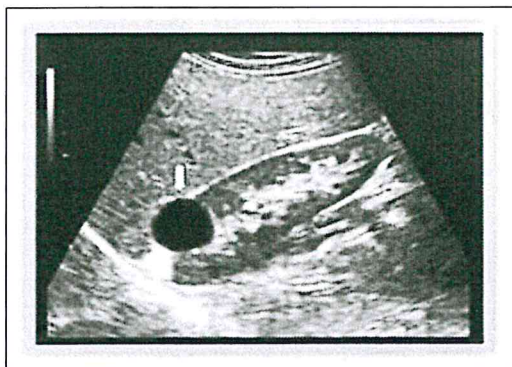
Nell'attraversare il corpo umano, gli **US** incontrano quindi strutture diverse per le loro capacità acustiche, cioè per il modo in cui si comportano rispetto all'onda sonora e, a seconda della capacità di rifletterli, cioè di rimandarli verso la sorgente, generano o meno degli echi.



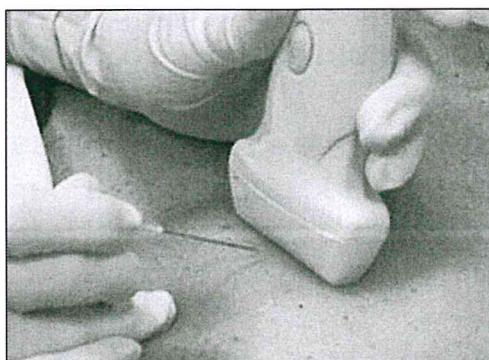
Nel caso che gli echi *non vengano* generati non si avrà alcun segnale: saranno cioè zone *“nere”* nell'immagine ecografica. E' questo il caso dei liquidi organici e del sangue.



Nel caso che gli echi **vengano** generati, essi possono essere di intensità variabile a seconda della grandezza della superficie riflettente rispetto alla sorgente di US e a seconda delle differenze delle caratteristiche acustiche delle ragioni attraversate che verranno rappresentate nell'immagine ecografica da **tenui livelli di grigio** fino al **bianco**.



Nella diagnostica ecografica si usano frequenze diverse a seconda della regione che si vuole studiare, pertanto gli apparecchi ecografici sono dotati di sonde diverse che, contenendo dei cristalli di diverso spessore, generano la frequenza desiderata.



La sonda ecografica ha quindi due funzioni diverse: la **produzione** dell'impulso e la **ricezione** degli impulsi di ritorno.

In pratica, vi sono due fasi, una di **emissione** e una di **ricezione**, che si alternano nel tempo: il tempo di emissione è dell'ordine di microsecondi, il tempo di ricezione dell'ordine di millisecondi.

DINAMICA DEI FASCI ENERGETICI

Per la valutazione della capacità di risoluzione del sistema abbiamo: la **risoluzione assiale** e la **risoluzione laterale**.

Si definisce **risoluzione assiale** di un sistema la distanza minima che può essere rilevata tra due punti situati lungo l'asse di propagazione del fascio ultrasonico.

La **risoluzione laterale** è la capacità di identificare come separati due punti situati in un piano perpendicolare all'asse di propagazione del fascio US.

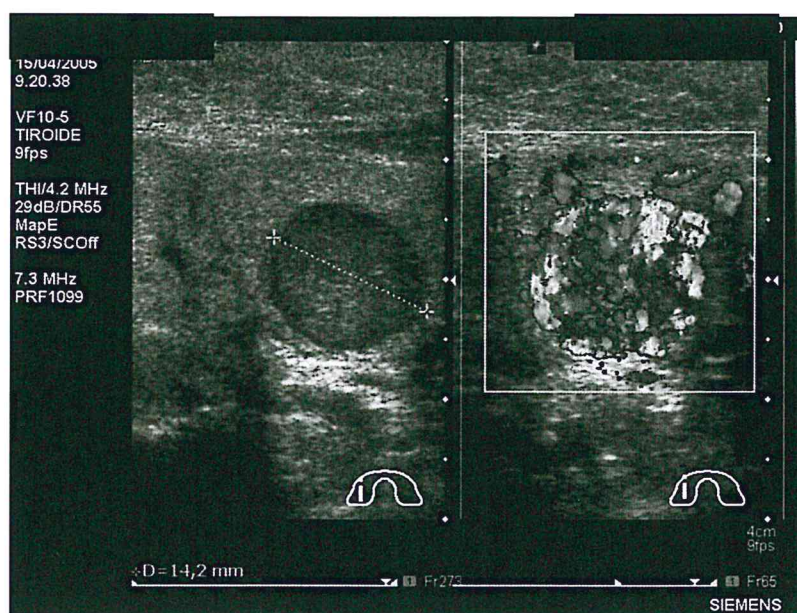
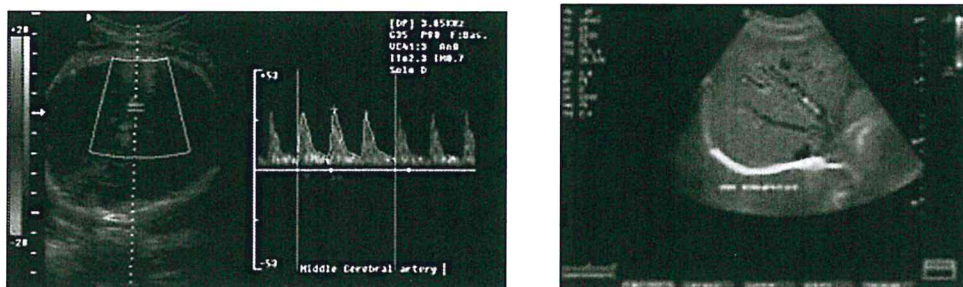
PROPAGAZIONE E INTERAZIONE

La scelta della frequenza deve essere fatta in rapporto alla struttura che si deve studiare: alte frequenze sono indicate per strutture superficiali (mammella, tiroide ecc.), mentre frequenze più basse sono necessarie per lo studio dell'addome e della pelvi.

In pratica frequenze da 7.5 a 12 MHz sono utili per lo studio di organi superficiali, mentre per gli organi profondi dell'addome superiore e della pelvi si usano frequenze intorno a 3.5 MHz.



Gli US non incontrano solo corpi statici ma anche strutture in movimento quali le cavità cardiache e i globuli rossi, pertanto predisponendo il sistema si avrà l'effetto Doppler, quindi se il corpo è in avvicinamento la frequenza riflessa è maggiore di quella emessa; se il corpo è in allontanamento la frequenza è minore.



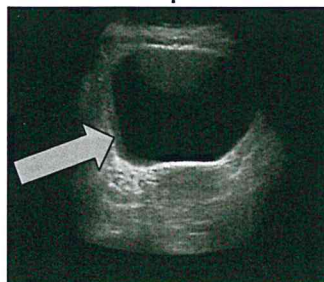
SEMEIOTICA

Le immagini ecografiche sono la risultante di un insieme di punti di diversi livelli di grigio dal più scuro fino al bianco, che rappresentano gli echi e di punti neri che sono quelli dove non si sono prodotti echi.

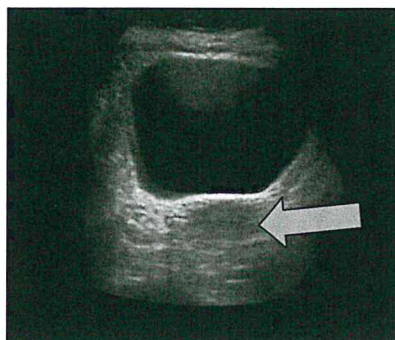
Si distingue la natura **solida** o **liquida** della struttura in esame, tra queste esiste una serie infinita di situazioni intermedie in cui il "solido" e il "liquido" sono variamente rappresentati.

Strutture liquide: nel soggetto normale sono rappresentate da organi cavi contenenti liquido (vescica, colecisti, cavità cardiache, vasi, liquido amniotico ecc.) e in patologia da (cisti, aneurismi, idronefrosi, pleuriti, asciti ecc.).

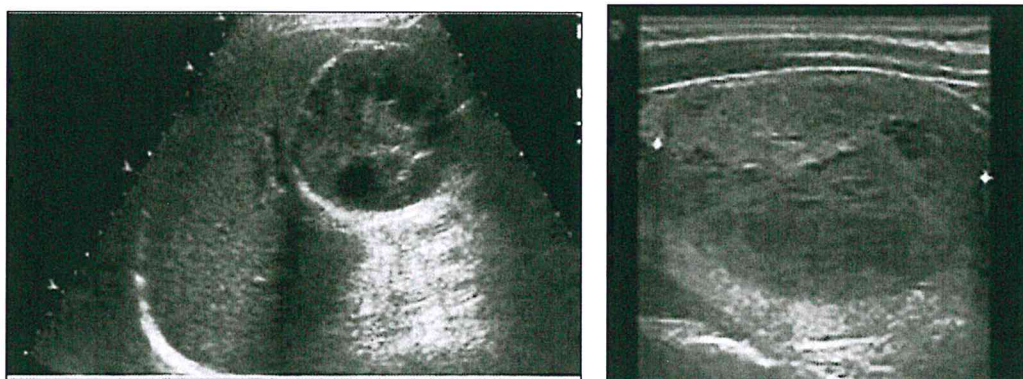
La caratteristica del liquido è quella di trasmettere bene gli US e queste immagini sono "*transoniche*", infatti non incontrando ostacoli sul loro tragitto non subiscono modificazione e quindi non si producono echi. Il risultato è che sull'immagine ecografica le zone corrispondenti a strutture liquide appariranno prive di echi cioè "nere". La formazione liquida, in rapporto al suo comportamento rispetto agli US, si definisce anche **anecogena**, cioè non produttrice di echi.



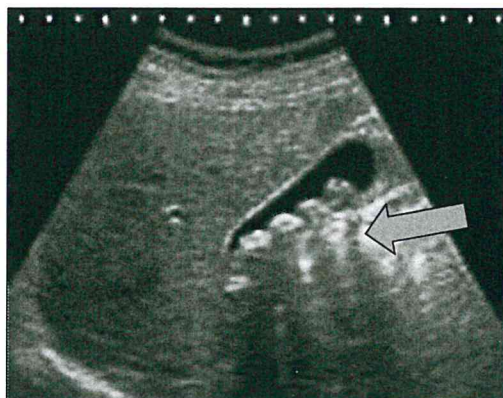
Per effetto della buona trasmissione e non attenuazione degli US nel mezzo liquido, posteriormente alla struttura liquida, si avrà una buona visualizzazione: si parla di un **“rinforzo di parete posteriore”**, caratteristica secondaria ma importante della struttura a contenuto liquido.



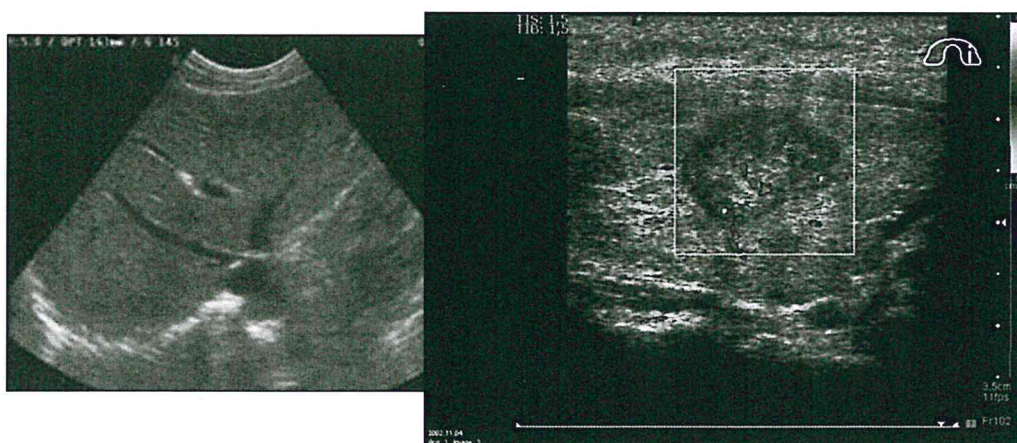
Si possono avere ***strutture fluide corpuscolate***, quando all'interno di una formazione liquida è contenuto materiale corpuscolato. Gli ultrasuoni incontrando questo materiale non vengono più trasmessi integralmente come nel liquido semplice, ma subiscono fenomeni di riflessione per diffusione.



Altro segno secondario, ma meno costante è quello definito come “**ombre acustiche laterali**” cioè due bande prive di echi che prendono origine ai lati della formazione e sono provocate da fenomeni di riflessione e rifrazione a livello delle sue pareti laterali.



Strutture solide: queste sono i mezzi che presentano delle interfacce, cioè contengono delle strutture in grado di generare. Si tratta quindi di strutture **ecogene**, cioè che producono echi.



Nell'ambito delle strutture solide distinguiamo quelle solide *omogenee* da quelle *disomogenee*.

Una struttura "**solida omogenea**" mostra degli echi di uguale intensità e regolarmente disposti all'interno della struttura considerata.

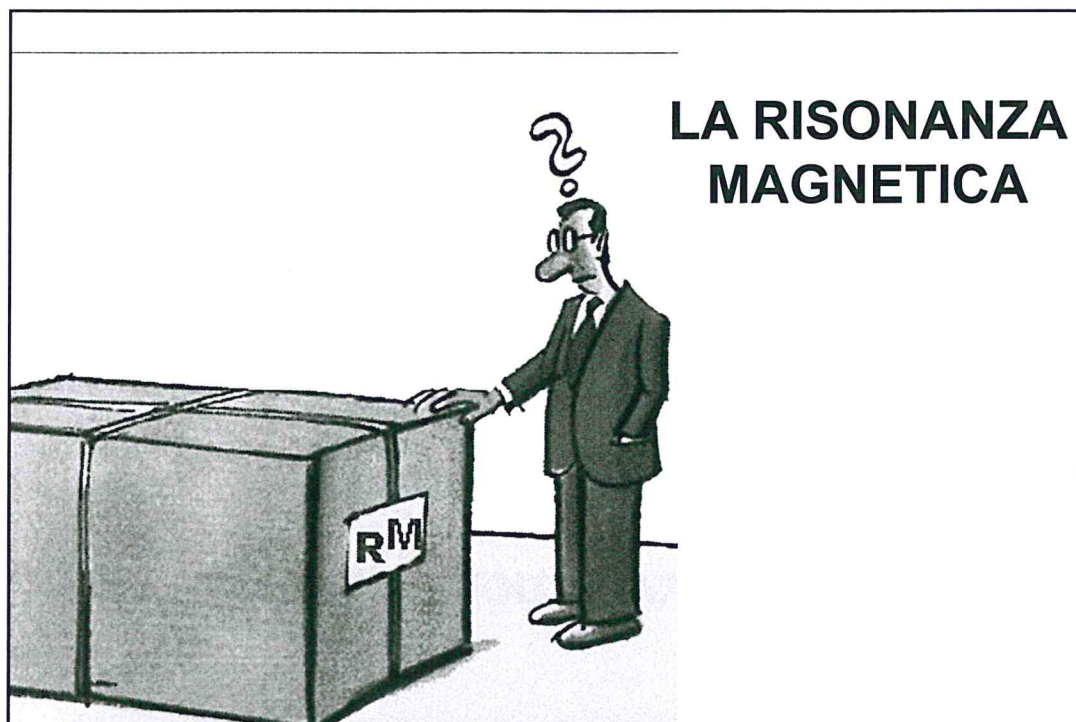
Per "**solido disomogeneo**" s'intende una struttura in cui sono rappresentate molteplici componenti con diversa ecogenicità. Gli echi prodotti sono quindi diversi per intensità disordinatamente e irregolarmente distribuiti.



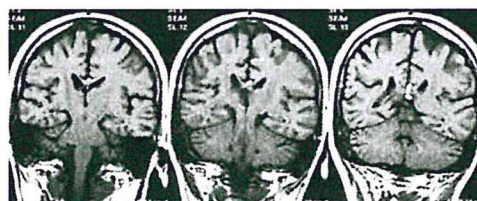
In presenza di patologia si possono avere strutture **ipoecogene** (metastasi, adenopatia, alcune neoplasie ecc.); sia **isoecogene** (adenomi, alcuni tipi di neoplasia ecc.); sia **iperecogene** (angiomi, metastasi, aree di steatosi, ecc.).

Si parla di **complex mass** quando la disomogeneità è molto evidente e soprattutto quando sono frammiste aree liquide, liquide-corpuscole o con setti e solide.





La **Risonanza Magnetica (RM)** produce immagini di tipo tomografico digitale utilizzando campi magnetici e radiofrequenze (non utilizza radiazioni ionizzanti!). La RM è una tecnica di imaging multiparametrica e multiplanare, che permette di acquisire immagini su piani sagittali, dorsali o trasversali senza spostare il paziente.

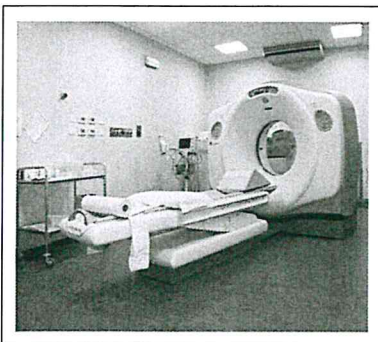


CARATTERISTICHE:

- **MULTIPLANARE**
- **MULTIPARAMETRICA**
- **ALTA RISOLUZIONE DI CONTRASTO**
- **ALTA RISOLUZIONE TEMPORALE**
- **NON UTILIZZA RADIAZIONI IONIZZANTI**



Caratteristica fondamentale della RM è quella di impiegare radiazioni elettromagnetiche a basso contenuto energetico che non modificano né distruggono le sostanze da studiare e che non hanno effetti dannosi sulle molecole biologiche. Anche se nella denominazione della tecnica è presente il termine “nucleare”, la RM non va confusa con le metodiche di Medicina Nucleare. Per questo, comunemente, si preferisce omettere il termine nucleare e utilizzare solo “Risonanza Magnetica”.



Fenomeno della Risonanza.

Analogamente agli elettroni, anche i **protoni** e i **neutroni** possiedono un momento della quantità di moto orbitale e di *spin*. Infatti anche il loro moto, in una descrizione corpuscolare, può essere rappresentato da una combinazione di una rotazione lungo un'orbita nel loro moto relativo all'elettrone, e di una rotazione intorno ad un proprio asse. Dunque anche il nucleo ha un momento magnetico $\neq 0$, e quindi anche la sua energia si sdoppia in presenza di un campo magnetico. Due o più particelle aventi *spin* di segno opposto possono accoppiarsi ed annullare quindi ogni manifestazione osservabile legata allo spin. In RM sono le particelle con spin spaiati che risultano importanti per il fenomeno.

Campo magnetico: zona dello spazio all'interno della quale si risente l'effetto di forze magnetiche che agiscono lungo le cosiddette "linee di forza" del campo magnetico.

In RM si sfruttano principalmente gli effetti delle interazioni dei nuclei di ^1H con il campo magnetico indotto, per la maggiore concentrazione dell'idrogeno all'interno dei tessuti biologici rispetto a tutti gli altri elementi.

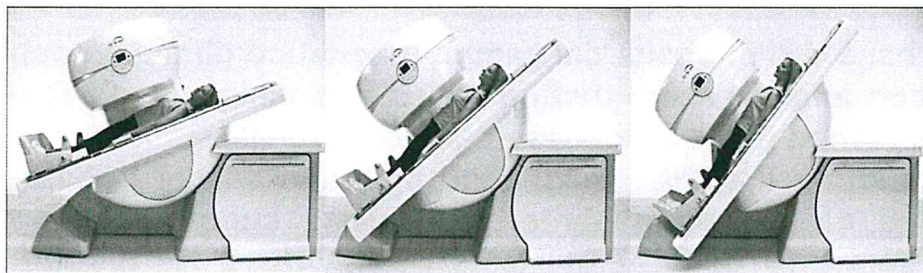
Sulla base dell'intensità del campo magnetico gli apparecchi possono anche essere distinti in: ad alto campo ($\geq 1.5\text{T}$); a medio campo ($0,5\text{-}1\text{T}$); a basso campo ($\leq 0.5\text{T}$).

Per generare il campo magnetico possono essere utilizzati magneti di tipo permanente, resistivo o superconduttivo. Le antenne (o bobine) utilizzate per studiare un distretto anatomico possono essere doppie (una per l'emissione e una per la ricezione) o singole (sia emittenti che riceventi).



MAGNETI PERMANENTI e RESISTIVI:

- **Intensità di campo non superiore a 0.5T**
- **Disomogeneità di campo, facile deterioramento**
- **Magneti dedicati ed aperti**
- **Costo relativamente basso (gestione)**



MAGNETI SUPERCONDUTTIVI:

- Costituiti da bobine nelle quali passa corrente elettrica
- Materiali criogenici
- Costo elevato
- Alta intensità di campo
- Alta stabilità di campo



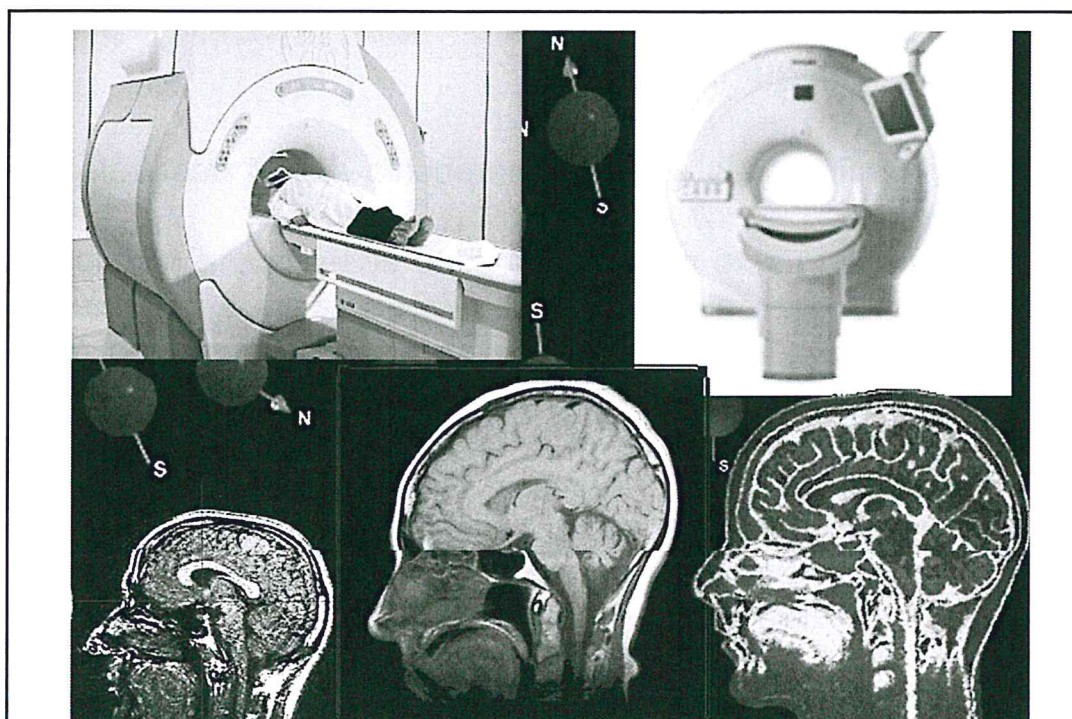
Gradiente magnetico

Bisogna infine, dire come l'apparecchio di RM ricostruisce l'immagine.

