

Elementi di Radioprotezione

Rischi specifici presso i LNS

Dott.ssa Ornella Marilli

Corso di formazione – Catania 25/09/11/2012

Radioprotezione

Cosa è

Disciplina tecnico-scientifica: prevenzionistica
Protezione da radiazione ionizzante

- Persone
- discendenti
- genere umano

Consentendo attività necessarie delle quali deriva esposizione

Da cosa protegge

Effetti somatici - effetti ereditari

prevenire effetti somatici acuti (non stocastici)

limitare effetti somatici e ereditari ritardati
(stocastici)

Effetti biologici

L'insieme di tutte le modificazioni morfologiche e funzionali provocate dallo stimolo fisico esercitato dalla irradiazione, costituisce la **risposta biologica** del sistema ed è la risultante della interferenza di fattori biologici e di fattori fisici

Fattori fisici

- Tipo ed energia
- dose
- distribuzione nello spazio e nel tempo della dose

Fattori biologici

- Caratteristiche delle unità biologiche irradiate
- Caratteristiche dell'ambiente biologico

Grandezze

Grandezze fisiche che caratterizzano il campo di radiazioni

Grandezze che descrivono il rischio connesso all'irradiazione

Esposizione

$$X = \Delta Q / \Delta m$$

ΔQ somma delle cariche elettriche degli ioni di un dato segno prodotti in aria, quando sono stati arrestati tutti gli elettroni liberati in un elemento di volume di aria la cui massa sia Δm

Unità di misura: Roentgen $1R = 2,58 \times 10^{-4} C/Kg$

$$\begin{aligned} 1R &= 1 \text{esu/cm}^2 \text{aria} = 1 \text{esu} / 0.001293 \text{gr.aria} = \\ &= 113 \times 10^{-9} C / 1,293 \times 10^{-6} Kg = 2,58 \times 10^{-4} C/Kg \end{aligned}$$

Intensità di esposizione

$$X = dX/dt \text{ [R/h]}$$

L'esposizione è legata alla produzione di ioni in un particolare materiale:
L'aria standard.

E' una grandezza *puramente fisica*.

Dose assorbita

$$D = \Delta E / \Delta m$$

Unità di misura: Gray
1 Gy = 1 J/Kg = 100 rad

$$E = \Sigma E_{IN} - \Sigma E_{out} + \Sigma Q$$

- ΣE_{IN} Somma delle particelle ionizzanti entranti nel volume
- ΣE_{out} Somma delle particelle ionizzanti uscenti volume dal
- ΣQ Energia rilasciata nelle reazioni nucleari e nei processi elementari

La dose assorbita si riferisce alla energia ceduta alla materia .
E' una grandezza legata agli **effetti biologici**.

Kerma

$$K = dE_k / dm$$

Rappresenta l'energia ceduta alle particelle secondarie per unità di massa di un materiale

E_k = energia cinetica delle particelle cariche prodotte da radiazioni indirettamente Ionizzanti

Attività

$$A = dN/dt$$

dN numero di trasformazioni nucleari spontanee del radionuclide
nell'intervallo dt

Unità di misura: Becquerel

1 Bq = 1 disintegrazione al secondo [s^{-1}] = 2.703×10^{-11} Ci

1 Ci = $3.7 \times 10^{10} s^{-1}$

Dose Equivalente

$$H_{T,R} = W_R D_{T,R} ; [\text{Sievert}]$$

Tiene conto del fattore di peso per i diversi tipi di radiazione;
si misura in Sievert

H_T = dose equivalente nel tessuto o nell'organo T,

$D_{T,R}$ = dose assorbita media nel tessuto o nell'organo T,

W_R = fattore di ponderazione della radiazione

Dose efficace

$$E = \sum W_T H_T = \sum W_T \sum W_R D_{T,R} \quad [\text{Sievert}]$$

W_T = fattore di ponderazione per l'organo o il tessuto T

E' ritenuta proporzionale al rischio di effetti stocastici, in quanto tiene conto delle dosi equivalenti ai vari organi o tessuti, pesate con i corrispondenti fattori di peso W_T

Fattori di peso

Il fattore che tiene conto del tipo di radiazione è **WR**, i suoi valori sono:

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

Il fattore che tiene conto dei diversi organi o tessuti è **WT**, i cui valori sono:

