

Radioprotezione

1. Tipologie di Esami Diagnostici

- **Angiografia:** è una metodica radiologica invasiva che consente lo studio dell'apparato cardio-vascolare, permettendo di riconoscere restringimenti vasali (*stenosi*) e ripararli attraverso l'impiego di *Stent*, o chiudere eventuali vasi aperti (*dissecazioni*).
- **Mammografia:** è una tecnica diagnostica che sfrutta i **raggi X** per rilevare precocemente lesioni mammarie.
- **Risonanza magnetica:** è una metodica che utilizza **impulsi di radiofrequenza** tenendo conto che i nuclei di idrogeno di un corpo immerso in un campo magnetico si allineano lungo le linee di forza del campo stesso. Così, perturbando il sistema con impulsi di radiofrequenza, il sistema stesso acquisisce energia che viene ceduta al momento della sospensione dell'impulso e questo rilascio di energia viene captato da *bobine*, elaborato e tradotto in immagine. Con la RM si esaltano varie componenti tissutali differenziandone le loro caratteristiche.
- **Medicina nucleare:** è una branca specialistica della medicina che si avvale dell'uso di **radionuclidi** a scopo diagnostico, terapeutico e di ricerca.
- **Radioterapia:** è una branca separata della radiologia che utilizza raggi X per scopi terapeutici (es. contro cancro).

2. Radiazione e Raggi X

Per **radiazione** si intende lo *spostamento di energia non richiedente alcun supporto materiale e non associato al trasporto di porzioni macroscopiche di materia, il cui assorbimento da parte di un materiale può generare calore (eccita e ionizza gli atomi) o innescare reazioni chimiche*. Le radiazioni possono essere distinte:

NATURA

- Corpuscolari;
- Elettromagnetiche.

CAPACITA' DI IONIZZARE LA MATERIA

- Non-Ionizzanti (o NIR);
- Ionizzanti (IR).

Le radiazioni che interessano l'attività sanitaria sono:

- **Radiazioni X:** ci si riferisce alla radiazione elettromagnetica prodotta dal frenamento di elettroni in un materiale e a quella emessa dagli atomi a seguito di transizione tra due livelli energetici;
- **Radiazioni gamma (γ):** ci si riferisce alla radiazione elettromagnetica che prende origine dal nucleo atomico, per liberazione di energia che tiene unita tra loro i nucleoni (energia di legame).

RAGGI X

I **raggi X (o fotoni X)** sono stati scoperti da *Wilhelm Roentgen nel 1885* e fanno parte dell'ampio spettro delle onde elettromagnetiche, al pari della luce visibile, ma con una lunghezza d'onda inferiore che comportano un trasporto di energia senza trasporto di materia o carica elettrica. Essi vengono prodotti quando elettroni in movimento ad alta velocità vengono frenati da un materiale ad elevato numero atomico portando alla formazione di coppie di ioni, all'eccitazione degli elettroni degli orbitali più esterni ed alla radiazione elettromagnetica di frenamento. La velocità di propagazione, la frequenza e la lunghezza d'onda uguali a quelle della luce e il mezzo più usato per generarle è il **tubo radiogeno** composta da una sorgente di elettroni (filamento di tungsteno), un sistema capace di accelerare elettroni e un bersaglio verso il quale siano diretti. Le *caratteristiche principali*:

- ✓ *Natura ondulatoria e corpuscolare*
- ✓ *Attraversano i mezzi opachi*
- ✓ *Provocano fluorescenza di alcune sostanze*
- ✓ *Impressionano le emulsioni fotografiche*
- ✓ *Possono ionizzare i gas*
- ✓ *Provocano cambiamenti biologici (radioterapia)*

I raggi X attraversando il corpo umano possono essere assorbiti, penetrare o produrre radiazione diffusa in quanto l'organismo è una struttura complessa formata da tessuti e organi di diverso spessore, densità e numero atomico che si comportano diversamente all'arrivo dei raggi X: ad esempio, le *ossa assorbono più raggi X dei tessuti molli*, mentre *i tessuti molli assorbono più raggi X dell'aria*, e per quanto riguarda la *cute, muscoli e tessuto adiposo* non si evidenziano differenze di assorbimento. Il loro uso in diagnostica si basa sulle proprietà delle strutture anatomiche:

- Più è forte l'attenuazione, più la struttura sarà **radio-opaca**;
- Più è alto in numero atomico, più la struttura sarà **radio-opaca**;
- Più è alta la densità di aggregazione dei tessuti o più sono spessi sono più la struttura sarà **radio-opaca**;
- La **radio-trasparenza** è l'opposto della radio-opacità.

Sono definite **macchine radiogene** tutti quei dispositivi che producono radiazioni ionizzanti andando dai semplici tubi a vuoto per la produzione di raggi X agli acceleratori di particelle impiegati nei grandi centri di ricerca. Le più diffuse sono le macchine che accelerano elettroni producendo radiazioni elettromagnetiche a causa del fenomeno del frenamento, ricordando:

- ✓ **tubi RX per indagini diagnostiche o indagini non distruttive sui materiali;**
- ✓ **acceleratori per radioterapia, applicazioni industriali e di ricerca;**
- ✓ **apparati per diffrazione;**
- ✓ **apparati per controllo di merci.**

- › Nell'**esposizione esterna** la sorgente di radiazioni è situata all'esterno del corpo ed è la sola tipologia che interessa il caso delle macchine radiogene (fatti salvi problemi di *attivazione*). L'irradiazione in questo caso cessa al termine dell'esposizione non appena la sorgente venga spenta o allontanata e la sua entità dipende dal tempo di esposizione, dalla presenza di materiali schermanti tra la sorgente e la persona esposta e dalla geometria di esposizione (inversamente proporzionale al quadrato della distanza). Le cause in ambito sanitario derivano da impianti radiologici (TC, acceleratore lineare) o da sorgenti radioattive non ben schermate (reparti non sigillati) e i metodi di protezione da questa forma di irradiazione sono:
- Aumentare la distanza dalla sorgente: tenendo conto della legge dell'inverso del quadrato della distanza, raddoppiando la distanza la dose di radiazioni ricevute si riduce a $\frac{1}{4}$;
 - Ridurre il tempo di esposizione;
 - Garantire una buona schermatura: maggiore è la densità e lo spessore del materiale schermante minore sarà la dose di radiazioni percepita.
- › Nell'**esposizione interna** all'interno dell'organismo della persona sono incorporate sostanze radioattive per inalazione, assorbimento transcutaneo, ingestione o iniezione. Queste, di norma, sono metabolizzate con diverse modalità a seconda delle loro proprietà chimiche e vengono trattenute nell'organismo fino alla loro eliminazione attraverso i normali meccanismi di escrezione o al loro decadimento fisico. Per tutta la durata della loro permanenza nell'organismo continuano ad irradiare i tessuti e per questo si dice che l'irradiazione interna può proseguire anche per periodi molto prolungati dopo l'esposizione. Le cause derivano da inalazione dall'aria ambiente o ingestione di alimenti contaminati.

DANNO BIOLOGICO

L'energia contenuta nelle radiazioni ionizzanti (IR) interagendo con la materia vivente provoca effetti di **danno biologico**, il quale si può manifestare attraverso due modi:

1. **fase iniziale**: le IR producono delle alterazioni fisico-chimiche nella materia per durata di meno di un secondo;
2. **fase del danno biologico**: alterazioni evidenti prima a livello cellulare per poi interessare tessuti, organi e l'intero organismo con un tempo di sviluppo anche di molti anni.

Gli **effetti biologici da IR** sono legati a fenomeni che dall'inizio della ionizzazione portano a **danni cellulari** legati alla quantità di energia ceduta (o dose ricevuta) ai tessuti viventi calcolabile in *energia/unità di massa*. Tra i danni si riconosce la morte cellulare, la perdita della capacità riproduttiva della cellula o il danno senza perdita della capacità riproduttiva. In particolare:

- ✚ L'**effetto diretto** si ha quando vengono direttamente danneggiate le molecole bersaglio per rottura dei loro legami covalenti;
- ✚ L'**effetto indiretto** è 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 e idrogeno;
- ✚ L'**effetto ossigeno** contribuisce a "fissare" il danno da IR sulle macromolecole bersaglio mediante reazioni di ossidazione "a catena" della macromolecola una volta che essa sia stata trasformata in radicale libero. È importante in radiobiologia e radioterapia per il quale cellule e tessuti irradiati in presenza di ossigeno sono più sensibili al danno da IR di quanto non lo siano in condizioni di anossia.

