

M. Marengo

Concetti di base di radioprotezione in Medicina Nucleare

*Servizio di Fisica Sanitaria
Ospedale Policlinico S.Orsola - Malpighi, Bologna*

mario.marengo@unibo.it



Ospedale Policlinico S.Orsola - Malpighi, Bologna

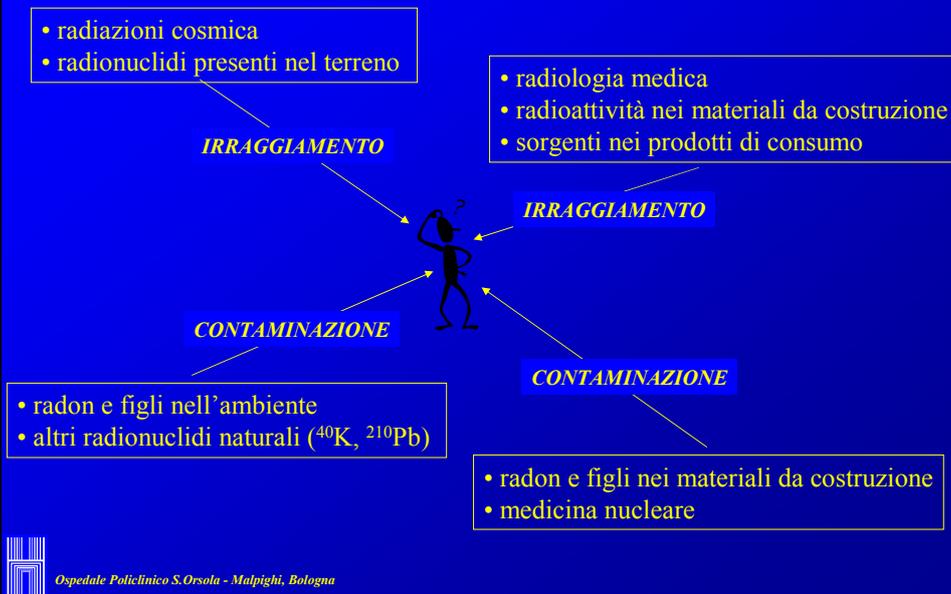
Sommario

- Le radiazioni nell'ambiente
- I principi della radioprotezione
- Grandezze fisiche della dosimetria
- Unità di misura della radioattività
- I limiti di dose
- Irraggiamento esterno e contaminazione interna
- Fattori che influenzano la radioprotezione
- Dosimetri personali
- Dosimetri ambientali
- Strumentazione portatile di radioprotezione
- Norme di comportamento

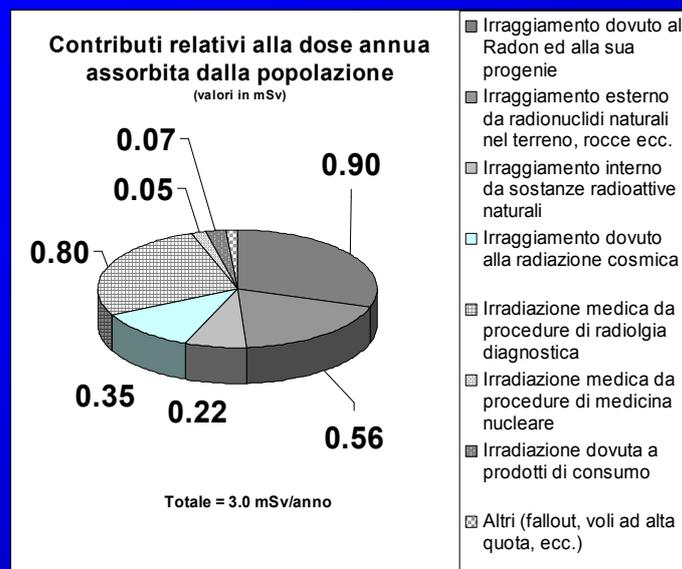


Ospedale Policlinico S.Orsola - Malpighi, Bologna

Viviamo immersi nelle radiazioni ionizzanti



Il fondo naturale e modificato dall'uomo in Italia



Alcune cifre di esempio

- la radiazione cosmica dipende molto dalla quota: in montagna ce n'è di più !
- nei voli ad alta quota si ha un irraggiamento di circa 3 microSv/ora
- vi sono province in Italia nelle quali da dose da radionuclidi nel terreno è 0.09 mSv/anno (Aosta), ed altre (Viterbo) in cui è 2 mSv/anno.
La media nazionale è 0.56 ± 0.27 mSv/anno
- l'irraggiamento interno da 40K nella dieta è circa 0.18 mSv/anno
- dose media da pratiche mediche in Italia 0.9 mSv/anno