Gonadi 0,20; Midollo osseo (rosso) 0,12; Colon 0,12; Polmone (vie respiratorie toraciche) 0,12; Stomaco 0,12; Vescica 0,05; Mammelle 0,05; Fegato 0,05;

Esofago 0,05; Tiroide 0,05; Pelle 0,01; Superficie ossea 0,01; Rimanenti organi o tessuti 0,05. (la somma dei **WT** di tutti gli organi del corpo è uguale a 1)

Grandezze operative

Grandezze di radioprotezione usate per la sorveglianza dell'esposizione esterna. Esse sono definite in un fantoccio campione che simula il corpo umano (sfera ICRU) e considerate ad una determinata profondità d

$H^*(d)$ Equivalente di dose ambientale

$H_p(d)$ Equivalente di dose personale

$d=10 \text{ mm}$	radiazioni fortemente penetranti
$d=0.07 \text{ mm}$	radiazioni debolmente penetranti
$d=3 \text{ mm}$	per gli occhi

VALUTAZIONI PER ESPOSIZIONI INTERNE

Nel caso di esposizioni interne derivanti da radionuclidi introdotti nel corpo umano viene usata la **Dose equivalente impegnata**.

$$H(t) = \int_{t_0}^{t_0+t} H(\tau) d\tau$$

è la dose accumulata nell'arco della vita da un individuo adulto (la cui aspettativa di vita si considera non inferiore a 50 anni dal momento dell'introduzione) in seguito all'introduzione nel suo organismo di un determinato radionuclide.

Essa si calcola moltiplicando l'attività introdotta per i coefficienti di dose impegnata dei singoli radionuclidi (tabulati in letteratura o nella legge).

Esistono coefficienti per introduzione da inalazione (per particelle di diverso spessore) e per introduzione da ingestione (per diverse forme chimiche dei composti introdotti).

Radioprotezione → 3 principi

giustificazione

Nessuna attività umana deve essere accolta a meno che non produca un beneficio netto e dimostrabile

ottimizzazione

Ogni esposizione alle radiazioni deve essere tenuta tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile, facendo luogo a considerazioni economiche e sociali

limitazione

La somma delle dosi derivanti dalle attività non deve superare i limiti stabiliti

RISCHI DA RADIAZIONI

Esposizione Esterna

(Irraggiamento
da sorgenti esterne
all'organismo)

Esposizione totale al Corpo intero

Esposizione parziale a parti dell'organismo
(mani, piedi, occhi, ...)

Esposizione Interna

(Contaminazione da
sorgenti introdotte
nell'organismo)

inalazione (*vapori, gas, pulviscolo*)

ingestione (*materiali solidi o liquidi*)

ferite cutanee

assorbimento transcutaneo (*trizio, iodio, cesio*)

Elementi per la protezione dall'irraggiamento esterno

TEMPO: trascorrere meno tempo possibile vicino alla sorgente, in quanto il danno biologico è correlato con l'accumulo di dose

DISTANZA: aumentare il più possibile la distanza fra sorgente e personale, in quanto la dose di una sorgente puntiforme diminuisce con il quadrato della distanza

MEZZI DI PROTEZIONE: utilizzare i mezzi di protezione forniti
(pinzette, manipolatori, guanti, mascherine, schermature, dosimetri, ecc.)

COMPORTAMENTO: seguire le istruzioni impartite (norme di radioprotezione) ed adottare tutte le misure dettate dal buon senso

