

MATERIA: RADIOPROTEZIONE

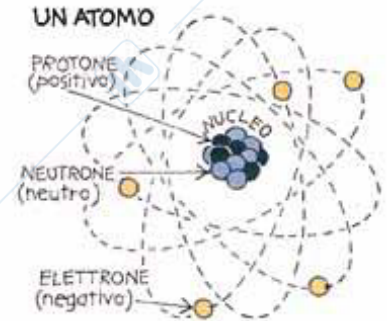
ESAME: crocette e domande aperte

La **radioattività** è il processo naturale attraverso il quale gli atomi instabili di un elemento emettono energia da parte dei nuclei trasformandosi in atomi di un diverso elemento o in stati energetici di minor energia dello stesso elemento.

Scoperta nel 1896 dal fisico francese H. Bequerel; notò che la lastra di uranio fotografica manteneva la sua fluorescenza anche al buio. Pierre e Marie Curie nel 1898 scoprirono, selezionando la pechblenda, gli elementi radioattivi polonio e radio.

ATOMO

- Nucleo centrale è formato da protoni (positivi) e da neutroni (neutri).
- Nucleone: particella subatomica del nucleo
- Elettroni: e⁻ (negativi) orbitanti intorno al nucleo negli orbitali.
- Orbitale: densità di probabilità di trovare un elettrone



Numero di massa

A
X
Z

Simbolo
chimico
dell'elemento

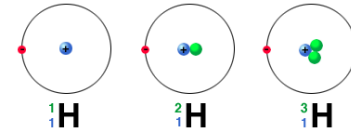
Z = numero atomico: n° protoni

A = numero di massa: n° protoni + n° neutroni

N = numero di neutroni

Numero atomico

ISOTOPI: atomi dello stesso elemento con uguale Z ma differente N ed A.



STABILITA' DEI NUCLEI

Nel nucleo i protoni si respingono tra loro per repulsione elettrostatica. All'interno del nucleo è presente una **forza nucleare forte**, ovvero una forza attrattiva tra nucleoni (protoni e neutroni) che a differenza della forza elettrostatica non ha un raggio d'azione infinito. Ciò è un problema perché all'aumentare di Z (protoni) N (neutroni) dovrà crescere più rapidamente ma se Z > 83 allora i neutroni non bastano più a mantenere l'atomo stabile.

DECADIMENTO RADIATIVO

Trasformazione di un radionuclide per ottenere uno stato più stabile (non sempre possibile) e con contenuto di energia inferiore.

ATTIVITA': definisce il numero di decadimenti (di un materiale radioattivo) in un'unità di tempo.

dN: n° nuclei radioattivi

dt: intervallo di tempo

$$A = dN / dt$$

unità di misura: Bq (Bequerel). Bq = 1 disintegrazione al secondo

unità di misura (meno usata): Curie 1 Ci = 37 GBq

LEGGE DI DECADIMENTO RADIOATTIVO: per ogni radionuclide deve passare un determinato tempo $T_{1/2}$ affinché il numero di nuclei radioattivi si dimezzi e quindi che decada la metà dei nuclei presenti.

ESERCIZIO

Il trizio ha un tempo di dimezzamento di 12 anni e 3 mesi. Calcolare quanto trizio rimane, dopo un tempo $t = 49$ anni, in un campione che inizialmente era di 32 g.

SPIEGAZIONE

- Il tempo di dimezzamento espresso in mesi è pari a:
 $T_{1/2} = 12 \text{ anni} \times 12 \text{ mesi} + 3 \text{ mesi} = 147 \text{ mesi}$
- Trasformiamo il $t = 49$ anni in mesi:
 $t = 49 \text{ anni} \times 12 \text{ mesi} = 588 \text{ mesi}$
- Il numero di dimezzamenti avvenuti è dato dal rapporto tra t e $T_{1/2}$:
dimezzamenti tot = $t/T = 588/147 = 4$
- La quantità di radioisotopo residuo è dato dalla quantità iniziale dimezzata per 4 volte, ovvero 2^4 (elevato alle 4)
Quantità finale = $32/2^4 = 32/16 = 2 \text{ g}$

Quindi dopo 49 anni in un campione che conteneva 32 g di trizio, la quantità di questo radioisotopo si è dimezzata per 4 volte, riducendosi a 2 g.

APPLICAZIONI DEL DECADIMENTO RADIOATTIVO:

- Datazione radiometrica: noto il tempo di dimezzamento, una misura tra rapporto di nuclei presenti e quello dei nuclei originari permette di stabilire l'età di un campione o reperto.

Carbonio 14

- Concentrazione di C14 costante nell'atmosfera
- Datazione radiocarbonio: utilizzo del C14 che decade con $T_{1/2} = 5730$ anni

Cesio 137

- Concentrazione di Cs137 variabile nel tempo nell'atmosfera
- Datazione annata dei vini: maggiori picchi di Cs137 negli anni 50/60 e nell'87

TIPOLOGIE DI DECADIMENTO RADIOATTIVO

La radioattività naturale produce 3 tipi di radiazioni.

RADIAZIONE = movimento di energia nello spazio senza associazione con quantità macroscopiche di materia.

- **ALFA α** (non penetra) particella con doppia carica positiva (due protoni e due neutroni) se alfa decade ottengo un elemento con numero di massa (A) a cui sono state sottratte 4 unità.

Decadimento: avviene in una sorgente radioattiva in vicinanza di un catodo e un anodo.

Se entrano particelle di fumo queste vengono ionizzate. Gli ioni creati si muovono verso gli elettrodi generando corrente elettrica.

- **BETA β**

Decadimento β_{\pm} : processo con cui un nucleo emette un positrone (antiparticella dell'elettrone, e^+) causa: eccesso di protoni nel nucleo. Emissione simultanea di un neutrino elettronico $\bar{\nu}$ (con carica e massa nulla).

Cattura elettronica: processo simile a quello del decadimento, numero atomico (Z) diminuisce di 1, il nucleo assorbe un elettrone trasformando un protone in un neutrone.

Decadimento β_- : processo con cui un nucleo emette un elettrone. Emissione di un antineutrino elettrico $\bar{\nu}$. causa: eccesso di neutroni nel nucleo, neutrone crea una coppia di protone ed elettrone. In numero atomico aumenta di 1.

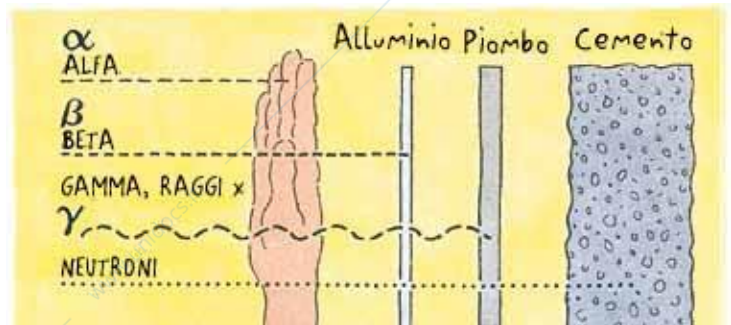
- **GAMMA γ** (penetra):

Decadimento: processo con cui un nucleo eccitato da trasmutazione nucleare emette energia passando ad un livello energetico inferiore. A e Z rimangono invariati. Emissione simultanea di un fotone, radiazione elettromagnetica neutra.

Annichilazione: processo con cui una particella si scontra con la sua antiparticella, il risultato è una trasformazione completa di materia in energia. Il risultato è l'emissione di due fotoni.

Raggi x: simili a raggi γ , sono radiazioni elettromagnetiche di fotoni. Hanno però origine differente: raggi γ da decadimento del nucleo mentre raggi x da variazione della cinetica degli elettroni.

Raggi x di frenamento: le particelle β^- possono interagire con i campi elettrici nucleari deviando traiettoria e riducendo energia cinetica, con la contemporanea produzione di raggi x di frenamento. La produzione di questi raggi x è maggiore se le radiazioni β^- attraversano materiali con alta densità.

**RADIAZIONI IONIZZANTI**

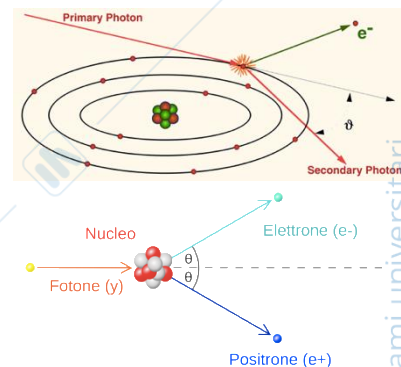
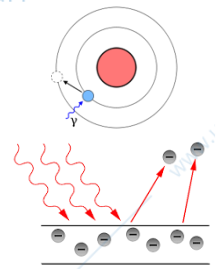
Che provocano ionizzazione e quindi creano ioni (strappando elettroni), la soglia tra una reazione di ionizzazione e non è di 12 eV.

Tipologie:

- **DIRETTAMENTE IONIZZANTI**: possiedono una carica.
A contatto con la materia: Possono provocare ionizzazione o eccitazione (non strappa completamente gli elettroni).
- **INDIRETTAMENTE IONIZZANTI**: fotoni (x e γ) e neutroni.
A contatto con la materia: assorbimento (fotone interagisce con un elettrone e viene assorbito totalmente e l'elettrone viene espulso dalla sua orbita/effetto fotoelettrico), diffusione/effetto Compton (fotone interagisce con elettrone ma senza perdita totale di energia, elettrone di rimbalzo con energia superiore), produzione di copie (processo opposto all'annichilazione, il fotone si trasforma in materia, fotone interagisce con il nucleo)
- **CORPUSCOLARI**: dotate di massa/carica.
- **ELETTROMAGNETICHE**: prive di massa e carica.