Alla base di questo processo ci sono delle bobine (una per ogni piano geometrico) situate internamente al magnete principale: in queste bobine il campo non è omogeneo ma presenta un gradiente. Così, in ogni punto del campo, il segnale sarà sempre lievemente diverso da quello proveniente da un altro punto: in questo modo è possibile stabilire da quale punto dello spazio proviene il segnale.

Apparecchio RM

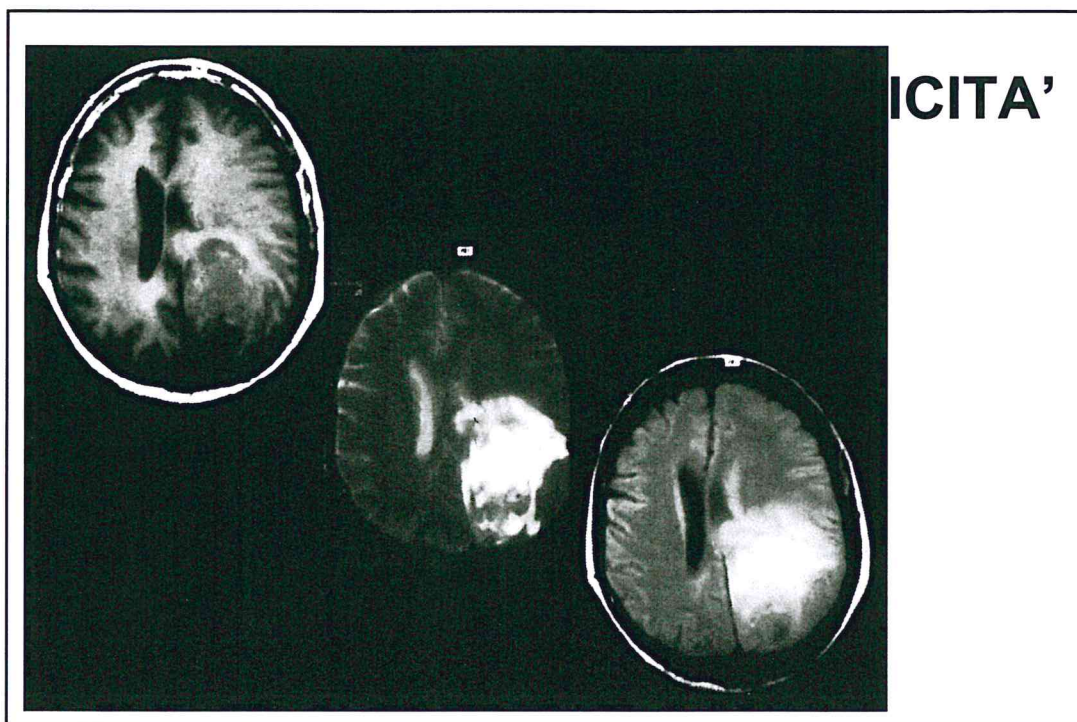
Gli apparecchi di RM possono essere distinti in “chiusi” o “aperti” a seconda della conformazione geometrica delle bobine o dei magneti. Gli apparecchi chiusi, esternamente, somigliano agli apparecchi TC: la principale differenza risiede nella profondità del tubo in cui viene inserito il paziente, più breve nel caso della TC, più lunga nel caso della RM. In entrambe, il paziente, su un lettino motorizzato, viene inserito in un anello. Gli apparecchi aperti, di solito a magnete permanente, sono in grado di sviluppare campi magnetici di minore intensità.



RISONANZA MAGNETICA in DIAGNOSTICA per IMMAGINI

La semeiotica di base della Risonanza Magnetica, si basa sostanzialmente sulla valutazione dell'intensità del segnale evocato dal campione.

Il segnale evocabile è variabile in relazione al tipo di sequenza impiegato, in quanto, contrariamente a quanto avviene per altre tecniche di diagnostica per immagini, la RM fornisce un imaging di tipo multiparametrico.



Preparazione e posizionamento del paziente

La preparazione ed il posizionamento del paziente sono analoghi a quelli adottati per gli studi TC. La differenza fondamentale consiste nell'uso di materiali, apparecchi ed accessori di anestesia non metallici.

Impostazione dello studio

Lo studio RM viene impostato in maniera simile a quello TC. Dopo aver ottenuto un'immagine scout attraverso un determinato piano, si decide lo spessore e l'orientamento delle fette.

In pratica questo vuol dire che noi non esploriamo, come avviene per esempio per la TC, una sola caratteristica, ma abbiamo la possibilità di valutare differenti caratteristiche del tessuto.

Queste caratteristiche sono legate fondamentalmente alle proprietà magnetiche intrinseche delle differenti componenti tissutali e sono rappresentate dal tempo di rilassamento T1, dalla densità protonica e dal tempo di rilassamento T2.

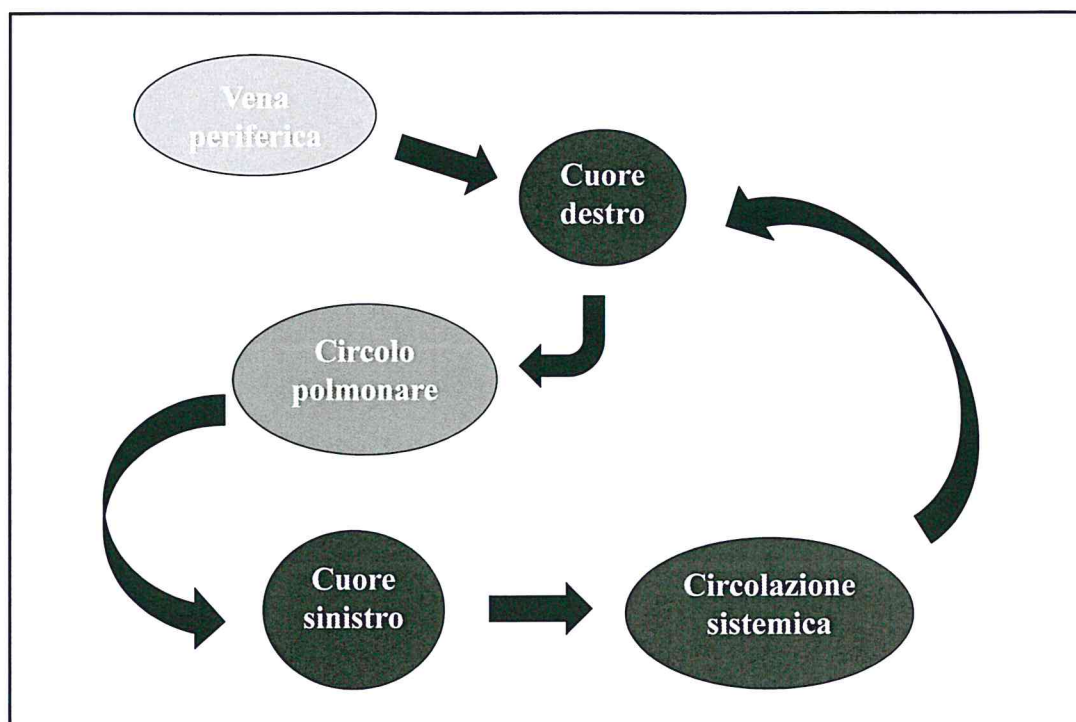
I MEZZI DI CONTRASTO in RM

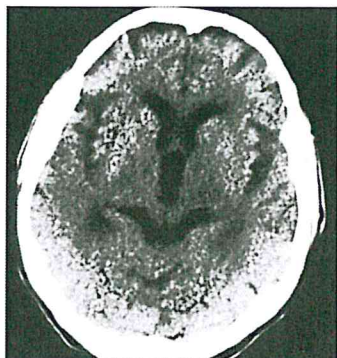
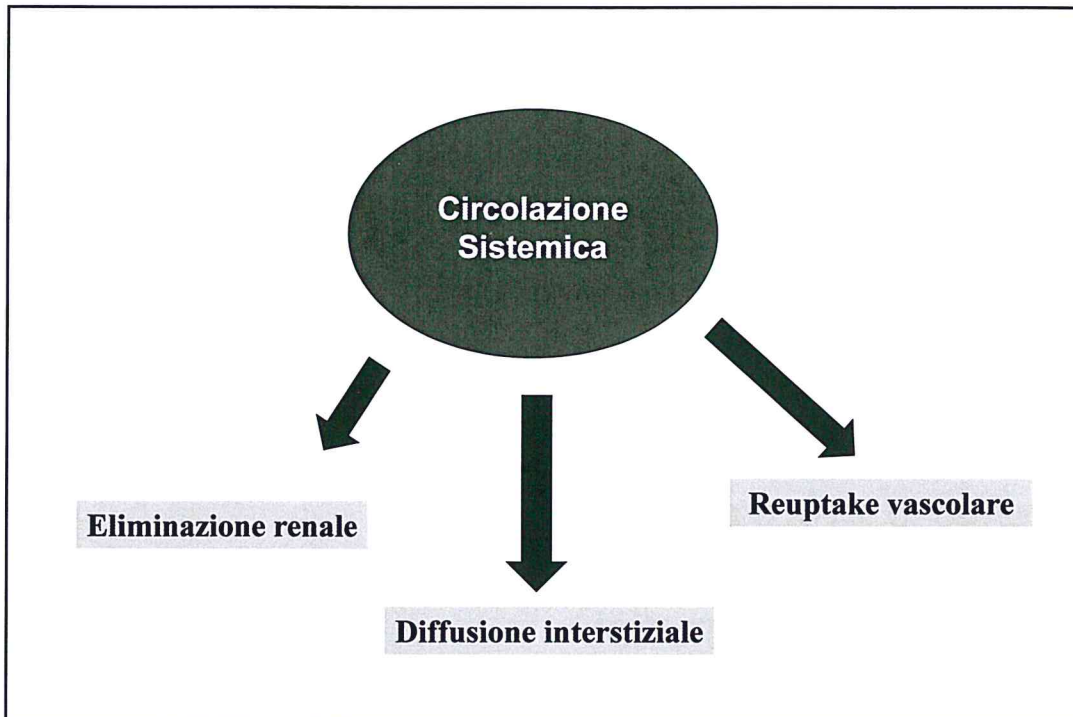
Vengono distinti, in relazione alla loro farmacocinetica, in due grandi categorie:

- Mezzi di contrasto **interstiziali**
- Mezzi di contrasto **organo-specifici**

In base alle loro caratteristiche magnetiche vengono invece distinti in:

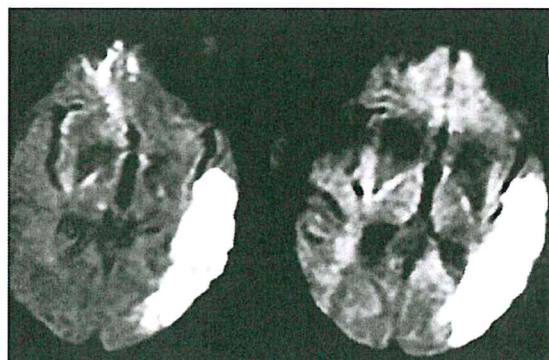
- **Paramagnetici**
- **Super-paramagnetici**

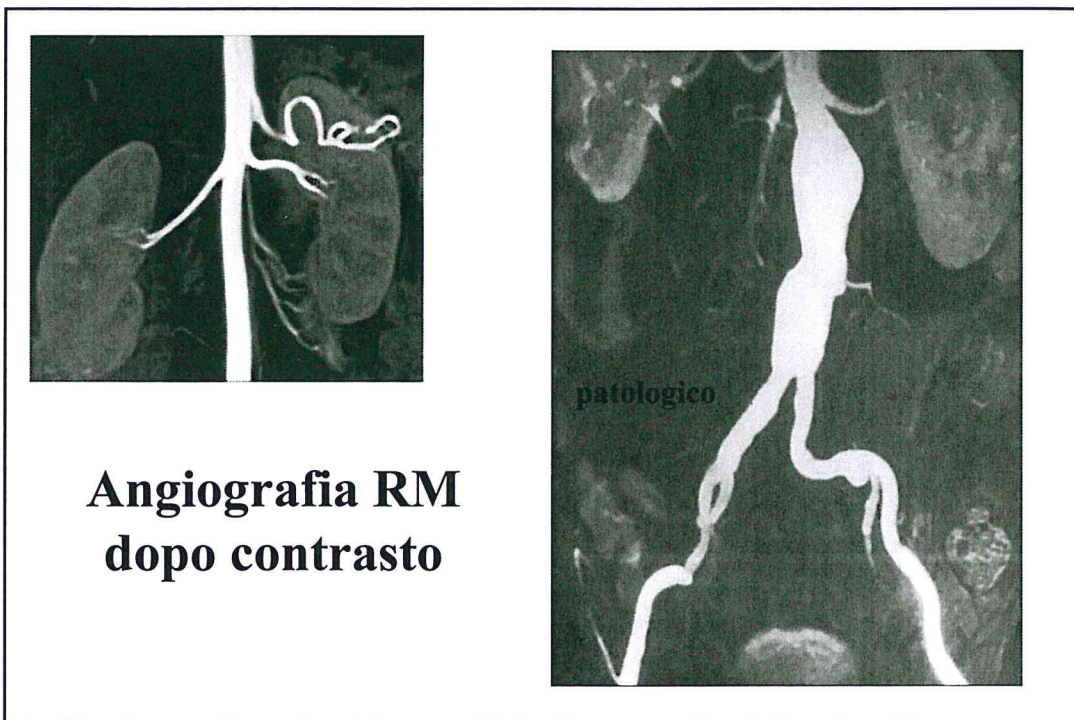
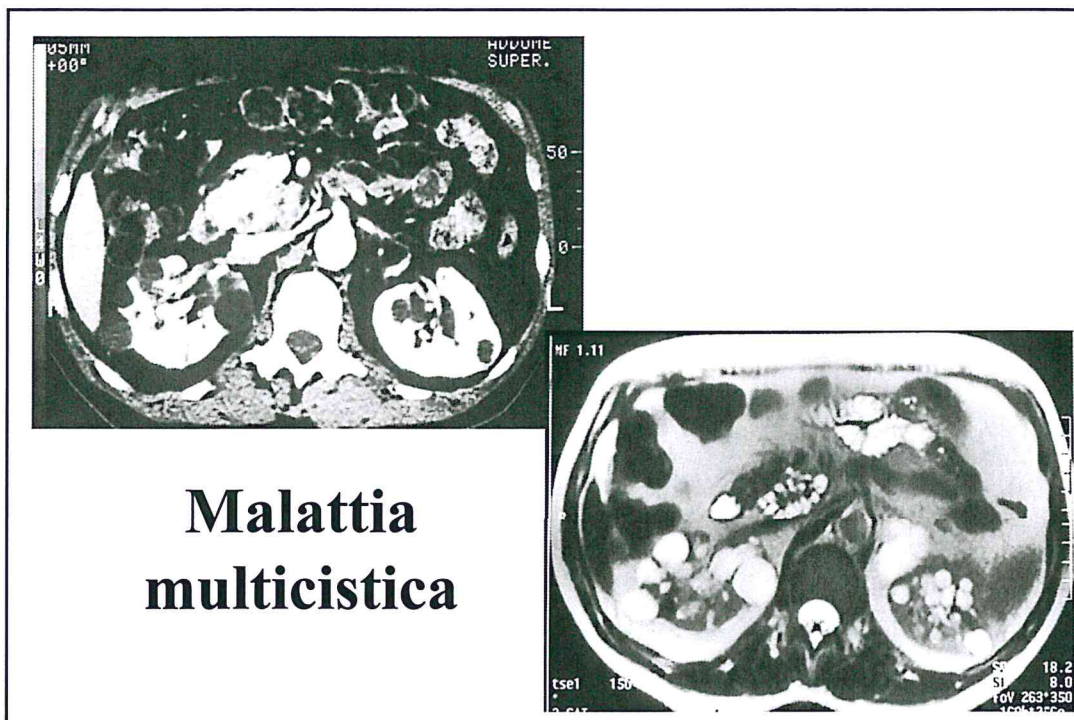




**Ischemia
cerebrale acuta**

Diffusion MRI





LEZ. 2 bis

La Radioattività

Fenomeno proprio dei NUCLEI INSTABILI

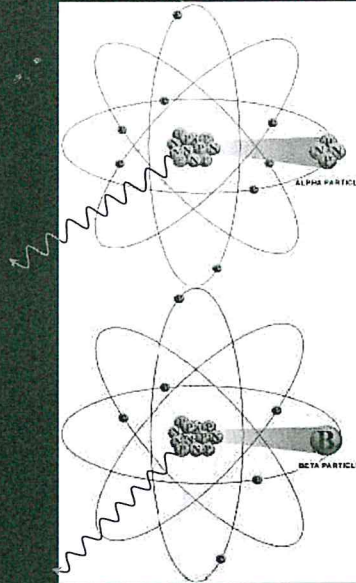
Radioisotopi:
tipi di radiazione

Quando un atomo instabile si trasforma emette delle particelle dal suo nucleo. Le più comuni sono:

Particelle Alfa: Alta energia, ma poca penetrazione (attraversa qualche cm in aria).

Particelle Beta: Attraversa 10 – 20 cm in aria. Possono costituire un problema per la pelle e le strutture dell'occhio per sorgenti di alta attività.

(radiazioni elettromagnetiche):
Queste sono le più penetranti e possono attraversare i materiali.



Decadimento degli atomi instabili

- Quando un atomo instabile 'decade' si trasforma in un altro atomo rilasciando l'energia in eccesso sotto forma di radiazione.
- Il numero dei 'decadimenti' per unità di tempo in questi materiali ci dice quanto radioattivo è quell'elemento (attività).
- L'unità di misura dei "decadimenti" è il Becquerels (1 decadimento al secondo).
- Molte volte il nuovo atomo è a sua volta instabile e crea così una 'catena di decadimenti.'

Quanto è instabile un atomo?

- Il “tempo di dimezzamento ” (o “emi-vita”) descrive in quanto tempo le materie radioattive decadono.

TEMPO DI DIMEZZAMENTO = E' il tempo richiesto perché l'atomo instabile decada e diventi radioattivo della metà.

- Esempi:
 - Molti isotopi naturali come l'Uranio e il Torio hanno una emi-vita di miliardi di anni.
 - Molti isotopi per impiego medico come il Tecnezio 99m hanno una emi-vita di appena 6 ore.

ISOTOPI	EMI-VITA	APPLICAZIONI
Uranio	Milliardi di anni	L'Uranio naturale è un componente di molti altri elementi. Quando è arricchito con Uranio 235, è usato per produrre energia nucleare e per gli armamenti nucleari.
Carbonio-14	5730 anni	Si trova in natura per interazione cosmica, ed è usato per 'datare' reperti molto antichi e il suo radiolabel per rilevare tumori.
Cesio-137	30.2 anni	Irradiatori di sangue, trattamento dei tumori. Usato anche per radiografia industriale.
Idrogeno-3	12.3 anni	Usato per marcare traccianti biologici.
Iridio-192	74 giorni	Radioterapia dei tumori. Usato anche per radiografia industriale.
Iodio-131	8 giorni	Radioterapia metabolica della tiroide.
Tecnezio-99m	6 ore	Impiegato nella diagnostica medico-nucleare.

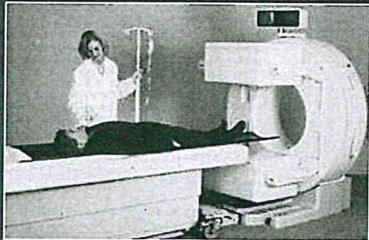
La Medicina Nucleare

Ai pazienti vengono somministrate sostanze radioattive ("radiofarmaci") per scopi diagnostici o terapeutici.

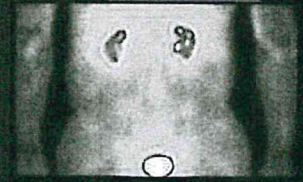


Il paziente trattato diviene così una **SORGENTE** di radiazioni

L'apparecchiatura invece è solo un rivelatore, non emette mai radiazione



Queste macchine
non emettono
radiazioni !!



La sostanza radioattiva "decade", ovvero diminuisce l'intensità della radiazione emessa.