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

I principi della radioprotezione

Le radiazioni possono essere pericolose, ma sono utili in molti campi dell'attività umana. Si è quindi ritenuto che sia possibile impiegarle solo nel rispetto di condizioni di sicurezza e protezione.

Del resto il concetto di "sicurezza" è mutevole nel tempo, sulla base non solo delle conoscenze raggiunte, ma anche degli standard sanitari, delle condizioni economiche e sociali, di considerazioni politiche.

È stata quindi proposta in ambito scientifico una "filosofia" del rischio che, per evitare condizionamenti, è stata affidata per il suo sviluppo ed aggiornamento, ad una commissione internazionale di esperti, la **International Commission on Radiation Protection**. I membri della **ICRP** non sono nominati dai governi o dall'ONU, ma sono chiamati dagli altri membri, solo sulla base del loro curriculum scientifico.

La ICRP pubblica periodicamente delle raccomandazioni e tanta ne è l'autorevolezza, che tutti i Paesi hanno preso l'iniziativa di adeguare le loro normative sulla base delle più recenti indicazioni della ICRP.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

I principi della radioprotezione

Attualmente l'architettura della radioprotezione è basata su tre principi fondamentali

Principio di giustificazione: ogni esposizione alle radiazioni deve essere giustificata, cioè avvenire per un valido motivo. Per esempio, nello svolgimento di una professione che è di pubblica utilità.

Principio di ottimizzazione: ogni attività che comporta una esposizione alle radiazioni deve essere ottimizzata nel senso della radioprotezione, tenuto conto di fattori sociali ed economici, in modo da avere il migliore risultato con la minore esposizione praticamente ottenibile.

Principio di limitazione: ogni esposizione professionale non deve comunque superare dei limiti massimi, altrimenti non è più accettabile.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Grandezze fisiche della dosimetria

La **dose assorbita** rappresenta l'energia assorbita per unità di massa a seguito delle interazioni delle radiazioni.

La dose si misura in **Gray** :

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Kilogrammo}}$$

L'**intensità di dose** è la dose assorbita nell'unità di tempo.

Si misura in Gy/s, o Gy/h ecc. In pratica sono molto usati sottomultipli come il mGy/h ed il μ Gy/h.

In passato per misurare la dose assorbita si impiegava un'altra unità di misura: il **rad** . Si ha la seguente equivalenza: $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$.

Parlando di intensità di dose, può essere utile ricordare che 1 mrad/h delle vecchie unità di misura corrisponde a $10 \mu\text{Gy/h}$, mentre 1 mGy/h corrisponde a 100 mrad/h.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Grandezze fisiche della dosimetria

Al fine di correlare la dose con il danno biologico prodotto e quindi con le stime di rischio, è impiegata un'altra grandezza fisica: l'**equivalente di dose**. Esso tiene conto non solo della energia assorbita nella materia, ma anche di come questa viene ceduta alla materia e di come è distribuita. A parità di dose assorbita, diversi tipi di radiazioni possono produrre diversi livelli di danno biologico, quindi un diverso **equivalente di dose**.

L'equivalente di dose si misura in Sievert;

$$\text{Equivalente di dose (Sv)} = \text{Dose (Gy)} \times \text{Fattore di qualità (Q)}$$

I valori del fattore di qualità per i diversi tipi di radiazioni sono tabulati dalla ICRP. Per le radiazioni X , γ e β il valore del fattore di qualità è 1, quindi il valore numerico della dose e dell'equivalente di dose si equivale.

Per le radiazioni α e per i **neutroni** il fattore di qualità è > 10 : l'equivalente di dose è molto maggiore della dose!