3. Mezzi di Contrasto

I **mezzi di contrasto** sono *sostanze in grado di modificare il modo in cui una regione anatomica analizzata appare sull'immagine medica* e se ne riconoscono diverse tipologie:

- **Contrastografia naturale**: sfrutta le naturali differenze di assorbimento dei raggi X da parte dei tessuti organici in rapporto al loro diverso spessore e alla composizione chimica;
- **Contrastografia artificiale**: sfrutta l'azione di sostanze estranee atte a modificare l'assorbimento di raggi X da parte di organi o tessuti simili per composizione e/o spessore. In particolare, l'introduzione nell'organismo di sostanze chimiche estranee ed artificiali, per via orale o endovenosa, implica la possibile interazione di quest'ultimo con i sistemi biologici; infatti, il MDC dovrebbe essere **farmacologicamente inerte** (privo di tossicità e di effetti collaterali e secondari) ma attualmente sono in commercio prodotti sufficientemente ben tollerati e con caratteristiche idonee e selettive per i vari organi e apparati che devono essere analizzati. Si riconoscono:
 - **MDC negativi**: sostanze allo stato gassoso con molecole rarefatte, a densità scarsa, composte da elementi a basso numero atomico (scarsamente usati);
 - **MDC positivi (o radio-opachi)**: sono sostanze che danno luogo ad un assorbimento delle radiazioni superiore a quello degli organi o tessuti farebbero. Questa tipologia deve essere dotata di elevata radio-opacità, tollerabilità, privi di attività farmacologica, atossici ma soprattutto eliminabili rapidamente e totalmente dall'organismo:
 1. **Baritati**: Solfato di Bario (BaSO_4), insolubile in H_2O , non assorbibile dalle mucose digestive, relativa inerzia, facile eliminazione, adesivo (aderisce omogeneamente sulle mucose), viscoso e stabile. Viene

impiegato per lo studio del calcio del viscerale e delle vie digestive, spesso in associazione con un MDC negativo.

2. Iodati: possono essere **liposolubili** (lo iodio è legato ad acidi grassi insaturi di oli vegetali somministrato per via orale), che vengono impiegati per indagini linfografiche, broncografiche, mielografiche e isterosalpingografiche, o essere **idrosolubili** con un grande impiego principalmente per vie urinarie, artrografia, cuore e mielografia ma possono causare effetti collaterali, quali reazioni allergiche, ipotensione arteriosa, agitazione, nausea, vomito, dispnea, edema polmonare e arresto respiratorio.

➤ **MDC ultrasonografici:** sono soluzioni somministrate per via endovenosa contenenti micro-bolle di aria o gas capaci di attraversare il filtro dei capillari polmonari e di riflettere con efficienza i fasci di ultrasuoni durante l'esame ecografico. Essi permettono di valutare meglio la perfusione degli organi, le caratterizzare di lesioni vascolarizzate, studiare cuore, vasi, utero e tube tramite isterosalpingografia ecografica e i reflussi vescico-ureterali. Se ne riconoscono:

1. Prima generazione: sono microsferine nude estremamente instabili;

2. Seconda generazione: incapsulate con shell di albumina o di galattosio;

3. Terza generazione: ottenute aumentando la rigidità della shell oppure utilizzando gas di scarsissima diffusività nei liquidi però aumentando l'emivita.

4. Radiografia ed Immagini Radiografiche

La **radiografia tradizionale** è la tecnica di indagine radiologica più conosciuta e di uso comune che permette di evidenziare e documentare organi ed apparati fornendo informazioni essenziali in un vasto campo diagnostico. È fondamentale per la determinazione di molte patologie e grazie all'impiego dei **raggi X** sulle parti del corpo esaminate possiamo riprodurre l'immagine radiografica su pellicola fotosensibile o DVD. Nell'immagine si avranno punti più scuri e più chiari e in particolare le *ossa* saranno bianche, i *tessuti molli* grigi ed il *vuoto* nero. La distanza ideale tra tubo radiogeno e paziente è di 1.5m e possono essere utilizzate diverse proiezioni:

- ✓ **Proiezione frontale:** l'incidenza del fascio di raggi X è in direzione postero-anteriore (dorso-ventrale) o antero-posteriore (ventro-dorsale);
- ✓ **Proiezione laterale:** l'incidenza è sul lato destro o sul sinistro con emergenza del fascio dal contro lato. Per convenzione si dice destra o sinistra in base al lato che si trova vicino alla pellicola radiografica;
- ✓ **Proiezione obliqua:** l'incidenza del fascio ha direzione intermedia alle precedenti;
- ✓ **Proiezione assiale:** definite dal piano di sezione trasversale del corpo, usata in TC, RM e mammografia. Il lato destro del paziente corrisponde al lato sinistro dell'osservatore e il contrario per l'altro lato;

I principali esami che utilizzano la radiografia sono l'RX torace, RX esofago-stomaco-duodeno, urografia, clisma opaco con MDC, cistografia, RX scheletro, RX-OPT (arcate dentali) e mammografia ma in particolare:

- **Radioscopia:** l'immagine radioscopica si forma immediatamente sullo schermo fluorescente, un supporto cartaceo o di materiale plastico su cui è disteso uno strato di sostanza fluorescente che trasmette la luce in proporzione all'intensità di radiazione X che lo colpisce. Le strutture trasparenti alle radiazioni danno luogo ad immagini luminose e chiare mentre l'effetto luminoso non si verifica o è meno intenso in corrispondenza di strutture che assorbono le radiazioni;
- **Stratigrafia:** è stata inventata nel 1930 ed è una tecnica alla base della moderna TC che si basa su movimento sincrono di tubo radiogeno e pellicola eliminando le strutture al di fuori del centro di rotazione. Essa presenta artefatti a causa dei movimenti e tanti altri svantaggi per cui non è più utilizzata.

5. Tomografia Computerizzata (o TC)

La **tomografia computerizzata (o TC)** è stata la prima metodica radiologica introdotta negli anni '70 definita **ad alta tecnologia** che grazie all'emissione di raggi X da un *tubo radiogeno* e alla rilevazione di questi per mezzo di *detettori*, che mandano input ad un computer, è possibile acquisire immagini assiali, elaborarle con dei particolari software in sezione trasversale e ricostruirle secondo i piani sagittali e coronali in scala di grigi su un monitor. Più in particolare, la TC attraversa sezioni corporee successive e contigue suddividendo ogni sezione in piccole unità di volume, definiti **voxel**, la cui rappresentazione bidimensionale è il **pixel**. Il vantaggio principale rispetto ad un normale RX è il **maggiore potere di risoluzione** che permette di distinguere lesioni microscopiche e, in alcuni casi, può essere associata all'utilizzo del MDC per:

- **Enhancement o potenziamento:** aumento di densità misurabile a livello tissutale dove si è distribuito il MDC;
- **Distinzione di tessuti patologici rispetto a quelli normali** in base alla diversa misura di assorbimento del MDC.

In linea generale, la qualità dell'immagine ottenuta dipende da:

- ✓ **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* quali **movimenti fisiologici del paziente** (respirazione, ciclo cardiaco) e/o **densità dei tessuti esaminati**;
- ✓ *fattori estrinseci al paziente* (modificabili dall'operatore) quali spessore della sezione, ampiezza della matrice di ricostruzione (o numero di pixel), numero di ripetizioni delle misurazioni, mA e kV utilizzati durante la scansione, tempo di acquisizione, livello e finestra di riproduzione e impiego di mezzi di contrasto.

6. Ecografia

L'**ecografia** è una metodica rapida in grado di acquisire immagini tramite l'impiego di **ultrasuoni** ricaptati, introdotti per la prima volta a scopo diagnostico nel 1949 da parte di Karl Dussik. Il suo utilizzo si basa sull'emissione di ultrasuoni¹, onde sonore meccaniche che necessitano di un mezzo per propagarsi (es. corpo umano), che quando vengono a contatto con un ostacolo vengono riflesse² producendo un eco, registrate, riprodotte in impulsi elettrici ed elaborate in immagine ecografica³. Infine, gli ultrasuoni vengono generati per **effetto piezoelettrico**, proprietà di alcuni cristalli di quarzo (o di alcuni tipi di ceramiche) contenuti nella sonda ecografica (*trasduttore*) di vibrare ad alta frequenza se collegati ad una tensione elettrica e se attraversati da una corrente elettrica alternata, e di emettere ultrasuoni: per questo motivo la sonda viene mantenuta a contatto con la cute mediante l'interposizione di gel (elimina l'aria tra sonda e cute). In quest'ambito definiamo:

- **Impedenza Acustica (o interfaccia):** è la resistenza intrinseca della materia ad essere attraversata dagli ultrasuoni e condiziona la velocità di propagazione nella materia, la quale è direttamente proporzionale alla densità del mezzo * velocità di propagazione degli ultrasuoni nel mezzo stesso. Dal momento che tutti i tessuti del corpo hanno valori di impedenza diversa possiamo distinguere in miglior modo un osso o grasso epatico rispetto ad aria ed acqua;
- **Riflessione:** è il fenomeno grazie al quale l'onda ultrasonora subisce un rinvio e può essere:
 - ✓ *Speculare:* si verifica quando il fascio di ultrasuoni incontra perpendicolarmente alla sua direzione una superficie disposta tra due mezzi a diversa impedenza acustica. Il fascio viene allora in parte riflesso all'indietro secondo lo stesso percorso generando un'**eco di intensità** tanto più elevato quanto maggiore è la differenza di impedenza acustica tra i due mezzi.
 - ✓ *Diffusa:* si verifica quando l'interfaccia è più piccola della lunghezza d'onda del fascio incidente avendo riflessioni all'indietro e in tutte le direzioni, utilizzandolo per ricostruire le strutture parenchimali normali e patologiche dei tessuti molli.