Il tempo di decadimento dipende da vari fattori, fisici e biologici

Esempi di radioisotopi usati in Medicina Nucleare

Tecnezio ^{99m}Tc

Viene utilizzato per diagnosi di patologie della tiroide, del fegato, dei reni, del cuore, delle ossa
Tipicamente le attività somministrate ai pazienti variano da 80 a 600 MBq. *Gamma: 140 keV*

Iodio ^{131}I

Viene utilizzato sia per diagnostica che per la terapia della tiroide (tumori ed ipertiroidismo)
tipicamente le attività somministrate ai pazienti variano da 200 a 8000 MBq. *Gamma: 365 keV*
Beta: 606 keV (max)

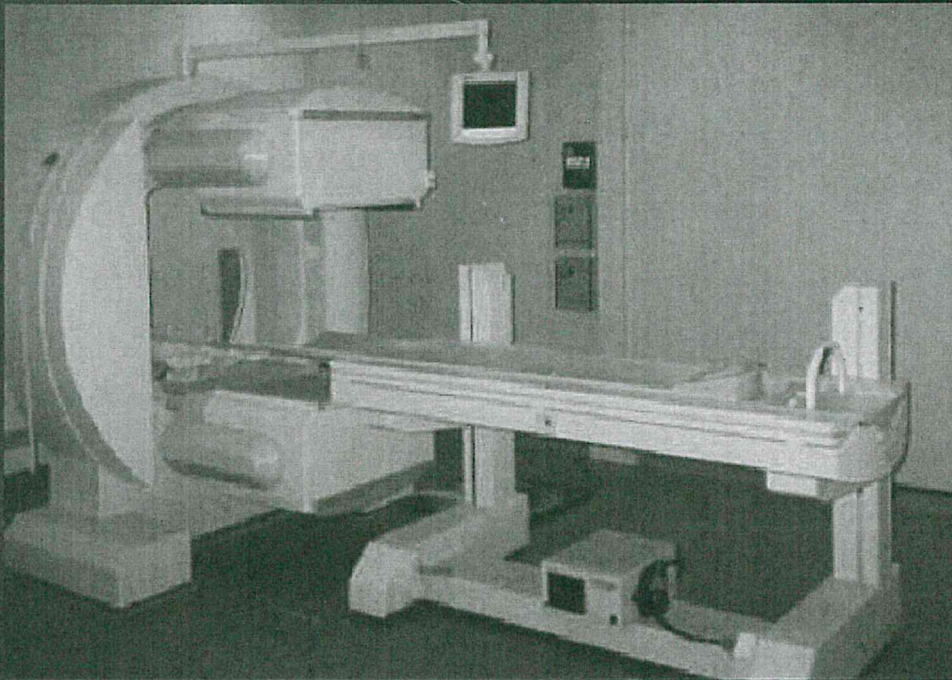
Ittrio ^{90}Y

Viene utilizzato per terapia
le attività somministrate ai pazienti variano da 1000 a 7000 MBq (tipicamente vengono somministrati circa 2000 MBq). *Beta: 2284 keV (max)*

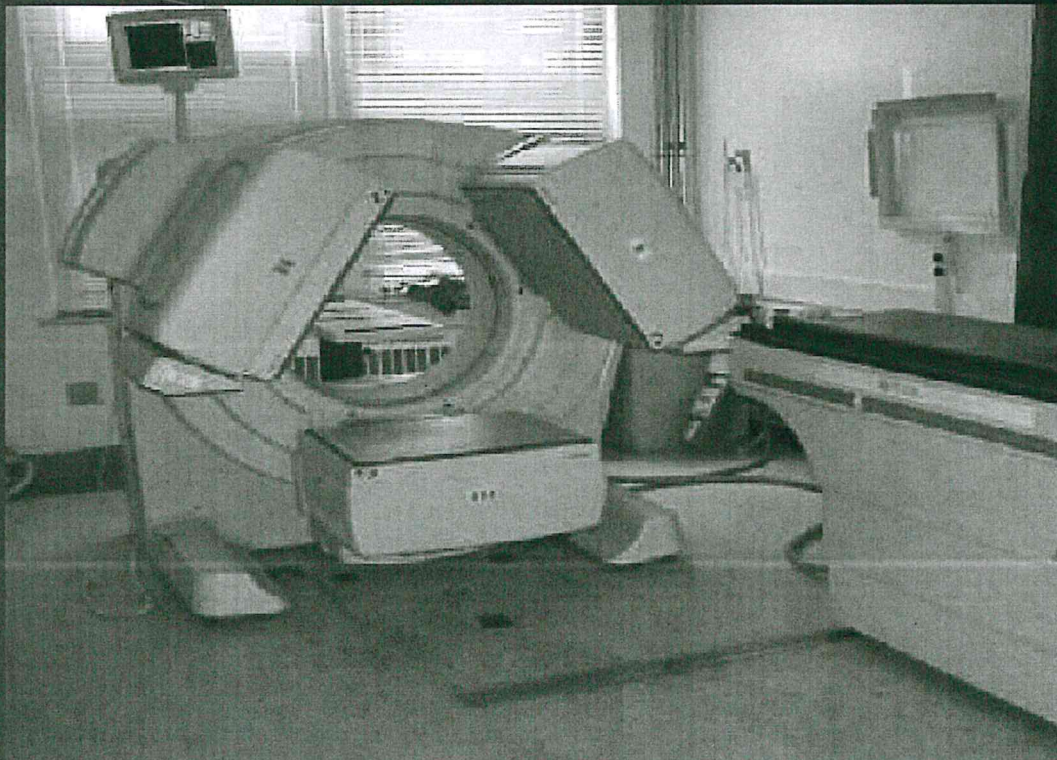
Fluoro ^{18}F

Principale radioisotopo utilizzato nella diagnostica PET (con FDG)
le attività somministrate ai pazienti variano da 200 a 400 MBq. *Gamma: 511 keV*

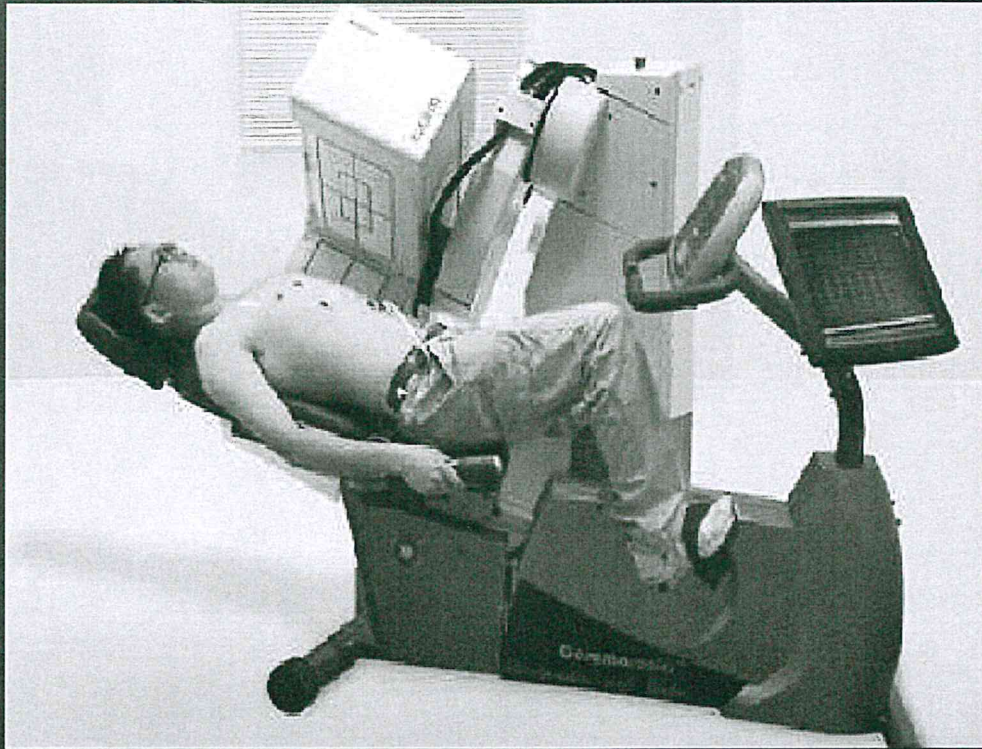
Le apparecchiature in diagnostica M.N.



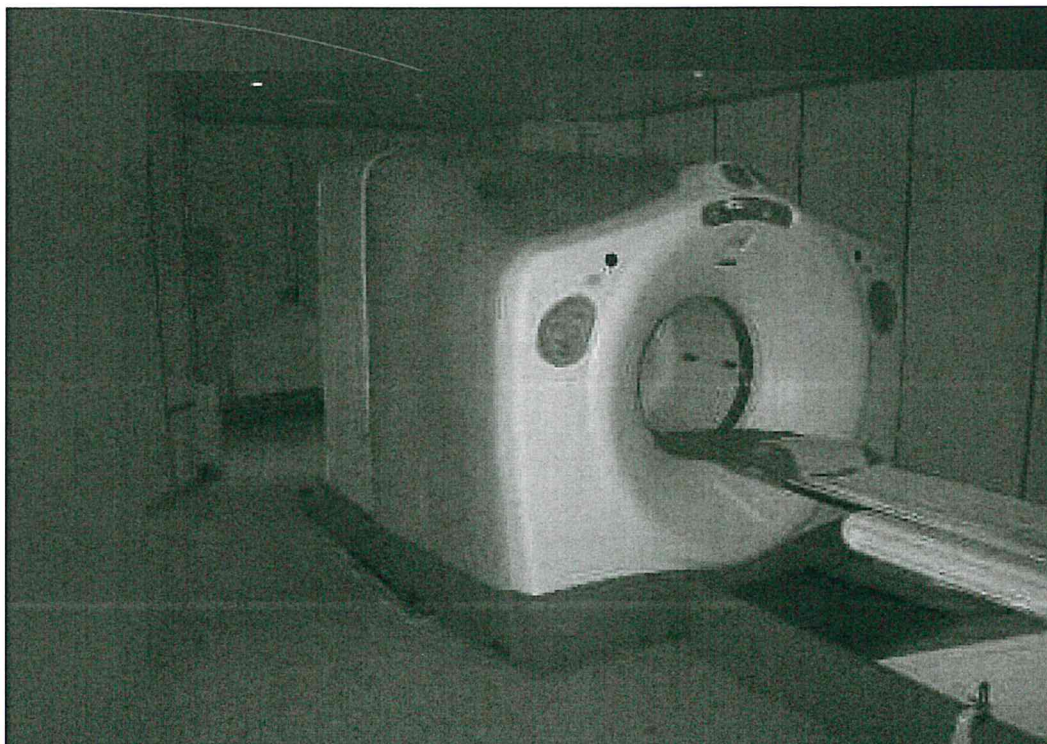
Gamma camera SPECT doppia testa a geometria variabile



Gamma camera SPECT tripla testa



Gamma camera SPECT doppia testa «cardial»



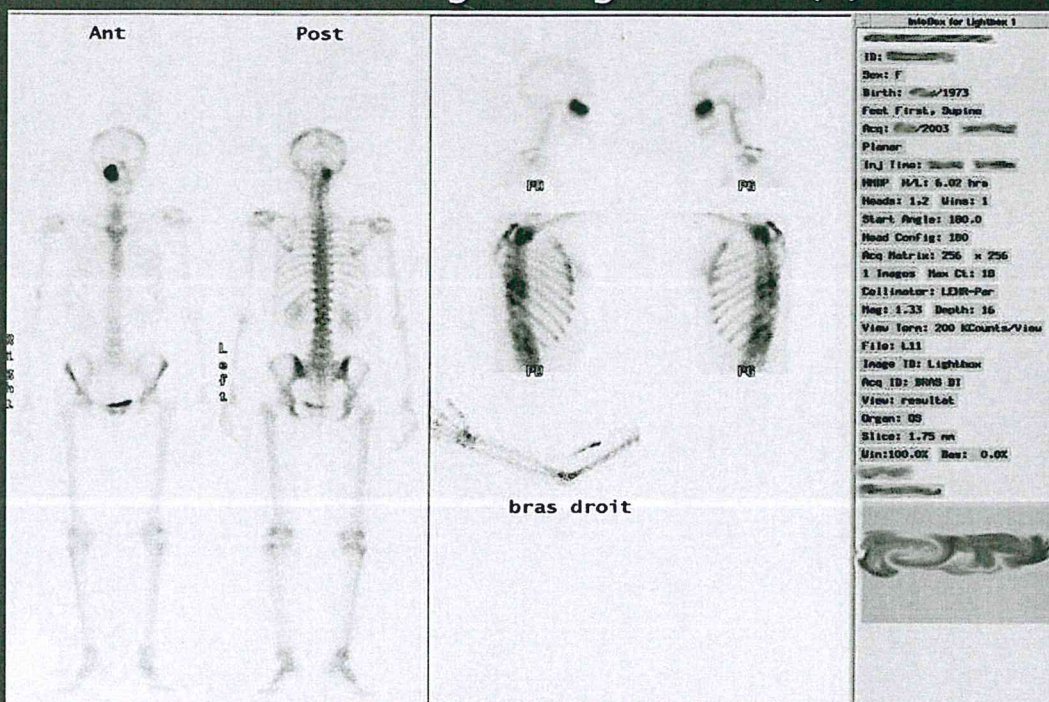
Tomografo CT - PET

Le immagini diagnostiche (1)

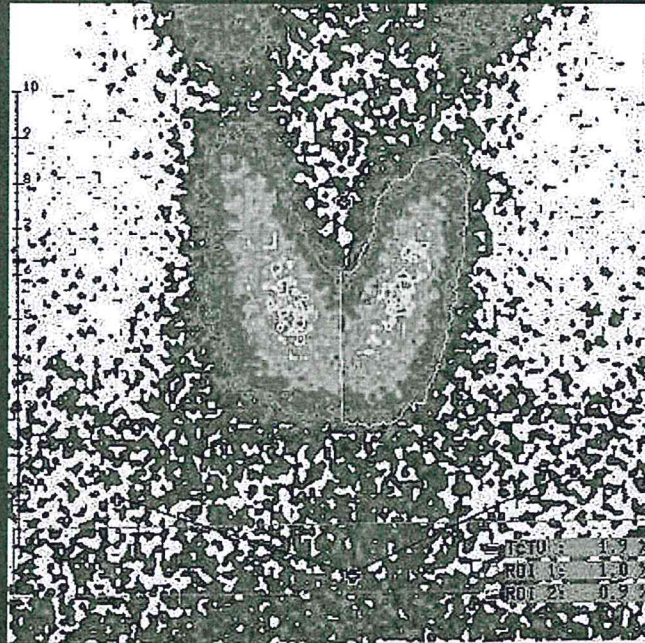
In linea di massima una **immagine** medico nucleare è caratterizzata da una **distribuzione nello spazio di conteggi** dovuti ai fotoni emessi, rivelati dai detettori, provenienti dai distretti corporei studiati e dal **mutuo confronto** degli stessi tra zone a differente **rateo di emissione / captazione** (zone più o meno calde).

- Il confronto dei conteggi in varie aree corporee mette in luce il **comportamento metabolico** ricercato.
- La **codifica** del livello di captazione può essere espressa da toni di grigio o livelli di colore.
- Trattasi di metodica diagnostica dallo **scarso significato morfologico** ma ad alto contenuto funzionale.

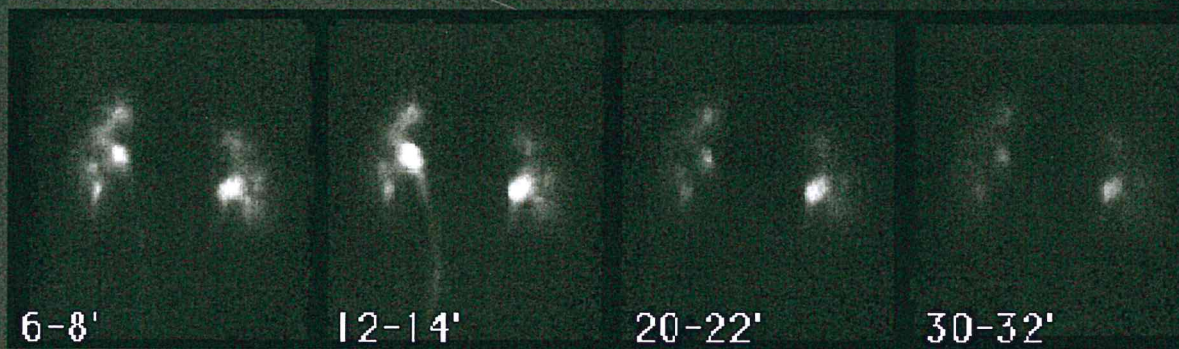
Le immagini diagnostiche (2)



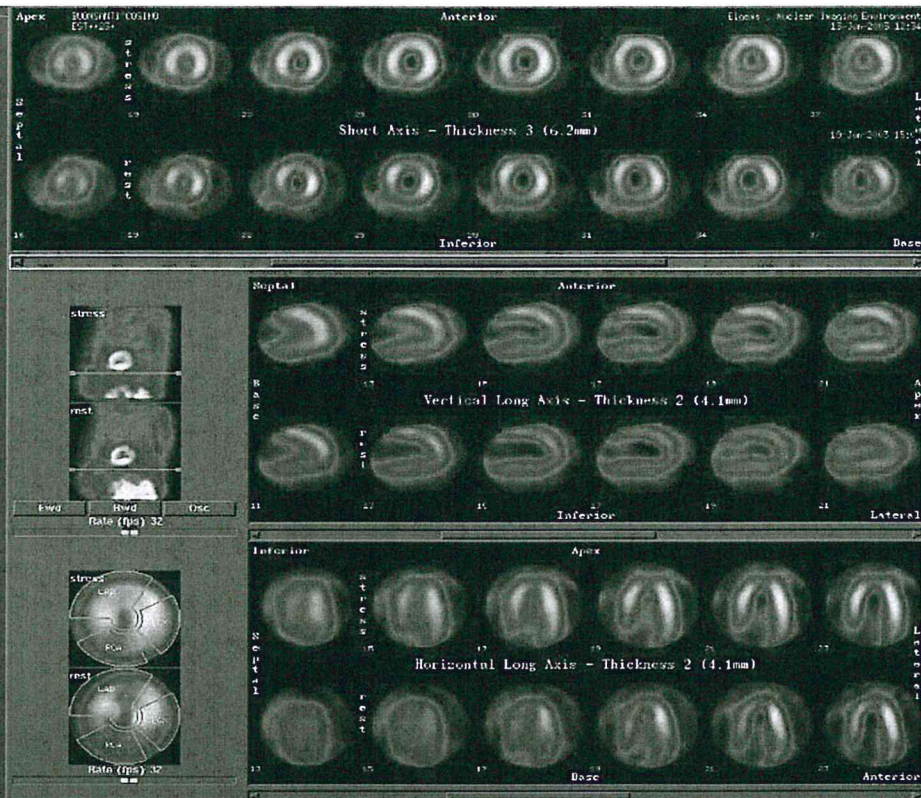
- Scintigrafia OSSEA (acquisizione planare – statica)
- Radiofarmaco: difosfonati marcati con Tc - 99m (MDP Tc - 99m).



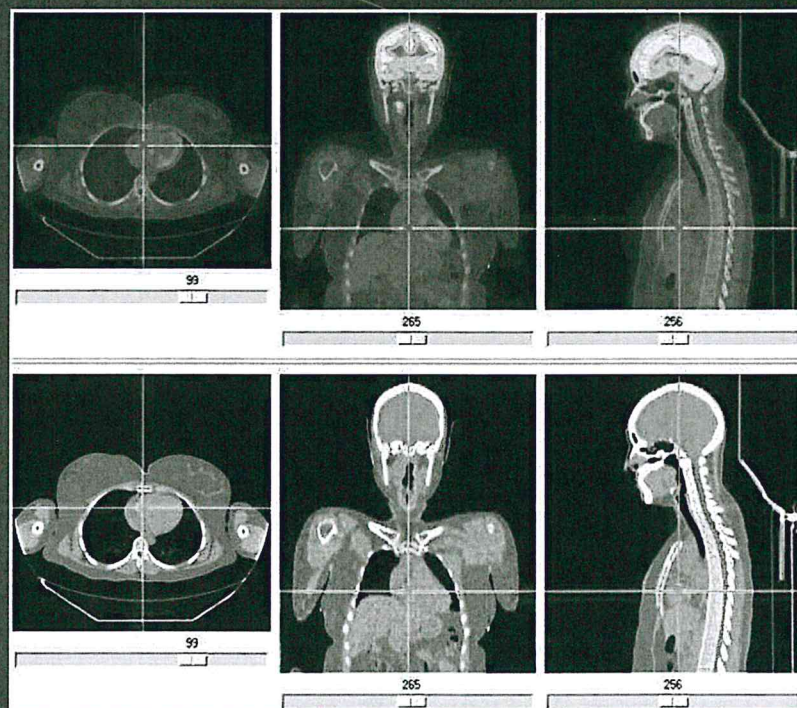
- Scintigrafia TIROIDEA (acquisizione planare – statica)
- Radiofarmaco: pertecnetato Tc - 99m (non c'è un vero *carrier*).



- Scintigrafia RENALE SEQUENZIALE (acquisizioni planari – dinamica)
- Radiofarmaco: ^{99m}Tc -MAG3 (mercaptoacetiltriglicina)



- Tomo-Scintigrafia CARDIACA (acquisizioni tomografiche)
- Radiofarmaco: ^{99m}Tc -SestaMibi o Tetrofosmin



- PET - CT
- Radiofarmaco: ^{18}F (FDG)

La gestione del Paziente (1)

1. Accettazione del paziente all'interno della struttura

Il paziente attende, all'interno di una sala d'attesa FREDDA, che il Medico Nucleare valuti il quadro clinico.

La durata dell'attesa è ovviamente funzione delle condizioni di salute dello stesso paziente (interno, esterno, «barellato» o meno).

2. Giustificazione della pratica da parte del Medico Nucleare

Il paziente viene ricevuto dal Medico Nucleare che valuta il caso clinico e stabilisce l'appropriatezza dell'indagine diagnostica richiesta dal Medico prescrivente. In caso in prestazione terapeutica, in regime ambulatoriale, vista la maggiore entità della dose da assumere. Il processo di **giustificazione** della pratica richiederà maggior cura.

In particolar modo sarà posta attenzione nei confronti di soggetti in età pediatrica, di donne in età fertile che non siano in grado di escludere uno stato di gravidanza e di donne che allattano la propria prole.

3. Preparazione della dose da somministrare

In camera calda il TSRM paziente prepara la dose da somministrare al paziente che nella quasi totalità delle pratiche diagnostiche viene somministrata per via endovenosa (dose in siringa), mentre nei casi di pratiche terapeutiche può non di rado essere rappresentata da compresse (sorgenti sigillate)

La gestione del Paziente (2)

4. Somministrazione della dose al paziente

La dose preparata in camera calda viene consegnata al Medico Nucleare attraverso un varco passa-preparati che attende nella Sala somministrazione attigua.

Nel caso di somministrazione a mezzo siringa, questa è schermata da opportuno schermo in piombo o tungsteno.

In caso di terapia ambulatoriale il paziente sarà invitato ad abbandonare immediatamente la struttura, seguendo il percorso dedicato d'uscita, dopo che il personale della struttura avrà informato il paziente circa il comportamento da assumere per la protezione della popolazione.

5. Attesa del paziente «caldo»

Poiché il metabolismo del radiofarmaco da parte del paziente varia in funzione della natura dei tessuti/organi soggetti a studio, il paziente potrà attendere da qualche minuto fino ad un paio d'ore prima che l'esame diagnostico abbia inizio al fine di ottenere acquisizioni più efficaci possibile.

L'attesa avviene all'interno di sale dedicate, dette di **attesa calda**.

6. Acquisizione dello studio diagnostico

Il paziente viene sistemato dal personale TSRM sui tavoli porta-paziente delle macchine diagnostiche (SPECT o PET) e saranno avviate le acquisizioni previste secondo precisi protocolli clinici impostati all'interno dei software gestionali (programmazione della geometria di acquisizione, dei tempi e/o conteggi di acquisizione, numero di frames, ecc...).

La gestione del Paziente (3)

7. Allontanamento del paziente dalla struttura

Al termine dello studio diagnostico il paziente è invitato ad abbandonare immediatamente la struttura, seguendo il percorso dedicato d'uscita, dopo che il personale della struttura avrà informato il paziente circa il comportamento da assumere per la protezione della popolazione.

Il percorso del paziente in uscita non dovrebbe MAI incrociare quello di operatori e pazienti «freddi».

8. Refertazione e consegna dello studio

Le immagini acquisite vengono processate da console dedicate e refertate dal Medico Nucleare fino alla trasmissione di una copia del referto al paziente e/o al medico prescrittente.