INTERAZIONI CON LA MATERIA:

- **Eccitazione:** meccanismo analogo alla ionizzazione, ma privo di energia sufficiente a strappare completamente gli elettroni dall'atomo. Gli elettroni sono quindi comunque influenzati dall'energia. L'atomo passa dallo stato fondamentale ad uno stato eccitato per spostamento di orbitale di uno o più elettroni.
- **Assorbimento/effetto fotoelettrico:** quando un fotone a bassa energia interagisce con un elettrone e viene assorbito totalmente. Il risultato è un elettrone espulso dalla sua orbita, e il posto vacante viene occupato da un altro elettrone con emissione di radiazioni.
- **Diffusione/effetto Compton:** quando un fotone di media energia interagisce con un elettrone ma senza perdita totale di energia. Il risultato è che l'elettrone rimbalza con energia superiore e il fotone si allontana con energia inferiore.
- **Produzione di coppie:** processo inverso dell'annichilazione, quando un fotone ad alta energia si trasforma in materia. Il fotone interagisce con il nucleo, creando una coppia antiparallela. Ciò che si viene a creare è: un elettrone, un positrone (protone), un antiprotone (neutrone) e un antineutrone.



UNITA' DI MISURA

- **Attività:** Bq
- **Energia:** elettronvolt (eV): misura dell'energia delle radiazioni, sia corpuscolate che elettromagnetiche. Corrisponde all'energia che acquista una particella elementare che attraversa una differenza di potenziale pari a 1 volt.
 $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
 la soglia di energia tra radiazioni ionizzanti e non è 12 eV (che corrisponde all'energia di legame degli elettroni posti nello strato più esterno dell'atomo).
- **LET:** keV/ μm : energia ceduta mediamente in keV per micrometro di tessuto attraversato, dipende da carica e velocità della particella ionizzante. Distribuzione delle ionizzazioni e delle eccitazioni nel percorso delle radiazioni. Scarso LET per fotoni, elevato LET nelle particelle α .
- **Dose assorbita (D):** Gray (Gy): gli effetti delle radiazioni ionizzanti si manifestano se si verifica una cessione di energia al mezzo attraversato. Corrisponde al danno subito dai tessuti biologici, è in relazione alla dose assorbita per unità di massa.
 $D = \text{quoziente tra l'energia media ceduta dalle radiazioni ionizzanti alla materia in un certo elemento di volume e la massa di materia contenuta in tale elemento di volume}$
 $D = \Delta E / \Delta m$
 $\text{Gy (Gray)} = \text{J (energia)} / \text{Kg (massa)}$. Un Gy corrisponde all'assorbimento di 1 Joule in 1 Kg di materia.
FATTORE QUALITA' (Q): A parità di dose assorbita il danno biologico dipende dal tipo di radiazione. Maggiore è la densità di ionizzazione e maggiore è il danno ricevuto.
 $Q = \text{fattore qualità/di ponderazione}$ (1 per fotoni, 10 per neutroni e protoni e 20 per radiazioni α).
- **Dose equivalente (H):** Sievert (Sv): è data dal prodotto tra dose assorbita e fattore di qualità ($H = D \times Q$). unità di misura è il Sievert: $\text{Sv} = \text{J/Kg}$ (0,1 per fotoni, 1 per neutroni e protoni e 2 per radiazioni α).
- **Dose efficace (E):** Sievert (Sv): considera la diversa radiosensibilità dei tessuti e organi colpiti. Somma di tutte le H medie dei vari organi e tessuti, ciascuna moltiplicata per un fattore di ponderazione w_T , che tiene appunto conto della diversa radiosensibilità degli organi e tessuti irraggiati.
 w_T su gonadi è 0,2, midollo e polmone 0,12 vescica tiroide e mammella 0,05 e cute e superfici ossee 0,01.

N.B.: la dose efficace è pari alla dose equivalente solamente quando l'irradiazione coinvolge uniformemente il corpo intero.

RADIOSENSIBILITA' SPECIFICA segue la *Legge di Bergonie e Tribondeau* che dice che la radiosensibilità di un tessuto è:

- Direttamente proporzionale alla sua attività mitotica.
- Inversamente proporzionale al suo grado di differenziazione.

Conseguenze:

- Cellule più radiosensibili sono quelle staminali.
- Radiosensibilità maggiore con elevata velocità di proliferazione cellulare e di crescita di tessuti.
- Più di una cellula è matura più è radioresistente.
- Radiosensibilità è proporzionale all'attività metabolica.

ESERCIZIO

Un paziente si 8 x 10⁴ g sottoposto ad un fascio di radiazioni γ dall'energia di 8 x 10⁴ J riceve?

- a) Una dose equivalente di 100 Gy
- b) Una dose efficace di 100 Gy
- c) Una dose equivalente di 1000 Sv
- d) Una dose assorbita di 1000 Sv
- e) Una dose assorbita di 1 Gy

SPIEGAZIONE

Dose assorbita = energia/massa = J/Kg = 8 x 10⁴/8 x 10⁴ = 1000 Gy

Dose equivalente = dose assorbita x fattore di qualità = 1000 x 1 = 1000 Sv

Risposta esatta è la C.

DANNO BIOLOGICO da RADIAZIONI IONIZZANTI

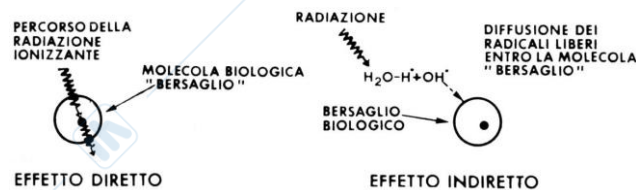
Che tipo di danni possono creare le radiazioni ionizzanti:

- **Fisico-chimico:** formazione di ioni, le molecole diventano reattive.
- **Chimico:** reazione tra le molecole reattive create e le strutture cellulari, con conseguente modificazione dell'ordine atomico.
- **Biologico:** produzione delle alterazioni cellulari. (tempi variabili).

N.B.: Stadio biologico ha tempi di manifestazione molto variabili.

MECCANISMI del danno biologico:

1. **Diretto:** le macromolecole biologiche sono bersaglio delle radiazioni di ionizzazione ed eccitazione.
2. **Indiretto:** le macromolecole biologiche sono bersaglio dei radicali liberi prodotti dall'interazione tra radiazioni e acqua.



Radicali liberi: Atomi/molecole elettricamente neutri con elettrone spaiato, sono molto reattivi. Normalmente presenti nell'organismo come intermedi/prodotti del metabolismo aerobio.

Pericolosità maggiore: OH[•] che innesca reazioni a catena provocando danni a membrane biologiche, proteine e DNA.

Esistono difese naturali dell'organismo come enzimi (il glutatione perossidasi trasforma H₂O₂ in H₂O), proteine (ferritina, lattoferrina e ceruloplasmina sottraggono ferro e rame liberi), antiossidanti non proteici come Vit. C(ac. Ascorbico) e Vit. E(α -tocoferolo) che bloccano le catene di propagazione dei radicali, sia *in vitro* che *in vivo*.

Continuo equilibrio tra produzione/eliminazione di radicali liberi con rischio di accumulo lesioni/patologie legato all'età.

Un eventuale disequilibrio provoca *stress ossidativo* che concorre alla patogenesi.

FATTORI DEL DANNO BIOLOGICO:

- Fisici: LET
- Biologici: radiosensibilità
- Chimici: sensibilizzanti VS protettori

Effetto ossigeno: in presenza di O₂ tutti i tessuti biologici sono più sensibili alle radiazioni ionizzanti.

L'O₂ riduce la dose richiesta per ottenere un determinato effetto biologico.

RADIOPROTETTORI: Sostanze che riducono di 1,5 – 2 volte l'efficacia della successiva irradiazione. Per essere efficaci devono:

- Essere presenti al momento dell'irradiazione.
- Essere molto vicini alla sede critica del danno da radiazioni.
- Contenere atomi di zolfo

Meccanismo d'azione: trasferimento di atomi di idrogeno dal gruppo sulfidrilico ai radicali liberi.

BERSAGLI:

- Proteine: provoca la rottura delle catene polipeptidiche inattivando enzimi.
- Membrana cellulare: provoca alterazioni della permeabilità.
- Lisosomi: provoca rilascio degli enzimi nella cellula causando l'apoptosi (morte della cellula).

- DNA: provoca la perdita di basi azotate, rottura di legami H, rottura dei filamenti nucleotidici con creazione di legami crociati tra 2 DNA o all'interno della stessa molecola di DNA.

N.B.: La cellula è capace di autoripararsi ma non sempre questo va per il verso giusto o in tempi adeguati. Es: assenza di riparazione prima della replicazione del DNA provoca la trasmissione del danno alle cellule figlie.

EFFETTI SULL'UOMO

In base a chi colpisce l'effetto può essere:

- Somatico: quando è irradiato l'individuo
- Genetico: quando è irradiata la progenie dell'individuo

Tempistiche di manifestazioni:

- Effetti immediati sull'individuo irradiato (somatici deterministici)
- Effetti tardivi sull'individuo irradiato (somatici stocastici)
- Effetti genetici sulla progenie (SOLO stocastici)

EFFETTI DETERMINISTICI:

- Effetti immediati e precoci, tipici di irradiazioni intense e di breve tempo di esposizione.
- Dose dipendente: gravità aumenta con l'aumentare della dose.
- Presenza di dose soglia: limite al di sotto del quale non vi sono manifestazioni cliniche.
- Reazione non lineare ma sigmoide: tutti gli individui coinvolti in un range ristretto.
- Effetti prevedibili e riproducibili sperimentalmente.

Sono stati attuati degli studi sui soggetti esposti alle radiazioni di Hiroshima e Nagasaki utilizzando la coscienza teorica delle bombe. La posizione esatta dei sopravvissuti al momento dell'esplosione gli eventuali ostacoli interposti.