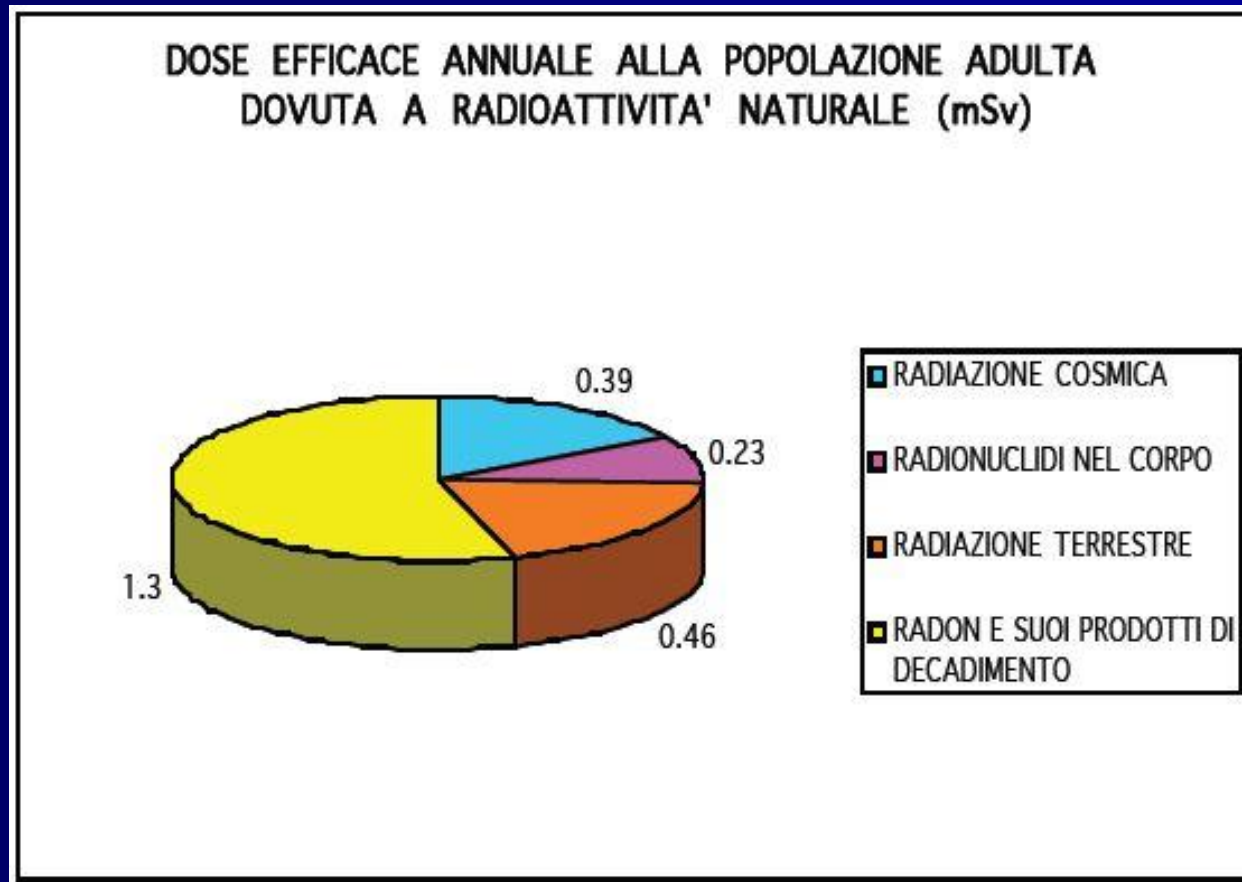
Elementi per la protezione dalla contaminazione

MEZZI DI PROTEZIONE: utilizzare i mezzi di protezione forniti
(*guanti, camici, cuffie, mascherine, glove box, buste di contenimento, ecc.*)

COMPORTAMENTO: seguire molto scrupolosamente le istruzioni di
sicurezza (norme di radioprotezione)
(*non bere, non fumare, non toccarsi durante il lavoro, prevenire gli
incidenti organizzando preventivamente tutte le fasi della manipolazione,
ecc*)

Esposizione naturale

Ha origine dal sole, dallo spazio, dalla crosta terrestre, da radioisotopi Presenti nel nostro organismo



Fondo dovuto alla radioattività artificiale: insieme di radionuclidi (Cs-137, ecc) rilasciati nel corso degli anni da attività umane, quali esplosioni nucleari, grandi incidenti e rilasci in ambiente.

Sorgenti radioattive: Sostanze che contengono radioisotopi ed usate per scopi medici, industriali, di ricerca, ecc.