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Valori del coefficiente di ponderazione per il tipo di radiazioni

Fotoni, tutte le energie	1
Elettroni e muoni, tutte le energie	1
Neutroni con energia < 10 keV	5
con energia 10 keV - 100 keV	10
con energia > 100 keV - 2 MeV	20
con energia > 2 MeV - 20 MeV	10
con energia > 20 MeV	5
Protoni, esclusi i protoni di rinculo, con energia > 2 MeV	5
Particelle alfa, frammenti di fissione, nuclei pesanti	20



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Grandezze fisiche della dosimetria

L'intensità di equivalente di dose rappresenta l'equivalente di dose nell'unità di tempo e si misura in Sv/s o, più spesso, in Sv/h.
In pratica sono molto usati i mSv/h ed i μ Sv/h.

In passato per misurare l'equivalente di dose si impiegava un'altra unità di misura: il **rem**. Si ha la seguente equivalenza: $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$.
Parlando di intensità di dose, può essere utile ricordare che 1 mrem/h delle vecchie unità di misura corrisponde a $10 \mu\text{Gy/h}$, mentre 1 mSv/h corrisponde a 100 mrem/h.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Le unità di misura della radioattività

La **radioattività** rappresenta la frequenza dei decadimenti degli atomi radioattivi.
Essa si misura in Becquerel :

$$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ disintegrazione}}{1 \text{ secondo}}$$

In pratica sono molto usati i multipli del Bq:

- kiloBecquerel $1 \mu\text{Ci} = 37 \text{ kBq}$
- MegaBecquerel $1 \text{ mCi} = 37 \text{ MBq}$
- GigaBecquerel $1 \text{ Ci} = 37 \text{ GBq}$

Nelle vecchie unità di misura infatti $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ disintegrazioni/secondo



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Stime di rischio

Le stime di rischio fanno sempre riferimento all'equivalente di dose assorbita, poiché è per questa grandezza che si ha proporzionalità rispetto alla probabilità di danno biologico (p.es. insorgenza di tumori).

Il fattore di rischio è dell'ordine di 10^{-2} per Sv; vale a dire che se un lavoratore assorbe 1 Sv ha circa 1 probabilità su 100 di sviluppare un tumore nei 30 anni seguenti per effetto della esposizione alle radiazioni.

Altre grandezze di uso frequente nella misura delle radiazioni, per esempio l'attività in mCi o MBq, la contaminazione superficiale (in Bq/cm²), la frequenza di conteggio misurata da un contatore (in conteggi per secondo -cps- o per minuto -cpm-) NON SONO direttamente in relazione con la dose assorbita e quindi con il rischio !



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Danni non stocastici

- sono effetti che si presentano prontamente dopo l'irradiazione (p.es. eritema "da raggi")
- si presentano solo con il superamento di un livello di soglia
- il sistema di limitazione delle dosi permette di escluderli completamente

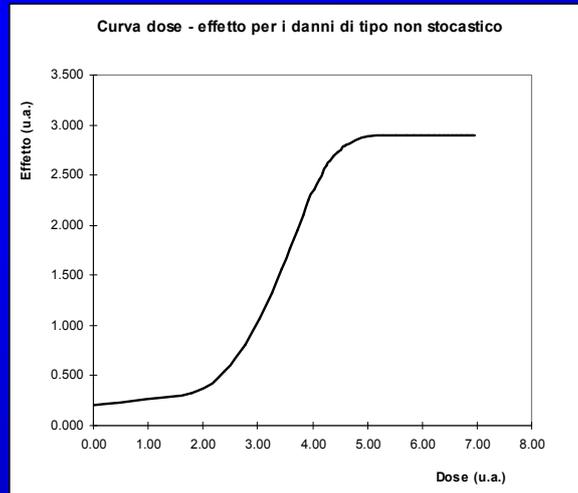
Danni stocastici

- si possono presentare tardivamente dopo l'irradiazione
- la loro insorgenza è un fenomeno probabilistico
- il sistema di limitazione delle dosi permette di contenerli a livelli considerati accettabili, ma non di escluderli completamente