TESSUTO	DOSE ESPOSIZIONE BREVE	DOSE ESPOSIZIONE PROTRATTA	EFFETTO
Testicoli	0.15	0.4	Sterilità temporanea
Testicoli	3.5-6.0	2.0	Sterilità temporanea
Ovaio	2.5-6.0	6.0	Sterilità
Cristallino	0.5-2.0	5.0	Opacità visibili
Cristallino	5.0	>8.0	Cataratta
Midollo osseo	0.5	>0.4	Ridotta ematopoiesi
Midollo osseo	1.5	>1.0	Aplasia totale

Danni deterministici alla cute:

- Irradiazione acuta: caduta dei capelli, eritema semplice, eritema bolloso, eritema ulceroso e necrosi dei tessuti.
- Irradiazione frazionata: ulcerazioni e fibrosi cutanee.
- Irradiazione cronica: radiodermite cronica, cute sottile e secca, con verruche, ispessimento irregolare dello strato corneo, dilatazione dei capillari venosi, alterazione delle unghie, stentata riparazione delle piccole riparazione cutanee. Eventuale danno stocastico: epiteloma nelle aree di tali alterazioni cutanee.

SINDROME ACUTA DA IRRADIAZIONE: Sindromi dovute a irradiazione in dose unica del corpo umano a dosi elevate. Tipologie ed effetti in ordine di gravità:

- Sindrome ematologica: riduzione cellule ematiche, caduta difese immunitarie, deficit piastrinico che causa emorragie.
- Sindrome gastroenterica: diarrea ematica, vomito, morte dopo 15 gg dall'esposizione.
- Sindrome neurologica: edema cerebrale, convulsioni, coma, morte dopo circa 2 gg dall'esposizione.

DANNI DETERMINISTICI sulla CELLULA:

- Dosi elevate: morte cellulare o inibizione della capacità riproduttiva.
- Danno subletale: lesioni insufficienti a provocare la morte cellulare.
- Recupero del danno subletale:

EFFETTI STOCASTICI:

- Effetti lenti e tardivi: lungo periodo di latenza.
- Assenza di dose-soglia: probabilistici. Ipotesi di linearità non accertata ma accettata solo come ipotesi protezionistica. Il problema di stima della dose-soglia è di tipo epidemiologico, per avere validità statistica è necessario che col diminuire delle dosi interessate, aumentare l'entità del campione.

Es: per evidenziare un aumento significativo di tumori mortali prodotti da una sola dose di 10 mGy a persona, è necessario studiare una coorte di 10 milioni di persone irradiate con quella dose.

- Solo la probabilità di decadimento è in funzione della dose (non la gravità)
- Distribuzione casuale nella popolazione esposta
- Assenza di gradualità di manifestazione con la dose ricevuta
- Frequenza maggiore con alte dosi
- Effetti imprevedibili e non riproducibili sperimentalmente
- Effetti somatici stocastici: leucemie e tumori solidi
- Effetti genetici stocastici: aborti, aumento mortalità neonatale, malattie genetiche e malformazioni.

Gli effetti stocastici danno origine a modificazione di siti del DNA secondo un meccanismo casuale. Se una radiazione attraversa un tessuto è necessario che:

- La radiazione interagisca con il tessuto
- L'interazione provochi un danno al DNA
- Tale danno non venga riparato
- La conseguenza del danno non sia la morte cellulare ma la mutazione neoplastica
- La cellula mutata non sia distrutta dai meccanismi di difesa del corpo umano
- La cellula si sviluppi in un tumore clinicamente evidente

Due tipologie di danno genetico:

- **Mutazioni genetiche puntiformi:** interessano l'unità elementare dell'ereditarietà. In questo caso la manifestazione di un gene aumenta o diminuisce o si altera. Le mutazioni genetiche possono essere:
 - Dominanti: si manifestano nella generazione immediatamente successiva.
 - Recessive: si manifestano solo nella prole che ha avuto la medesima mutazione da entrambi i genitori.
- **Mutazioni cromosomiche:** aberrazioni cromosomiche si tratta di un danno elevato alle cellule germinali. *Cromosoma:* struttura con cui, durante il processo riproduttivo della cellula, ciascuna unità funzionale di DNA, dopo essersi duplicata, si compatta associata a specifiche proteine e viene trasmessa alle cellule figlie.

Tipologie di aberrazioni cromosomiche:

 - Delezioni e duplicazioni: perdita durante la meiosi di piccoli segmenti che si inseriscono nel cromosoma omologo, in modo tale che dei due cromosomi omologhi, uno perde geni mentre l'altro ne acquista una quantità maggiore.
 - Inversioni: segmenti di cromosoma che si staccano e si inseriscono in posizione capovolta.
 - Traslocazione: scambio di materiale tra cromosomi non omologhi.
 - Poliptoidie: mancanza o aggiunta di un particolare cromosoma (es. trisomia 21/sindrome di Down) o aggiunta di uno o più corredi interi di cromosomi.

Danno da irradiazione sul feto:

- Pre-impianto (fino al 9° giorno dalla fecondazione): effetto tutto o nulla, nessuna conseguenza o morte dell'embrione per ridotto numero di cellule.
- Organogenesi (dal 9° giorno al 60° giorno): periodo di massima radiosensibilità.
- Sviluppo fetale (dal 60° giorno in poi): diminuiscono la frequenza e la gravità delle malformazioni, ma aumenta la possibilità di tumori infantili e la frequenza di incidenza di ritardo mentale dato che il cervello è radiosensibile fino al 5° mese.
- Malformazioni (SNC) compaiono con esposizione a dosi superiori a 100-200 mGy raggiungibili con radioterapia o radiologia interventistica (non raggiungibile né con 3TC pelviche né con 20 radiografie)-
- Cancro (leucemia): RR=1.4 per dosi pari a 10 mGy, equivalente ad una morte per cancro ogni 1700 esposti nei primi 15 anni di vita di feti esposti a radiazioni ionizzanti.

Rischi per donne in gravidanza esposte a radiazioni:

- 15% aborto spontaneo
- 4% ritardo di crescita intrauterina
- 4% malformazioni maggiori

EFFETTI TARGETED e ON-TARGETED

Target theory: effetto biologico scaturisce solo se determinati target cellulare sensibili sono colpiti dalle radiazioni.

- Effetto bystander: cellule non irradiate posizionate vicino a cellule irradiate mostrano effetti da irraggiamento.
- Risposta adattativa: cambiamento di suscettibilità ad una data dose di radiazione (di solito in senso protettivo) quando la cellula è stata precedentemente esposta a dosi molto piccole della stessa radiazione. Una dose precedente di bassa entità sarebbe in grado di incrementare la radioresistenza della cellula (e del tessuto) a successive esposizioni ben più elevate.

SPUNTI FINALI

Abitanti in aree con livelli di radiazione naturale doppi rispetto ai valori medi nazionale, si è osservata una diminuzione del 15% del tasso di mortalità per tumori maligni.

Nessun aumento di incidenza di tumori maligni e allungamento medio della vita residua nei sopravvissuti ai bombardamenti atomici del 1945 (esposti all'istante a dose totale non superiore a quella erogata dalla radiazione naturale in 60 anni).

Alcuni studi su lavoratori di cantieri navali nucleari americani hanno mostrato una diminuzione non significativa dell'incidenza di tumori maligni e un tasso annuale di mortalità per tutte le cause inferiore del 24% rispetto ai soggetti non esposti a radiazioni ionizzanti.

SORGENTI DI RADIAZIONE RADIAZIONI IONIZZANTI

Sorgenti artificiali:

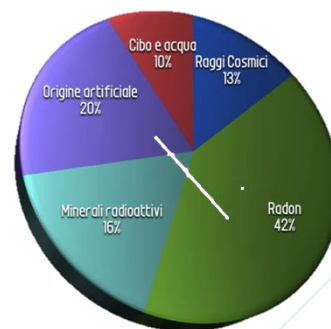
L'atmosfera produce a livello del mare una protezione equivalente a quella di uno schermo di calcestruzzo dello spessore di 4 m. il livello di dose aumenta all'aumentare dell'altitudine al ridursi dello spessore dell'aria che fa da schermo. Raddoppia a 1500 m. a 10 km di altitudine l'esposizione è 100 volte più elevata di quella a livello del mare.

Sorgenti naturali:

- Radiazione cosmica prodotta dall'interazione tra raggi cosmici e particelle dell'atmosfera.
- Cibo e acqua: carbonio 14, potassio 40
- Rocce e metalli: radon

Dosi medie: 2,4 mSv annua di dose efficace, fino a picchi di 50 mSv.

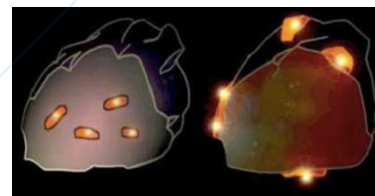
N.B.: la radiazione di fondo naturale fornisce una dose efficace media annua di 2,4 mSv, con un tipico range di 1-13 mSv. Gruppi significativi di popolazione raggiungono i 10-20 mSv, fino a picchi di oltre 50 mSv.



RADON

NATURA FISICA:

È un gas incolore, inodore, insapore e inerte. Deriva da 3 famiglie radioattive e possiede 3 isotopi: Rn 219, Rn 220 e Rn 222. Presente nel sottosuolo in maniera ubiquitaria. È l'unico figlio delle famiglie radioattive ad essere in forma gassosa.



Le rocce con una maggiore quantità di Radio o Uranio (quali Tufo, graniti e porfido) possono emanare una maggiore quantità di Rn. Permeabilità e fratture nelle rocce facilitano l'emanazione di Rn. L'emanazione del Rn avviene solo nel caso in cui si produca sulla superficie del minerale, altrimenti il gas rimane bloccato al suo interno.

RADON: RISCHI PER LA SALUTE: TUMORE POLMONARE

La causa non è il Radon stesso ma i figli del decadimento del Radon che si legano al particolato atmosferico il quale entra e si deposita nei polmoni continuando a decadere.

In Italia 4000 casi di tumore polmonare ogni anno. Fumo + Rn = rischio aumenta di 15 volte.