Macchine radiogene: apparecchi che accelerano particelle elementari cariche, che interagendo su opportuni bersagli producono i fasci di radiazione

tubi a raggi X,

acceleratori di particelle per applicazioni di ricerca scientifica, industriali e mediche

- elettrostatici: Van de Graaff (tandem)
- lineari per elettroni, per protoni ecc.
- ciclici: ciclotrone, betatrone, sincrotrone

Reattori di potenza: Il principale utilizzo è quello di sfruttare la reazione nucleare di fissione degli atomi di uranio allo scopo di produrre energia elettrica

Sorgenti

una classificazione delle sorgenti comunemente impiegate per scopi industriali, medici o di ricerca può essere fatta in relazione alla loro forma fisica e quindi in funzione del tipo di rischio che essi presentano. Per cui possiamo distinguere:

SORGENTI SIGILLATE: formate da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive o incapsulate in un'involucro inattivo (solitamente di acciaio o materiale plastico) che presentano una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive (contaminazione). Il tipo di capsula e le prove di robustezza che vengono fatte sulle singole sorgenti sono definite da norme standardizzate (ISO) e dipendono dal radionuclide, dal tipo di sorgente e dallo scopo di impiego.

SORGENTI NON SIGILLATE: formate da materie radioattive utilizzate nello stato fisico in cui si trovano (generalmente polveri, liquidi o gas) senza nessun incapsulamento e per le quali, quindi, non può essere esclusa la dispersione.

IMPIEGHI DEI RADIOISOTOPI (Sorgenti sigillate)

industria

Gammagrafia: si sfrutta il principio di maggiore o minore assorbimento delle radiazioni nel materiale da esaminare. Si effettuano misure di omogeneità o bontà dei materiali, ricerca di difetti nelle saldature o nelle fusioni di metalli, ecc.

radiometria: misure di livello, spessore, densità, umidità, rivelatori di fumo, gascromatografi, ecc.

irraggiamento: sterilizzazione biologica (prodotti medicali o derrate alimentari), "stimolazione" di semi, tuberi al fine di ottenere una più alta germinazione o resistenza alle avversità, ecc.

- *ricerca*

taratura strumenti, irraggiamento materiali, ecc.

medicina (impieghi terapeutici)

Teleterapia: "bombe" al cobalto e al cesio (Co-60, Cs-137)

terapia interstiziale ed endocavitaria: sorgenti sigillate sotto forma di pastiglie, aghi, fili, che vengono collocati su organi del paziente.

IMPIEGHI DEI RADIOISOTOPI (Sorgenti non sigillate)

agricoltura

fertilizzanti: controllo della ritenzione di fertilizzanti nelle piante
(N-15, P-32)

industria

nell'industria i radioisotopi sotto forma non sigillata si utilizzano sfruttando alcune proprietà:

induzione di luminescenza: emissione di luce da parte di composti che divengono luminescenti sotto l'azione delle radiazioni;

ionizzazione dei gas;

traccianti: aggiungendo piccole quantità di sostanze radioattive è possibile studiare processi chimici misurando indirettamente il comportamento della molecola "marcata" attraverso l'elemento radioattivo che la compone.

ricerca

esperimenti con traccianti, radiochimica ecc.

medicina

in medicina vengono usati radioisotopi sotto forma non sigillata marcando con atomi radiattivi alcune molecole o composti che hanno "affinità" verso particolari tessuti o organi sui quali si intende investigare aspetti della funzionalità o della conformazione (diagnostica), oppure sui quali si intende realizzare un effetto biologico da radiazioni (terapia). I radionuclidi devono avere le seguenti principali caratteristiche: basso tempo di dimezzamento, elevata purezza radiochimica, basso tempo di ritenzione della molecola marcata negli organi interessati, bassa probabilità che la stessa molecola si diffonda in altri organi.

Es. scintigrafia scheletrica, miocardica, renale, polmonare, tiroidea, ecc.

I radionuclidi più usati

- diagnostica: Tc-99m, I-125, F-18 ecc.
- Terapia: I-131, P-32, Ir-192, Sm-153, Tl-201, Cr-51, ecc.

IMPIEGHI DELLE MACCHINE RADIOGENE

Industria

Gammagrafia e radiografia: controllo dei bagagli aeroportuali, ecc,

Ricerca ...

Medicina

Diagnostica:

radiografie (tubi raggi X)

TAC (tomografia assiale computerizzata)

Terapia:

acceleratori di elettroni

acceleratori di adroni (protoni, carbonio, ecc.)

esperto qualificato:

persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione. La sua qualificazione è riconosciuta secondo le procedure stabilite nel D.Lgs 230/95

sorveglianza fisica:

l'insieme dei dispositivi adottati, delle valutazioni, delle misure e degli esami effettuati, delle indicazioni fornite e dei provvedimenti formulati dall'esperto qualificato al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione;

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE

Zona classificata: ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le radiazioni ionizzanti, si distinguono:

ZONA CONTROLLATA: ambiente in cui si verifica la potenzialità di superamento di $3/10$ [30%] di uno dei limiti di dose fissati per i lavoratori esposti, l'accesso è segnalato e regolamentato.