L'ecografia si può eseguire in diversi modi:

- **A-Mode (Amplitude Mode= modulazioni di ampiezza):** è attualmente superato dal B-Mode e con questa modalità ogni eco viene presentato come una deflessione della linea di base che esprime il tempo necessario all'onda riflessa per ritornare al sistema ricevente e la distanza tra l'interfaccia che ha provocato la riflessione e la sonda. La rappresentazione monodimensionale è la forma più corretta e dona informazioni sulla sola natura della struttura in esame (oculistica, neurologia);
- **TM-Mode (Time Motion Mode):** l'A-Mode viene arricchito dal dato dinamico ottenendo un'immagine bidimensionale in cui ogni eco è rappresentato da un punto luminoso che si dispone a seconda del movimento delle strutture in esame (cardiologia per dimostrazioni di cinetica valvolare);
- **B-Mode (Brightness Mode o modulazione di luminosità):** si tratta di una classica immagine mono o bidimensionale ecotomografica ottenuta convertendo le onde riflesse in segnali la cui luminosità (tonalità di grigio) è proporzionale all'intensità dell'eco;
- **Effetto Doppler:** è impiegato in medicina per la rilevazione della velocità del flusso sanguigno. Un trasmettitore orientato genera ultrasuoni che vengono poi riflessi con una nuova frequenza a seconda della velocità vettoriale delle particelle sanguigne, la quale viene elaborata matematicamente per definirne la velocità del flusso sanguigno. Una sua variante è l'**eco-color-doppler** che rappresenta un'evoluzione in quanto rappresenta attraverso alcuni colori il flusso: in particolare, rosso se il flusso si avvicina alla sonda e blu se si allontana dalla sonda. Per questo motivo è utilizzato per identificare placche, stenosi, irregolarità o occlusioni trombotiche.

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 rappresentano le zone dove non si sono prodotti echi. La **semiotica** distingue la natura solida o liquida della struttura in esame, in particolare:

- **Strutture liquide:** nel soggetto normale sono rappresentate da organi cavi contenenti liquido organico o sangue (vescica, colecisti, cavità cardiache, vasi, liquido amniotico) e in patologia da (cisti, aneurismi, idronefrosi, pleuriti, asciti). La caratteristica del liquido è quella di trasmettere bene gli ultrasuoni e queste immagini sono "*transoniche*" e si parlerà di **formazione anecogena**, cioè non produttrice di echi che appaiono di colore nero. Se in alcuni casi gli echi vengono generati possono essere di intensità variabile a seconda della grandezza della superficie riflettente rispetto alla sorgente di ultrasuoni rappresentandosi con tenui livelli di grigio fino al bianco e definendo una formazione **ipo o iper-ecogena**.

- **Strutture solide:** esse rappresentano mezzi in grado di generare echi e garantire la *riflessione speculare*, se sono più grandi del fascio esplorante (superfici di contorno degli organi, diaframma), o per diffusione, se sono più piccole del fascio (piccole strutture parenchimali) parlando di formazione ecogena, cioè che produce echi.

Tra le varie **tipologie di esami ecografici** riconosciamo:

- **Elastografia:** consente di fornire informazioni circa noduli della mammella o del fegato esercitando una certa pressione sulla cute per misurare la comprimibilità dei noduli. A seconda delle aree che si vogliono studiare gli apparecchi sono dotati di diverse sonde con cristalli di diverso spessore che generano segnali *ad alta frequenza* (tiroide, testicoli, mammella) o *a bassa frequenza* (tessuti profondi). È vantaggioso in quanto indolore, non invasivo, breve, basso costo e poco disagiata per il paziente, ma allo stesso tempo non permette di esaminare l'osso, è operatore-dipendente e può essere dannosa a livello cerebrale se utilizzata per lunghi periodi;
- **Ecocardiogramma:** studia il movimento del sangue all'interno del cuore e dei vasi permettendo di avere informazioni di tipo emodinamico e funzionale sulla contrattilità cardiaca e sulle malattie cardiache asintomatiche o sconosciute;
- **Ecografia articolare:** utile per rilevare la presenza di corpi estranei radio-trasparenti (ghiaia, legno, acciaio);
- **Ecografia ostetrica:** permette di osservare il cuore fetale, stomaco, vescica, reni, fegato, movimenti, posizione fetale e frequenza cardiaca;
- **Ecografia del collo:** permette di studiare la tiroide, le ghiandole paratiroidee e salivari, ed i linfonodi;
- **Ecografia del fegato:** studia tumori benigni, maligni, cisti o malattie epatiche (es. cirrosi);
- **Ecografia delle vie biliari:** studia la fluidità della bile, colecisti, presenza di calcoli;
- **Ecografia pancreas e milza:** studia la presenza di ascessi, infezioni, cisti, tumori, traumi;
- **Ecografia renale:** evidenzia eventuali cisti, calcoli o tumori;
- **Ecografia oculare:** molto utile quando c'è opacità a causa di emorragia interna o cataratta avanzata andando a sostituire TC o RM.

7. Risonanza Magnetica

Nel 1980 venne utilizzata per la prima volta la **risonanza magnetica**, la tecnica *aperta* o *chiusa* che permette la maggior risoluzione di contrasto e la visualizzazione di sezioni su qualsiasi piano si desideri attraverso la produzione d'immagini tomografiche sfruttando campi magnetici e radiofrequenze (no radiazioni ionizzanti).

Il **campo magnetico** è una zona dello spazio all'interno della quale si risente l'effetto di forze magnetiche che agiscono lungo le "linee di forza" del campo stesso: in particolare, in RM si sfruttano gli effetti delle interazioni dei nuclei di ^1H maggiormente concentrati nei tessuti con il campo magnetico indotto impiegando radiazioni elettromagnetiche a *basso contenuto energetico* che non modificano né distruggono le sostanze da studiare e che non hanno effetti dannosi sulle molecole biologiche.

A prima vista, un'immagine di risonanza è simile a un'immagine ottenuta tramite TC tranne per le ossa che appaiono scure (chiare con i raggi X) ma ci permette di avere immagini *multiparametriche* e *multiplanari* sui piani sagittali, dorsali, trasversali ed obliqui senza variare il decubito del paziente. In particolare:

1. Le immagini di RM hanno una *risoluzione spaziale piuttosto bassa* ed i particolari di 4-5mm sono al limite della visibilità;
2. È possibile *discriminare tra un tessuto del fegato ed uno della milza*, che ai raggi X presenterebbero la stessa trasparenza, oppure i tessuti sani dalle lesioni;
3. I *tempi di scansione sono molto più lunghi* rispetto alle altre tecniche radiologiche richiedendo circa 30 minuti per un esame completo;
4. La *risoluzione temporale è piuttosto bassa* garantendo solo qualche immagine al secondo.

Inoltre, la **qualità delle immagini biomediche** dipende dal grado di chiarezza con cui un'informazione viene analizzata dal medico ed è necessario conoscere i **criteri oggettivi** che influenzano la qualità di un'immagine:

- **Nitidezza:** capacità di un sistema di presentare e permettere di distinguere i dettagli più fini di un'immagine. Essa è valutata dalla **risoluzione spaziale dell'immagine (o potere risolutivo)** come la capacità di un sistema per immagini di distinguere due piccoli punti ad alto contrasto vicini tra loro;
- **Contrasto:** capacità di distinguere dettagli dell'immagine a bassa differenza di luminosità rispetto al campo di fondo (background) e la presenza di rumore è causa di una sua degradazione;
- **Rumore.**

La RM può essere associata all'utilizzo di un mezzo di contrasto che permetta di visualizzare meglio l'organo da studiare facendo riferimento a **MDC interstiziali (o organo-specifici)** o a **MDC paramagnetici o super-magnetici**:

- **Angio-RM:** permette lo studio esclusivo dei vasi per valutare i pazienti con processi patologici cerebrovascolari (circolo di Willis e carotide);
- **Colangio-RM:** consente un'ottima visualizzazione delle vie biliari intra ed extraepatiche;
- **RM di Funzione Cerebrale:** consente di individuare quali strutture encefaliche siano state attivate da una stimolazione senso-motoria o cognitiva rilevando le modificazioni del flusso ematico loco-regionale.