ESPOSIZIONE AL RADON:

- Esposizione indoor: concentrazione in ambienti chiusi
- Variazione temporale, concentrazioni maggiori durante neve e pioggia (occlusione del suolo = gas spinto verso le abitazioni), inverno (differenza di temperatura tra dentro l'abitazione e fuori richiama il gas all'interno) e periodo diurno invernale.
- Variabilità spaziale: tipologia di suoli, luoghi impermeabilizzati (asfalto e cemento hanno lo stesso effetto della pioggia), fondamenta di abitazione oltre gli strati di argilla.

Situazione italiana abitazioni:

nel mondo la concentrazione media stimata di Radon nelle abitazioni è di 40 Bq/m³.

L'Europa presenta una concentrazione media di radon superiore a quella mondiale: 59 Bq/m³

L'Italia presenta una concentrazione media di Radon superiore rispetto a quella Europea: 70 Bq/m³

Il FVG presenta una concentrazione media di Radon superiore rispetto a quella italiana: 99 Bq/m³

Normativa luoghi di lavoro:

- D. Lgs. 241/2000: entro 3 mesi dall'inizio dell'attività (lavori interrati, zone a rischio Rn, stabilimenti termali) si esegue una campagna di misure con stesura di relazione finale.

3 casi di misurazioni:

- $Rn < 400 \text{ Bq/m}^3$: si attua la misurazione solo in caso di modifica dell'attività.
- $400 \text{ Bq/m}^3 < Rn < 500 \text{ Bq/m}^3$: misurazione con cadenza annuale.
- $Rn > 500 \text{ Bq/m}^3$: si attua una valutazione della dose efficace (E) dei lavoratori, se:
 - $E < 3 \text{ mSv/y}$: obbligo risolto.
 - $E > 3 \text{ mSv/y}$: azioni di misura e nuove misurazioni.

Se la dose efficace persiste superiore a 3 mSv/y si applicheranno ulteriori azioni e sorveglianze fisiche e sanitarie.

AZIONI DI RIMEDIO:

- Membrane anti-Rn (più a scopo preventivo)
- Sigillazione di crepe e fessure
- Aumento dei ricambi d'aria nei locali dei piani inferiori
- Depressurizzazione (ventilazione/aerazione da pozzetti o vespai)
- Pressurizzazione del suolo (depressurizzazione ma a flusso contrario)

NORMATIVA RADIAZIONI IONIZZANTI

OBIETTIVI: prevenzione degli effetti deterministici e limitazione degli effetti stocastici.

ICRP (International Commission on Radiological Protection): organizzazione professionale non-governativa fondata nel 1928 dall'International Congress of Radiology, impegnata nella protezione degli esseri umani dai rischi delle radiazioni ionizzanti.

D. Lgs 230/1995: in materia di radiazioni ionizzanti.

D. Lgs 187/2000: protezione sanitaria delle persone contro i pericoli della radiazione ionizzante connesse ad esposizioni mediche.

PRINCIPI DI RADIOPROTEZIONE -ICRP

Al fine di garantire nella maniera più efficace la protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori e la protezione dell'ambiente dalle radiazioni ionizzanti, devono essere rispettati i seguenti principi generali:

1. **Giustificazione dell'esposizione:** il beneficio netto di una pratica deve essere maggiore del danno di radiazioni. Tutte le applicazioni devono essere giustificate, anche le più piccole ed è vietata l'esposizione non giustificata. I tipi di attività che comportano esposizione alle radiazioni ionizzanti devono essere preventivamente giustificate e periodicamente riconsiderati alla luce dei benefici che da essi derivano. Conseguenze: necessità di analisi rischio/beneficio, necessità di valutare i possibili benefici ottenibili dalle radiazioni, la valutazione dei rischi richiede la conoscenza delle dosi ricevute dalle persone.
2. **Ottimizzazione della protezione:** le esposizioni e la probabilità di esposizione devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali. Fare il meglio possibile nelle condizioni prevalenti. Quando si impiegano le radiazioni ionizzanti, l'esposizione deve essere ottimizzata al fine di minimizzare ogni possibilità di detrimento.

Livello da raggiungere = ALARA (As Low As Reasonable Achievable): Ciò significa che l'esposizione alle radiazioni dovrebbe essere limitata il più possibile tenendo presente la relazione rischio-beneficio della radiazione e delle sue applicazioni. Ad esempio, è irragionevole rifiutare una radiografia dopo una frattura ossea perché statisticamente questo può ridurre l'aspettativa di vita di un giorno. I benefici della radiografia con il suo valore diagnostico superano di gran lunga il rischio associato all'esposizione alle radiazioni.

3. **Limitazione delle dosi:** si devono porre dei limiti di dose al fine di garantire che nessun individuo incorra in rischi inaccettabili in circostanze normali.

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

NB: nessun limite per le esposizioni mediche dei pazienti in quanto si presuppone che i benefici per i pazienti superino sempre i rischi.

Integrazione con l'ottimizzazione, l'obiettivo non è (solo) il rispetto dei limiti, ma ottenere un livello ALARA.

Presupposto: protezione delle persone a tutte le dosi delle radiazioni ionizzanti, in quanto si assume in generale che persino dosi molto piccole possano essere potenzialmente dannose (ipotesi lineare senza soglia).

Noi viviamo con 1-3 mSv/y, ma 4000 mSv possono uccidere.

N.B: D. Lgs. 230/95 – Sorveglianza Medica: Testo normativo fondamentale in materia di protezione sanitaria contro il rischio derivante dall'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti.

Strumenti operativi:

- Sorveglianza fisica: classificazione delle zone di lavoro e dei lavoratori.
- Sorveglianza medica: sorveglianza sanitaria.
- Vigilanza: ARPA (agenzia regionale per la protezione dell'ambiente), ministero del lavoro, organi SSN.

Esperti qualificati

l'esperto qualificato è colui che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione.

Le funzioni dell'esperto qualificato non possono essere assolte dal datore di lavoro né dai dirigenti che dirigono l'attività disciplinare, né dai preposti che ad essa sovrintendono, né dagli addetti alla vigilanza.

Il datore di lavoro deve assicurare la sorveglianza fisica per mezzo di esperti qualificati.

Il titolo base per la formazione dell'esperto qualificato: lauree o diplomi universitari (lauree brevi) in fisica, chimica, chimica industriale + tirocinio di 120 giorni lavorativi con un esperto qualificato.

Attribuzioni dell'esperto qualificato:

- Effettua la valutazione di radioprotezione citate dall'art. 61 e fornisce indicazioni al datore di lavoro nell'attuazione dei relativi compiti.
- Effettua l'esame e la verifica delle attrezzature, dei dispositivi e degli strumenti di protezione, ed in particolare:
 - Procedo all'esame preventivo e rilascia il relativo benestare, dal punto di vista della sorveglianza fisica, dei progetti di installazioni, dell'ubicazione e delle loro eventuali modifiche.
 - Effettua la prima verifica dal punto di vista della sorveglianza fisica di nuove installazioni e delle loro eventuali modifiche.
 - Esegue la verifica periodica dell'efficacia dei dispositivi e delle tecniche di radioprotezione.
 - Effettua la verifica periodica delle buone condizioni di funzionamento degli strumenti di misurazione.
- Effettua una sorveglianza ambientale di radioprotezione nelle zone controllate e sorvegliate.
- Valuta le dosi dei lavoratori esposti.
- Assiste il datore di lavoro nell'individuazione e nell'adozione delle azioni da compiere in caso di incidente:
 - Progettazione
 - Classificazione
 - Monitoraggio

lavoratore

lavoratore esposto: persona sottoposta, per l'attività che svolge, ad una esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico.

I lavoratori che non sono suscettibili di un'esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore a detti limiti sono da classificare come lavoratori non esposti.

Limiti di dose

target	Limite di dose efficace	Limite di dose equivalente - cristallino	Limite di dose equivalente – estremità – cute (dose media su 1 cm*2)
Popolazione	1	15	50
Lavoratore cat. B	6	45	150
Lavoratori cat. A	20	150	500

Potazione del personale: il personale può ruotare solo tra attività con lo stesso grado di esposizione, usando sempre lo stesso dosimetro. In caso contrario gli operatori devono essere riclassificati.

target	Limite di dose efficace	Limite di dose equivalente - cristallino	Limite di dose equivalente – estremità – cute (dose media su 1 cm*2)
Apprendisti studenti > 18 y	1	15	50
Apprendisti studenti 16–18 y (con studi/professione in cui saranno necessariamente esposti a RI)	6	50	150
Apprendisti studenti 16-18 y	0.5	7.5	25
Apprendisti studenti < 16	0.5	7.5	25

Disposizioni particolari per le lavoratrici: le donne festanti non possono svolgere attività in zone classificate o, comunque, attività che potrebbero esporre in nascituro ad una dose > 1 mSv durante il periodo di gravidanza.

È fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione non appena accertato.

È vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.

Classificazione zone di lavoro

- Zona controllata (A): ogni area che espone i lavoratori che vi accedono ad un rischio di superamento di:
 - E: 6 mSv/y
 - H cristallino: 45 mSv/y
 - H cute: 150 mSv/y
- Zona sorvegliata (B): ogni area che espone i lavoratori che vi accedono ad un rischio di superamento di:
 - E: 1 mSv/y
 - H cristallino: 15 mSv/y
 - H cute: 50 mSv/y

Sorveglianza medica

- Lavoratori Cat. A: Visita semestrale da parte di medico autorizzato iscritto in elenchi nominativi presso l'Ispektorato medico centrale del lavoro.
- Lavoratori Cat. B: Visita annuale da parte di medico autorizzato o medico competente.

D. Lsg. 187/2000: attuazione della direttiva europea 97/43/Euratom in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche.

Esposizioni mediche

- Esposizione di pazienti nell'ambito della rispettiva diagnosi o trattamento medico.
- Esposizione di persone nell'ambito della sorveglianza sanitaria professionale.
- Esposizione di persone nell'ambito di programmi di screening sanitario.
- Esposizione di persone sane o di pazienti che partecipano volontariamente a programmi di ricerca medica o biomedica, in campo diagnostico o terapeutico.
- Esposizione di persone nell'ambito di procedure medico-legali.
- Esposizione di coloro che volontariamente assistono le persone sottoposte ad esposizioni mediche.