ZONA SORVEGLIATA: ambiente in cui può essere superato in un anno solare uno dei pertinenti limiti di dose fissati per le persone del pubblico e che non è zona controllata, l'accesso è di norma solamente segnalato.

operativamente, per alcune zone controllate in cui vi è la potenzialità di superamento di uno dei limiti di dose per i lavoratori che vi operano la permanenza viene limitata nel tempo e quindi vengono classificate delle **zone controllate a permanenza limitata** o addirittura **zone controllate ad accesso interdetto**.

Quando in un'area non sussiste il rischio di superamento dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico, è classificata **Zona di libero accesso**.

CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI

lavoratori esposti: persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a un'esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico.

lavoratori esposti di categoria A: i lavoratori che, per il lavoro che svolgono, sono suscettibili di ricevere in un anno solare una dose superiore a uno dei pertinenti valori stabiliti dalla legge (3/10 [30%] di uno dei limiti massimi).

lavoratori esposti di categoria B: gli altri lavoratori esposti che non sono classificati in categoria A.

persone del pubblico: individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti

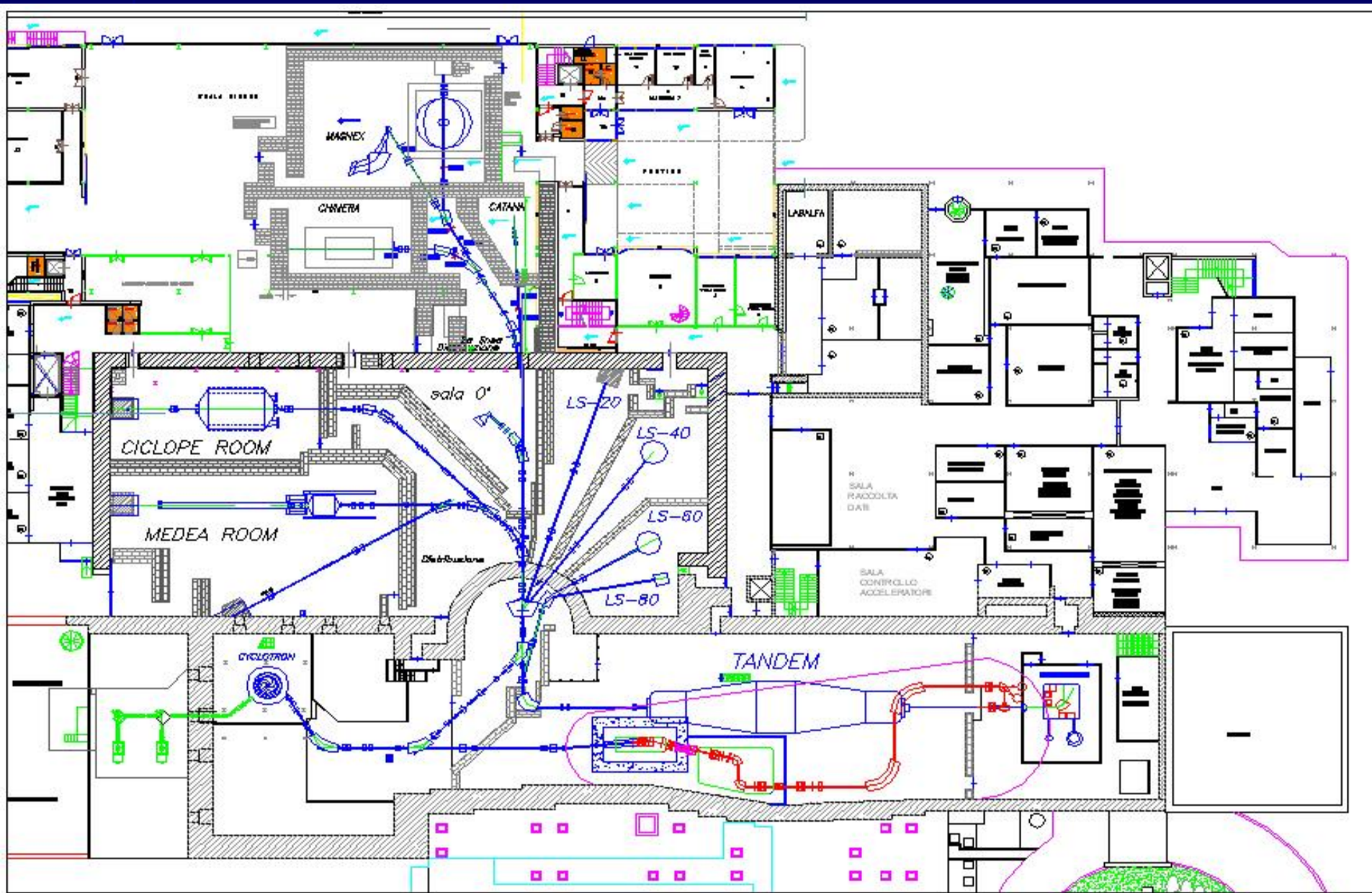
gruppi di riferimento (gruppi critici) della popolazione: gruppi la cui esposizione è ragionevolmente omogenea e rappresentativa di quella degli individui della popolazione maggiormente esposti, in relazione ad una determinata fonte di esposizione;