La Radioprotezione del Lavoratore

Tipologie di irradiazione

Irradiazione esterna: la sorgente di radiazioni è esterna al corpo umano. Si ha sia in caso di sorgenti sigillate sia in caso di sorgenti non sigillate

Irradiazione interna: la sorgente di radiazioni viene introdotta nell'organismo (contaminazione interna).
Avviene in presenza di sorgenti non sigillate per:
INGESTIONE E/O INALAZIONE

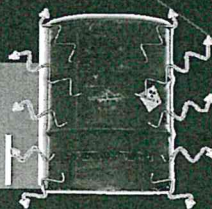
Protezione dall'irradiazione esterna

- Distanza
- Tempo di esposizione
- Schermature
- Formazione ed aggiornamento

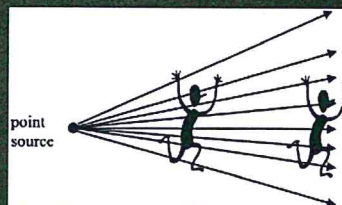
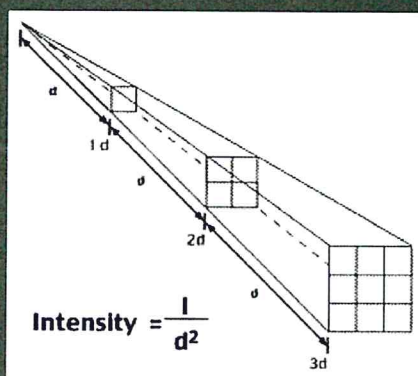
Sorgente tipiche di irradiazione esterna:

sorgenti sigillate, sorgenti non sigillate in vials o siringhe, fusti di rifiuti, il paziente.

DISTANZA: legge dell'inverso del quadrato



L'esposizione alla radiazione diminuisce fortemente se voi aumentate la distanza dalla sorgente radioattiva



TEMPO

La quantità di radiazione ricevuta è direttamente proporzionale al tempo trascorso in prossimità della sorgente



Distanze dal paziente e tempi di sosta...

Circa 50 cm



Circa 1 m



Si assume un valore medio di 50 cm

Esempi (1)

Paziente trattato con 2000 MBq di ^{90}Y (terapia)

Intensità di dose a 50 cm dal paziente è $6 \mu\text{Sv/h}$

Supponiamo che il personale addetto all'assistenza stia ad una distanza di 50 cm per 30 minuti al giorno per due giorni (tempo massimo di ricovero)



Dose risultante a tale personale: $6 \mu\text{Sv}$

Supponiamo che vengano trattati 30 pazienti nell'arco dell'anno: la dose totale in un anno sarà quindi di $180 \mu\text{Sv}$, pari a

0.18 mSv

Esempi (2)

Paziente trattato con 500 MBq di $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (scintigrafia)

Intensità di dose a 50 cm dal paziente è $13 \mu\text{Sv/h}$

Supponiamo che il personale addetto all'assistenza stia ad una distanza di 50 cm per 30 minuti.



Dose risultante a tale personale: $6.5 \mu\text{Sv}$

Supponiamo che vengano assistiti 50 pazienti nell'arco di un anno:



Dose totale in un anno: $325 \mu\text{Sv}$, pari a

0.325 mSv

Esempi (3)

Paziente trattato con 3700 MBq di ^{131}I (terapia della tiroide)
In questo caso il paziente rimane ricoverato (degenza protetta) per 3 giorni.

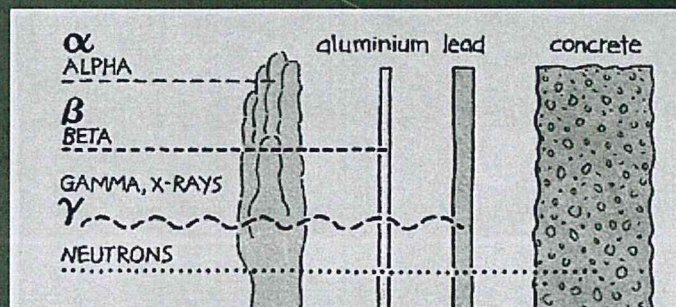
Alla fine della degenza protetta (normalmente i pazienti vengono dimessi) il rateo di dose a 50 cm dal paziente è di $160 \mu\text{Sv/h.}$. Se il personale addetto all'assistenza rimane ad una distanza di 50 cm dal paziente per 30 minuti la dose ricevuta sarà di:

$80 \mu\text{Sv}$

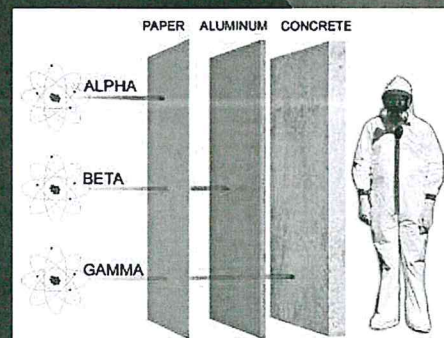
Se durante un anno lo stesso operatore assiste 10 pazienti trattati con ^{131}I per 30 minuti ciascuno, la dose totale sarà di $800 \mu\text{Sv}$, pari a

0.8 mSv

SCHEMATURE: attenuazione

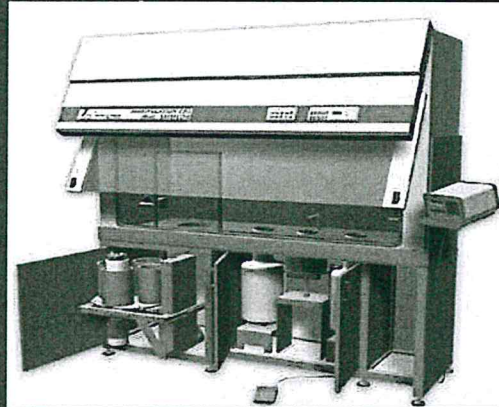


La radiazione è attenuata dai materiali “pesanti” e spessi: quando possibile meglio operare dietro degli oggetti



Tipiche schermature in M.N. (1)

Per chi manipola.....CELLE DI MANIPOLAZIONE SCHERMATE



VENTILAZIONE

- Classe di contaminazione particellare: Classe A
- Filtro in entrata: assoluto HEPA H13 (Ei \geq 99,995%)
- Filtro principale: assoluto ULPA U15 (Ei \geq 99,9999%)
- Filtro in uscita: assoluto HEPA H13 (Ei \geq 99,995%) con filtro in uscita ai carboni attivi
- Flusso laminare verticale (velocità dell'aria $V = 0,45$ m/sec. \pm 20%)
- Tenuta: la tenuta d'aria interna è implementata grazie alla presenza di guanti e grazie alle guarnizioni nei cassetti del compartimento di servizio

Tipiche schermature in M.N. (2)

Per chi somministra.....SCHERMI PER SIRINGHE



Camici , collari, guanti ????.DIPENDE,.....PARLIAMONE!

Protezione dall'irradiazione interna

Inalazione: particelle di radioisotopo sono presenti in aria sottoforma di particolato o di vapore (tipico lo radio-Iodio). L'aria radioattiva inalata determina una componente di **DOSE** che cresce, con dinamica più o meno complessa, nel tempo.

Presidi di sicurezza:

- Uso di celle di manipolazione in forte depressione, dotate di filtri anti particolato ad alta efficienza, filtri a carboni attivi.
- Impianti di aerazione efficienti, con filtri anti particolato in ingresso per ridurre il particolato contaminabile ed in uscita per immettere in ambiente esterno aria non contaminata
- Logica dei gradienti pressori tra due ambienti comunicanti in modo tale che le contaminazioni aeree non si propaghino da ambienti caldi verso ambienti «meno caldi» o freddi!

Protezione dall'irradiazione interna

Ingestione: particelle di radioisotopo depositate su superfici di lavoro possono contaminare le mani ed essere ingerite. Evento in genere molto più improbabile dell'inalazione. Le particelle ingerite determinano una componente di **DOSE** che cresce, con dinamica più o meno complessa, nel tempo.

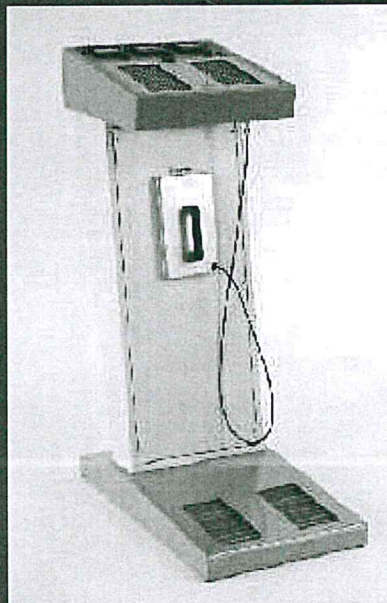
Presidi di sicurezza: LAVORIAMO BENE!!!!

- Controllo frequente delle contaminazioni su mani e abiti
- Controllo frequente delle superfici di lavoro (usiamo i contaminometri portatili)
- Tenere sempre i guanti indossati, cambiandoli spesso
- Coprire quanto più possibile le braccia
- Non mangiare, non bere dentro le aree calde
- Usare fazzoletti monouso

Strumenti di monitoraggio ambientale



Strumenti di monitoraggio personale

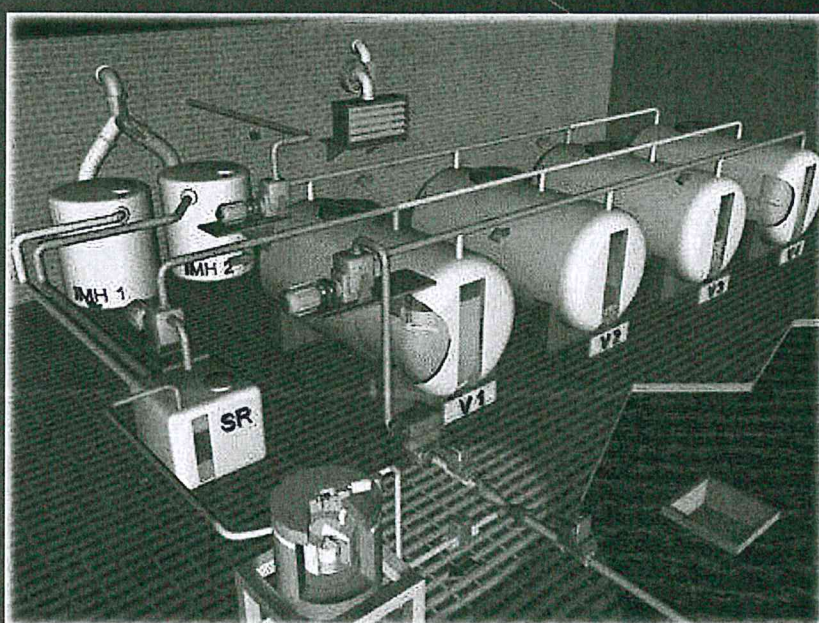


La Radioprotezione dell'ambiente Smaltimenti rifiuti radioattivi



emivita > 75 gg o concentr. > 1 Bq/g → vettore autorizzato

La Radioprotezione dell'ambiente Smaltimenti controllati liquidi radioattivi



emivita < 75 gg → ambiente concentrazioni < a 1Bq/g

La Radioprotezione del Paziente

Buona anamnesi (preliminare).....
.....GIUSTIFICAZIONE DELLA PRATICA

Pazienti «critici»:

- bambini
- donne fertili e donne gravide
- donne che allattano

Somministrazione del consenso informato a ciascun paziente !!!

I bambini

1. Pratica speciale ex art. 9, D.Lgs. 187/00:

- Giustificazione ulteriore della pratica
- Valutazioni di dose ad *hoc*
- Coinvolgimento dell'Esperto in Fisica Medica

2. Ammissione del genitore-accompagnatore:

- Valutazioni sull'eventuale donna gravida

Donne fertili e donne gravide

**Se lo stato di gravidanza non può essere accertato
va eseguito il «test»**

In caso di gravidanza l'indagine andrebbe sempre rinviata ove possibile; in ogni modo il Medico Nucleare, assistito dall'Esperto in Medica, valuta l'entità della dose al feto prevista:

se < 1 mSvla pratica non necessita di giustificazione ulteriore (esame «sicuro»)

se > 1 mSvla pratica deve essere esplicitamente giustificata in modo ulteriore ed eventualmente rinviata

Cartelli di segnalazione: gravidanza



Informate il personale se pensate di essere in gravidanza

Fattori di irradiazione del feto

- Irradiazione esterna da organi materni (vescica)
- Irradiazione interna **SE** il feto metabolizza il radiofarmaco

Solo radiofarmaci che oltrepassano la **barriera placentare** possono essere metabolizzati dal feto.

La quasi totalità dei radiofarmaci non oltrepassa la barriera e si ha con buona approssimazione:

$$\text{Dose feto} = \text{Dose utero}$$

In letteratura sono indicati i radiofarmaci che oltrepassano la barriera (tipico: radio Iodio).

Donne che allattano al seno

In caso di allattamento, il radiofarmaco, veicolato dal latte, può indurre l'assunzione di Dose a carico della prole.

Il Medico, in funzione del radiofarmaco, valuta:

- il regolare prosieguo dell'allattamento
- la sospensione dell'allattamento per 9 ore
- la sospensione dell'allattamento in subordine al controllo della radioattività del latte
- la sospensione dell'allattamento definitiva

Cartelli di segnalazione: allattamento



Informate il personale se allattate vostro/a figlio/a

Istruzione di dimissione del paziente (1)

All'atto della dimissione del paziente dalla struttura il paziente deve ricevere adeguate informazioni, anche per iscritto, per garantire adeguata radioprotezione ai familiari.

Per la quasi totalità degli esami diagnostici basta osservare per 24 ore:

1. Il paziente dovrebbe mantenere la maggiore distanza possibile dalle persone, in ogni caso più di 1 metro;
2. ogni forma di materiale organico prodotto dal paziente costituisce elemento di possibile contaminazione per i suoi familiari e per l'ambiente circostante;
3. facendo uso del W.C. tutti i pazienti, anche maschi, dovranno urinare in posizione seduta, usare carta igienica e azionare lo sciacquone. Il paziente dovrà lavarsi accuratamente le mani all'interno del gabinetto per evitare la contaminazione di maniglie;
4. nel caso in cui vi siano in famiglia bambini, il paziente deve evitare il contatto fisico diretto per quanto possibile; i bambini molto piccoli dovranno essere accuditi da persone diverse dal paziente. Quando ciò sia assolutamente non desiderabile per motivi psicologici, il contatto dovrebbe essere il più breve possibile;
5. per quanto riguarda i partners, non vi è una controindicazione assoluta per abbracci o per rapporti sessuali che dovrebbero però essere quanto più limitati;
6. nel caso di donne gravide si dovrà invece essere più restrittivi nell'evitare contatti fisici stretti con il paziente.

Istruzione di dimissione del paziente (2)

Per la terapia ambulatoriale con ^{131}I dovrebbero essere osservate per almeno 15-20 gg:

- per quanto riguarda i partners non vi è una controindicazione assoluta per abbracci o per rapporti sessuali che dovrebbero però essere limitati a non più di mezz'ora al giorno. E' anche consigliabile che nessuno dorma nello stesso letto del paziente. La distanza tra due letti adiacenti dovrebbe essere almeno di 2 metri. Bisogna tener conto anche del fatto che due letti possono essere contigui, pur essendo separati da una parete e che la parete stessa non può essere considerata una barriera effettivamente adeguata ad assorbire in misura sufficiente le radiazioni;
- nel caso di partners anziani, al di sopra dei 60 anni, vi è una minore necessità di adottare speciali misure, accontentandosi di attenersi a quelle norme più agevoli da mettere in atto;
- nel caso di donne gravide si dovrà invece essere più restrittivi nell'evitare contatti fisici stretti con il paziente.
- nel caso che una donna allatti al seno, la somministrazione di radioiodio I-131 comporta l'interruzione definitiva dello stesso allattamento;
- una gravidanza dovrebbe essere evitata per 4 mesi dopo la somministrazione di iodio radioattivo. Poiché gli spermatozoi potrebbero essere danneggiati in un maschio trattato, anche a questi dovrebbe essere consigliato di non generare nei 4 mesi successivi alla somministrazione;

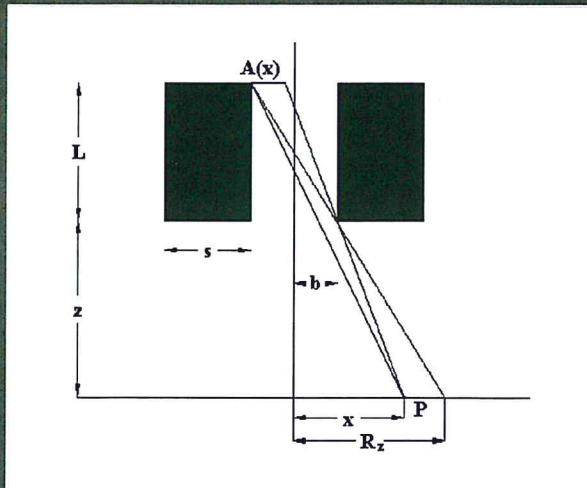
- poiché la saliva e le secrezioni nel paziente sono contaminate dal radioiodio la posateria, il vasellame, i tovaglioli, gli asciugamani e la biancheria dei letti usati dal paziente non dovrebbero essere usati da altre persone prima di essere lavati. Non vi è la necessità di un lavaggio separato.

«Qualità dell'immagine» VS «Dose»

Qualità dell'immagine (risoluzione spaziale):

in M.N è pesantemente inficiata dal potere limitato della risoluzione spaziale.

Occorre quindi impiegare COLLIMATORI ad ALTA RISOLUZIONE per raggiungere una migliore qualità.



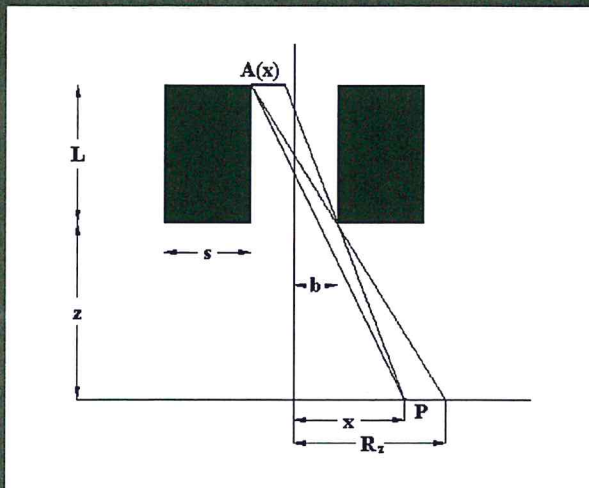
Più profondo è il setto del collimatore meglio localizzati saranno i conteggi e migliore sarà la qualità dell'immagine....

..ma più alta sarà la perdita di fotoni emessi dal paziente con conseguente riduzione della statistica di conteggio!!

«Qualità dell'immagine» VS «Dose» (2)

Dose al paziente:

È inficiata, ai fini della qualità dell'immagine, dalla statistica di conteggio che si vuole ottenere. Parimenti attività, i conteggi risulteranno maggiori laddove saranno impiegati tempi più lunghi di acquisizione.



Per recuperare la buona statistica di conteggio per l'impiego di collimatori ad alta risoluzione occorre aumentare la DOSE al paziente!!!!

COMPROMESSO TRA RISOLUZIONE SPAZIALE E DOSE AL PAZIENTE

Confronto tra le esposizioni:
Radiologia interventistica vs Medicina Nucleare

Attività	Tempo di sosta presso il paziente (minuti)	Intensità di dose ad 1 metro ($\mu\text{Sv/h}$)
Radiologia intraoperatoria	1 - 10	500 - 1000
Sosta presso paziente radioattivo ($^{99\text{m}}\text{Tc}$)	< 10	15 (casi più sfavorevoli)
Sosta presso paziente radioattivo ($^{131\text{I}}$ -diagnostica)	< 10	5
Sosta presso paziente radioattivo ($^{131\text{I}}$ -terapia ipertir.)	\ll 10	20
Sosta presso paziente radioattivo ($^{131\text{I}}$ -terapia K tiroid.)	\ll 10	100-200



.....grazie per la cortese attenzione !!

RADIOPROTEZIONE

Disciplina applicata alla protezione dagli effetti dannosi delle radiazioni.

Si estrinseca in una serie di principi, raccomandazioni, requisiti, prescrizioni, tecnologie e modalità operative, verifiche, volte a proteggere :

- ✓ la popolazione nel suo insieme
- ✓ lavoratori professionalmente esposti a radiazioni ionizzanti
- ✓ pz sottoposti a procedure diagnostiche e terapeutiche che implicano l'impiego di radiazioni ionizzanti

RADIOPROTEZIONE (2)

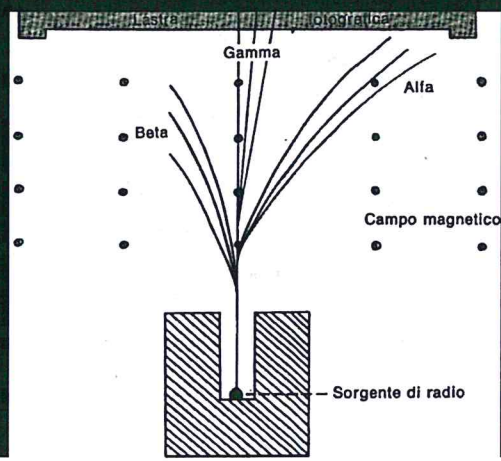
La radioprotezione si fonda a livello generale:

- sull'isolamento delle sorgenti di radiazione dall'ambiente e dal contatto con l'uomo;
- sull'adozione di soluzioni progettuali costruttive e tecnologiche;
- sull'individuazione di comportamenti e prescrizioni atti a ridurre l'esposizione individuale e collettiva della popolazione in misura appropriata.

Evitare effetti biologici negativi legati
all'interazione delle radiazioni ionizzanti con la
materia

Elementi di fisica delle radiazioni

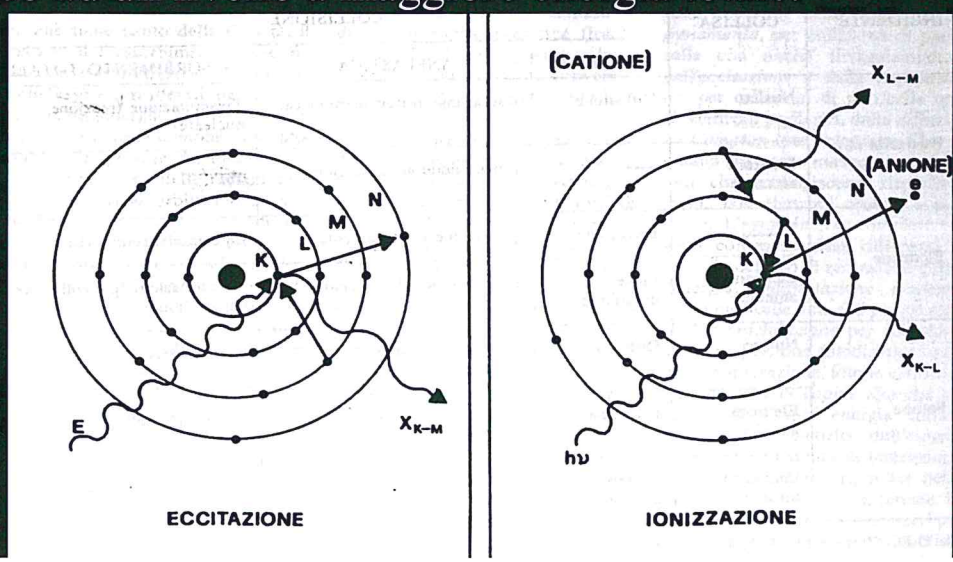
Per Radiazione si intende lo spostamento di energia non richiedente alcun supporto materiale e non associato al trasporto di porzioni macroscopiche di materia. L'assorbimento di tale energia può generare calore o innescare reazioni chimiche oppure eccitare o ionizzare gli atomi.