Impatto indagini radiologiche

Indagini radiologiche tradizionali	Dose efficace (mSv)	Equivalenza in radiografie toraciche	Tempo equivalente di irradiazione dal fondo naturale
Torace	0.02	1.0	2,2 giorni
Cranio	0.07	3.5	7 giorni
Bacino	0.7	35.0	2 mesi e 17 giorni
Colonna dorsale	0.7	35.0	2 mesi e 17 giorni
Addome	1.0	50.0	3 mesi e 20 giorni
Colonna lombare	1.3	65.0	4 mesi e 23 giorni
Clisma opaco	7.0	350.0	2 anni

Impatto indagini TAC

Indagini TAC	Dose efficace (mSv)	Equivalenza radiografie al toraciche	Tempo equivalente di irradiazione dal fondo naturale
Cranio	1.7	85	6 mesi
Colonna cervicale	1.7	85	6 mesi
Colonna dorsale	4.4	220	1 anno e 4 mesi
Colonna lombare	5.1	255	1.5 anni
Torace	7.7	385	2 anni e 4 mesi
Addome	7.8	390	2 anni e 4.5 mesi
pelvi	8.8	440	2 anni e 8 mesi

Gli attori

- Esercente: datore di lavoro, responsabile dell'attività.
- Responsabile dell'impianto radiologico (RIR): medico di radiodiagnostica/radioterapia/medicina nucleare individuato dall'esercente.
- Medico specialista: medico chirurgo o l'odontoiatra che ha titolo per assumere la responsabilità clinica per le esposizioni mediche.
- Esperto in fisica medica: agisce/consiglia sulla dosimetria dei pazienti, sullo sviluppo/impiego di tecniche, sulla garanzia di qualità.

Gli strumenti

- Garanzia della qualità: azioni programmate e sistematiche intese ad accertare con adeguata affidabilità che un impianto o un procedimento funzionerà in maniera soddisfacente conformemente agli standard stabiliti.
- Livelli diagnostici di riferimento (LDR): livelli di dose o di attività somministrata nelle pratiche diagnostiche per esami tipici per gruppi di pazienti di corporatura standard e per tipi di attrezzatura definiti.

Attrezzature

- Le regioni concedono le autorizzazioni all'installazione (programmazione regionale).
- Inventario delle apparecchiature a cura dell'esercente.
- Il RIR avvalendosi dell'EFM, provvede all'istruzione di programmi di garanzia di qualità (controllo qualità + valutazione delle dosi al paziente) ed all'effettuazione di prove di accettazione e di stato, emettendo un giudizio di idoneità dell'apparecchiatura all'uso clinico.
- In caso di un'attrezzatura radiodiagnostica di nuova installazione, questa deve essere munita, se fattibile, di un dispositivo che informi lo specialista circa la quantità di RI prodotte nel corso della procedura.

Procedure

- Protocolli scritti per ciascun tipo di radiologica standardizzata.
- Verifica biennale dei LDR da parte del RIR con risultati riportati in apposito registro scritto. In caso di superamento costante dei LDR, il RIR lo segnala all'esercente che adotta gli interventi correttivi necessari per conformarsi alle linee guida.

Principio di giustificazione

Vietata l'esposizione non giustificata. Se un tipo di pratica che comporta un'esposizione medica non è giustificata, può essere giustificata invece per il singolo individuo in circostanza da valutare caso per caso.

Vietata l'esposizione di assistenti volontari di età inferiore ai 18 anni o con gravidanza in atto.

Destinatari: medico prescrivente e medico specialista, per la valutazione dei potenziali vantaggi diagnostici/terapeutici e dei danni da RI, tenendo conto di tecniche alternative con esposizione minore o nulla.

Per i volontari:

l'esposizione è giustificata se i volontari (non lavoratori):

- Collaborano a posizionare o a sorreggere pazienti, nel caso di esami radiodiagnostici.
- Accolgono, assistono e confortano pazienti portatori di radioattività a seguito di trattamento radioterapico.
- Accolgono, visitano, assistono e confortano pazienti portatori di radioattività a seguito di trattamento radioterapico.

È vietata l'esposizione di assistenti volontari di età inferiore di 18 anni o con gravidanza in atto.
Ci sono dei vincoli di dose efficaci per ogni prestazione diagnostica nell'arco di un ciclo terapeutico:

- 3 mSv per adulti di età < 60 anni.
- 10 mSv per adulti di età > 60 anni.

Principio di ottimizzazione

Livello più basso ragionevole ottenibile ALARA, compatibilmente con l'informazione diagnostica richiesta.
Eccezione: radioterapia (programmazione individuale dosi ALARA)

Elementi:

- scelta delle apparecchiature
- programmi di garanzia di qualità (controllo qualità)
- verifica biennale LDR
- produzione di un'adeguata informazione diagnostica o di un adeguato risultato terapeutico
- delega degli aspetti pratici
- valutazione delle dosi dei pazienti

Per i volontari:

l'esposizione deve limitarsi a casi di stretta necessità e devono essere scoraggiate le esposizioni ripetute o abituali.

- Indagini radiologiche: TSRM che segue l'esame fornisce presidi radioprotezionistici (camici piombati. Guanti...) per proteggere chi presta assistenza.
- Radionuclidi: medico nucleare o radioterapista, prima della dimissione dalla struttura, fornisce al paziente o al suo tutore legale istruzioni scritte volte a ridurre le dosi per le persone in diretto contatto con il paziente, nonché le informazioni sui rischi delle radiazioni ionizzanti.

N.B.: rischi ridotti per diagnosi, rilevanti per terapie.

Formazione

Il personale che opera in ambiti professionali direttamente connessi con l'esposizione medica deve seguire corsi di formazione con periodicità quinquennale.

Nell'ambito della formazione continua di cui all'art. 16-bis del D.Lgs. 502 del 1992 è previsto un programma in materia di radioprotezione.

Protezione gravidanza e allattamento

Medico specialista e medico prescrivente fanno un'anamnesi per sapere se la donna è in stato di gravidanza e si informano, nel caso di somministrazione di radiofarmaci, se allatta al seno.

Particolare attenzione alla giustificazione delle dosi > 1 mSv, considerando la possibilità di procrastinare l'indagine o il trattamento. Nel caso in cui l'indagine diagnostica o la terapia non possano essere procrastinate, il medico specialista informa la donna dei rischi derivanti all'eventuale nascituro.

Esercente: esposizione di cartelli e avvisi al paziente.

Procedura: indagine per donne in età fertile contenute il più possibile entro i primi 10 giorni seguenti una mestruazione comprovata e comunque non oltre 25 giorni dopo l'ultima mestruazione.

APPLICAZIONI SANITARIE

RADIAZIONI IONIZZANTI

1. **Radiologia tradizionale:** utilizzo dei raggi X a scopo diagnostico.
2. **Medicina nucleare:** utilizzo di radiofarmaci a scopo sia diagnostico che terapeutico.
3. **Radioterapia:** utilizzo di radiazioni a scopo terapeutico.

Tubo radiogeno

Ampolla di vetro in cui è stato creato il vuoto e sono inserite due piastre metalliche affacciate, dette elettrodi (catodo e anodo). Il catodo viene riscaldato emettendo elettroni (effetto termoionico) i quali, a causa della differenza di potenziale tra catodo (negativo) e anodo (positivo), si muovono verso l'anodo con una velocità proporzionale alla tensione applicata ai due elettrodi.

Gli elettroni impattano sull'anodo creando dei raggi X di frenamento, a cui si aggiungono raggi X caratteristici del metallo su cui è costituito l'anodo.

Es: se per far funzionare un tubo radiogeno è necessaria, un'alimentazione di 80 keV, l'energia dei raggi X è di 80 keV.

N.B.: emissione di radiazioni ionizzanti solo a macchina accesa.

Elementi macchine radiogene:

- Cuffia o guaina: contenitori volti sia ad orientare i raggi X in punti precisi, sia a limitare la dispersione di RI non utili all'esame.
- Generatore di alta tensione: produzione e controllo di energia elettrica per il funzionamento della macchina radiogena.
- Tavolo di comando: organo per la regolazione e il controllo dell'emissione delle RI e dei dati di esposizione.

Parametri principali:

- Valore dell'alta tensione
- Durata dell'esposizione
- Valore della corrente del filamento
- Intensificatori di brillantezza: dispositivi elettronici che elaborano i segnali in uscita a condizioni favorevoli per l'occhio umano.

Meccanismo generale imaging

Interazioni tra raggi X e materia: se nel percorso dei raggi si interpongono un ostacolo e una pellicola, su quest'ultima viene registrata l'ombra della struttura in esame.

L'interazione dipende dall'intensità e dal numero atomico (Z) degli ostacoli:

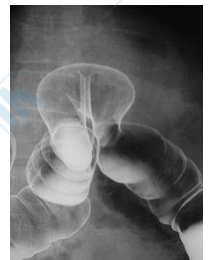
- Bassa densità (polmone): passaggio più facilitato delle RI, annerimenti più consistenti.
- Alta densità e Z (ossa), maggiore assorbimento di RI, pellicole più chiare.

Mezzi di contrasto (MdC)

Sostanze che modificano la densità di alcune strutture corporee e quindi la loro capacità di interagire con il fascio fotonico. Si rendono visibili cavità (vasi sanguigni, organi) rispetto a tessuti limitrofi.

MdC positivi radiopachi con alto Z.

MdC negativi radiotrasparenti.