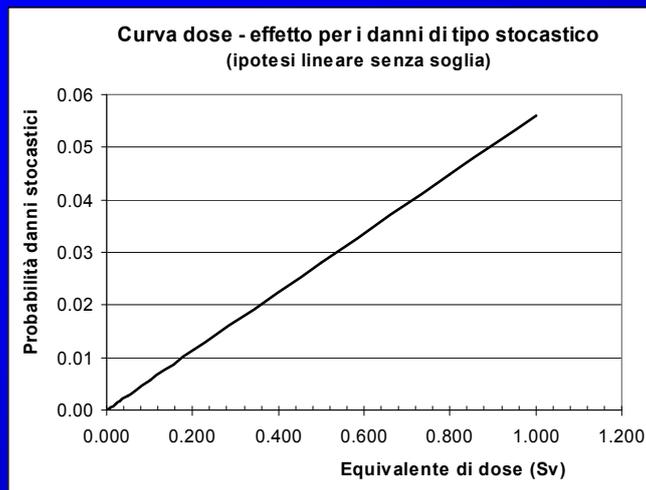
Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Relazione dose - effetto per i danni NON stocastici



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Relazione dose - effetto per i danni stocastici



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

I limiti di dose

La normativa di radioprotezione (D.Leg. 17/03/1995 n. 230), indica le modalità per stabilire se una attività è giustificata ed ottimizzata e, quindi, può essere **autorizzata**. La legge prevede inoltre dei limiti massimi per la dose che può essere assorbita da un lavoratore nel corso dell'attività professionale e dalle persone della popolazione a causa delle attività che impiegano radiazioni.

Limiti di equivalente di dose in mSv/anno

	Lavoratori Esposti Categoria A (mSv)	Lavoratori Esposti Categoria B (mSv)	Apprendisti e Studenti (mSv)	Popolazione e Lavoratori Non Esposti (mSv)
Corpo intero	20	6	6	1
Cristallino	150	50	50	15
Pelle	500	150	150	50
Estremità	500	150	150	-

(*) escluse le esposizioni a scopo medico



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Regole indicative di classificazione

Se un lavoratore **può assorbire 1/3** del limite di dose della categoria può essere classificato in quella categoria.

Considerando la classificazione in categoria A, un lavoratore deve avere una significativa probabilità di assorbire **6 mSv/anno**.

Un lavoratore per essere di Cat.B deve avere un assorbimento di dose dell'ordine di **2 mSv/anno**.

La valutazione del livello di rischio e della probabilità di superamento dei limiti di dose è attribuita all'Esperto Qualificato.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Limiti derivati in pratica

In un anno un operatore lavora:

365 - 52 domeniche - 52 sabati - 45 giorni di ferie/malattia = 216 giorni
considerando 8 ore lavorative al giorno si hanno < 2000 ore lavorative/anno

Poiché il limite medio di eq. di dose in un anno per un lavoratore esposto di Categoria A è 20 mSv: considerando una esposizione continuativa ad un livello costante di dose, si avrebbe un limite operativo di $20000 \mu\text{Sv} / 2000 \text{ ore} =$

$10 \mu\text{Sv/h}$

Per circa 1500 ore/anno un operatore lavora in condizioni "normali", con

$\leq 1 \mu\text{Sv/h}$

se nelle restanti circa 500 ore di esposizione (più di due ore al giorno) un lavoratore sta attento ad operare continuativamente con

$\leq 20 \mu\text{Sv/h}$

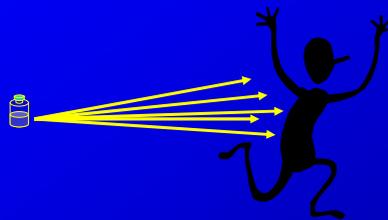
assorbe circa metà della dose massima ammissibile !



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Irradiazione esterna

Si ha irradiazione quando una sorgente di radiazioni esterna irraggia un bersaglio



Fattori che influenzano la dose:

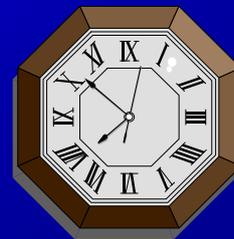
- tipo di radionuclide
- radiazioni emesse (X e γ ; β sono importanti solo a contatto)
- distanza
- tempo di esposizione
- schermature interposte



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Il fattore tempo

- più breve è il tempo di esposizione, minore è la dose assorbita
- trattarsi a stretto contatto dei pazienti solo per il tempo necessario, tenendo conto che i pazienti somministrati per indagini diagnostiche in Medicina Nucleare emettono ridotte quantità di radiazioni e quindi prestare la necessaria assistenza non presenta seri rischi: quindi non abbandonare il paziente !!!
- eseguire le manipolazioni in modo rapido e preciso: fare le cose con cura significa farle una volta sola !