Eccitazione e Ionizzazione

Per ionizzazione si intende il sollevamento di un elettrone dell'atmosfera perinucleare al di fuori dei limiti geometrici dell'atomo.

Per eccitazione si intende il sollevamento di un elettrone atomico ad un livello a maggiore energia totale.



Le Radiazioni possono essere distinte in base

- alla loro natura in:

- ✓ corpuscolari
- ✓ elettromagnetiche

- all'energia trasportata, alla capacità di dare ionizzazione nell'interazione con la materia in :

- ✓ non ionizzanti (NIR)
- ✓ ionizzanti (IR)

Radiazioni corpuscolari

Le radiazioni sono dette corpuscolari se al trasporto di energia è associato un trasporto di materia.

Sono costituite da particelle subatomiche che si spostano con velocità elevate (~ a quella della luce).

In base alla massa e alla carica si distinguono in :

- particelle leggere elettricamente cariche (elettroni, positroni);
- particelle pesanti elettricamente cariche (protoni, deutoni, alfa);
- neutre (neutroni).

Radiazioni elettromagnetiche

Le radiazioni sono dette elettromagnetiche se il trasporto è solo di energia.

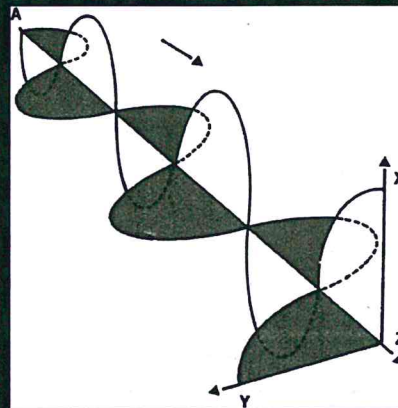
Vengono classificate in relazione alla loro lunghezza d'onda λ (o frequenza μ) ed alla loro energia.

In rapporto alla loro frequenza manifestano due aspetti contrastanti tra loro:

- l'aspetto ondulatorio;
- l'aspetto quantico o corpuscolare.

Radiazioni elettromagnetiche

Secondo il modello ondulatorio, sono descrivibili come propagazione di energia per onde trasversali (variazioni sinusoidali nel tempo di un campo elettrico e di un campo magnetico mutuamente ortogonali e perpendicolari alla direzione di propagazione).



Tale interpretazione non riesce a spiegare alcuni fenomeni tra cui le interazioni delle radiazioni X e gamma con la materia.

Questi risultano spiegabili con la **Teoria dei quanti** secondo cui la radiazione è un insieme di corpuscoli energetici privi di massa detti quanti o fotoni.

Radiazioni elettromagnetiche

Le radiazioni e.m. che interessano l'attività sanitaria sono le radiazioni X e le gamma .

Radiazioni X

Con tale termine ci si riferisce alla radiazione e.m. prodotta dal frenamento di elettroni in un materiale, ed a quella emessa dagli atomi a seguito di transizione tra due livelli energetici.

Radiazioni gamma (γ)

Con tale termine ci si riferisce alla radiazione e.m. che prende origine dal nucleo atomico, per liberazione di energia che tiene unita tra loro i nucleoni (energia di legame).

Raggi X

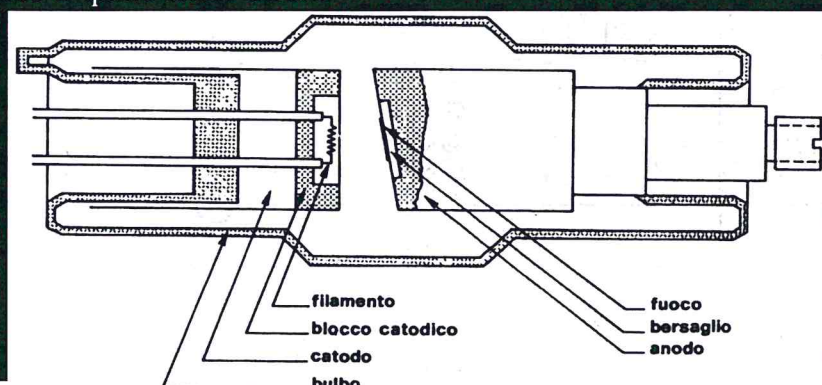
La loro scoperta si deve a Roentgen nel 1885.

Si producono quando elettroni in movimento ad alta velocità vengono frenati da un materiale ad elevato numero atomico.

Tali fenomeni portano alla formazione di coppie di ioni, all'eccitazione degli elettroni degli orbitali più esterni ed alla radiazione e.m. di frenamento.

Un generatore di raggi X deve essere costituito da:

- una sorgente di elettroni (filamento di tungsteno)
- un sistema capace di accelerare gli elettroni (d.d.p)
- bersaglio verso il quale siano diretti



Radioattività

Condizione d'instabilità nucleare causata da un alterato rapporto tra il n° di neutroni e quello di protoni.

questa condizione d'Instabilità è **transitoria** poiché il nucleo tende a raggiungere la stabilità mediante:

- **emissione di particelle (α , β)**
- **fotoni γ**

In ogni caso ciò si traduce in una perdita di energia attraverso l'emissione di radiazioni.

Decadimento radioattivo

Il fenomeno per cui un atomo padre si trasforma in un atomo figlio è chiamato trasmutazione.

I decadimenti radioattivi sono fondamentalmente di 3 tipi a seconda che il nucleo padre presenti una delle seguenti condizioni :

- ✓ *eccesso di protoni e neutroni* → decadimento alfa
- ✓ *eccesso di neutroni* → decadimento beta negativo
- ✓ *eccesso relativo di protoni* → decadimento beta positivo

Queste condizioni possono dare luogo a tipi alternativi di decadimento quali la CI (conversione interna) o CE (cattura elettronica).

Radiazioni ionizzanti

Le radiazioni si dicono ionizzanti perché producono ionizzazioni nei materiali che attraversano.

La ionizzazione è un processo che porta alla formazione di una coppia di ioni, mediante l'allontanamento di un elettrone orbitale dal nucleo atomico.

Affinchè tale processo possa avvenire è necessario che l'energia veicolata dalla radiazione ionizzante sia maggiore della energia di legame dell'elettrone.

Tra le radiazioni ionizzanti distinguiamo

- direttamente ionizzanti
- indirettamente ionizzanti

Tipologia delle Radiazioni Ionizzanti

1. **Direttamente ionizzanti**

Di natura corpuscolare
(α , elettroni, positroni, protoni, deutoni)

Interagendo direttamente con gli atomi della materia, determinano ionizzazione

2. **Indirettamente ionizzanti**

Di natura elettromagnetica
(fotoni γ , raggi X)

Danno origine a ionizzazioni mediante conversione della propria energia in particelle cariche (elettroni)

Radiazioni direttamente ionizzanti (1)

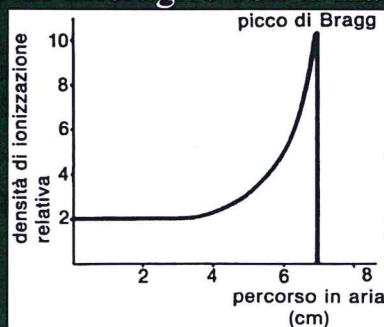
Sono costituite da particelle dotate di carica, quali elettroni, protoni, e particelle alfa che producono ionizzazioni nel mezzo attraversato mediante interazione coulombiana con le cariche degli elettroni orbitali, comportando lo scambio di energia.

Se l'energia scambiata è superiore alla energia di legame dell'elettrone atomico si ha la ionizzazione dell'atomo (*espulsione dell'elettrone dall'atomo*); altrimenti l'atomo è solo eccitato (*elettrone passa dal proprio livello energetico di riposo ad un livello caratterizzato da energia maggiore*).

Radiazioni direttamente ionizzanti (2)

Le forze coulombiane determinano anche una deviazione delle particelle incidenti dalla propria traiettoria. Tale deviazione risulta tanto maggiore quanto minori sono la massa e la velocità (e quindi l'energia della particella).

La densità di ionizzazione delle particelle cariche (direttamente ionizzanti) lungo la loro traiettoria cresce via via che esse rallentano e sarà massima (picco di Bragg) poco prima che si arrestino completamente cessando di interagire con il materiale biologico attraversato.



Radiazioni direttamente ionizzanti (3)

Poiché molti fenomeni fisico-chimici e biochimici dipendono dalla densità di ionizzazione per la misura di tale parametro, si è introdotta una grandezza fisica quale:

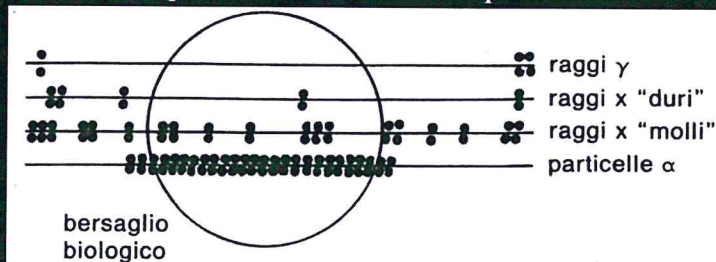
il LET (Linear Energy Transfer) o trasferimento lineare di energia che esprime la quantità di energia ceduta mediamente dalla radiazione per lunghezza unitaria di tessuto attraversato.

$$\text{LET} = \text{Kev}/\mu$$

Il LET aumenta con il quadrato della carica della particella incidente ed è inversamente proporzionale alla sua velocità

Radiazioni a basso LET: fotoni X e gamma, elettroni

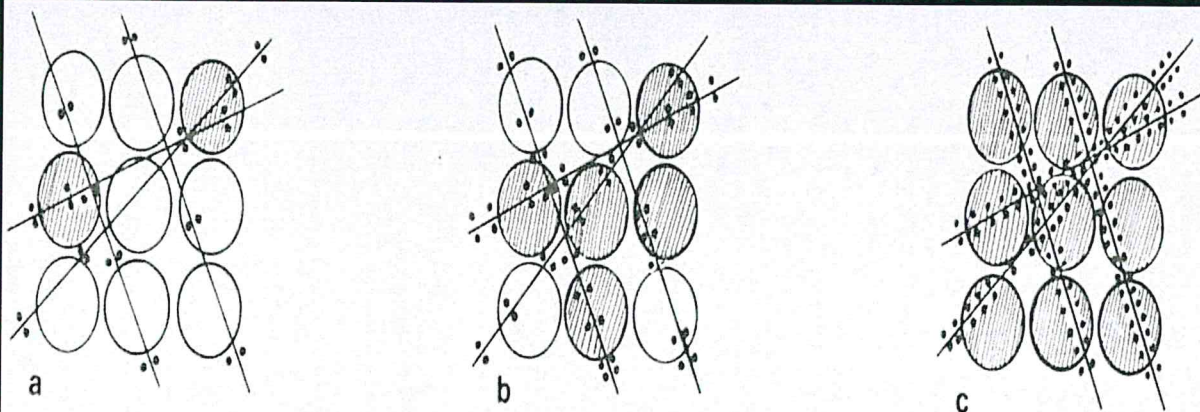
Radiazioni ad alto LET: protoni, neutroni e particelle α



L.E.T

Le radiazioni ad alto LET sono più efficaci nel determinare un danno biologico per due motivi principali:

- hanno maggiore probabilità di dare effetti diretti sul bersaglio biologico;
- maggiore possibilità di colpire ("uccidere") il bersaglio biologico.



Interazioni delle radiazioni direttamente ionizzanti con la materia

Particelle α

- elevata densità di ionizzazione (ionizzazione specifica: numero di coppie di ioni formate per unità di percorso)
- elevata massa
- traiettoria rettilinea
- percorso breve (in aria pochi cm; nei tessuti nell'ordine dei micrometri)
- elevato rischio nel caso di irradiazione interna (nel caso di irradiazione esterna: già lo spessore del contenitore le assorbe)

Interazioni delle radiazioni direttamente ionizzanti con la materia

Elettroni

- densità di ionizzazione inferiore rispetto alle particelle α
- piccola massa
- traiettoria non rettilinea
- sono sottoposti a forti accelerazioni nel passare in prossimità del nucleo, perdendo energia sotto forma di radiazione e.m. detta radiazione di frenamento o di "Bremsstrahlung"

Radiazioni indirettamente ionizzanti

Le r. indirettamente ionizzanti di interesse radiologico comprendono:

- radiazioni e.m. → raggi X e raggi gamma
- neutroni

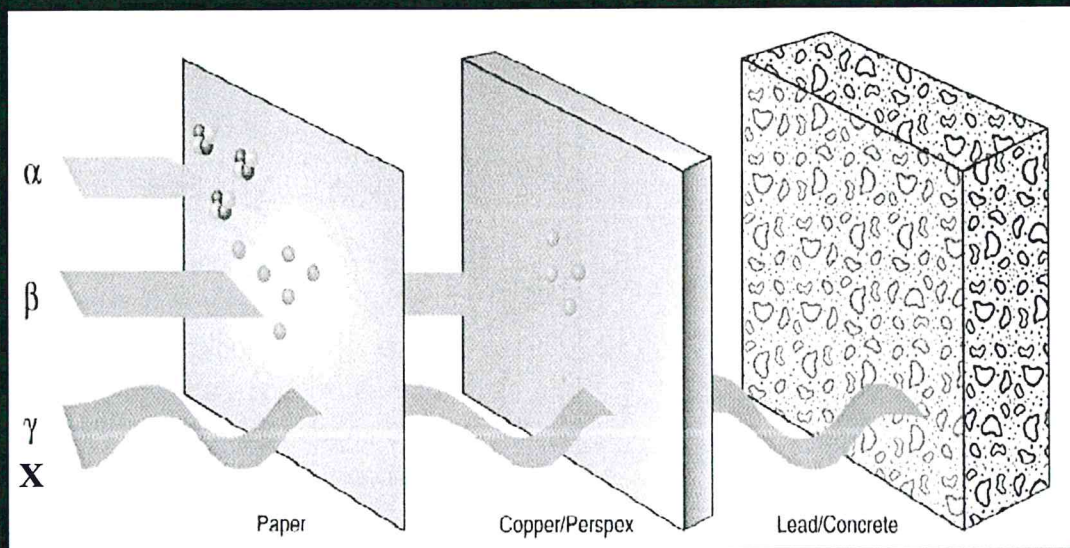
I fotoni interagiscono con la materia mediante tre fenomeni:

Effetto Fotoelettrico
Effetto Compton
Creazione di coppie.

I neutroni interagiscono con i nuclei degli atomi mediante:

Urti elastici ed anelastici

Ognuno di essi comporta l'espulsione dall'atomo di un elettrone, cosiddetto "secondario" che è l'effettivo responsabile della ionizzazione della materia.

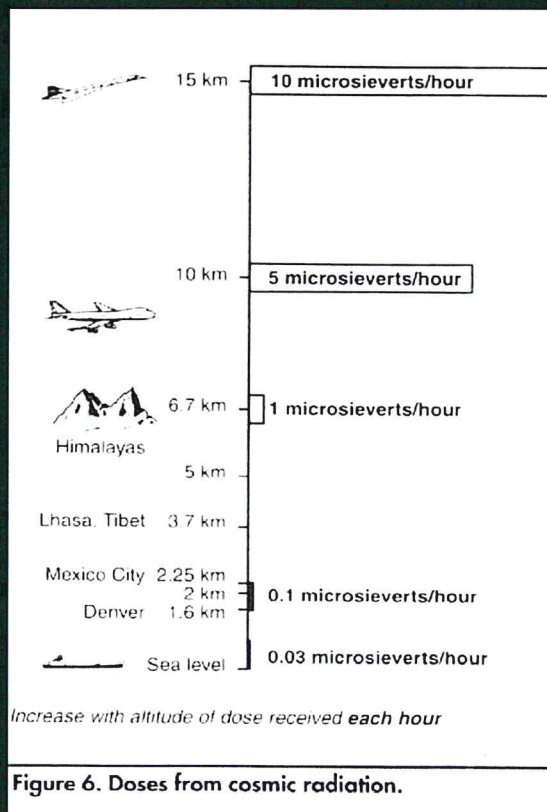


Modalità di irradiazione

Esistono due modalità di irradiazione del corpo umano, che si distinguono per la diversa collocazione delle sorgenti radianti nei riguardi del soggetto irradiato:

-IRRADIAZIONE ESTERNA

- IRRADIAZIONE INTERNA

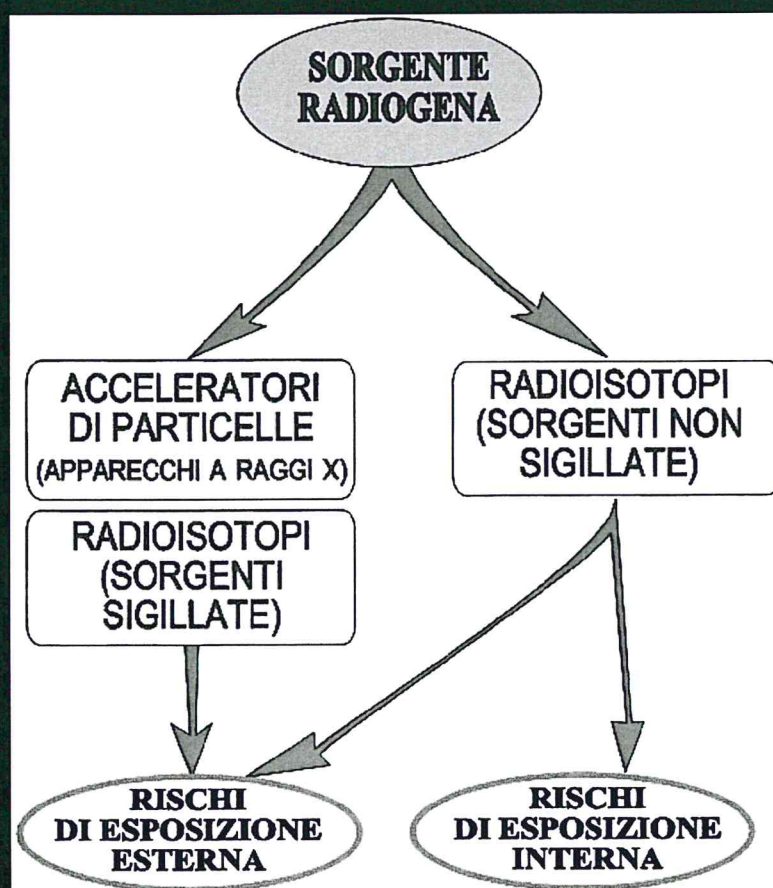


Nell'irradiazione esterna l'organismo è irradiato con una o più sorgenti che si trovano al di fuori di esso

Le cause da irradiazione esterna in ambito sanitario sono due:
- quelle da impianto radiologico (tradizionale, TC, angiografo, acceleratore lineare etc.);
- quelle da sorgenti radioattive (non sigillate in reparti di medicina nucleare e RIA)

Nell'irradiazione interna ci si riferisce all'esposizione prodotta da sorgenti introdotte nell'organismo.

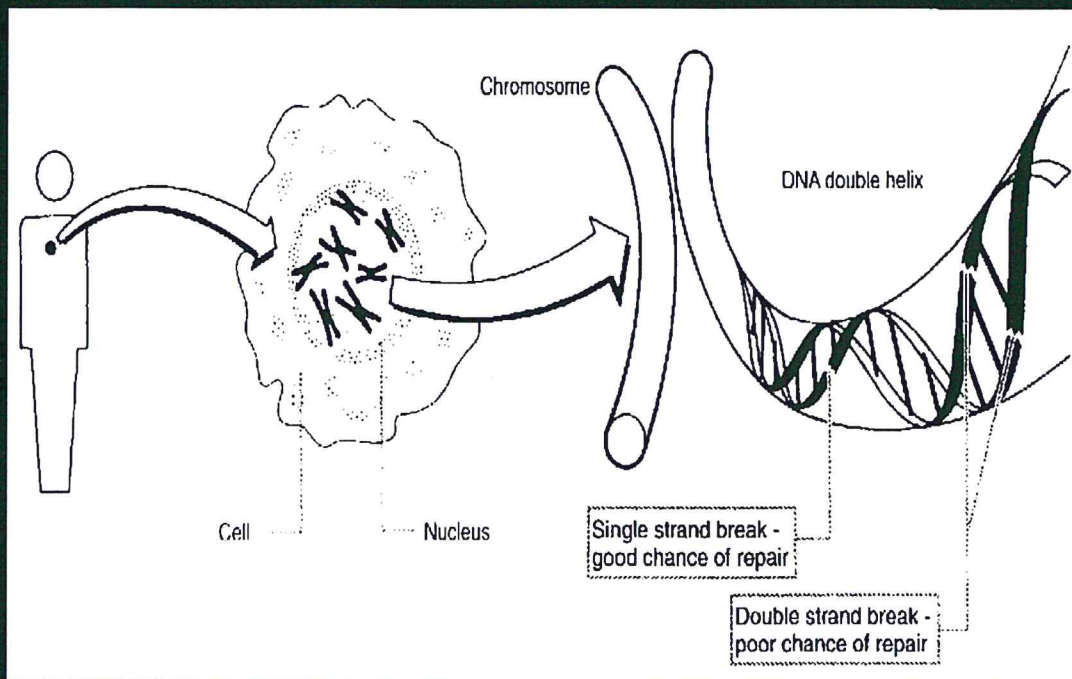
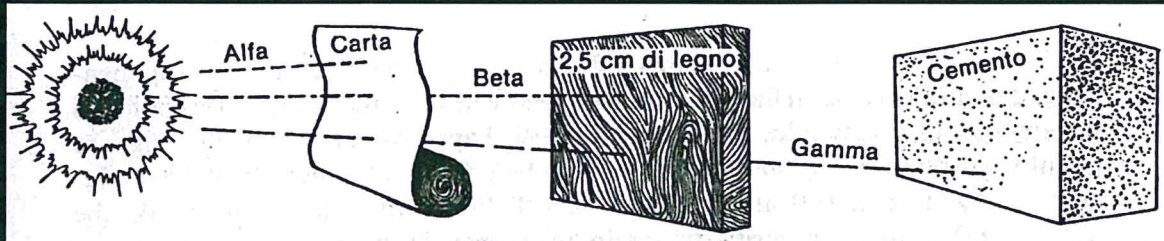
Le principali vie di introduzione di un radioisotopo sono:
- l'inalazione, dovuta a contaminazione dell'aria ambiente;
- l'ingestione, in seguito a contaminazione delle superfici di lavoro



Metodi di protezione dall'irradiazione esterna

I principali elementi su cui è possibile intervenire sono:

- ✓ la distanza → legge dell'inverso del quadrato della distanza : la quantità di radiazione ad una distanza da una sorgente è inversamente proporzionale al quadrato della distanza (raddoppiando la distanza, la dose si riduce ad 1/4 ; dimezzandola aumenta di quattro);
- ✓ il tempo;
- ✓ la schermatura → viene influenzata dalla densità e spessore del materiale (all'aumentare di Z e quindi della densità aumenta il potere schermante) e dall'energia della radiazione incidente.