La **semeiotica** si basa sulla valutazione dell'intensità del segnale evocato dal campione con la possibilità di analizzare differenti caratteristiche del tessuto a seconda delle sue proprietà magnetiche (*tempo di rilassamento T1, densità protonica e tempo di rilassamento T2*). Rispetto alla TC non vi è l'uso di radiazioni ionizzanti con la possibilità di acquisizione di immagini multi planari, ottimi dettagli anatomici, maggiore sensibilità nello studio delle alterazioni tissutali, capacità di discriminare vari tessuti in base all'intensità del segnale, migliore contrasto di tessuti rispetto alla TC ed in caso di gravidanza viene consigliata solo in caso di urgenze; al contrario, la presenza di dispositivi suscettibili di movimento o di danneggiamento da parte di campi elettromagnetici (pacemaker cardiaci, dispositivi di biostimolazione, valvole cardiache, schegge metalliche e fissatori vertebrali) costituiscono i soli svantaggi.

8. Radioprotezione

La **radioprotezione** è la *disciplina applicata alla protezione dagli effetti dannosi delle radiazioni* e si articola in una serie di principi, raccomandazioni, requisiti, prescrizioni, tecnologie, modalità operative e verifiche per:

- **la popolazione nel suo insieme;**
- **lavoratori professionalmente esposti a radiazioni ionizzanti;**
- **pazienti sottoposti a procedure diagnostiche e terapeutiche che implicano l'impiego di radiazioni ionizzanti.**

La radioprotezione si fonda a livello generale ad un insieme di accortezze al fine di evitare gli effetti biologici negativi legati all'interazione con radiazioni ionizzanti:

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

Per ogni persona, vi è una **dose massima ammissibile**, ovvero la dose di radiazioni che non provoca danni all'individuo ma 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) ed i possibili rischi dell'attività radiologica, ma anche i numerosi vantaggi che derivano dal loro impiego in ambito sanitario.

PRINCIPI DELLA RADIOPROTEZIONE

L'**ipotesi di linearità senza soglia** equivale ad ammettere che ogni dose, anche se piccola, può comportare effetti dannosi anche gravi per la salute degli individui esposti: ciò comporta gravi difficoltà per individuare un **sistema di limitazione delle dosi** universalmente accettabile. La filosofia di limitazione delle dosi proposta dall'**ICRP (International Commission on Radiological Protection)** ed accettata dall'UE si basa su due esigenze:

- **prevenzione degli effetti deterministici (da esposizione del soggetto, paziente e non);**
- **limitazione degli effetti entro valori accettabili di dose.**

Per raggiungere questi due obiettivi l'ICRP ha introdotto i seguenti **tre principi fondamentali della radioprotezione**:

- **PRINCIPIO DI GIUSTIFICAZIONE A SCOPO MEDICO:** *"nuovi tipi o nuove categorie di pratiche che comportano un'esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere giustificati, anteriormente alla loro prima adozione o approvazione, dai loro vantaggi economici, sociali o di altro tipo rispetto al detrimento sanitario che ne può derivare"* (D.Lgs. 230/95 art. 2 comma 1). Il parametro fondamentale in tal senso è l'**"appropriatezza"**, che si basa sulla *"medicina basata sui fatti"* (*"evidence based medicine"*). Ogni procedura ionizzante deve essere scelta se prevista nell'evidenza di trattamento di una patologia (es. non faccio la TC cranio in una frattura di femore) e la si sostituisce con metodiche non-ionizzanti se possibile;
- **PRINCIPIO DI OTTIMIZZAZIONE (Art. 4 D.Lgs 187/00):** riguarda la scelta delle attrezzature, la produzione adeguata di un'informazione diagnostica appropriata o del risultato terapeutico, la delega degli aspetti pratici, nonché i programmi per la garanzia di qualità, inclusi il controllo della qualità, l'esame e la valutazione delle dosi o delle attività somministrate al paziente. Ai fini dell'ottimizzazione dell'esecuzione degli esami radiodiagnostici è necessario fare un accurato bilancio tra i benefici ottenibili per mezzo delle attività in esame, inclusi quelli economici, e i rischi ad essa connessi, ritenendo giustificate solo le attività che comportino un beneficio netto e dimostrabile per la società o per gli individui esposti. Per **ottimizzazione** si intende che *"qualsiasi pratica deve essere svolta in modo da mantenere l'esposizione al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali"*. 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 ma sempre con una sufficiente protezione dell'uomo esposto;
- **LIMITAZIONE DEL RISCHIO INDIVIDUALE:** secondo l'ICRP una corretta applicazione dei primi due principi dovrebbe essere sufficiente a garantire un'efficace protezione dalle radiazioni ed il terzo principio viene in gioco qualora si richieda più di un trattamento radio-diagnostico *"La somma delle dosi derivanti da tutte le pratiche non deve superare i limiti di dose stabiliti per i lavoratori esposti, gli apprendisti, gli studenti e gli individui della popolazione mantenendo i valori di dose sotto al valore soglia"*. Infine, questo principio non si applica alle posizioni mediche in quanto il contenimento delle dosi entro limiti soglia potrebbe non consentire l'ottenimento di informazioni utili e non sarebbero compatibili con l'attività radioterapica.

Uno strumento utile per valutare se i parametri di esposizione scelti per una determinata indagine e per l'apparecchiatura utilizzata garantiscono l'applicazione del principio di giustificazione sono i **livelli diagnostici di riferimento (o LDR)**, i quali sono stati introdotti dalla Commissione Europea per garantire la radioprotezione e regolamentati nel trattato Euratom attraverso:

- ✓ **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.

Allo scopo di poter esprimere la possibilità di danni da radiazione sulla base di un unico indice di rischio sono state introdotte le **grandezze dosimetriche protezionistiche** (allegato IV del D. Lgs. 230/95), tra le quali la **dose equivalente** e la **dose efficace** ottenibili dalla dose assorbita nei tessuti moltiplicata per opportuni fattori correttivi.

A parità di dose assorbita i danni biologici dipendono fortemente dalla:

- **qualità della radiazione** (tipo ed energia);
- **particolare effetto biologico considerato;**
- **modalità temporali dell'irradiazione;**
- **bersaglio biologico considerato** (a livello di cellula, tessuto, organo, organismo).

Per la quantificazione del danno dovuto a radiazioni ionizzanti sono state introdotte nel SI le unità di misura per quantificare la grandezza di dose assorbita: il **Gray (o Gy)**, secondo il quale 1Gy corrisponde all'assorbimento di 1J di energia radiante per kg di materia (1J/kg), ed il **Sievert (o Sv)** che vengono impiegati generalmente in relazione all'unità di tempo definendo il Gy/h e il mSv/s. Tra gli effetti radiobiologici nell'utilizzo delle radiazioni ionizzanti:

- **Effetti somatici:** se la dose assorbita è sufficientemente elevata, gli effetti saranno osservabili nell'individuo dopo un periodo di latenza di ore, giorni o anni. Si riconoscono:
 - **Effetti deterministici:** classe di effetti hanno una manifestazione clinica certa e graduale nel tempo (ore, mesi, giorni), si manifestano quasi subito se si supera la dose soglia e il valore di dose soglia dipende dalla distribuzione temporale della dose e dalla radiosensibilità dei tessuti;
 - **Effetti stocastici:** sono effetti probabili la cui probabilità di verificarsi e gravità non dipende dalla dose, tanto che possono verificarsi anche senza il superamento della dose-soglia e si possono verificare anche dopo decenni attraverso tumori correlabili ad altri fattori di rischio.
- **Effetti genetici:** se l'effetto delle radiazioni interessa il genoma delle cellule della riproduzione gli effetti saranno evidenti solo nelle generazioni future a causa di danni del DNA e di possibili aberrazioni cromosomiche, mutazioni, malformazioni o malattie ereditarie. Includono:
 - **Effetti non-stocastici:** la probabilità che l'effetto si verifichi è in funzione della dose delle radiazioni;
 - **Effetti specifici** (cataratta, lesioni cutanee, sterilità).
- **Effetti dell'irradiazione prenatale:** la radiosensibilità del feto varia in funzione del time di sviluppo:
 - **Prime tre settimane:** si può verificare (legge del tutto o nulla) la perdita non rilevata dell'embrione;
 - **3 settimane - 2 mesi** (periodo organo-genetico): malformazioni e ritardo mentale;
 - **2 mesi - 9 mesi:** aumento della probabilità di sviluppare neoplasie in epoca post-natale.