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Il fattore distanza

- allontanandosi da una sorgente la dose ha un forte decremento
- assistere e parlare ai pazienti ad una certa distanza, possibilmente 1 metro ma **NON EVITARE DI ASSISTERE** i pazienti !
- tenere a distanza sorgenti, fantocci ecc. non schermati
- nelle manipolazioni, allontanare le mani non appena possibile

Aumentando la distanza:
da 1 metro a 2 metri, la dose diventa 1/4
a 4 metri diventa 1/8

*Intensità di eq. di dose tipica da pazienti di med.nuc. a 1 metro < 3 microSv/h
a 2 metri < 0.8 microSv/h
a 4 metri < 0.2 microSv/h*

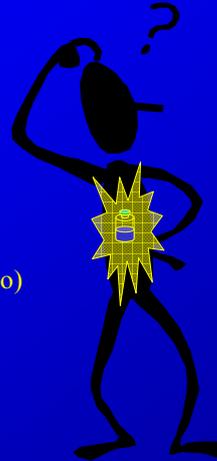


Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Contaminazione interna

Fattori che influenzano la dose:

- tipo di radionuclide
- radiazioni emesse (β più importanti di X e γ)
- modalità di introduzione / somministrazione
- distribuzione del radionuclide
- tempo di esposizione ($T_{1/2}$ fisico e $T_{1/2}$ biologico)
- eventuale terapia decontaminante



Precauzioni:

- Indossare sempre i guanti quando si manipolano sorgenti (siringhe ecc.)
- Tutto ciò che sta dentro le cappe della camera calda può essere contaminato !
- Indossare sempre i guanti quando si assistono i pazienti



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Problemi di contaminazione superficiale

- i radionuclidi impiegati in Medicina Nucleare hanno breve $T_{1/2}$
- il ^{99m}Tc è un emettitore gamma puro, poco pericoloso per ingestione

- solo il rischio di contaminazione da ^{131}I è da considerare con attenzione
- particolare cautela nella somministrazione

- in caso di contaminazione delle superfici di lavoro e/o della cute:
 - cercare di delimitarla e di non farla estendere
 - richiede la collaborazione di un collega
 - avvisare l'Esperto Qualificato o altro personale addetto alla radioprotezione
 - lavarsi prima possibile, seguendo le istruzioni e le Norme Interne



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Principali radionuclidi impiegati in Medicina Nucleare

Radionuclide	T 1/2 (ore)	E _γ (keV)	Costante gamma (μSv/h per MBq a 100 cm)	HVL in Pb (mm)
C-11	0.34	511	0.16	4.0
N-13	0.17	511	0.16	4.0
O-15	0.03	511	0.17	4.0
F-18	1.83	511	0.16	4.0
Ga-67	78.24	90, 184, 300	0.03	1.0
Tc-99m	6.00	140	0.02	0.3
In-111	67.20	171, 245	0.07	1.0
I-123	13.20	159	0.03	1.0
I-131	192.00	364	0.06	2.0



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Dosimetri personali

- sono basati su rivelatori a pellicola o termoluminescenti (TLD)
- vengono usati diversi dosimetri per il tronco e per le estremità (mani ecc.)
- il periodo di uso è di 45 giorni per i dosimetri portati al petto (8 turni annuali) e di 90 giorni per quelli portati alle mani (4 turni annuali)
- la Legge prevede una procedura di qualificazione per i servizi dosimetrici
- il nostro Ospedale si avvale del servizio dosimetrico dell'ENEA, un ente di ricerca di grande serietà, e non di un fornitore commerciale
- l'ENEA partecipa ai programmi internazionali di controllo della affidabilità delle misure
- in casi di valori di dose anomali l'ente che esegue le letture dà comunicazione urgente
- le letture sono inviate periodicamente, controllate dall'Esperto Qualificato e registrate sul data base delle schede dosimetriche
- i dati sono periodicamente trasmessi al Medico Autorizzato