**RADIOLOGIA TRADIZIONALE**

- Stativo (attrezzatura medica che serve a fissare) a colonna: struttura tubolare, alta circa 2,50 m, che, grazie ad un binario posto sul pavimento, può eseguire un movimento di traslocazione lungo l'asse maggiore del lettino porta-paziente. Sulla colonna è montato un carrello che consente al tubo radiogeno un movimento verticale, mentre un braccio orizzontale permette lo spostamento del tubo Rx in senso ortogonale al movimento dello stativo.
- Stativo pensile: accessorio porta-tubo Rx fissato al soffitto mediante rotaie. Tubo Rx montato su un sistema che ne permette la rotazione di 360° lungo gli assi verticale, orizzontale ed assiale. Caratterizzato da una maggiore flessibilità e permette variegati movimenti.
- Ortopantomografo: apparecchio per la rappresentazione simultanea di entrambe le arcate dentarie. Braccio rotante che supporta da un lato la sorgente radiogena, dall'altro un tamburo contenente la pellicola. Rotazione pseudo ellittica per seguire la morfologia dell'arcata dentaria.
- Mammografo: utilizzato per attività di screening del tumore al seno. Due protezioni per ogni mammella (dall'alto e di lato) 4 radiografie. Per migliorare la qualità delle immagini e ridurre le dosi di radiazioni assorbite, la mammella viene compressa tra due piatti plastificati. Riduzione del volume da irraggiare e aumento della superficie di immagine.
- Apparecchiature portatili: utilizzato per esami radiografici al letto del paziente. Radiologia domiciliare è un'importante opportunità per gli anziani, i malati oncologici, i disabili, i grandi obesi e i malati con gravi alterazioni psichiche, o comunque difficilmente trasportabili.
- Fluoroscopia: differisce dagli esami radiografici tradizionali in quanto l'immagine prodotta dai raggi X viene vista in tempo reale. Rilevatore è un intensificatore di immagine accoppiato ad una videocamera e ad uno schermo TV. Utilizzo diffuso in radiologia interventistica.

Problemi diagnostici raggi x

Per impressionare una pellicola fotografica (nitrato di argento) con un'immagine utilizzabile, l'esposizione ai raggi x deve essere sufficientemente intensa.

L'elevata intensità dei raggi X non permette l'esame dei tessuti molli che vengono attraversati dalle radiazioni.

La radiografia produce un'immagine bidimensionale. Così, un tumore a forma di uovo può formare un'immagine ovale o circolare a seconda dell'angolazione con cui è investito dai raggi X (si pensi alle varie angolazioni con cui si può affettare un uovo sodo).

Per superare la seconda e la terza limitazione, si dovrebbero ottenere più immagini con maggiori particolari distinguibili e diverse angolazioni.

Tomografia computerizzata (TC)

Fornisce un'immagine della sezione di una zona anatomica tramite un fascio collimato di raggi X emesso da un tubo radiogeno in rotazione attorno all'asse del paziente.

Le radiazioni emergenti sono raccolte da rilevatori (no lastre) che inviano i segnali ad un computer che ricostruisce, in una scala di tonalità di grigi, i valori di densità dei tessuti attraversati dai raggi X. Alta risoluzione per oggetti a basso contrasto, per i quali la radiologia tradizionale non è sempre ottimale.

Dosi al paziente più elevate rispetto alla radiologia tradizionale, ma sempre concentrate nella zona d'esame.



Mineralometria ossea computerizzata (MOC)

Apparecchiatura per misurare il contenuto di minerale osseo dell'apparato scheletrico. Utilizzato per la diagnosi di condizioni patologiche di osteoporosi.

Principio: assorbimento del fascio proporzionale alla densità ossea. Si tratta di apparecchi a raggi X ma non solo (ultrasuoni con minore potere diagnostico).

Ultrasuoni



Onde di tipo meccanico che necessitano di un mezzo per propagarsi.

Applicazione storica: sonar.

Uso sanitario: ecografia.

Tecnica di diagnostica basata sugli echi riflessi prodotti da un fascio di ultrasuoni che attraversa un organo o un tessuto.

N.B.: nessuna esposizione a radiazioni ionizzanti.

MEDICINA NUCLEARE DIAGNOSTICA

Procedure medico-nucleari "in vitro" (dosaggio radioimmunologico o RIA = Radio Immuno Assay ad es. nella diagnosi di diabete 1 per marcare anticorpi anti-insulina) e "in vivo".

Dopo la somministrazione al paziente di un radionuclide, lo studio della sua distribuzione e localizzazione fornisce informazioni funzionali e/o metaboliche.

A differenza della radiologia convenzionale, che fornisce informazioni morfologiche (quale forma ha un organo/struttura), la medicina nucleare è la tecnica di imaging funzionale, fornisce informazioni su come funziona l'organo/struttura.

Tecniche che consentono di monitorare la funzione degli organi a livello molecolare, rivelando così cambiamenti nello stato di salute che altre modalità diagnostiche non sono in grado di mostrare.

Radiofarmaco

Farmaco che, contenendo uno o più radionuclidi, può essere seguito durante il suo specifico percorso biologico tramite apposite strumentazioni (gamma camera) che rilevano la radioattività.

Forniscono informazioni sul metabolismo e sulla funzione degli organi nei quali il farmaco viene elettivamente captato.

Se il radiofarmaco ha la proprietà di fissarsi specificamente nelle cellule tumorali esso diventa anche radioterapeutico.

Scintigrafia: Somministrazione del radiofarmaco (es. metildifosfonati marcati con tecnezio in scintigrafia ossea). Il radiofarmaco nel corpo del paziente emette raggi γ rilevati da cristalli scintillatori (es. ioduro di sodio con impurità di tallio che li convertono in fotoni di luce visibile ovvero le scintille).

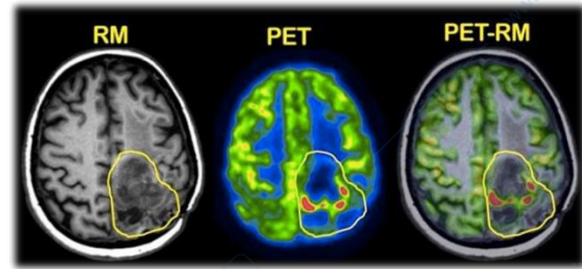
Fotomoltiplicatori trasformano i fotoni in impulsi elettrici, che intervengono ricostruiti in immagini analoghe.

PET (Positron Emission Tomography)

Inserimento nel paziente di radioisotopi di elementi emettitori di raggi $\beta + e -$ con breve emivita e con prodotto stabile (F18, C11, N13, O15). F18 incorporato con glucosio forma il fluorodesossiglucosio che raggiunto il sito decade.

I positroni emessi intercettano elettroni di atomi limitrofi generando annichilazione (molte coppie di fotoni γ con direzioni opposte).

I fotoni vengono letti da una gamma camera circolare intorno al paziente.



PET RM

Scansione con tomografo ibrido PET/RM che dimostra la sinergia di metodiche di tomografia ad emissione di positroni (PET) e risonanza magnetica (RM).

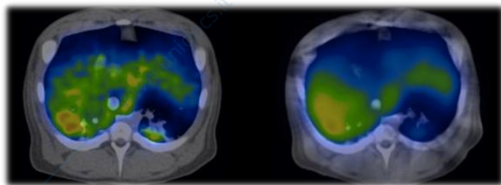
La PET con 18F-FDG mostra un'area di maggiore metabolismo del tracciante (aree rosse) all'interno della neoplasia delineata dalla RM (linea gialla) indice di maggiore malignità.

SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)

Meno costose ma anche meno precise della PET. L'emissione γ utilizzata nella SPECT è un'emissione diretta (non indotta) e prende il nome di emissione di fotone singolo.

Radioisotopo più utilizzato: Tecnezio 99m γ -emittente con $T_{1/2} = 6 \text{ h}$

Neuroimaging funzionale: Tc99m-HMPAO, capace di superare la barriera emato-encefalica e rilevare flusso sanguigno cerebrale (ictus).



RADIOTERAPIA

Utilizzo di radiazioni ionizzanti nella terapia di patologie tumorali.

Principio: distruzione delle cellule tumorali cercando di risparmiare quelle sane.

Le radiazioni sono dirette contro la massa tumorale e danneggiano in particolare le cellule cancerogene che in questo modo non riescono più a proliferare: il tumore così trattato non è più in grado di crescere e si riduce progressivamente.

Può accadere che alcune cellule sane, vicine alla zona malata, siano colpite dalle radiazioni, rispetto alle cellule tumorali le cellule sane sanno riparare meglio i danni da radiazioni, tuttavia rimane il rischio stocastico.

Frazionamento della dose in radioterapia

- Cicli/sedute di radioterapia, non una singola dose ma più dosi frazionate.
- Diminuzione pendenza curva di sopravvivenza cellulare.
- Comparsa di più spalle.
- Dose finale superiore rispetto alla dose singola.

5 R della radioterapia

- **Riparazione del danno sub-letale:** cellule late responders (tessuti sani) hanno maggiori capacità di riparazione dei danni sub-letali rispetto ai tessuti acute responders (tumori in genere). Si preservano quindi i tessuti sani rispetto ai tessuti tumorali.
- **Ripopolamento tissutale:** una popolazione cellulare irradiata può rispondere aumentando la proliferazione cellulare. Evidente nei tessuti sani a rapida cinetica, con entità del danno ridotta. In tumori ad elevata cinetica proliferativa l'efficacia terapeutica può diminuire.
- **Riossigenazione:** tra una dose e l'altra avviene una riossigenazione delle aree ipossiche (tipiche tumori) conseguente alla morte ed eliminazione delle cellule tumorali ben ossidate uccide dalla dose precedente. Nella dose successiva si riesce quindi a colpire le cellule tumorali che precedentemente avevano resistito al trattamento.
- **Redistribuzione:** le fasi del ciclo cellulare più radiosensibili sono la M e la G2 per cui una dose di RI elimina selettivamente le cellule che si trovano in dette fasi del ciclo cellulare. Ciò provoca un'iniziale sincronizzazione delle cellule, che tuttavia si desincronizzano tra una frazione e l'altra. In questo modo la frazione successiva ha minore probabilità di incontrare popolazioni radioresistenti.
- **Reclutamento:** delle cellule staminali.