Effetto diretto ed indiretto delle radiazioni ionizzanti

L'effetto diretto si ha quando vengono direttamente danneggiate le molecole bersaglio, per rottura dei loro legami covalenti e può essere così rappresentato:



L'effetto indiretto è ben rappresentato dalla radiolisi dell'acqua, osservata per la prima volta nel 1901 (Curie e Debierne) quando da una soluzione di Sali di radio si liberavano ossigeno ed idrogeno.

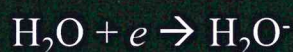
Radiolisi dell'acqua (*Curie e Debierne*)



che può essere seguita da quella di dissociazione dello ione radicale libero H_2O^+ :



o da formazione dello ione radicale libero $H_2O\cdot^-$, per interazione dell'elettrone prodotto con un'altra molecola d'acqua:



anche lo ione $H_2O\cdot^-$ si può dissociare:



ma siccome $H\cdot + H\cdot \rightarrow H_2$



L'effetto ossigeno

E' uno dei fenomeni più importanti in radiobiologia, per il quale cellule e tessuti irradiati in presenza di ossigeno sono *più sensibili* al danno da r.i. di quanto non lo siano in condizioni di anossia.

L'ossigeno, contribuisce a "fissare" il danno da r.i. sulle macromolecole bersaglio, mediante reazioni di ossidazione "a catena" della macromolecola, una volta che essa sia stata trasformata in radicale libero.

La conoscenza di tale effetto è importante soprattutto in radioterapia.

Fattori determinanti l'effetto biologico delle radiazioni

- ✓ quantità di energia ceduta dalla radiazione per unità di massa.

Dose assorbita (DT) di un organo o tessuto : ***energia depositata in un organo divisa per la massa dell'organo stesso.***

L'unità di misura della dose assorbita è il gray (Gy), che corrisponde all'energia di un joule depositata in un kg di massa.

- ✓ modalità di cessione dell'energia.

Dose equivalente (HT) : ***dose media ad un organo o tessuto moltiplicata per un fattore peso adimensionale, w_R*** (dipende dall'efficacia biologica della radiazione ed in particolare dal suo LET)

$$HT = w_R \times DT$$

L'unità di misura della dose equivalente è il sievert (Sv).

- ✓ caratteristiche biologiche del tessuto od organo interessato.

Dose efficace (E): ***sommatoria della dose equivalente ai vari tessuti e organi irradiati per un fattore peso adimensionale, w_T (fattore di ponderazione):***

$$E = \sum w_T \times HT$$

L'unità di misura della dose efficace è il sievert (Sv).

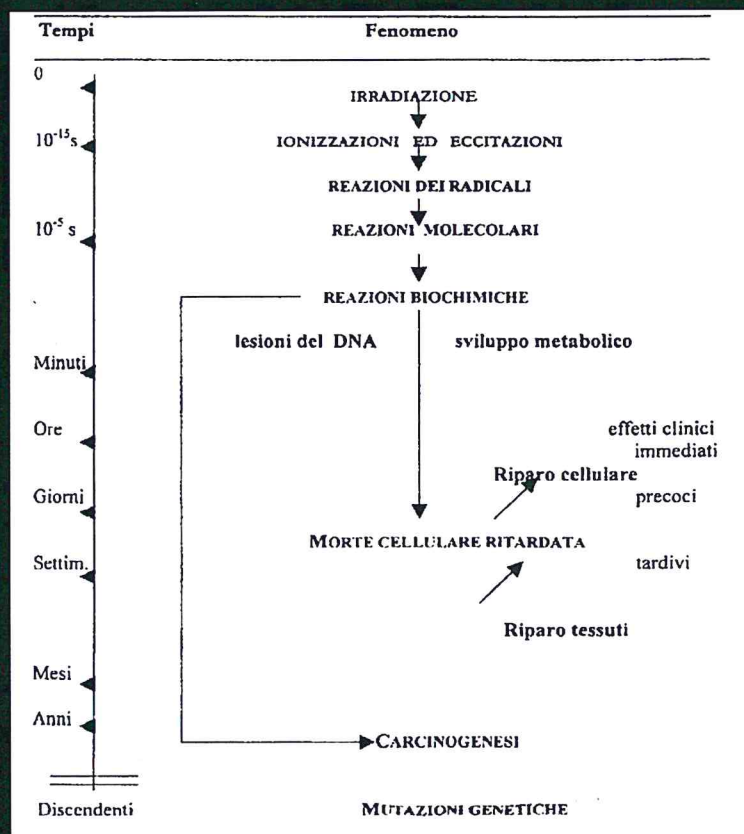
FASI DELL'INTERAZIONE: scala dei tempi

L'energia di un fascio di radiazioni ionizzanti (IR), interagendo con la materia vivente, provoca effetti che si manifestano come *danno biologico*

Si possono manifestare, in generale, due fasi in questo processo:

✓ fase iniziale in cui le IR producono nella materia alterazioni fisiche e fisico-chimiche; tale fase si esaurisce in molto meno di un secondo.

✓ fase del danno biologico evidente prima nei costituenti fondamentali della materia vivente (cellule e suoi elementi costitutivi), poi nei tessuti e negli organi ed infine nell'organismo nel suo insieme; tale fase si manifesta in un arco di tempo molto più lungo da qualche secondo a molti anni.



TIPO DI DANNO RADIOBIOLOGICO NEI MAMMIFERI

LIVELLO DI ORGANIZZAZIONE BIOLOGICA

PRINCIPALI EFFETTI

MOLECOLARE



DANNO A MACROMOLECOLE
QUALI ENZIMI, RNA, DNA, ED
INTERFERENZA CON PROCESSI
METABOLICI

SUBCELLULARE



DANNI ALLE MEMBRANE
CELLULARI AI NUCLEI, COMOSOMI,
AI MITOCONDRI, AI LISOSOMI

CELLULARE



INIBIZIONE DELLA DIVISIONE
DELLA CELLULA - MORTE
DELLA CELLULA
DEGENERAZIONE MALIGNA

TESSUTO ORGANO



COMPROMISSIONE DI ALCUNI
SISTEMI - NERVOSO CENTRALE
MIDOLLO OSSEO - INTESTINO
NEOPLASIE INDOTTE

ANIMALE INTERO



MORTE ACCORCIAMENTO
DURATA VITA

POPOLAZIONI DI ANIMALI



CAMBIAMENTI DELLE
CARATTERISTICHE GENETICHE
DOVUTI A MUTAZIONI GENICHE
E CROMOSOMICHE IN INDIVIDUI
SINGOLI DELLA SPECIE

Table 6. Exposed human populations used for the the assessment of radiation effects in man.

Atomic weapons

Japanese survivors of Hiroshima and Nagasaki
Marshall Islanders

Occupational groups

Uranium miners
Radium dial painters

Medical therapy

Radiotherapy of the cervix
Spinal radiotherapy (ankylosing spondylitis)
Neck and chest therapy (thyroid)
Scalp irradiation (tinea capitis)
Radiotherapy of the breast
Radium treatment

Medical diagnosis

Multiple fluoroscopies (breast)
Prenatal irradiation
Thorotrast injections

Effetti biologici delle radiazioni ionizzanti

- **Deterministici**
- **Stocastici somatici**
- **Stocastici genetici**
- **Irradiazione prenatale**

Effetti deterministici

- Certezza della loro manifestazione clinica
- Sono graduati (maggiore dose-maggiore effetto).
- Conseguono a breve termine (**ore,giorni**) dall'esposizione e si manifestano al superamento di una dose soglia.
- Il valore della dose-soglia dipende dal livello del danno considerato, dalla distribuzione temporale della dose (**in caso di esposizioni protratte la soglia aumenta secondo un "fattore di esposizione"**) e dalla radiosensibilità dei tessuti.

Effetti deterministici

La radiosensibilità dei tessuti è direttamente proporzionale all'attività mitotica ed inversamente proporzionale al grado di differenziazione delle sue cellule. Quindi:

- fegato, cervello ed ossa sono classificati come "radioresistenti";
- midollo osseo, gonadi, epitelio intestinale e cute sono "radiosensibili".

Effetti deterministici

Dose-soglia

CUTE: Eritema semplice  3 Gy

Eritema bolloso
Dermatite ulcerosa
Dermatite cronica  > 3 Gy

•Frazionamento della dose in Radioterapia

GONADI: Sterilità temporanea  2-3 Gy

Sterilità permanente  5 Gy

Effetti deterministici

APP.EMOPOIETICO Leucopenia ed anemia  > 0.25 Gy

CRISTALLINO: Cataratta  4 Gy

SINDROME ACUTA DA RADIAZIONI:

Si manifesta al crescere della dose come:

sindrome ematologica (1-10Gy), gastrointestinale(10-50Gy),
neurologica (>50Gy).

Effetti stocastici

Sono a carattere probabilistico

- La probabilità di verificarsi dipende dalla dose.
- La gravità dell'effetto non è funzione della dose (legge del tutto o nulla)
- Per verificarsi non richiedono il superamento di una dose soglia né mostrano gradualità con la dose ricevuta
- Si manifestano dopo anni (anche decenni) dall'esposizione

Effetti stocastici somatici (cancerogenesi)

Tumori solidi e Leucemie (danno sul DNA di cellule somatiche)

- Sono indistinguibili da tumori altrimenti indotti (sono dimostrati dalla sperimentazione radiobiologica e dall'evidenza epidemiologica)
- Dosi pari ad 1mSv danno "probabilità" di cancro di 50/1.000.000 (1/20.000) pari a 75 sigarette.

Effetti stocastici genetici

Danno sul DNA di cellule germinali

- Possibilità di aberrazioni cromosomiche , mutazioni, malformazioni, malattie ereditarie.
- Studi epidemiologici effettuati dopo incidenti nucleari (Hiroshima e Nagasaki) non hanno documentato un incremento statisticamente significativo di malattie ereditarie né di malformazioni nei discendenti dei soggetti esposti all'irradiazione.

Effetti dell'irradiazione prenatale

La radiosensibilità del feto varia in funzione dello stadio di sviluppo.

- Nelle prime tre settimane si può verificare (legge del tutto o nulla) la perdita non rilevata dell'embrione
- 3 settimane-2 mesi (periodo organogenetico): malformazioni e ritardo mentale
- 2 mesi-9 mesi: aumento della probabilità di sviluppare neoplasie in epoca post-natale.

Tabella 3.1 Stima della riduzione della durata di vita media determinata da varie cause (modificata, da Cohen, B. L., et al., 1979)

<i>Causa</i>	<i>Giorni</i>
Fumo di sigarette (maschi)	2250
Malattie cardiovascolari	2100
Lavoro in miniere di carbone	1100
Cancro	980
Fumo di sigarette (donne)	800
Incidenti stradali	207
Incidenti domestici	95
Diabete	95
Annegamento	41
Cadute accidentali	39
Incidenti stradali (come pedoni)	37
Uso medico delle radiazioni ionizz.	6

Aspetti legislativi della radioprotezione

Le basi della normativa della radioprotezione prevedono:

RACCOMANDAZIONI (I.R.C.P, I.C.R.U)→ pur non avendo carattere impositivo, data la loro validità e qualità stanno alla base della regolamentazione della radioprotezione;

NORMATIVA INTERNAZIONALE (agenzie ed organizzazioni internazionali e nazionali): non vincolante nei vari Paesi;

DIRETTIVE EURATOM : insieme di norme recepite dagli stati membri della Comunità Europea;

NORMATIVA NAZIONALE : leggi, decreti legislativi, DPR, DPMC, DM che ciascuno stato membro emana così da garantire l'osservanza delle norme fondamentali stabilite.

ASPETTI LEGISLATIVI

- Direttive EURATOM
- Raccomandazioni ICRP
- DL 230/1995
- DL 187/2000
- DL 241/2000

ASPETTI LEGISLATIVI

1928 : istituzione nel corso del Secondo Congresso Internazionale di Radiologia della Commissione Internazionale per le Protezioni Radiologiche (I.C.R.P.).

L'I.R.C.P. ha sviluppato i principi fondamentali della radioprotezione ed ha indicato i limiti di dose per la protezione sanitaria dei lavoratori addetti ad attività comportanti esposizione alle radiazioni ionizzanti

Principi fondamentali della RADIOPROTEZIONE

- **Principio di giustificazione :**
nessuna attività umana che comporti esposizione alle radiazioni deve essere accolta a meno che la sua introduzione produca un beneficio certo e dimostrabile agli individui esposti o alla società.
- **Principio di ottimizzazione :**
ogni esposizione alle radiazioni ionizzanti deve essere tenuta bassa quanto è ragionevolmente ottenibile, tenendo conto di considerazioni economiche e sociali.
- **Principio di limitazione delle dosi individuali :**
la dose ai singoli individui (con esclusione delle esposizioni mediche) non deve superare determinati limiti verificati come sicuri.

Principi generali della radioprotezione a scopo medico

I principi di giustificazione e di ottimizzazione devono essere applicati a scopo medico in quanto l'individuo esposto è lo stesso che ricava un beneficio dall'esposizione stessa.

Il principio di limitazione delle dosi non si applica alle esposizioni mediche in quanto non vi è motivo di prevenire un'eventuale mancanza d'equità (individuo contemporaneamente subisce detrimento e ottiene beneficio legato alla diagnosi o alla terapia); *eventuali limiti di dose potrebbero inoltre non consentire l'ottenimento di utili informazioni diagnostiche e comunque non sarebbero compatibili con qualsiasi attività radioterapica.*

(ICRP Publication 73: Radiological Protection and Safety in Medicine, Annals of the ICRP Vol. 26/2)

Principio di giustificazione a scopo medico

Ogni procedura diagnostica e terapeutica da applicare all'uomo deve soddisfare numerosi requisiti che ne giustifichino l'impiego, da quelli di ordine etico a quelli di ordine economico e di sicurezza.

Il parametro fondamentale in tal senso è la "appropriatezza", che si basa sulla "medicina basata sui fatti" (*"evidence based medicine"*).

La giustificazione di ogni procedura si ritrova quindi nella evidenza scientifica della sua efficacia, riferita e in relazione al suo costo (*cost-effectiveness*) inteso sia in senso economico sia come rischio o individuale .

Livelli diagnostici di riferimento (LDR)

Gli LDR nascono dal lavoro della Commissione Europea nel campo della protezione radiologica, regolamentato dal Trattato Euratom e dalle direttive del Consiglio che ne attuano le disposizioni.

- direttiva 96/29 Euratom: norme fondamentali di sicurezza sulla protezione sanitaria dei *lavoratori e della popolazione*.
- direttiva 97/43 Euratom: protezione sanitaria delle persone sottoposte ad esposizioni *a scopo medico*.

Radioprotezione dei soggetti esposti a radiazioni ionizzanti per indagini diagnostiche o terapia

Gli adempimenti e le responsabilità delle varie figure professionali coinvolte nella radioprotezione di persone sottoposte a diagnosi o terapia con radiazioni ionizzanti sono definite dal D.Lgs 187/00.

Le figure professionali interessate sono:

- medico prescrivente
- responsabile dell'impianto radiologico;
- medico specialista;
- l'esperto in fisica medica;
- tecnico sanitario di radiologia medica;
- infermiere professionale.

Classificazione dei lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti (D.Lgs. 230/95)

La classificazione dei lavoratori deve essere formulata dall'esperto qualificato per mezzo della *scheda di radioprotezione*.

La scheda di radioprotezione deve essere quindi compilata prima che il lavoratore sia adibito alle attività lavorative con rischio da r.i.

Possono essere distinti in *lavoratori esposti e lavoratori non esposti*.

Lavoratori esposti i soggetti che sono suscettibili di una esposizione alle r.i superiore ad uno qualsiasi dei limiti per le persone del pubblico.

Lavoratori non esposti i soggetti sottoposti ad una esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei sopra riportati limiti fissati per le persone del pubblico.

Suddivisione in categorie dei lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti

I lavoratori esposti vengono suddivisi in due categorie: A e B.

Categoria A : i lavoratori suscettibili di un'esposizione superiore a uno dei seguenti valori:

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

Categoria B : i lavoratori esposti non classificati in categoria A

Tabella 16.10 Stima del rischio neoplastico nei lavoratori professionalmente esposti alle radiazioni ionizzanti (ICPR 26)

<i>Neoplasie spontanee</i> da attendersi per 70.000 lavoratori professionalmente esposti alle radiazioni ionizzanti	9800-14.700 casi nell'intera vita pari a 140-210 casi/anno
Eccesso di <i>neoplasie radioindotte</i> per esposizione all'intera DMA (5 rem/anno) durante l'intera vita lavorativa di ciascun lavoratore	leucemie: $3,5 \cdot 10^{-3}$ tumori solidi: $1,29 \cdot 10^{-2}$
Numero di neoplasie radioindotte da attendersi nei lavoratori professionalmente esposti all'intera DMA durante l'intera vita (235 rem)	impieghi sanitari (85% dei lavoratori): leucemie: +7 - tumori solidi: +11 energia nucleare (15% dei lavoratori): - leucemie +0,5 - tumori solidi +2
<i>Esposizione effettiva</i> dei lavoratori (dosi medie registrate in Italia)	impieghi sanitari: 0,23 rem/anno energia nucleare: 0,26 rem/anno
Numero di neoplasie (leucemie + tumori solidi) da attendersi per anno in 70.000 lavoratori professionalmente esposti (impieghi medici + energia nucleare) alle dosi effettive	spontanei: 140-210 radioindotti: circa +1

D.Lgs. 230/95, art. 2

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

La somma delle dosi ricevute e impegnate non deve superare i limiti prescritti, in accordo con le disposizioni del presente decreto e dei relativi provvedimenti applicativi.

Limiti individuali raccomandati per i lavoratori esposti e per la popolazione (D.Lgs. 230/95, art. 2)

Per i lavoratori esposti detti limiti sono:

- 100 mSv in 5 anni per l'equivalente di dose per esposizione globale e per l'equivalente di dose efficace, ma non più di 50 mSv in un anno solare;
- 13 mSv in un trimestre solare per l'equivalente di dose all'addome nel caso delle lavoratrici in età fertile;
- 150 mSv/anno per l'equivalente di dose al cristallino;
- 500 mSv/anno per l'equivalente di dose alla pelle;
- 500 mSv/anno per l'equivalente di dose a mani, avambracci, piedi, caviglie.

Limiti individuali raccomandati per i lavoratori esposti e per la popolazione (D.Lgs. 230/95, art. 2)

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

- 1 mSv/anno per l'equivalente di dose per esposizione globale e per l'equivalente di dose efficace;
- 15 mSv/anno per l'equivalente di dose al cristallino;
- 50 mSv/anno per l'equivalente di dose alla pelle;
- 50 mSv/anno per l'equivalente di dose a mani, avambracci, piedi, caviglie.

Tipologia delle Esposizioni :

- esposizioni occupazionali
- esposizioni mediche
- esposizioni del pubblico

Tab. 11.2 Limiti di dose (D.Lgs 230/95)

EQUIVALENTE DI DOSE	Lavor. Cat. A. Lavor. autonomi e dip. da terzi. Apprendisti e studenti di età \geq a 18 anni.	Lavor. Cat. B. Lavor. autonomi e dip. da terzi Apprendisti e studenti di età \geq a 16-18 anni.	Lavoratori non esposti. Persone del pubblico
- per esposizione globale - efficace (IE)	100 mSv in 5 anni (max 50 mSv per anno)	6 mSv per anno	1 mSv per anno
Cristallino	150 mSv per anno	45 mSv per anno	15 mSv per anno
Cute	500 mSv per anno	150 mSv per anno	50 mSv per anno
Estremità (mani, avambracci, piedi, caviglie)	500 mSv per anno	150 mSv per anno	150 mSv per anno

Gruppi particolari	Limitazioni
Lavoratrici gestanti	Stessi limiti di dose stabiliti per i lavoratori non esposti
Lavoratrici che allattano	Non possono svolgere attività con rischio di contaminazione
Minori di 18 anni	Non possono svolgere attività proprie dei lavoratori esposti
Lavoratrici, apprendiste, studentesse in età fertile	Ulteriore limite di equivalente di dose all'addome di 13 mSv per trimestre.

Sorveglianza fisica e medica

La prevenzione dei danni deterministici e limitazione degli eventi stocastici sono demandati all'organizzazione della radioprotezione in particolare alle azioni della *sorveglianza fisica e medica*.

La sorveglianza fisica viene assicurata tramite la figura dell'*esperto qualificato*, quella medica tramite il *medico addetto* (medico autorizzato, medico competente).