4R DELLA RADIOBIOLOGIA

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

LEGISLAZIONE 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 sono 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 per garantire l'osservanza delle norme fondamentali stabilite DL 230/1995, DL 187/2000, DL 241/2000.

RADIOPROTEZIONE IN MEDICINA

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** ed include:

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

L'uso delle radiazioni ionizzanti in medicina attraverso le metodiche strumentali ha un ruolo fondamentale nell'iter diagnostico del paziente, ma l'incremento dell'uso delle radiazioni ionizzanti ha fatto emergere il problema della **valutazione del rischio** e del **rapporto costo/beneficio**: infatti, sono costantemente oggetto di studio i criteri più idonei ad utilizzare la radiologia diagnostica tenendo conto delle controindicazioni ed, inoltre, è responsabilità del medico radiologo utilizzare correttamente le singole tecniche radiografiche determinando al massimo i parametri di ottimizzazione dell'immagine e i controlli di qualità. Le **regole per l'uso opportuno delle radiazioni ionizzanti** sono:

- ✓ il paziente deve essere sottoposto a indagini radiologiche solo se necessario ed in base a reperti clinico-obiettivi;
- ✓ le indagini radiodiagnostiche dovrebbero essere indirizzate solo nel distretto od organo in esame e non su tutto l'organismo;
- ✓ 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).

✚ Nel **paziente pediatrico** i criteri di qualità e di dose vengono riadattati rispetto a quelli dell'adulto, in genere molto basse, data l'elevata aspettativa di vita e il rischio di manifestazioni tardive (effetti stocastici) superiore di 3-4 volte rispetto al rischio per adulti di età tra 30-40 anni. Spesso, le dosi indebite derivano dalla ripetizione dell'esame essendo i pazienti pediatrici generalmente non collaborativi e dall'assenza di protocolli tecnici specializzati in rapporto all'età e al peso del paziente soprattutto nella TC. Tra le indicazioni per l'ottimizzazione della dose ai pazienti pediatrici particolare attenzione deve essere prestata:

- ✓ al posizionamento che può richiedere adeguati sistemi di immobilizzazione a seconda dell'età e della collaborazione del paziente;
- ✓ al corretto utilizzo delle griglie anti-diffusione;
- ✓ alla corretta collimazione dei campi;
- ✓ all'impiego di dispositivi di protezione (il cui criterio di impiego è ben definito dal documento EUR 16261);
- ✓ al tempo d'esame;
- ✓ all'impiego di filtrazione aggiuntiva;
- ✓ la presenza di operatori specializzati nel trattamento dei pazienti pediatrici.

✚ Per quanto riguarda la **donna in gravidanza** si fa riferimento alla direttiva EURATOM 97/43 che garantisce tutte le raccomandazioni per il trattamento di donna in gravidanza e nella fase di allattamento e assicura il rimandare l'esame se si richiedono dosi di radiazioni superiori a 1mSv o impiego di fluoroscopia o TC. Inoltre, si deve assicurare alla donna l'utilizzo di grembiuli protettivi di piombo in corrispondenza del feto o embrione ed un'ottima collimazione della macchina, e attraverso alcuni studi è stato dimostrato come l'impiego di dosi inferiori a 10 mSv non dirette al feto garantiscano un rapporto beneficio del feto e beneficio materno ottimo con un rischio di tumori molto basso. I valori di dose all'utero per esami TC-multistrato sono riportati in un draft dell'ICRP.

RADIOPROTEZIONE NEGLI AMBIENTI DI LAVORO

Secondo il **D.Lgs. 230/95** la classificazione dei lavoratori deve essere formulata da un esperto qualificato per mezzo della **scheda di radioprotezione**, la quale deve essere compilata prima che il lavoratore sia adibito alle attività lavorative con rischio da radiazioni ionizzanti, riconoscendo:

- **Lavoratori esposti**: soggetti che sono soggetti ad un'esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ai limiti previsti per le persone del pubblico. Essi si distinguono in:
 - **Categoria A**: comprende i lavoratori esposti suscettibili di superare uno dei seguenti valori i 6 mSv di dose efficace ed i tre decimi dei limiti fissati per cristallino, pelle, amni, avambracci, piedi e caviglie in un anno;
 - **Categoria B**: comprende persone del pubblico e gruppi di riferimento di persone (gruppo di persone la cui esposizione è limitata da una determinata fonte rispetto a quelli della categoria A).
- **Lavoratori non esposti**: soggetti sottoposti ad una esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

Secondo l'**articolo 2** dello stesso decreto legislativo, le esposizioni alle radiazioni ionizzanti devono essere mantenute al **livello più basso ottenibile** e la somma delle dosi ricevute **non deve superare i limiti prescritti**:

- Per i **lavoratori esposti** 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
- 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.

9. Misura delle Radiazioni

Le radiazioni ionizzanti sono rivelate attraverso *strumenti* e *metodi* che si basano sulla capacità di ionizzazione del materiale che viene attraversato dalla radiazione stessa: essa ha la funzione di indicare, oltre alla presenza di radiazioni, anche il tipo, il rateo di dose assorbita da esposizione e la dose assorbita integrata in un prefissato intervallo di tempo. La misurazione può essere:

- **Diretta:** si effettua mediante strumentazione portatile o fissa ed è indicata per le misure di intensità di dose sia in laboratorio che in campo, quando è necessario disporre immediatamente di valori di misura prima dell'avvio delle attività lavorative e nel corso di queste ultime.
- **Indiretta:** si effettua per le superfici e per gli ambienti di lavoro mediante il prelevamento di alcuni campioni sul luogo che si intende controllare, trasferendoli nel laboratorio di misura. Essa è indicata nei luoghi dove sussiste rischio di contaminazione e data la sensibilità della metodica è necessaria per tutti i casi dove sono presenti ratei di intensità di dose superiori ai normali valori di dose ambiente.

La strumentazione utilizzata per la rilevazione, consentita dal **D.lgs. 17 marzo 1995 n. 230**, può essere:

- **strumentazione portatile:** impiegata nel programma di sorveglianza per l'indicazione dei livelli di irradiazione o di contaminazione radioattiva;
- **strumentazione fissa** (catene di conteggio, catene di misura spettrometrici, apparecchi per la radioattività degli ambienti di lavoro): hanno il compito di fornire informazioni sul tipo di radiazione, registrare i livelli misurati e segnalare con un allarme acustico il superamento dei valori di misura prefissati (es. dosimetri dislocati negli ambienti di lavoro e nei depositi radioattivi);
- **strumentazione dosimetrica:** utilizzata per la sorveglianza individuale costante ed è indossata per il lavoratori che frequentano le zone con presenza di radiazione e/o contaminazione (tecnici radiologi) con la presenza di un allarme che avverte al superamento dei limiti prefissati. In particolare, i dosimetri per la sorveglianza individuale permettono di indicare la dose assorbita dai singoli operatori per verificare la permanenza dei valori di dose al di sotto dei valori stabiliti e consentire di accertare che permangano le condizioni di sicurezza, mentre i dosimetri per la sorveglianza ambientale consentono di controllare i livelli di dose negli ambienti di lavoro tali da non comportare rischi per i lavoratori. Infine, essi si dividono in:
 - **dosimetri passivi:** dosimetri che richiedono una fase di lettura successiva a quella di esposizione;
 - **dosimetri attivi o elettronici:** dosimetri che forniscono la misura della dose accumulata in tempo reale;
 - **dosimetri mani-piedi:** dosimetri costituiti da più rilevatori fissi che consentono di effettuare la misurazione a livello di mani, piedi e indumenti di lavoro che escono dalle aree possibili di contaminazione da radiazioni.

ISTRUZIONI PER L'UTILIZZO DEI DOSIMETRI

I dosimetri personali sono strettamente personali e non possono essere ceduti a persone diverse da quelle a cui sono assegnati, non devono essere utilizzati al di fuori del luogo di lavoro per esposizioni diverse da quelle dovute all'attività lavorativa svolta e devono essere sempre indossati prima dell'ingresso in zone classificate e prima della partecipazione a qualsiasi operazione con rischio radiologico. In genere, si applicano a livello del petto, esternamente al taschino del camice, si posizionano al di sotto del camice di piombo, e per nessun motivo abbandonati in queste zone contaminate. Al termine della giornata lavorativa devono essere depositati nell'apposita bacheca e conservati in custodie in plastica che li proteggono dall'umidità e da fonti di calore: l'eventuale smarrimento di un dosimetro deve essere comunicato alla persona di riferimento per la consegna ed il ritiro che, sentito l'esperto qualificato, provvederà a fornire un dosimetro di riserva.

I dosimetri ambientali sono posizionati in maniera visibile e protetti dagli agenti atmosferici tenendo conto delle indicazioni fornite dal produttore; inoltre, non devono essere rimossi o cambiati di posizione senza autorizzazione e ogni anomalia deve essere tempestivamente segnalata alla persona di riferimento.