Radiosensibilità: il frazionamento protegge tessuti con basso α/β ratio, dove prevale il danno sub-letale riparabile (tessuti sani). Inoltre l'uso di dosi maggiori per seduta è più dannoso per i tessuti con basso α/β ratio.

NB: Se α/β ratio di un tumore è superiore a quello del tessuto normale, preferibile dose minore per frazione (iperfrazionamento, applicabile ad esempio a carcinomi squamocellulari testa/collo).

NB: Se α/β ratio di un tumore è uguale o inferiore a quello del tessuto normale, preferibile dose più alta per frazione (ipofrazionamento, applicabile ad esempio al tumore della prostata e al melanoma).

Protocolli frazionamento radioterapia

- Standard: 5 frazioni a settimana di 2 Gy ciascuna.
- Iperfrazionamento: 3-4 frazioni a settimana di 2,5-3 Gy ciascuna.
- Frazionamento multiplo quotidiano: 2 frazioni al giorno per 5 giorni a settimana.
 - Iperfrazionamento: 1,15-1,2 Gy ogni frazione.
 - Frazionamento accelerato: 1,5-1,6 Gy ogni frazione.
- Unica dose singola: in radiochirurgia (anche 21 Gy a seduta intraoperatoria).

Obiettivi

- **Radioterapia radicale:** eliminare completamente il tumore.
- **Radioterapia palliativa:** alleviare alcuni sintomi provocati dal tumore.
- **Radioterapia preoperatoria:** diminuire le dimensioni del tumore per agevolare l'operazione chirurgica e per ridurre il rischio che le cellule malate si diffondano durante l'intervento.
- **Radioterapia postoperatoria:** aumentare la probabilità di eliminare ogni residuo del tumore.
- **Radioterapia intraoperatoria (IORT):** ottimizzare la chirurgia ed eliminare il rischio di infiltrazioni microscopica.
- **Radioterapia total body (TBI):** distruzione delle cellule di leucemie o linfomi per preparazione del paziente a trapianto di midollo osseo.

Radioterapia esterna

Utilizzo di fasci di raggi X-elettroni ad alta energia (acceleratori lineari) o di raggi γ prodotti da sorgenti radioattive (Cobaltoterapia).

Radioterapia ad intensità modulata (IMRT): fasci multipli di diversa intensità da depositare in differenti punti della sede del trattamento.

2 tipi: stereotassica o radiochirurgica.

Radioterapia interna

Trattamento con sostanze radioattive (metalli o liquidi) introdotte nell'organismo che rilasciano RI direttamente sul tumore.

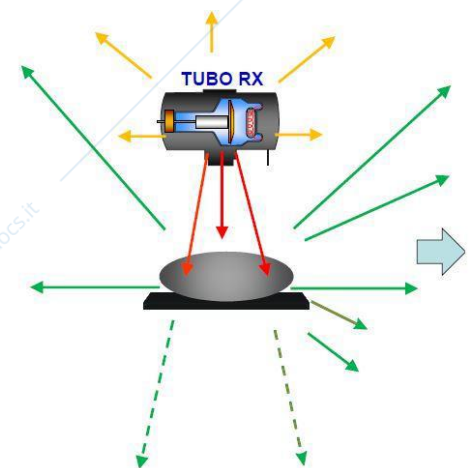
Modalità:

- Brachiterapia endocavitaria: ingresso= cavità naturali (utero, cavo orale)
- Liquidi radioattivi (radioterapia metabolica): al paziente viene fatto assumere uno speciale liquido radioattivo, o lo si inietta direttamente nel circolo sanguigno, in modo che venga assorbito e raggiunga il tumore. Il materiale radioattivo si lega selettivamente solo al tessuto tumorale, senza danneggiare i tessuti sani (iodio radioattivo per tumore alla tiroide).
- Brachiterapia interstiziale: inserimento di metallo radioattivo impiantati nel tumore con un intervento chirurgico mini-invasivo.

N.B.: il paziente emette radiazioni ionizzanti.

FONTI DI RISCHIO

1. **Fascio primario** (detto anche diretto): è il campo più intenso che investe il paziente.
fonte di rischio più rilevante, l'intensità dipende in maniera lineare dalla corrente, dal tempo di esposizione o dal carico applicato al tubo radiogeno. L'intensità dipende in maniera sovralineare dalla tensione (kVp) impostata sul tavolo di comando.
2. **Radiazione di fuga:** è quella che può uscire dalla guaina se questa non è a tenuta.
Radiazione emergente dalla cuffia/guaina. Limiti in base al tipo di apparecchiatura e per macchina di radiodiagnostica specialistica: 1 mGy per ora di funzionamento a 1 m.



3. **Radiazione diffusa:** è quella che diffonde dall'interazione tra il fascio primario ed il paziente. Si propaga in tutte le direzioni in modo uniforme. Meno intenso del fascio primario (<0.1%) ma è fonte di rischio più rilevante per attività che necessitano di stazionare in prossimità del paziente.

Sicurezza passiva

- Progettazione e dimensioni delle sale radiologiche, per sfruttare il fattore distanza e la schermatura per i locali adiacenti.
- Dispositivi tecnici di protezione: segnalatori luminosi indicanti l'erogazione di raggi, segnaletica di sicurezza, microswitch inibitori dell'emissione dei raggi a porte aperte, porte dotate di molla di ritorno.
- Corretta classificazione delle aree di lavoro (regolamento accessi) e personale.
- Verifiche periodiche dei dispositivi tecnici di protezione.
- Dispositivi di sicurezza:
 - Protezione contro l'azionamento involontario.
 - Segnalazioni acustiche per raggiungimento tempo di scopia superiore alla norma.
 - Sistemi digitali di stop dell'immagine.
 - DPI e DPC: dispositivi di protezione individuale e collettiva.

Tipologia di schermi

- Radiazioni α : se la sorgente è esterna al corpo umano, rischio quasi impossibile di irraggiamento.
- Radiazioni β : frenamento, schermo di materiale leggero (plexiglass).
- Radiazioni γ : schermo di materiale pesante (Pb) di spessore idoneo.
- Grembiule anti-X: grembiule in gomma piombifera di spessore 0.25 mm riduce da 10 a 20 volte la dose assorbita.
- Cinture per camici anti-X: sollevano il peso del grembiule e forniscono un valido supporto al rachide lombare.
- Occhiali anti-X: porta a livelli trascurabili la dose assorbita dal cristallino.
- Visiera anti-X: in acrilico impregnate di piombo, inclinabili per ridurre le radiazioni diffuse filtranti dal basso. 2 tipi: visiera panoramica per la parte superiore del viso e maschera panoramica per protezione totale del viso.
- Collari anti-X: specifici per la protezione della tiroide, del timo e della parte superiore dello sterno. Hanno l'allacciatura posteriore regolabile di solito con velcro.
- Guanti attenuatori di radiazioni: flessibili, forniscono protezione, permettono la libertà di movimento e la sensibilità tattile.

Schermature mobili

È possibile ridurre la dose agli operatori impiegando dispositivi di protezione collettiva (DPC) come:

- Tendine anti-X sotto tavolo.
- Barriere mobili opportunamente sgommate, montate su rotelle.
- Tendine in gomma anti-X asportabili da applicare sul complesso tubo-guaina.
- Barriere pensili montate a soffitto.
- Grembiuli anti-x iposcopici: schermi di protezione inferiore da applicare ai tavoli operatori, la parte superiore serve per la protezione da radiazioni diffuse causate dal corpo del paziente. La parte inferiore serve la protezione per le radiazioni diffuse propagate al di sotto del tavolo operatorio.

Fattori intensità irradiazione

- Schermature: ostacolo tra sorgente e punto di interesse, in base al tipo di RI (raggi X sono molto penetranti quindi verranno usati materiali ad elevato Z e elevati spessori).
- Tempo di esposizione: relazione lineare con la dose,
- Distanza: la dose decresce in maniera quadratica con l'aumentare della distanza (ogni volta che la distanza raddoppia, la dose diminuisce di 4 volte).

Pratiche corrette: mantenere la massima distanza possibile tra il tubo radiogeni ed il paziente. Porre il rivelatore di immagine il più vicino possibile al paziente.

Utilizzare il sistema in modalità tubo radiogeno sotto il lettino e recettore di immagine sopra.

Sorveglianza fisica: dosimetri

I lavoratori devono usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sorveglianza predisposti o forniti dal datore di lavoro. Il dosimetro deve essere portato per tutto il tempo di permanenza nei locali interessati a RI e comunque in tutte le attività a rischio radiologico svolte dal personale classificato "esposto dal personale categoria A" o se prescritto dall'esperto qualificato,

anche dal personale "esperto di categoria B".

Il dosimetro è personale: non può essere ceduto o prestato ad altre persone né utilizzato al di fuori dei luoghi per i quali è stato prescritto dall'esperto qualificato.

TIPOLOGIE DI DOSIMETRI: il personale esposto viene dotato di uno o più dosimetri. Uno di questi è il dosimetro "total body", solitamente portato sul torace o alla base del collo, sopra l'eventuale camicia anti-X.

Eventuali altri dosimetri devono essere portati sotto i DPI:

- Vicino alla tiroide, sotto il collare anti-X.
- Alla mano o al polso, se rispettivamente si tratta di un dosimetro ad anello o a bracciale, sotto i guanti.
- Vicino al cristallino, sotto gli occhiali anti-X.

I dosimetri vanno portati con la fascia munita di stampa con dati identificativi esposta verso l'interno, ben separato da eventuali oggetti quali penne, fermagli e altri oggetti metallici che possano schermare anche parzialmente il diametro stesso.

Cura dei dosimetri personali:

- Al termine del lavoro, riporre il dosimetro nel luogo prestabilito dove non sussista possibilità di esposizione alle radiazioni.
- Non esporre intenzionalmente i dosimetri a sorgenti di radiazioni ionizzanti.
- Consegnare, secondo la periodicità stabilita, il dosimetro al preposto o alla persona incaricata di effettuarne regolarmente la sostituzione, che consegnerà i dosimetri restituiti al servizio di radioprotezione.
- Segnalare tempestivamente l'eventuale deterioramento o smarrimento del dosimetro al servizio di radioprotezione, che provvederà alla sua sostituzione. Nell'attesa della sostituzione l'operatore non può frequentare la zona controllata.