DPR 185, art 9

Radioprotezione dei lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti

Sorveglianza fisica: schermi, distanza, dosimetri

Sorveglianza medica: insieme delle attività visite periodiche

Figure professionali che svolgono le attività di radioprotezione:

- | | |
|----------------------|-------------------------------|
| •Esperto qualificato | sorveglianza fisica |
| •Medico competente | lavoratori di categoria B |
| •Medico autorizzato | lavoratori di categoria A e B |

Visita preventiva: accertamento idoneità fisica all'inizio del lavoro

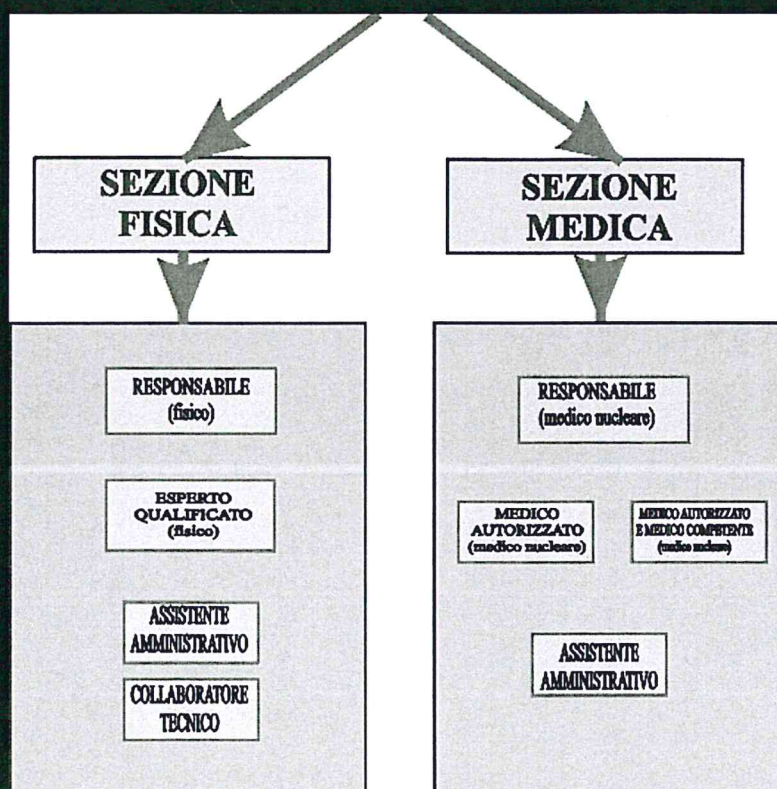
Visita periodica: semestrale o annuale (documento sanitario personale)

Accertamenti aggiuntivi: a discrezione del medico stesso

Competenze dell'Esperto Qualificato

- misurazioni delle radiazioni ionizzanti.
- funzionamento dei dispositivi di protezione,
- istruzioni, prescrizioni volte garantire la sorveglianza fisica della radioprotezione
- fornisce al datore di lavoro una consulenza in merito alla valutazione dei rischi che l'attività comporta e ai relativi provvedimenti di radioprotezione da adottare,
- classificazione delle aree con rischio da radiazioni ionizzanti;
- la classificazione del personale ai fini della radioprotezione;
- la segnalazione delle sorgenti di radiazione;
- esamina degli impianti (collaudo e verifica), rilascio del benestare;
- effettuare il controllo periodico del buon funzionamento della strumentazione di radioprotezione;
- sorveglianza ambientale;
- valutazione delle dosi ricevute dai lavoratori;
- valutazione sia in fase di progetto che di esercizio delle dosi ricevute o impegnate dai gruppi di riferimento della popolazione.

SERVIZIO DI RADIOPROTEZIONE



Zone classificate

(D.Lgs. 230/95)

Si parla di *zone classificate* per gli ambienti di lavoro sottoposti a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti. Possono essere *zone controllate* o *zone sorvegliate*.

Zona controllata → area di lavoro ove sussiste per i lavoratori il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

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

Zona sorvegliata → area di lavoro ove sussiste per i lavoratori il rischio di superamento di uno qualsiasi dei seguenti valori:

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

LEZ. 4

RADIOPROTEZIONE

CORSO DI LAUREA IN INFERMIERISTICA

Dott. DANIELE SERGI

*MEDICO - RADIOLOGO
U.O.C. RADIOLOGIA
"V. FAZZI" - LECCE*

PRINCIPI DI RADIOPROTEZIONE ED IMPLICAZIONI INFERMIERISTICHE

Introduzione

Gli attuali principi e procedure di limitazione delle dosi riescono ad ottenere, se correttamente applicati, la protezione della stragrande maggioranza dei lavoratori. Tali principi sono dedicati ai lavoratori esposti che operano nelle strutture sanitarie, andando incontro agli obblighi previsti oltre che dal D.Lgs 626/94, sostituito dal D.Lgs 81/08 sul piano generale e dall'articolo 61 del D.Lgs 230/95 nello specifico.

Per quanto riguarda l'informazione e formazione degli operatori secondo il D.Lgs 230/95 è al Responsabile, di concerto con il Direttore della struttura, a cui compete di informare e formare i collaboratori (docenti, ricercatori, tecnici, medici, infermieri ed eventuali ospiti) sui rischi specifici e sulle precauzioni da adottare.

DIRETTIVE

★ **Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom**

Gazzetta ufficiale L 13
dell'Unione europea



Milano
17 gennaio 2014

Legislazione

17° anno
17 gennaio 2014

Sezione

II. Atti non legislativi

DIRETTIVE

★ **Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom**

Pagina 4/58

IT

© 2011 - Tutti i diritti sono riservati in quanto all'uso non autorizzato della presente pubblicazione. Per informazioni sui diritti di riproduzione, si prega di contattare il servizio clienti della Commissione europea.

L'informazione e formazione degli operatori deve essere effettuata prima che questi siano esposti al rischio da radiazioni ionizzanti e deve prevedere adeguate istruzioni in merito a:

- Generalità sulle radiazioni ionizzanti
- Effetti delle radiazioni ionizzanti sull'uomo - sorveglianza medica
- Principi fondamentali della radioprotezione e sorveglianza fisica - dosimetria
- Dispositivi di sicurezza e mezzi di protezione
- Norme interne di radioprotezione e norme specifiche di impianto
- Rischi collegati con l'utilizzo delle apparecchiature e delle sorgenti radiogene con particolare riferimento a quelle presenti presso la struttura
- Procedure di decontaminazione
- Norme di comportamento in caso di emergenza

L'informazione e la formazione devono essere ripetute periodicamente e comunque ogni qualvolta si verificano cambiamenti che influiscono sulla natura e sul grado del rischio.

Il personale quindi deve conoscere alcuni principi di radioprotezione.

Mentre i tecnici di radiologia/radioterapia sono quelli che giornalmente erogano le dosi nei servizi di radiologia/terapia; gli **infermieri** spesso lavorano in reparti di radiologia/terapia o in reparti che ospitano pazienti in isolamento durante una radioterapia metabolica o che hanno eseguito il posizionamento di impianti o semi radioattivi o che eseguono un trattamento radioterapico giornaliero o infine sono in regime di ricovero per terapie di supporto.

Vi è dunque l'obbligo per tutti, tecnici, **infermieri**, medici e personale ausiliario di conoscere i principi di radioprotezione per salvaguardare se stessi, paziente e familiari, ma per poter far anche a questi ultimi opera di educazione sanitaria.

Interazione delle radiazioni con i tessuti.

I raggi X sono radiazioni ionizzanti perché nel loro passaggio attraverso la materia producono ionizzazioni, cioè alterazioni della struttura elettronica degli atomi.

Quando questo avviene in particolare sull'uomo, possono prodursi danni biologici, a volte di estrema gravità.

La ionizzazione provoca la formazione di nuove entità chimiche capaci di modificare il contenuto della cellula stessa, tra cui il DNA.

Effetti delle radiazioni sull'organismo

Possono essere di due tipi:

- **somatici**: danni che si osservano nell'individuo esposto
- **genetici**: danni prodotti alle cellule germinali e che si trasmettono ai discendenti.

Questi si dividono ulteriormente in:

- **stocastici**: probabilistici. Del tipo "*del tutto o niente*", qualunque sia la dose di esposizione;
- **deterministici**: prevedibili. Vi è una "dose soglia" oltre la quale si manifestano. Possono essere precoci (dopo giorni o settimane) o tardivi (dopo mesi o anni).

Gli effetti somatici stocastici sono i più importanti dal punto di vista radioprotezionistico, in quanto si possono verificare anche a livelli di dose molto bassi.

Tra questi vi sono le neoplasie, come le leucemie e alcune forme di tumori solidi che hanno generalmente un tempo di latenza piuttosto lungo.

Da sottolineare è il rischio della donna gravida, soprattutto se ai primi mesi, per cui può andare incontro ad aborto o le radiazioni possono causare malformazioni o ritardo mentale al futuro nascituro.

I principi sui quali si basa la radioprotezione

1. Il tempo.

L'ammontare dell'esposizione ricevuta è direttamente proporzionale al tempo passato vicino alla sorgente radioattiva.

Gli **infermieri** devono minimizzare il tempo di esposizione vicino al paziente radioattivo durante le cure e, sulla porta della stanza, dovrebbe essere esposto il tempo massimo di contatto col paziente autorizzato sia per il personale che per i visitatori.

In pratica: minore è il **tempo di esposizione e lo stretto** contatto tra il paziente e gli altri e minore è il **rischio**.

A tal fine l'infermiere si occupa di:

- Informare il malato prima della terapia e valutare la comprensione del paziente circa la necessità di tali limitazioni;
- Provvedere a rifornire la stanza di tutto il necessario prima dell'inizio della terapia;
- Interpellare frequentemente il malato attraverso i circuiti chiusi (citofoni) per anticipare i suoi bisogni, incoraggiarlo a comunicare qualsiasi problema;
- Usare efficacemente il tempo quando si è a contatto con lui;
- Far ruotare lo staff nelle cure al paziente con impianti radioattivi;
- Rassicurare la famiglia circa il fatto che egli è, per tutto lo staff, una priorità e che non sarà trascurato.

2. La distanza.

Più è **grande la distanza** tra il paziente e le altre persone, **minore è la radiazione** ricevuta; per una distanza raddoppiata il rischio è ridotto ad un quarto. Ciò significa che è importante rispettare e far rispettare i divieti di accesso negli ambienti contrassegnati con questo simbolo:



La presente segnaletica indica, ai sensi del D.Lgs 493/96 (**“Segnaletica di sicurezza sul luogo di lavoro”**) il pericolo derivante dalla esposizione alle radiazioni ionizzanti. Particolare attenzione va rivolta verso l’accesso a donne in gravidanza e bambini. Quando si è a contatto col paziente durante le cure, occorre quindi stare il più lontano possibile dalla sorgente radioattiva: per esempio stare vicino alla pediera del letto per rilevare i segni vitali ad un paziente con impianti radioattivi, parlargli dalla soglia della porta. Si può diminuire il rischio di esposizione alle radiazioni utilizzando degli schermi posti tra la sorgente e la persona esposta. Il rischio diminuisce a seconda dell’energia della sorgente e lo spessore dello schermo.

Utilizzo del dosimetro

Gli operatori esposti sono classificati in categoria A o B a seconda dell'esposizione al rischio radiologico (D.Lgs 230/95) e riforniti di un dosimetro che viene a cadenza regolare sostituito per essere letto e devono rispettare le seguenti indicazioni:

- a. **Il dosimetro è personale e deve essere esposto secondo le indicazioni fornite dal Preposto (generalmente sul petto o al polso o al dito, ma in alcuni casi dove si lavora in fluoroscopia dovrebbe essere indossato al livello del collo perché la dose più alta viene ricevuta dalla testa);**
- b. **Non deve essere scambiato né ceduto ad altri e non deve essere utilizzato fuori dall'ambito lavorativo;**

- c. **Bisogna evitare di esporlo volontariamente a sorgenti di radiazioni ionizzanti;**
- d. **Conservarlo accuratamente: in particolare, non deve mai né venire a contatto di liquidi, né essere posto vicino a fonti di calore, né essere aperto o manomesso in alcun modo;**
- e. **Consegnarlo, secondo la periodicità stabilita al Preposto o alla persona incaricata di effettuare regolarmente il cambio;**
- f. **Segnalare tempestivamente l'eventuale deterioramento o smarrimento del dosimetro al Preposto, che provvederà alla sua sostituzione, nell'attesa della quale l'operatore non può frequentare la Zona Controllata e la Zona Sorvegliata;**
- g. **Gli operatori non possono lavorare al di fuori dei normali orari di lavoro senza autorizzazione del Direttore;**

- g. Sottoporsi ai controlli ed alle visite mediche preventive, periodiche e di chiusura;**
- h. Non possono alterare in alcun modo le condizioni di lavoro e/o la disposizione degli apparecchi senza l'autorizzazione del Preposto;**
- i. Non fumare e non assumere cibi e bevande e non applicarsi cosmetici nei laboratori di ricerca e didattici;**
- j. Il personale dotato di dosimetro individuale nel caso di temporanea (per periodi superiori a 2-3 mesi) o definitiva cessazione delle attività deve segnalare la stessa al Preposto o al Responsabile i quali, a loro volta, devono notificare l'informazione alla Divisione igiene e sicurezza, ciò al fine di permettere la corretta compilazione delle schede dosimetriche;**
- k. E' vietato, anche se per breve tempo, tenere effetti personali, generi commestibili e materiale infiammabile nei locali contrassegnati.**

Raccolta e smaltimento rifiuti radioattivi

Il Direttore della struttura organizza e predispone la raccolta e lo smaltimento dei rifiuti radioattivi, procurando anzitutto che siano prodotti in minima quantità possibile, sia di attività che di volume considerando che:

- A. I rifiuti radioattivi devono essere conservati nel "deposito rifiuti radioattivi", che deve essere segnalato con i dovuti contrassegni. L'accesso al "deposito rifiuti radioattivi" è concesso unicamente al personale autorizzato dal Direttore o dal Preposto;**
- B. I rifiuti devono essere consegnati alle ditte autorizzate del loro ritiro, nelle modalità indicate dalle stesse;**

C. I rifiuti radioattivi decaduti sono comunque da considerarsi rifiuti speciali ovvero pericolosi in relazione alla loro composizione e smaltiti di conseguenza;

D. Deve essere conservato ed aggiornato un registro indicante il movimento dei rifiuti radioattivi. Il Direttore ed il Preposto verificheranno il corretto aggiornamento del registro.

E' dovere di ogni operatore:

- 1. Produrre la minor quantità di rifiuto radioattivo sia in termini di attività che di volume, compatibilmente con le esigenze di lavoro e di sicurezza;**
- 2. Raccogliere separatamente i rifiuti non radioattivi da quelli radioattivi; deve considerarsi radioattivo tutto ciò che viene a contatto con sorgenti radioattive sia liquide che solide e che non sia stato controllato adeguatamente;**
- 3. Non versare negli scarichi comuni o in recipienti per la raccolta dei rifiuti non contaminati quelli potenzialmente radioattivi;**

4. Raccogliere i rifiuti radioattivi suddividendoli in base alle loro caratteristiche (tempo di dimezzamento, grado di tossicità, stato chimico-fisico ecc.) seguendo quanto indicato dal Direttore o dal Preposto o secondo le modalità indicate dalla ditta incaricata dello smaltimento;
5. I rifiuti liquidi devono essere separati dai solidi e conservati in contenitori tali da evitare fuoriuscite del contenuto ed irradiazione esterna. I contenitori devono portare la etichettatura di materiale radioattivo e tutte le indicazioni relative al contenuto: radionuclide, attività, data di fine riempimento del contenitore etc.. Se necessario schermare i contenitori;
6. Detenere in laboratorio i rifiuti radioattivi posti in contenitori adeguatamente schermati solo per il tempo strettamente necessario.

Primo intervento in caso di contaminazione personale

Cercare di mantenere la calma, il panico può aumentare i danni. Lo stesso soggetto contaminato, con l'aiuto dei colleghi, che indosseranno camice, guanti e mascherina, se necessario, deve provvedere alla prima decontaminazione sul posto cercando di evitare:

- il passaggio della contaminazione dall'esterno all'interno del corpo;
- il trasferimento della contaminazione dagli indumenti protettivi o dagli abiti a parti del corpo non contaminate;
- di contaminare i soccorritori.

Pertanto:

1. Tamponare con carta assorbente la zona della pelle o gli abiti sui quali è avvenuto il versamento;
2. Togliere gli indumenti contaminati (si può agire efficacemente tagliandoli) unitamente ai mezzi protettivi (maschere, guanti ecc); riporre tali oggetti in sacchetti di plastica in modo da evitare la contaminazione di altri oggetti e dell'area. Porre attenzione a non contaminare occhi, bocca e narici;

3. Tagliare la ciocca di capelli eventualmente contaminata; non fare assolutamente lo shampoo;
4. Misurare la contaminazione dell'area interessata;
5. Lavare solo la parte contaminata con acqua corrente tiepida (non usare acqua calda) cercando di non estendere la contaminazione e facendo attenzione a non danneggiare la pelle; è possibile usare una spazzola morbida e sapone neutro;

6. Per tali operazioni utilizzare il lavello dell'area di decontaminazione ovvero quello del laboratorio raccogliendo i liquidi di risciacquo che, se contaminati, saranno eliminati come rifiuto radioattivo;
7. Sciacquare gli occhi e la bocca più volte con acqua o soluzione fisiologica; non ingerire liquidi o farmaci di qualsiasi natura;
8. Continuare la decontaminazione fino a che il metodo usato per la verifica indica che la contaminazione è stata rimossa;
9. Sospendere la decontaminazione esterna se compaiono segni di irritazione cutanea.

Nel caso in cui si verifichi una ferita:

1. Misurare la contaminazione della zona in cui si trova la ferita;
2. Lavare le ferite, con abbondante acqua corrente distendendone i bordi e favorendo un leggero sanguinamento;
3. Conservare l'oggetto che ha prodotto la ferita o il liquido contaminante per permettere all'Esperto Qualificato le eventuali valutazioni radiometriche;
4. In caso di ferita grave occorre procedere con tutti gli interventi convenzionali a tutela della persona; occorrerà avvisare il personale esterno.

L'igiene del corpo e precauzioni particolari:

Particolare cura deve essere rivolta ad un'accurata igiene del corpo perché il radioisotopo viene anche eliminato, in modo minore, attraverso la sudorazione e la saliva.

Le urine e le feci rappresentano la via principe di eliminazione del radio farmaco.

Nel caso di pazienti con impianti di semi nel tumore della prostata, c'è un rischio minimo di esposizione a radiazioni per gli altri: si raccomanda perciò di tenere a distanza i bambini piccoli e le donne in gravidanza nonché di utilizzare i condom per parecchi mesi, di urinare in un vaso e se dovesse perdere un seme di segnalarlo immediatamente allo staff radioterapico; tuttavia più tempo passa dal momento in cui è stato posizionato l'impianto e più decresce il rischio di contaminazione.

L'ASSISTENZA INFERMIERISTICA IN RADIOTERAPIA

**Definizione dell'assistenza infermieristica in radioterapia.
Evoluzione storica.**

Prima del 1940, l'ambito della radioterapia era sovrastato dagli aspetti prettamente tecnici della terapia e le figure prevalenti, ancora oggi fondamentali, erano solo fisici, dosimetristi e radioterapisti.

Il ruolo dell'infermiere in radioterapia fu descritto per la prima volta in letteratura nel 1941 da Hopp M. ("Roentgen therapy and the nurse" in American Journal Nurse 1941 pp 431-433). Egli descrive l'importanza della preparazione degli assistiti prima del trattamento: assicurandoli, provvedendo alla loro sicurezza, confortandoli e gestendo i sintomi durante la radioterapia.

Ancora, nel 1980, Hilderley (Hilderley L. J., 1980, "The role of the nurse in radiation oncology", *Semin Oncol pp 39-47*) descrisse per la prima volta, la natura multifaccettata dell'assistenza infermieristica in radioterapia, delineando 5 specifici ruoli:

- 1- assistenza alla persona;**
- 2- educazione all'assistito e ai familiari;**
- 3- responsabilità amministrative;**
- 4- ricerca;**
- 5- consultazione.**

Rosenal nel 1985 cita 4 ruoli:

- 1- assistenza fisica;**
- 2- supporto emozionale;**
- 3- educazione;**
- 4- ricerca, soprattutto per quanto riguarda la gestione infermieristica dei sintomi.**

La pluralità di interventi possibili da parte dell'infermiere di radioterapia, è rinforzata anche da Bucholtz che descrive 3 ruoli:

- 1- insegnamento;**
- 2- consulente;**
- 3- assistenza infermieristica diretta all'assistito.**

Ruolo dell'infermiere nella valutazione e gestione degli effetti avversi della terapia radiante.

Nonostante i notevoli miglioramenti degli ultimi anni, il danno da radiazione è nella maggior parte dei casi inevitabile.

Esso è variabile, sia per quanto riguarda il momento dell'insorgenza, sia per l'intensità e la durata.

Dipende fondamentalmente dalla sede anatomica e dal volume irradiato, dalla dose somministrata per seduta ed in totale, dalla eventuale associazione con altre terapie (ad esempio la chemioterapia concomitante aumenta il rischio) nonché dalle condizioni generali dell'assistito e del grado di tolleranza individuale.

Si tratta generalmente di danni di lieve entità, limitati al volume irradiato che regrediscono in modo completo.

La loro comparsa è prevedibile, oltre che inevitabile.

Gli effetti collaterali possono essere:

-- **precoci o acuti:** insorgono durante o immediatamente dopo il trattamento radiante e solitamente transitori (reversibili entro tre mesi);

-- **tardivi:** insorgono dopo il trattamento, dopo 6 mesi o più. Sono generalmente irreversibili e progressivi, ma anche rari, come l'osteonecrosi.

Solitamente l'infermiere si trova ad interagire coi malati che giungono giornalmente per la loro seduta radioterapica, per cui si trova a dover valutare e/o gestire quelli che sono gli effetti acuti.

Gli effetti collaterali si suddividono ulteriormente in:

1) **Generali:**

- a) **Fatigue** (circa il 60% dei malati manifesta i sintomi la prima settimana di trattamento e il 95% dalla terza settimana);
- b) **Dolore;**
- c) **Reazioni cutanee;**
- d) **Mielosoppressione** (associata alla irradiazione di un grande volume della pelvi, dello sterno o delle ossa lunghe e soprattutto a trattamenti chemioterapici concomitanti).

2) **Sito-specifici, a seconda del distretto corporeo irradiato:**

- a) **CAPO/COLLO:** eritema cutaneo, mucositi, candidosi, laringiti, esofagiti, che possono portare a conseguenze quali disfagia, xerostomia, etc.;
- b) **TORACE/POLMONE:** eritema cutaneo, esofagite, disfagia, xerostomia, anoressia, riduzione peso corporeo, reflusso gastrico, emottisi, dispnea, polmoniti, pericarditi;
- c) **SENO:** eritema cutaneo, epidermiolisi, edema mammario;
- d) **ADDOME/PELVI:** eritema, dispepsia, nausea, vomito, diarrea, anoressia, proctite, secchezza vaginale, diminuzione libido, disfunzioni sessuali.

Uno dei ruoli fondamentali dell'infermiere, al momento della presa in carico del malato, è proprio quello di valutare le conoscenze dell'assistito circa gli effetti collaterali del trattamento, integrando eventualmente le informazioni ricevute dal medico.

L'infermiere informerà della possibile comparsa di effetti collaterali, generali e specifici a seconda della regione che verrà irradiata, utilizzando parole chiare e secondo il livello culturale e l'età della persona, coinvolgendo se necessario anche i familiari o caregiver.

Egli rassicurerà circa le possibilità terapeutiche e raccomanderà la persona di avvisare ogni qualvolta si presenti un nuovo sintomo o il peggioramento di un problema già esistente, nonostante l'infermiere valuterà costantemente durante tutto il periodo di trattamento i possibili disturbi.

Inoltre l'infermiere, prima dell'inizio del trattamento, educerà la persona e i caregiver circa l'adozione di alcuni comportamenti indispensabili perché la terapia sia il più efficace possibile e affinché non compaiano importanti effetti collaterali o siano comunque contenuti, in modo da non dovere interrompere la cura.