Limiti di dose

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

Sorgenti di radiazioni ionizzanti ai L.N.S

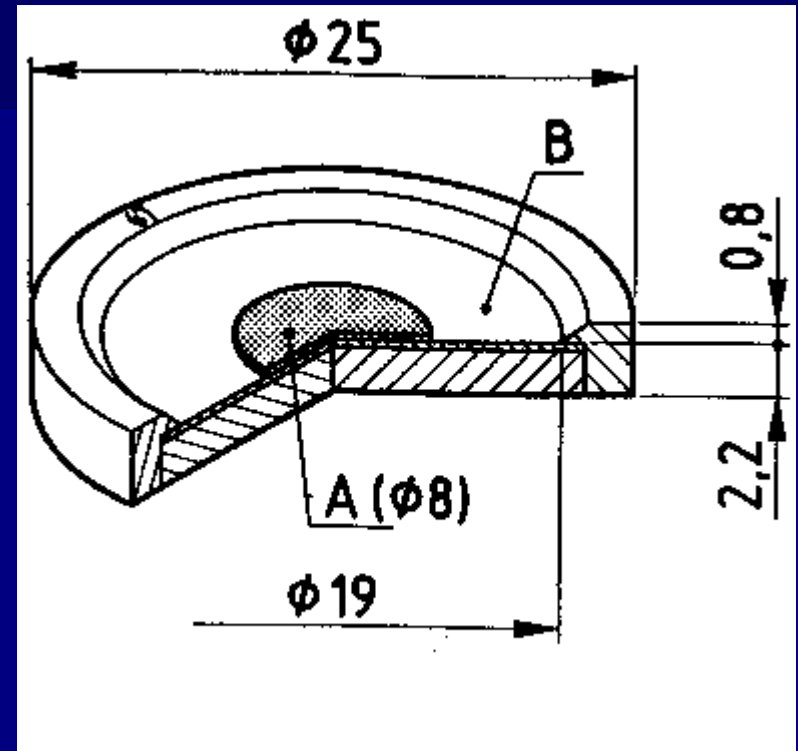
- ACCELERATORI
(neutroni e radiazioni gamma)
- LINEE DI TRASPORTO DEL FASCIO ED APPARATI SPERIMENTALI
(neutroni e radiazioni gamma)
- APPARECCHIATURE SOTTOPOSTE AD ALTE TENSIONI
(radiazioni X)
- BERSAGLI ATTIVATI
(radiazioni beta e gamma)
- SORGENTI E MATERIE RADIOATTIVE
(radiazioni alfa, beta, gamma, neutroni)
- TUBI A RAGGI X
(radiazioni X)