NORME PROTEZIONE RADIODIAGNOSTICA

- Ricordare e applicare sempre i 3 principi ICRP, verificando eventuali contrindicazioni dei pazienti (gravidanze, bambini, recenti procedure).
- Nessun lavoratore anche se "esposto A o B", deve soffermarsi nel locale durante l'esame radiologico, salvo necessità di informazione diagnostica o per motivi assistenziali, in tal caso indossare DPI e dosimetri.
- Nessuna persona o parte del corpo, eccezione fatta per il paziente, deve essere esposta al fascio diretto. Solo in via eccezionale possono essere esposte le mani, purché idoneamente protette.
- Il fascio radiante deve delimitare la zona corporea strettamente interessata. Utilizzare anche mezzi meccanici per mobilizzare il paziente e/o comprimere parti del corpo esposte al fascio.
- Proteggere le gonadi del paziente e possibilmente anche tiroide ed occhi, se la loro esposizione non è necessaria all'indagine diagnostica.

NORME RADIOLOGIA INTERVENTISTICA

- assicurarsi sempre che le porte della sala siano chiuse prima di utilizzare le apparecchiature.
- Durante l'erogazione dei raggi tutto il personale la cui presenza non è indispensabile deve uscire dalla sala.
- Il personale rimanente deve utilizzare DPI/DPC, dosimetri e disporsi al riparo delle barriere mobili o il più lontano possibile dal paziente.
- Schermare gli organi sensibili del paziente e dotarlo di telino anti-X.
- Configurazione "tubo radiologico in basso, intensificatore di brillantezza in alto" per ridurre l'esposizione.
- A fine procedura disabilitare la possibilità di erogazione dei raggi-X per evitare esposizioni accidentali.

NORME MEDICINA NUCLEARE

- Problema: materiale radioattivo.
- Vietare l'accesso alle aree controllate a persone non autorizzate (porte normalmente chiuse e impossibili da aprire ad estranei).
- Percorso d'entrata personale autorizzato: ingresso riservato, filtro freddo cambio vestiti, filtro caldo, aree di lavoro.
- Non solo dosimetri individuali, ma anche misurazioni di contaminazione radioattiva in uscita dell'area controllata.
- Percorso uscita: se il filtro caldo mostra livelli di contaminazione, effettuare lavaggi locali o doccia, rivestirsi con indumenti di lavoro puliti e ripassare nel filtro caldo (ripetere fino a livello richiesto).

Procedura decontaminazione localizzata:

- Lavare con detergente o sapone neutro da abrasivi, particolarmente tra le dita, intorno e sotto le unghie (2/3 min).
- Sciacquare con acqua preferibilmente tiepida (1 min).
- Ripetere i due step, se la contaminazione persiste, ripetere fino a due volte i due step, utilizzando una spazzola morbida.

- Se la contaminazione persiste, doppio lavaggio con clorossidante (amuchina), ungere con unguento alla vasellina, lavare e spazzolare con detergente/sapone neutro e sciacquare due volte.
- Se la contaminazione persiste, avvisare la direzione medica.
- Contaminazione SOLO CAPELLI: prima della doccia, shampoo al sapone e successivamente, se necessario, con clorossidante.
- In caso di FERITA: sciacquare sotto acqua corrente e invio a PS o Servizio Medico del Lavoro.

Pazienti

- Percorso pazienti: sala d'attesa fredda > segreteria > ingresso nell'area controllata su chiamata del personale > locale somministrazione > sala d'attesa calda > uscita non coincidente con l'entrata iniziale.
- Pazienti allettati: scarico solo controllato dopo ogni minzione (stoccaggio in vasca di decadimento per successiva immissione in fognatura raggiunti i livelli di esenzione).
- UO degenza: normale assistenza (attenzione a gravidanza e tempo di assistenza) con utilizzo guanti a perdere per materiale biologico.

Attenzione al trasporto dei pazienti.

Necessità di WC solo se a scarico controllato.

Raccolta "differenziata" rifiuti radioattivi

Materiale a contatto con escreti, inserito in contenitori schermati con indicati dati del paziente e tipologia analisi, chiusi e stoccati separatamente in luogo idoneo (ripostiglio non frequentato) in base a:

- Radioisotopi a vita brevissima: F18, C11, O15, N13
- Radioisotopi a vita breve: Tc99
- Radioisotopi a vita media: I131, Ga67, I123, In111, Tl201
- Radioisotopi a vita lunga: Sr89

Quando l'attività dei rifiuti scende al di sotto di 1 Bq/g si provvede a smaltire il rifiuto con procedure standard.

Alternativa (rifiuti con $T_{1/2} > 75$ gg o $A > 1$ Bq/g): conferimento a smaltitore autorizzato.

Norme incidente

- Sversamento materiale:
 - Avisare Responsabile UO e EQ.
 - Indossare DPI (guanti e sovrascarpe).
 - Delimitare e segnalare l'area.
 - Ricoprire con materiale assorbente e fogli di plastica l'area contaminata.
- In caso di contaminazione grave dell'ambiente: uscire dalla sala chiudendo a chiave le porte (e controllare che nessuno entri) e avvisare Responsabile UO e esperto qualificato.

Numeri utili da chiamare: 112 – 113 – 115 – 118.

Norme taboo sorgenti non sigillate

- Introdurre in zona con rischio di contaminazione effetti personali, borsette, soprabiti.
- Utilizzare fuori dalle zone con rischio di contaminazione gli oggetti usati per le manipolazioni.
- Toccare telefoni, libri, riviste ecc... con le mani mentre si indossano guanti sottosti di contaminazione.
- MAI: fumare, mangiare, bere, utilizzare cosmetici in zona a rischio contaminazione, cioè dove si utilizzano le sostanze radioattive.
- Non utilizzare al di fuori delle zone a rischio contaminazione tutte le attrezzature, comprese quelle di pulizia, che devono essere adeguatamente contrassegnate.

Effetti biologici NIR

- A breve termine: ben documentati, basi per valori limite di esposizione.
- Radiofrequenze e microonde producono effetti a breve termine di tipo termico: Organi a rischio: cristallino (scarsa vascolarizzazione) e testicoli.
- NIR a frequenze minori producono effetti a breve termine principalmente di tipo elettrico: correnti indotte attraverso gli arti (possibili contrazioni involontarie di tessuti muscolari e nervosi).
- A lungo termine: evidenze limitate! Studi epidemiologici hanno suggerito un aumentato rischio di leucemie infantili e

gliomi rispettivamente per esposti a campi ELF e Radiofrequenze: possibilmente cancerogeni per IARC.

Effetti NON biologici NIR

- Interferenza con attrezzature e dispositivi medici elettronici (stimolatori cardiaci e altri dispositivi impiantati).
- Rischio propulsivo di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici.
- Incendi ed esplosioni dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da scintille prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche.

Risonanza magnetica (RM)

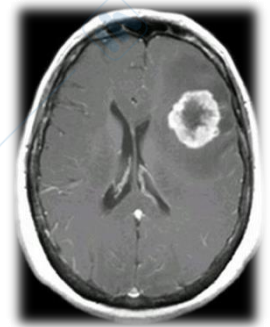
Utilizzo di campi magnetici ed onde radio (70 MHz max) per cambiare lo spin degli atomi di idrogeno del corpo che, tornando poi nella posizione iniziale, emettono la stessa energia assorbita in precedenza, che viene captata ed elaborata da un PC.

Effetto magnetomeccanico

- Per presenza di campo magnetico statico ad intensità superiore migliaia di volte a quello terrestre ogni materiale metallico è un potenziale proiettile (forcine, orecchini, pinze, chiavi, forbici, estintori, ecc.) e può raggiungere in pochi metri una velocità di 80 km/h! Attrezzature e dispositivi medici idonei etichettati MR safe o conditional.
- Effetto magnetoelettrico: per presenza di campo magnetico variabile (alterazione funzionalità dei pacemaker e dei defibrillatori).
- Effetto termico: per presenza di radiofrequenze (elettrodi e cateteri permanenti possono fungere da antenna per queste frequenze riscaldando i tessuti limitrofi fino all'ustione).

Mezzi di contrasto in risonanza magnetica

- Possibilità di somministrare MdC paramagnetici via EV per modificare il campo magnetico locale e, di conseguenza, l'intensità del segnale.
- Elementi più utilizzati: manganese o gadolino chelati, ossidi di ferro.
- Raro effetto avverso tipico dei MdC con Gd: fibrosi nefrogenica sistemica o dermatopatia nefrogenica in pazienti affetti da insufficienza renale grave o sottoposti a dialisi. Richiesto esame ematocrito di creatininemia e/o velocità di filtrazione glomerulare.
- Problema Gd in MdC lineari via EV: maggiori possibilità di accumulo in tessuti cerebrali.
- Mantenuti i MdC lineari (a catena aperta) via intra-muscolare e i MdC macrocicli (Gd racchiuso nella molecola). Maggiore stabilità e minore tossicità.



Procedure accesso RM

- Verificare il questionario per l'accertamento dell'idoneità all'esame.
- Far depositare al paziente tutti i suoi oggetti personali.
- Far spogliare il paziente e fornirgli il camice apposito.
- Eseguire un controllo con il metal detector prima dell'accesso alla sala.
- Fornire al paziente appositi tappi auricolari fonoassorbenti (rischio rumore).

RM e liquidi criogeni

- Apparecchiature RM contengono elio liquido: rischio di perdite.
- Riduzione della concentrazione di ossigeno nell'aria.
- Concentrazione di ossigeno negli strati inferiori con aumento rischio di incendio.
- Vapori freddi (-270°C) da evaporazione con rischio di ustioni.
- Dispositivi di protezione: ventilazione forzata, sensori di ossigeno, tubo di scarico esterno per perdite di elio.