10. Radioprotezione e Generalità

La radioprotezione nell'impiego di sostanze radioattive non sigillate comporta la necessità del controllo della contaminazione e dell'irradiazione esterna e, alla base di tutto si cerca di assumere una modalità di lavoro raccomandata, DPI idonei per prevenire la contaminazione e il mantenimento della pulizia dei luoghi di lavoro. Per questi motivi e per evitare i danni biologici da radiazioni ionizzanti si seguono i **principi generali di progettazione**:

- ✓ Garantire spazi adeguati e distanza a lavoratori, pazienti e attrezzature;
- ✓ Facilità nella decontaminazione e schermatura dei laboratori di preparazione dei radiofarmaci;
- ✓ Valutare l'aggiunta di schermature aggiuntive negli ambienti di lavoro;
- ✓ Realizzare spogliatoi al di fuori della zona soggetta a radiazioni ionizzanti;
- ✓ Garantire una zona filtro dotata di *doccia pesante* per la decontaminazione;
- ✓ Realizzare zone contaminate per l'attesa dei pazienti nel post-trattamento radiante;
- ✓ Minimizzare i percorsi e il trasporto di sostanze radioattive;
- ✓ Scegliere i materiali a seconda degli agenti chimici, calore, fuoco e la loro decontaminabilità (es. lavelli azionabili a gomito o pedale e doccia attivabile tramite passaggio).

RIFIUTI RADIOATTIVI

Nell'esercizio delle attività di diagnostica vengono prodotti solo rifiuti radioattivi in forma solida e liquida mentre quelli gassosi (vapori, gas) in piccole quantità vengono filtrati prima della loro immissione in ambiente attraverso l'impiego di impianti di ventilazione o condizionamento, i quali devono essere sottoposti a revisione periodica e sostituiti al fine di garantire la loro funzione filtrante.

- **Rifiuti Radioattivi Solidi:** sono costituiti da siringhe, provette, contenitori vuoti di sostanze radioattive, materiale di medicazione, biancheria contaminata, materiale venuto a contatto con escreti di pazienti sottoposti ad esame scintigrafico (pannoloni, telini, cateteri), materiale di consumo utilizzato in camera operatoria e venuto a contatto con pazienti portatori di radioattività sottoposti a intervento chirurgico, materiali utilizzati per operazioni di lavaggio e decontaminazione e filtri degli impianti di estrazione dell'aria;
- **Rifiuti Radioattivi Liquidi:** sono costituiti da residui di soluzioni somministrate inferiore al centinaio di mBq, acque utilizzate per il lavaggio di vetrerie o altri oggetti contaminati dell'ordine di pochi kBq, acque di lavaggio di biancheria contaminata ed escreti dei pazienti di solito raccolti in sistemi di vasche;

Il Direttore della Struttura, infine, organizza la **raccolta e lo smaltimento dei rifiuti radioattivi** avendo cura di farne produrre in maniera minore possibile sia di volume che di attività sapendo che:

- ✓ I rifiuti radioattivi devono essere conservati nel "deposito rifiuti radioattivi", il quale deve essere segnalato e consentire l'accesso unicamente al personale autorizzato dal Direttore o dal Preposto;
- ✓ I rifiuti devono essere consegnati alle ditte autorizzate del loro ritiro;
- ✓ I rifiuti radioattivi, anche se decaduti, sono da considerarsi rifiuti speciali, ovvero pericolosi;
- ✓ Deve essere conservato ed aggiornato un registro indicante il movimento dei rifiuti radioattivi.

INTERVENTO IN CASO DI CONTAMINAZIONE PERSONALE

È fondamentale mantenere la calma, chiedere aiuto ai colleghi vestiti con i DPI richiesti ed evitare di far passare la contaminazione dall'esterno all'interno del corpo (incluso il camice interno considerato pulito) e verso i colleghi che ci aiutano. Successivamente:

1. Tamponare con carta assorbente la zona della pelle o gli abiti sui quali è avvenuto il versamento;
 2. Togliere gli indumenti contaminati e riporli in sacchetti di plastica in modo da evitare la contaminazione di altri oggetti e dell'area (non contaminare occhi, bocca e narici);
 3. Misurare la contaminazione dell'area interessata;
 4. Lavare solo la parte contaminata con acqua corrente tiepida (NO CALDA) utilizzando una spazzola morbida e sapone neutro presso il lavello di decontaminazione;
 5. Sciacquare gli occhi e la bocca più volte con acqua o soluzione fisiologica;
 6. Continuare la decontaminazione fino a che il metodo usato per la verifica indica che la contaminazione è stata rimossa o qualora compaiano segni di irritazione cutanea durante la procedura.
- ✚ In caso di **ferita** misurare la contaminazione della zona interessata, lavarla con acqua corrente e conservare l'oggetto che l'ha prodotta per farlo analizzare dall'esperto qualificato e adottare tutti gli interventi previsti per tutelare al meglio l'operatore.

Infine, il lavoratore sarà sottoposto a periodici controlli di radio-tossicologia su campioni biologici (escreti) e di misura diretta dell'eventuale contaminazione (Whole Body Counter) da parte di un esperto qualificato (sorveglianza fisica), dal medico competente (categoria B) e dal medico autorizzato (categoria A e B) attraverso **sorveglianza fisica** (schermi, distanza e dosimetri) e **sorveglianza medica** (attività e visite periodiche) come previsto dal DPR 185 art.9.

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE

La classificazione dei lavoratori e delle aree di lavoro permette di individuare le fasce di lavoratori per i quali devono essere garantite diverse categorie di presidi e le aree da sottoporre ai vari tipi di controlli protezionistici.

- **Zone Controllate:** sono le aree riconosciute dagli esperti, segnalate da luce o segnali acustici, e regolamentate nell'accesso nelle quali c'è la possibilità che i lavoratori in essa operanti superino i valori previsti per la classificazione in Categoria A:
 - **6 mSv/anno** per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
 - **45 mSv/anno** per il cristallino;
 - **50 mSv/anno** per la pelle, mani, avambracci, piedi, caviglie
 Spesso vengono utilizzati indicatori di raggi fuori dal campo schermato o lampeggiante giallo o rosso.
- **Zone Sorvegliate:** sono le aree nelle quali sussiste per i lavoratori la possibilità di superamento di uno dei limiti previsti per le persone del pubblico, quindi 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.

STATO DI GRAVIDANZA DI UNA LAVORATRICE

Il datore di lavoro che riceve comunicazione dello stato di gravidanza di una lavoratrice deve curare che non svolga attività in zone a rischio o non sia adibita ad attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda **1millisievert** durante il periodo della gravidanza. La procedura deve essere eseguita come segue:

- la dipendente deve presentare al Datore di Lavoro il certificato di stato di gravidanza, il quale provvede all'allontanamento della dipendente dal suo posto di lavoro comportante esposizione a radiazioni ionizzanti e ne dà comunicazione al Medico Competente che emette giudizio di non idoneità al lavoro comportante esposizione a radiazioni ionizzanti;
- il *rientro al lavoro* con contatto ad esposizioni ionizzanti si autorizza solo dopo che il Medico Competente abbia dato l'idoneità alla sua mansione abituale ma comunque con misure che evitino l'esposizione al rischio attraverso la modificazione temporanea delle ore di lavoro e delle condizioni. Ove la modifica delle condizioni o dell'orario di lavoro non sia possibile per motivi organizzativi si adibisce la lavoratrice ad altra mansione informando l'Autorità di Vigilanza Competente.

OBBLIGHI DEL LAVORATORE

Secondo l'**art.68 del D.lgs.230/95** si definiscono gli obblighi del lavoratore a contatto con radiazioni ionizzanti:

- ✓ **Osservare le disposizioni impartite dal datore di lavoro o dai suoi incaricati ai fini della protezione individuale collettiva e della sicurezza, a seconda delle mansioni a cui sono addetti** (es. portare adeguatamente i dosimetri personali durante la permanenza nelle Zone Classificate e sottoporsi ai controlli di radioprotezione nei tempi previsti dalle indicazioni ricevute);
- ✓ **Segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengano a conoscenza** (es. segnalare immediatamente la rottura di un'area monitor, il malfunzionamento di un interblocco, una situazione di non rientro automatico di una sorgente nella propria schermatura);
- ✓ **Non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di propria competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza** (es. non effettuare operazioni con sorgenti radioattive al di fuori delle mansioni di routine e delle indicazioni ricevute, sottoporsi alla sorveglianza medica, essere presenti alla visita medica del medico competente);
- ✓ **Rendere edotto il datore di lavoro dell'esistenza di eventuali altre attività che li esponano o li abbiano esposti in passato al rischio da radiazioni ionizzanti** (es. fornire informazioni su esposizioni in precedenti attività lavorative o in attività lavorative contemporanee a quella in oggetto);
- ✓ **Per le sole lavoratrici, notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione non appena accertato.**

LA RADIOTERAPIA

La **radioterapia** è quella branca della medicina specialistica che *impiega le radiazioni ionizzanti per produrre un effetto radiobiologico distruttivo sul tessuto neoplastico ad uso terapeutico*. Possono esserci anche indicazioni non oncologiche ma sono rare: malformazioni artero-venose, esoftalmo del morbo di Basedow. Il trattamento radioterapico è una delle possibili cure per guarire da un tumore o per far sì che i sintomi causati dal tumore possano essere attenuati nella loro intensità.