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Dosimetri ambientali

- entro il Servizio sono installati 16 dosimetri che rilevano continuamente la dose
- i dati acquisiti sono registrati su elaboratore, che permette di visualizzare graficamente i risultati e l'analisi statistica delle misure
- i punti di misura sono distribuiti in tutto il Servizio e permettono un campionamento di tutte le posizioni di interesse e dei diversi tipi di attività
- i rivelatori possono emettere segnalazioni acustiche e luminose al superamento di livelli di soglia prefissati (tipicamente il preallarme è impostato a 5 $\mu\text{Sv/ora}$ e l'allarme a 10 $\mu\text{Sv/ora}$)
- periodicamente l'Esperto Qualificato controlla i valori archiviati, li confronta con i riferimenti precedenti, esegue delle valutazioni e compila dei rapporti che vengono apposti nel Registro delle Valutazioni istituito per Legge



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Strumentazione portatile ed installata

- entro il Servizio sono installati diversi rivelatori per contaminazione
- questi permettono agli operatori di controllarsi le mani o gli indumenti per accertarsi di non essere contaminati
- ogni operatore dovrebbe controllarsi regolarmente nel corso della giornata (almeno 1 volta al giorno)
- questi strumenti NON SONO previsti per la misura della dose !
- gli strumenti sono rimovibili ed alimentabili a batteria, in modo da permettere anche il controllo di superfici (p.es. pavimenti, in caso di caduta di oggetti o perdita di liquidi da pazienti)
- in casi di contaminazione avvisare l'Esperto Qualificato o altro personale del Servizio di Fisica Sanitaria

Il Servizio di Fisica Sanitaria ha a disposizione altri rivelatori per contaminazione e dosimetri portatili di diverse caratteristiche, per eseguire misure particolari o in posizioni specifiche.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Obblighi del datore di lavoro - art. 61

I datori di lavoro devono:

- prima dell'inizio delle attività acquisire da un esperto qualificato una relazione scritta contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione inerenti alle attività stesse. A tal fine i datori di lavoro forniscono all'esperto qualificato i dati, gli elementi e le informazioni necessarie.
- provvedere affinché gli ambienti di lavoro vengano, individuati, delimitati, segnalati, classificati in zone e che l'accesso ad essi sia adeguatamente regolamentato;
- provvedere affinché i lavoratori interessati siano classificati ai fini della radioprotezione;
- predisporre norme interne di protezione e sicurezza adeguate al rischio di radiazioni e curare che copia di dette norme sia consultabile nei luoghi frequentati dai lavoratori;
- fornire ai lavoratori, ove necessari, i mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione;
- rendere edotti i lavoratori, nell'ambito di un programma di formazione finalizzato alla radioprotezione dei rischi specifici cui sono esposti, delle norme di protezione sanitaria, delle conseguenze derivanti dalla mancata osservanza delle prescrizioni mediche, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne;
- provvedere affinché i singoli lavoratori osservino le norme interne, usino i mezzi di protezione ed osservino le modalità di esecuzione del lavoro;
- provvedere affinché siano apposte segnalazioni che indichino il tipo di zona, la natura delle sorgenti ed i relativi tipi di rischio (...fatta eccezione per quelle non sigillate in corso di manipolazione);
- fornire al lavoratore esposto i risultati delle valutazioni di dose effettuate dall'esperto qualificato, che lo riguardino direttamente.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Obblighi dei lavoratori - art. 68

I lavoratori devono:

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

Contravvenzioni commesse dai lavoratori:

chi viola gli artt. 64, 68, 68-bis e 69, comma 2, è punito con l'arresto fino a quindici giorni o con l'ammenda da lire duecentomila a lire ottocentomila.



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Norme speciali per le lavoratrici - art. 69

- Le lavoratrici devono rendere noto al datore di lavoro l'eventuale stato di gravidanza non appena questo venga accertato
- Le lavoratrici incinte non possono essere adibite ad attività in Zona Controllata o che le esponga ad una dose superiore a 1 mSv
- E' vietato adibire le lavoratrici in allattamento ad attività che le esponga al rischio di contaminazione



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna

Norme di comportamento

- sono emesse dal datore di lavoro sulla base dell'art. 61 del D.Leg. 230/95 (modificato ed integrato); hanno quindi valore riconosciuto ed imposto dalla Legge
- il datore di lavoro si avvale della consulenza dell'Esperto Qualificato per la redazione delle Norme
- nell'ambito del nostro Policlinico sono consegnate in modo formale ai lavoratori, che firmano per ricevuta
- sono anche parte integrante del programma di formazione



Ospedale Policlinico S. Orsola - Malpighi, Bologna