Tra questi:

- una **corretta alimentazione**, per cui è possibile rivolgersi a un nutrizionista. Inoltre, se la zona da irradiare può dare come effetto collaterale disturbi gastrointestinali quali diarrea, malassorbimento o proctiti, l'infermiere darà consigli specifici come: fare piccoli pasti e frequenti, evitare l'assunzione di fibre, riducendo anche il consumo di frutta e verdura, evitare cibi piccanti o troppo speziati, assumere supplementi dietetici iperproteici o vitaminici sotto consiglio di uno specialista.

- una **corretta idratazione**, di circa 1,5-2 litri /die. Preferendo piccoli sorsi frequenti durante l'arco della giornata e diminuendo la sera se la terapia prevede come effetto collaterale disturbi menzionali come la nicturia. Evitare bevande contenenti caffeina o teina e gli alcolici.

- **Evitare di fumare.**

- **Evitare situazioni stressanti.**

VALUTARE IL DOLORE

La quasi totalità di persone sottoposte a radioterapia, presenta, una diagnosi di neoplasia maligna, che ha tra i suoi effetti principali, nella maggior parte dei casi, anche il dolore. Inoltre, il numero di persone trattate con intervento palliativo in radioterapia, e quindi solitamente a scopo di diminuire il dolore che la massa tumorale provoca, è cospicuo.

La sofferenza provocata dal dolore è del tutto inutile: infatti non serve ad indicare la progressione o regressione della patologia e deve essere eliminato.

L'accertamento è importante affinché gli operatori sanitari, attraverso la sua valutazione, possano attuare un adeguato approccio terapeutico.

Effetti deterministici

Sindromi da irradiazione acuta.

L'esposizione ad "alte dosi" di radiazioni ionizzanti, sia per irradiazione esterna che interna, determina l'insorgenza di diverse sindromi in rapporto all'entità della dose ricevuta.

Legge di Bergonie e Tribondeau: *"la radiosensibilità di un tessuto è direttamente proporzionale all'attività mitotica e inversamente proporzionale al grado di differenziazione delle sue cellule"*. In pratica non sono i tipi cellulari più o meno radiosensibili, bensì i "processi cellulari" (divisione cellulare).

Le sindromi che si manifestano dopo un'irradiazione acuta variano, in dipendenza della dose, in relazione della maggiore radiosensibilità di alcuni tessuti; è chiaro che a dosi superiori anche i sistemi bersaglio per dosi inferiori vengono interessati, comunque la loro incidenza nella sindrome generale è minore in quanto necessitano di tempi maggiori per manifestare i sintomi.

Effetti acuti sito-specifici

A) DISTRETTO CAPO/COLLO

Questa regione comprende tutti i tumori del cavo orale, orofaringe, rinofaringe, faringe e laringe.

Gli effetti collaterali principali sono: mucositi, disgeusia, xerostomia (per irradiazione delle ghiandole salivari), disfagia, alopecia, laringiti, diminuzione dell'udito, osteo-radionecrosi.

a. Mucositi

Le mucositi sono un problema piuttosto comune nelle persone sottoposte a radioterapia e chemioterapia.

L'incidenza è del 15-40% durante il trattamento chemioterapico, 76-100% se la chemioterapia è ad alte dosi, e del 100% durante la radioterapia del distretto capo/collo.

Le mucositi inducono a loro volta effetti collaterali che hanno un grosso impatto sulla qualità di vita.

Si tratta di una flogosi della mucosa del cavo orale. Inizialmente la mucosa appare arrossata e la persona avverte un leggero dolore. Se non viene trattata, si innesca una cascata di eventi che porta a danno e distruzione cellulare per cui la mucosa può apparire a chiazze, compaiono secrezioni siero-ematiche, fino ad ulcerazione e necrosi, oltre al rischio di sviluppo di infezioni.

Sintomi correlati: il danno cellulare appare generalmente dopo la prima-seconda settimana di trattamento. Il sintomo principale è senz'altro il senso di fastidio e dolore.

Quando c'è dolore, che a seconda del grado della mucosite sarà tanto più gravoso, la persona avrà difficoltà a mangiare, bere, deglutire e a parlare, oltre che la diminuzione del gusto, disturbi di sonno, depressione e fatigue. Le dirette conseguenze sono la difficoltà, fino all'impossibilità di introdurre cibi solidi o liquidi per cui si verificherà un'alterazione dello stato nutrizionale fino ad anoressia, cachessia e disidratazione e calo ponderale. Inoltre, quando si verificano anche lesioni al cavo orale, il rischio maggiore sarà quello che si verifichi l'ingresso di microrganismi opportunisti, causando infezioni fungine (Es. da *Candida albicans*), virali (Herpes) o batteriche.

b. Xerostomia e Trisma.

La **xerostomia** è la diminuzione o assenza della produzione di saliva ed una sua aumentata viscosità che riducono la rimozione dei detriti (cibo e batteri) dalla bocca in questo caso dovuta all'irradiazione delle ghiandole salivari. La sua incidenza dipende dalla dose somministrata: se raggiunge i 2000Gy si ha una diminuzione, ma se supera i 4000Gy può diventare permanente. Parlando di **trisma**, si intende la diminuzione dell'apertura della bocca, per la riduzione della mobilizzazione dei muscoli buccali.

Questi due effetti collaterali possono causare:

- secchezza delle fauci;
- disgeusia (alterazione del gusto: gusto metallico dei cibi);
- disturbi della deglutizione e masticazione;
- disturbi della fonazione;
- conseguente difficoltà ad alimentarsi, depressione, astenia.

In seguito alla diminuita produzione di saliva, abbiamo un'aumentata concentrazione di tutti gli agenti acidogeni e quindi cariogeni (streptococcus mutans, candida albicans e stafilococchi) per la diminuzione degli elettroliti cario protettivi e quindi assistiamo spesso alla perdita dello smalto dei denti.

Questi danni dentali si ripercuotono a livello sistemico con perdita dell'appetito e conseguentemente del peso.

c. Alopecia.

L'alopecia è la perdita dei capelli che può essere temporanea se la dose somministrata non supera i 5000 Gy o permanente se la dose è superiore.

Colpisce solo la parte di "entrata" e "uscita" del raggio.

Informazione- educazione alla persona:

Prima di iniziare il trattamento, è importante che la persona sia a conoscenza di questo importante effetto collaterale, diminuendo così la possibilità di vedere nell'assistito, la sofferenza per il cambiamento dell'immagine corporea.

d. Laringiti

L'irradiazione sulla laringe può causare:

- **abbassamento del tono di voce;**
- **infiammazione che crea dolore;**
- **edema.**

e. Osteo-radionecrosi

E' una complicanza tardiva che incide per il 5% e che può comparire in un arco di tempo compreso tra i 3 e i 27 mesi dopo il trattamento, anche se non sono infrequenti i casi in cui compare dopo 5 anni o più.

Si tratta di una necrosi asettica per distruzione degli osteoclasti e degli osteoblasti che interessa prevalentemente la mandibola, ed è determinata dalla contemporanea presenza di ipovascolarizzazione, ipocellularità, ipossia tissutale.

B) DISTRETTO TORACICO

Durante la radioterapia sul torace possono essere irradiati i polmoni, la trachea, l'esofago, le ghiandole linfatiche, il cuore e la colonna vertebrale dorsale.

Gli effetti secondari maggiormente riscontrabili possono essere soprattutto a livello polmonare, cardiaco ed esofageo.

Polmone

Polmoniti, fibrosi polmonare, broncospasmo per ostruzione della trama polmonare possono presentarsi dopo 6-12 mesi dal trattamento.

Interventi di educazione terapeutica:

1. prima e durante il trattamento valutare e monitorare: frequenza respiratoria, saturazione dell'ossigeno, espansione cassa toracica;
2. informare la persona circa la possibilità di comparsa di sintomi quali: tosse secca, febbre, dispnea, fatigue, ansia, tachipnea, emottisi, tachicardia, dolore toracico e di riferirli al medico.

3. informare circa la possibilità di cura della sintomatologia tramite, ossigenoterapia, aerosol, utilizzo di broncodilatatori, esercizi di respirazione profonda o tosse efficace che aiutino a espettorare;
4. consigliare di alternare periodi di attività fisica a periodi di riposo;
5. evitare luoghi affollati o fumosi;
6. evitare sbalzi di temperatura;

7. vivere in ambienti ben aerati ed ossigenati, umidificare eventualmente l'aria;
8. bere molti liquidi per fluidificare il muco;
9. profilassi antinfluenzale con vaccino.
10. Prima di ogni seduta radioterapica, aspirare le vie aeree per evitare che durante il trattamento il paziente sia colto da tosse e si muova.

Cuore

Gli effetti collaterali, come alterazione della conduzione, sincope o ostruzione dei vasi, sono generalmente effetti tardivi. Informare circa la possibilità di comparsa di tachicardia, sincope, dolore toracico, possibilità di dispnea e comparsa di edema agli arti inferiori.

Inoltre, se la persona è portatrice di pace-maker o defibrillatore sottocutaneo, verificare se ha eseguito tutti i controlli preliminari richiesti dal cardiologo.

Esofago

L'esofagite è tra gli effetti collaterali più frequenti a livello dell'esofago.

Si può presentare con disfagia, dolore toracico, emottisi con conseguente anoressia e diminuzione di peso.

Informare la persona circa la comparsa di tale sintomatologia, e a volte necessario il posizionamento di sondino naso-gastrico o il confezionamento della PEG e la dieta corretta da seguire.

C) DISTRETTO ADDOMINO-PELVICO

Gli organi prevalentemente irradiati nel distretto addomino-pelvico, sono lo stomaco, la vescica, gli organi genitali maschili e femminili.

Le complicanze sono di tipo enterico: diarrea o stipsi, alterazioni urinarie (pollachiuria, dolore alla minzione, nicturia) tenesmo, prurito, proctite, emorroidi e disturbi della sfera sessuale.

Sindrome gastrointestinale.

La superficie dell'intestino è in continuo rinnovamento da parte di cellule ad alto indice mitotico situate nelle cripte.

Dopo un'irradiazione acuta (6-10 Gy) si ha una disepitelizzazione dell'intestino per mancato rinnovo della mucosa con conseguente perdita di liquidi ed elettroliti e danno nutrizionale.

La perdita della barriera epiteliale facilita inoltre l'insorgenza di infezioni dovute anche alla carenza di leucociti per il contemporaneo insorgere della sindrome emopoietica.

La morte sopravviene entro 3-5 giorni dall'irradiazione.

Pelvi

Alterazioni della minzione: frequenza, urgenza, ritenzione, nicturia, disuria, ematuria:

- **esame obiettivo nella donna:** valutazione della cute perineale, problemi a carico del pavimento pelvico, modificazioni atrofiche della mucosa;
- **esame obiettivo nell'uomo:** valutazione della cute e di eventuali anomalie del prepuzio, del glande e del perineo.

Alterazione della sessualità e della fertilità.

La terapia radiante effettuata sul distretto pelvico (vagina, utero, ovaie, testicoli o prostata) può portare a cambiamenti della sfera sessuale, che includono alterazioni ormonali ed impotenza.

In particolare per l'uomo: impotenza o disfunzione erettile; per la donna: dolore durante i rapporti, bruciore, prurito, secchezza, stenosi vaginale, sintomi della menopausa (vampate di calore, secchezza vaginale, alterazione del ciclo mestruale). Inoltre può essere interessata anche la fertilità, rendendo la coppia incapace di procreare, a volte per tutta la vita.

Sindrome emopoietica.

Il midollo osseo contiene tutti i precursori delle cellule del sangue: l'attività mitotica è pertanto intensa in considerazione del continuo rinnovamento delle cellule circolanti. Questo fatto spiega la notevole radiosensibilità del midollo osseo e il differente andamento delle curve di sopravvivenza nel midollo e nel sangue circolante (le cellule mature sono molto meno radiosensibili). La sindrome emopoietica si manifesta per dosi di 2-6 Gy.

Effetti sull'organismo in sviluppo.

Chiaramente l'embrione e il feto presentano in tutti i propri organi e tessuti un alto indice mitotico.

L'irradiazione di 1 Gy nei primi 6 giorni di gravidanza determina la morte del 50% degli embrioni; i sopravvissuti si sviluppano in modo normale.

L'esposizione dal 9° al 60° giorno determina una mortalità di grado inferiore, ma un notevolissimo aumento delle malformazioni anche per dosi relativamente basse. Nel periodo fetale si riduce gradualmente il rischio di malformazioni e la radiosensibilità si avvicina a valori simili a quelli dei bambini.

Da qui la raccomandazione per tutte le donne in età feconda di sottoporsi ad esami radiologici esclusivamente nei primi 10 giorni del ciclo (art. 111, comma 2, lett. C-D.Lgs. n. 241/2000).

Le sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti

Come è noto, la radioattività è una normale componente dell'ambiente naturale. L'uomo è stato costantemente esposto alle radiazioni di origine naturale fin dal suo apparire sulla terra e queste sono rimaste l'unica fonte di irradiazione fino al poco più di un secolo fa.

Nella radioattività naturale si distinguono una componente di origine terrestre e una componente di origine cosmica. La prima è dovuta ai radionuclidi primordiali presenti in varie quantità in rocce e minerali. La seconda è costituita dai raggi cosmici.

Nell'aria, la radiazione naturale è dovuta principalmente alla presenza di radon, cioè di gas (7,5 volte più pesanti dell'aria).

Numerosi materiali da costruzione emettono quantità relativamente modeste di radon. Tra i materiali da costruzione quelli più radioattivi sono il granito, la pietra pomice, alcuni prodotti di scarto usati nell'edilizia come il fosfato di gesso e le scorie di altiforni, nonché il tufo e la pozzolana, pure diffusamente utilizzati in edilizia.

Tuttavia la principale sorgente di radon consiste quasi sempre nel terreno sottostante le case.

Anche le acque contengono una certa quantità di radioattività, dovuta sia alle piogge che trasportano le sostanze radioattive dell'aria, sia alle acque di drenaggio che convogliano nei bacini idrici sostanze radioattive presenti nelle rocce e nel suolo.

Significativamente radioattive sono le acque calde solfuree usate negli impianti termali, per produrre elettricità e per riscaldare gli edifici.

Ed anche attraverso la catena alimentare entrano nel corpo umano piccole quantità di sostanze radioattive.

Attualmente gli usi medici costituiscono la maggiore fonte di esposizione dell'uomo alle radiazioni artificiali.

Ovviamente le dosi individuali variano enormemente da zero, per coloro che non sono mai stati sottoposti ad esami radiologici, a un valore pari a molte migliaia di volte la radiazione annuale media da radiazioni naturali.

I raggi X usati in diagnostica sono la forma più comune di radiazioni usate a scopo medico: alcuni dati provenienti dai paesi industrializzati indicano valori che variano da 300 a 600 esami ogni 1000 abitanti, escludendo dal computo le radiografie dentali.

Nella maggior parte dei paesi quasi la metà di tutte le radiografie riguarda il torace.

Numerose istituzioni nazionali ed internazionali hanno emanato linee guida e protocolli che, se applicati correttamente, dovrebbero consentire una riduzione delle dosi superflue nei pazienti sottoposti a raggi X; purtroppo indagini effettuate a livello nazionale ed internazionale mostrano che attualmente le dosi variano ampiamente da ospedale ad ospedale, anche nello stesso paese, con dosi ricevute dal paziente, per lo stesso esame radiologico, che variano fino a fattori cento.

Da tali indagini risulta inoltre che la parte del corpo irradiata risulta, in taluni casi, fino a due volte più ampia del necessario.

La probabilità di danno per comuni esami radiologici è relativamente bassa. Abbiamo circa 50 probabilità su un milione di produrre un tumore, 10 probabilità su un milione di produrre danni ereditari ed altrettanto di indurre gravi deficienze nell'embrione (se esiste): per quanto bassi essi siano, sono comunque valori da rapportare al beneficio indotto dalla possibile risoluzione del quesito diagnostico. Una probabilità di danno, per quanto piccola è indebita se non correttamente giustificata.

Inoltre, per inquadrare correttamente il problema del rischio per la popolazione nel suo insieme, bisogna considerare che in Italia, ogni anno, si eseguono oltre 100 milioni di esami con impiego di radiazioni ionizzanti; quindi, mediamente, è possibile ipotizzare diverse migliaia di tumori per anno indotti dalla radiodiagnostica e molte centinaia di danni ereditari gravi.

L'impiego di apparecchiature efficienti, l'uso di adeguati parametri tecnici, l'impiego delle radiazioni ionizzanti solo quando realmente necessario, può ridurre notevolmente il rischio associato alla pratica radiologica.

E' auspicabile che la recente emanazione di specifiche normative inerenti la radioprotezione del paziente, sia a livello nazionale che comunitario, contribuisca al conseguimento degli obiettivi di ottimizzazione nelle esposizioni mediche.

In particolare:

- a) tutti i nuovi tipi di pratiche che comportano esposizioni mediche devono essere giustificate preliminarmente prima di essere generalmente adottate;
- b) tutti i tipi di pratiche esistenti che comportano esposizioni mediche possono essere riveduti ogni qualvolta vengano acquisite prove nuove e rilevanti circa la loro efficacia o le loro conseguenze;
- c) il processo di giustificazione preliminare e di revisione delle pratiche deve svolgersi nell'ambito dell'attività professionale specialistica tenendo conto dei risultati della ricerca scientifica.

Va notato che la normativa definisce esposizioni mediche qualsiasi esposizione radiologica effettuata ai fini diagnostici, terapeutici, medico-legali, ai fini della sorveglianza sanitaria professionale, nell'ambito di programmi di ricerca, e le esposizioni di persone che coscientemente e volontariamente, al di fuori della propria occupazione, assistono o confortano persone sottoposte ad esposizioni mediche.

Ogni medico che progetti un'esposizione medica deve assicurarsi che essa sia giustificata nel contesto specialistico professionale in cui verrà svolta. Questo coinvolge il medico che prescrive l'esposizione (prescrivente) e il medico specialista che la avalla e la realizza. Entrambe devono usare tutte le informazioni a disposizione: precedenti informazioni diagnostiche o altra documentazione medica.

Questo fatto ha una prima implicazione pratica piuttosto evidente: ogni risultato di esposizione medica deve essere refertato ed il referto deve essere rilasciato al paziente o trasmesso prontamente al medico curante o comunque deve essere disponibile.

Una seconda conseguenza implica l'aggiornamento professionale obbligatorio, continuativo e periodico del medico specialista e del prescrittore per tenersi al passo con l'evoluzione tecnologica del settore (nuove tecniche, nuove apparecchiature o modifiche delle apparecchiature esistenti).

In sostanza il prescrittente non si deve limitare a prescrivere la prestazione specialistica, ma deve analizzare il processo che lo ha condotto a definire quell'esposizione come necessaria, fornendo al medico specialista (radiologo, medico nucleare o radioterapista) la necessaria informazione sul risultato atteso, per provvedere a confrontarla con altre pratiche che potrebbero dare lo stesso risultato, al fine di stabilire se l'esposizione è giustificata o se deve essere sostituita con altra indagine o terapia suscettibile di ridurre o evitare l'esposizione stessa.

Lo specialista infatti, è il solo responsabile dell'esecuzione dell'esposizione. Uno dei problemi che si può presentare è il caso in cui lo specialista non sia in grado di effettuare la prestazione sostitutiva di quella prescritta per mancanza della strumentazione necessaria. Si rende necessario il rinvio al prescrittente di un supplemento di valutazione per stabilire una nuova prescrizione, con conseguente perdita di tempo del paziente.

A questa problema si potrebbe porre rimedio chiedendo che tutti i presidi, pubblici e privati, abbiano una dotazione standard minima di apparecchiature diagnostiche o terapeutiche alternative, eventualmente prevista per legge.

Norme interne di radioprotezione

Le norme interne di radioprotezione sono lo strumento per mezzo del quale vengono disciplinate le attività radiologiche intorno a ciascun impianto o sorgente di radiazioni. In esse vengono in particolare specificate le regole da seguire per l'accesso e la permanenza nelle zone classificate ovvero per la manipolazione e l'utilizzo delle sorgenti radioattive.

I lavoratori devono essere opportunamente formati sulle norme di radioprotezione e sono tenuti ad osservare le disposizioni in esse contenute.

I risultati delle dosimetrie devono inoltre essere obbligatoriamente comunicati al medico autorizzato, e devono essere inclusi nel documento sanitario degli esposti a radiazioni ionizzanti.

Nel caso di valutazioni dosimetriche da irradiazione interna, la valutazione della dose individuale deve generalmente essere effettuata mediante tecniche radio-tossicologiche specifiche, in relazione alla tipologia di radio-composto manipolato dal lavoratore.

Il datore di lavoro deve affidare la "sorveglianza medica" dei lavoratori esposti, apprendisti e studenti a medici in possesso di precisi requisiti professionali.

Gestione di personale in gravidanza.

La procedura deve garantire quanto segue:

- la dipendente deve presentare al Datore di Lavoro/dirigente/preposto il certificato di stato di gravidanza, non appena accertata. Il Datore di lavoro provvede all'allontanamento della dipendente dall'usuale posto di lavoro comportante esposizione a radiazioni ionizzanti e ne dà comunicazione al Medico Autorizzato o competente, che emette giudizio di non idoneità al lavoro comportante esposizione a radiazioni ionizzanti;
- rientro al lavoro dopo gravidanza: la procedura gestionale deve essere tale da garantire il rispetto del divieto di adibire la dipendente a mansioni che comportino esposizioni a radiazioni ionizzanti prima che sia stata effettuata la classificazione da parte dell'esperto qualificato e prima che sia dichiarata l'idoneità dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti da parte del Medico Autorizzato o del Medico Competente.

RADIODIAGNOSTICA CON APPARECCHI PORTATILI

Le apparecchiature portatili, per i particolari problemi di radioprotezione che comportano e per la minore qualità delle immagini prodotte, devono essere utilizzate solo in quelle situazioni in cui non si può ricorrere all'utilizzo di apparecchiature fisse, come ad esempio in sale operatorie, reparti di terapia intensiva e rianimazione ed in tutti i casi in cui si abbiano pazienti che, per le loro gravi condizioni, non possono essere spostati dal letto.

Disponibilità ed uso di dispositivi di protezione (paratie, grembiuli, indicatori acustici e/o luminosi di emissione raggi, cartelli mobili di segnalazione).

In particolare le paratie dovranno essere facilmente movimentabili oppure depositati in luoghi facilmente accessibili in prossimità dei reparti d'impiego.

In caso di carenza di dispositivi di protezione la distanza tra i letti dovrà essere di almeno due metri o i letti dovranno essere dotati di ruote per essere spostati. Questa norma risulta particolarmente vincolante nel caso delle neonatologie e nei reparti pediatrici.

Conformità all'uso in presenza di gas infiammabili nel caso di utilizzo in sale operatorie o in ambienti ad esse assimilabili (CEI 62.5).