(Radioterapia, trattamento radioterapico, terapia radiante hanno lo stesso significato. Possono anche essere usati termini che specificano il tipo di radioterapia: (es. terapia con raggi X).

L'associazione di radioterapia alla chirurgia e alla chemioterapia ha reso un'alta percentuale di guarigione, riuscendo anche a preservare la parte del corpo malata. Nei casi in cui non è possibile la guarigione, causa estensione malattia, è utilizzata a scopo palliativo. Le radiazioni per distruggere le cellule tumorali, possono causare danni anche alle cellule non ammalate, la moderna radioterapia ha in parte attenuato queste conseguenze.

LA DOSE ASSORBITA

La dose assorbita è il rapporto tra l'energia ceduta dalle radiazioni ionizzanti alla materia in un dato elemento di volume e la massa (M) di tale volume (energia per unità di massa).

Le tecniche di trattamento radioterapico:

1. **Radioterapia esterna con fasci collimati:** Consiste nell'irradiazione del paziente con sorgenti di radiazioni esterne. Il fascio prodotto collimato viene diretto verso il focolaio tumorale. La delimitazione del volume da irradiare viene eseguita su scansioni TC (contornare il tumore e gli organi da risparmiare) eseguite nella posizione che il paziente terrà durante le sedute di radioterapia. Il piano di trattamento è scegliere l'energia del fascio radiante più adeguata e la migliore geometria dei campi di irradiazione necessaria a dare la dose prescritta dal medico schermando, se possibile, i tessuti sani. Bisogna verificare che durante il trattamento che la dose erogata al paziente corrisponde a quella pianificata, e che il paziente mantenga un posizionamento corretto.

2. **Brachiterapia:** Impiega isotopi radioattivi (Cs137,Ir192;I125...) posizionati a contatto o all'interno di una lesione neoplastica. Indicata per il trattamento di tumori con estensione limitata e circoscritta, situati in regioni anatomiche facilmente accessibili.
3. **Radioterapia stereotassica:** Tecnica particolare che focalizza le radiazioni ionizzanti nel volume da irradiare con un'alta precisione e si adatta bene a piccoli volumi, eseguita con un acceleratore lineare dotato di collimatore con lamelle mobili. Inizialmente era applicata solo per il trattamento dell'encefalo, ORA è applicabile in tutte le sedi corporee con determinate caratteristiche. La testa del paziente si immobilizza con una maschera e la centratura avviene mediante un casco di Leksell, il resto del corpo può essere immobilizzato in altro modo (maschera termoplastica, cuscini ex vacuum etc) e centrate con appositi centratori per questi distretti.
4. **Radioterapia intra-operatoria:** E' una tecnica con la quale un particolare acceleratore lineare, posto in sala operatoria eroga un fascio di elettroni in un'unica seduta di radioterapia, direttamente nel letto tumorale dopo che il tumore è stato rimosso chirurgicamente. Quindi è l'irradiazione del paziente durante l'intervento chirurgico con sorgenti di radiazioni esterne (elettroni di alta energia).

Oggi è possibile valutare quale dose riceve un organo o una parte di esso, in modo da prevenire al massimo gli effetti collaterali della radioterapia. Vengono eseguiti sulla cute del paziente piccoli tatuaggi con ago e inchiostro di china che serviranno per il trattamento stesso ed indentificare il volume irradiato. La radioterapia esterna non rende in alcun modo nessuna parte del corpo radioattiva e non ci sono problemi nei contatti con altre persone una volta terminata la seduta.

Chi lavora in radioterapia:

- **Medico radioterapista:** Ha una preparazione clinica e tecnologica per l'uso terapeutico delle radiazioni ionizzanti in campo oncologico.
- **Fisico:** responsabile degli apparecchi dal punto di vista del loro funzionamento e sicurezza, elabora varie soluzioni tecniche per il singolo trattamento che poi condivide con il medico radioterapista, che ha la responsabilità finale della scelta del trattamento più idoneo.
- **Tecnico di radiologia medica:** provvede, sotto guida del medico anche a tutte quelle operazioni di tipo radiologico che servono a localizzare la parte del corpo che deve essere irradiata. Il tecnico coadiuva il fisico nella preparazione dosimetrica del piano di trattamento radioterapico.
- **Infermiere:** che deve avere una specifica preparazione e conoscenza sia della radioterapia, sia dei suoi effetti collaterali.

L'ASSISTENZA INFERMIERISTICA IN RADIOTERAPIA

Prima del 1940, l'ambito della radioterapia era sovrastato dagli aspetti prettamente tecnici della terapia e le figure prevalenti, 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* descrisse per la prima volta, la natura multifaccettata dell'assistenza infermieristica in radioterapia, delineando 5 specifici ruoli:

1) Assistenza alla persona	3) Responsabilità amministrative
2) Educazione all'assistito e ai familiari	4) Ricerca
	5) Consultazione

- *Rosenal* nel 1985 cita 4 ruoli:

1) Assistenza fisica	3) Supporto emozionale
2) Ricerca, soprattutto per quanto riguarda	4) Educazione la gestione infermieristica dei sintomi

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

1) Insegnamento	3) Assistenza infermieristica diretta all'assistito
2) Consulente	

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 e in totale, dalla eventuale associazione con altre terapie (esempio la chemioterapia concomitante aumenta il rischio) nonché dalle condizioni generali dell' assistito e dal 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, 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.

Generalmente l'infermiere si trova ad interagire con 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:

- **Generali:**
 - ✓ **Fatigue** (circa il 60% dei malati manifesta i sintomi la prima settimana di trattamento e il 95% dalla terza settimana)
 - ✓ **Dolore**
 - ✓ **Reazioni cutanee**
 - ✓ **Mielosoppressione** (associata all'irradiazione di un grande volume della pelvi, dello sterno o delle ossa lunghe e soprattutto a trattamenti chemioterapici concomitanti).
- **Sito-specifici , a seconda del distretto corporeo irradiato:**
 - ✓ **CAPO/COLLO:** Eritema cutaneo, mucositi, candidosi, laringiti, esofagiti, che possono portare a conseguenze quali disfagia, xerostomia, etc...
 - ✓ **TORACE/POLMONE:** Eritema cutaneo, esofagite, disfagia, xerostomia, anoressia, riduzione peso corporeo, reflusso gastrico, dispnea, polmoniti, pericarditi.
 - ✓ **SENO:** Eritema cutaneo, epidermiolisi, edema mammario.
 - ✓ **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 la più efficace possibile e affinché non compaiano importati effetti collaterali o siano comunque contenuti, in modo da non dover interrompere la cura.

Tra questi:

- **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 o vitaminici sotto consiglio di uno specialista.
- **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 disturbi minzionali 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 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 l'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.

- **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 sierose-ematiche, fino ad ulcerazioni 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. *Candida albicans*), virali (Herpes) o batteriche.

- **Xerostomia o Trisma:** La *xerostomia* è la diminuzione o assenza della produzione di saliva ed un'aumentata viscosità che riducono la rimozione dei detriti (cibi 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.

- **Alopecia:** L'alopecia è la perdita dei capelli che può essere temporanea se la dose somministrata non supera i 5000Gy 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.

- **Laringiti:** L'irradiazione sulla laringe può causare: edema, abbassamento voce, infiammazione.
- **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.

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:** -Prima e durante il trattamento valutare e monitorare frequenza respiratoria, saturazione dell'ossigeno, espansione cassa toracica;
 - 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.
 - 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;
 - Consigliare di alternare periodi di attività fisica a periodi di riposo;
 - Evitare luoghi affollati o fumosi;
 - Evitare sbalzi di temperatura;
 - Vivere in ambienti ben areati ed ossigenati, umidificare eventualmente l'aria;ù
 - Bere molti liquidi per fluidificare il muco;
 - Profilassi antiinfluenzale con vaccino;
 - 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 seguito 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 un sondino naso-gastrico o il confezionamento della PEG e la dieta corretta da seguire

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 (6-10Gy) 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 a 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 e 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 2-6Gy.

- **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 1Gy 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. 24/2000)

... Medicina Nucleare

La **medicina nucleare** è la disciplina finalizzata alla diagnosi e alla terapia mediante l'impiego di elementi radioattivi: in particolare, l'impiego diagnostico (emissioni gamma) consiste nella rilevazione di medicinali radioattivi che consentono di rappresentare processi funzionali e molecolari mediante immagini (es. PET), mentre l'impiego terapeutico (emissioni beta-negative) consiste nell'uso di medicinali radioattivi che producono effetti biologici controllati e finalizzati alla riduzione di masse tumorali, iperplasie o con finalità palliative. La radiologia e la medicina nucleare si differenziano per la tipologia di radiazioni utilizzate in quanto in radiologia l'emissione di radiazioni è garantita da un apparecchio radiogeno mentre in medicina nucleare esse originano direttamente dal nucleo di elementi radioattivi somministrati al paziente (radiofarmaci) e poi rilevati con macchine specialistiche. Infine, le indagini di medicina nucleare si differenziano tra di loro per i *radionuclidi e i radiofarmaci impiegati*, in base al processo/organo/apparato che si vuole esaminare, e per le *apparecchiature utilizzate*, a seconda che si voglia eseguire indagini dinamiche o statiche.

DIAGNOSTICA MEDICO-NUCLEARE

Come già detto in precedenza, le immagini medico-nucleari vengono ottenute rilevando le radiazioni gamma o X emesse dai radiofarmaci distribuiti nell'organismo del paziente, le quali vengono rilevate e registrate da apposite apparecchiature in grado di ricreare l'immagine che definiscono la distribuzione spazio-temporale del radiofarmaco (*scintigrafie*). Le informazioni ottenute sono esprimibili in forma di *parametri numerici* permettendo di ottenere dati di ordine quantitativo e le immagini vengono definite "**funzionali**", ovvero in grado di esprimere la morfologia di una funzione cellulare andando a marcare le molecole biologiche e sostituendo il loro isotopo stabile con la forma radioattiva (Carbonio-11, Azoto-13, Ossigeno-15, Fluoro-18) ma mantenendo le funzioni e la bio-distribuzione inalterate. La somministrazione del radiofarmaco (un radionuclide + una molecola) è scelta opportunamente a seconda dell'organo oggetto di studio e la sua distribuzione nell'organismo dipende da:

- ✓ *caratteristiche chimico-fisiche dello stesso;*
- ✓ *via di somministrazione;*
- ✓ *capacità di attraversare barriere biologiche;*
- ✓ *condizioni metaboliche del paziente.*

Si riconoscono:

- **Radionuclidi:** ciascuno ha esclusive proprietà fisiche e chimiche e viene prodotto con tipi di apparecchiature diverse. Il più frequentemente utilizzato a scopo diagnostico è il **Tc-99m** (tecnecio 99 metastabile) generato da un *generatore di Tc-99m* e deriva dal decadimento del molibdeno 99 (prodotto in reattore nucleare). Altri radionuclidi (I-123, I-131, In-111, Tl-201) vengono prodotti mediante ciclotroni industriali e distribuiti ad aziende produttrici e distributrici di radiofarmaci, le quali provvedono alla consegna in forma pronta all'uso agli ospedali;
- **Radiofarmaco:** è un medicinale che nella forma pronta all'uso include uno o più radionuclidi (isotopi radioattivi) ed è impiegato per diagnosi o terapia. In particolare, il radiofarmaco deve localizzarsi solo in organi di interesse, deve essere stabile dal punto di vista chimico e biochimico e possedere un'adeguata emissione energetica.

- ✚ **RADIOFARMACI MARCATI CON RADIONUCLIDI EMETTITORI DI FOTONI SINGOLI VENGONO RIVELATI MEDIANTE GAMMACAMERE E LE MODALITA' DI RIVELAZIONE/ACQUISIZIONI SONO FINALIZZATE AD OTTENERE IMMAGINI PLANARI E TOMOGRAFICHE:** le immagini di medicina nucleare, infatti, vengono acquisite mantenendo la gamma-camera fissa da un determinato spazio dell'organismo e le immagini ottenute saranno di tipo "*sequenziale*": ciò vuol dire che si analizza nel corso del tempo il decorso o assorbimento del radiofarmaco da parte dell'organo con la possibilità di analizzare la perfusione e l'eliminazione dello stesso. Ad esempio, in uno studio renale viene esaminata la distribuzione di un radiofarmaco nel tempo analizzando lo spazio vascolare, la distribuzione a livello del parenchima e la sua eliminazione fino alla vescica. Infine, è permessa anche la *rotazione della gamma-camera* permettendo l'acquisizione di immagini tomografiche e tridimensionali da effettuare solo dopo che il radiofarmaco si sia legato bene all'organo in esame.

- ✚ **RADIOFARMACI MARCATI CON RADIONUCLIDI EMETTITORI DI POSITRONI VENGONO RIVELATI MEDIANTE TOMOGRAFO AD EMISSIONE DI POSITRONI E LE MODALITA' DI RIVELAZIONE E ACQUISIZIONE SONO FINALIZZATE AD OTTENERE IMMAGINI TOMOGRAFICHE (PET).**

L'obiettivo della diagnostica in *ambito oncologico* è individuare le zone colpite da un tumore dal momento che questi tessuti hanno un'intensa attività cellulare e una sostanza radioattiva immessa nell'organismo rilascerà più radiazioni in corrispondenza delle zone colpite. Le due fasi principali diagnostiche sono:

- 1. Somministrazione del tracciante radioattivo che andrà a concentrarsi nelle zone tumorali;**
- 2. Rilevazione delle radiazioni ed elaborazione dell'immagine al PC:** esso permette di avere una mappatura tridimensionale delle zone analizzate e il computer ha bisogno della direzione di provenienza della radiazione e della profondità all'interno del corpo umano per localizzare un punto preciso.

Tra le varie metodiche ricordiamo:

- **Scintigrafia:** è un esame che prevede la somministrazione di un *tracciante radionuclide gamma-emittente* che consente viene captato dall'organo prescelto e permette l'evidenziazione dell'accumulo del tracciante nel tessuto che si intende studiare tramite una gamma-camera ruotante che capta il fotone prodotto. Le fasi sono:
 - 1.** L'organo capta il radiofarmaco emittente;
 - 2.** Il fotone emesso attraversa il tessuto e viene rilevato dalla γ -camera;
 - 3.** Il segnale, diverso a seconda delle disomogeneità di tessuto incontrate, viene trasmesso al computer ed elaborato in immagine.
- **Tomografia Computerizzata ad Emissione di singolo fotone (o SPECT):** è una tecnica tomografica in cui l'acquisizione dei dati si effettua mediante rotazione delle testate di rivelazione della gamma-camera intorno al corpo del paziente. Ad ogni diversa angolazione, viene acquisita un'immagine planare (*planar-imaging*), detta **proiezione**, e l'insieme di tali proiezioni consente poi di ottenere delle informazioni più realistiche in tre dimensioni (SPECT-imaging);
- **PET (Tomografia ad emissione di positroni):** è una tecnica di medicina nucleare in ambito oncologico basata sull'impiego di radiofarmaci marcati con radionuclidi che decadono emettendo *particelle beta-positiva*. In particolare, da informazioni in più rispetto alle normali indagini strumentali diagnostiche permettendo la valutazione dell'estensione della neoplasia, la sua stadiazione, la valutazione di una recidiva, monitoraggio della terapia a seconda della risposta al trattamento e la ri-stadiazione in caso di ripresa di malattia;
- **Tomografia Computerizzata ad emissione di due fotoni:** utilizza radionuclidi beta-positivi emittenti: il positrone (e^+) emesso dal radionuclide si annichila con l'elettrone del tessuto (e^-) dando origine a due fotoni emessi in direzione (*fenomeno di annichilazione*) opposta con un angolo di 180° e attraverso le due misure si rileva il punto in cui il fotone è stato rilevato.

TERAPIA MEDICO-NUCLEARE

La **terapia medico-nucleare** si occupa di somministrare radiofarmaci allo scopo di ottenere la loro localizzazione nelle zone del corpo da sottoporre a terapia e di cedere loro "tutta" la loro energia: i radiofarmaci sono diversi da quelli di tipo diagnostico ma soprattutto emettono radiazioni beta che dissipano la loro energia in uno spazio $<1\text{mm}$.

- ✓ la terapia dell'ipertiroidismo e del carcinoma tiroideo, con ^{131}I ;
- ✓ in campo reumatologico si riconosce la terapia intra-articolare della sinovite cronica da artrite reumatoide, con ^{90}Y ;
- ✓ la terapia delle metastasi ossee con ^{89}Sr ;
- ✓ la terapia con anticorpi monoclonali, peptidi e bifosfonati marcati con ^{90}Y , ^{186}Re , ^{188}Re , ^{153}Sm .