Sorgenti alfa

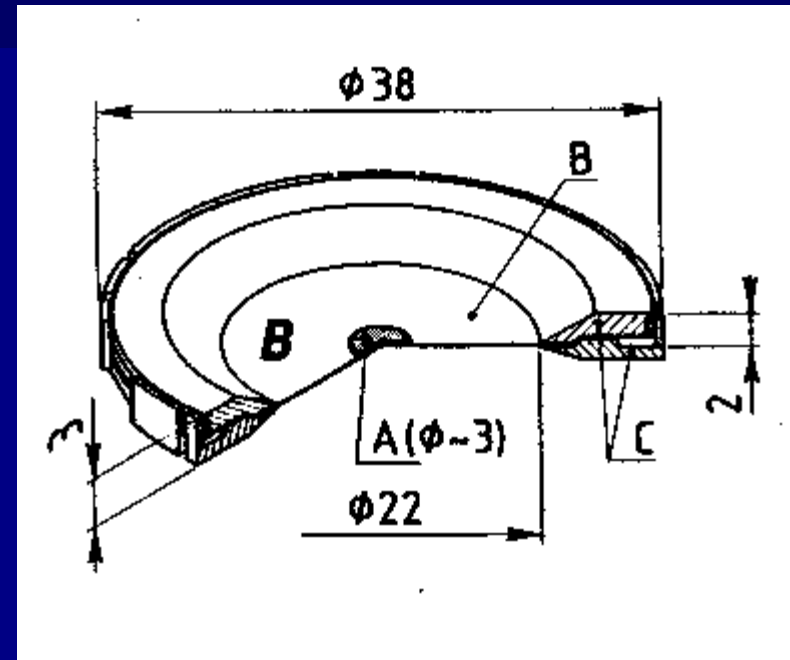
Le radiazioni alfa sono poco penetranti e quindi il materiale attivo deve essere poco schermato dall'involucro o addirittura con una parte che sia a diretto contatto con l'esterno. Generalmente esse sono a forma di disco con il materiale attivo elettrodepositato su di una superficie di acciaio.

Alcune sono ricoperte da un sottilissimo strato di materiale inattivo: mylar, kapton, nichel, oro, argento, ecc...



Sorgenti beta

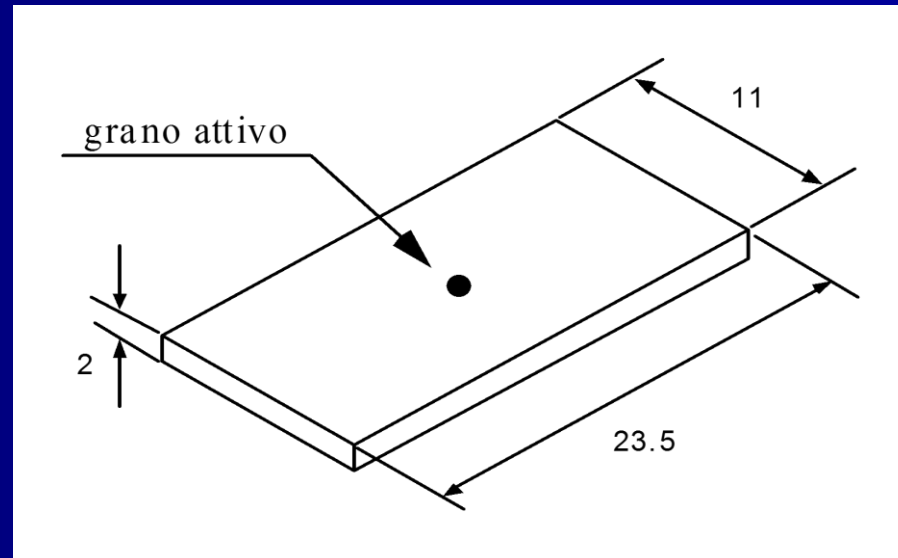
Anche queste sorgenti, essendo le radiazioni poco penetranti, hanno una finestra sottile da cui fuoriescono le radiazioni. Il materiale radioattivo è quasi sempre ricoperto da un sottile strato inattivo. Spesso il radionuclide è contenuto fra due fogli sottili per permettere la rivelazione delle radiazioni a 180° .



Sorgenti gamma

le radiazioni gamma sono molto penetranti e quindi il materiale attivo può essere racchiuso in capsule di plastica o di acciaio le cui caratteristiche dipendono dall'attività della sorgente e dalle condizioni operative a cui essa sarà sottoposta durante l'impiego.

Es. 1: il materiale attivo è assorbito in un grano di diametro di circa 1 mm, incorporato in una capsula di plastica trasparente. Il grano è visibile e posizionato al centro della capsula



NORMATIVA DI RADIOPROTEZIONE

Raccomandazioni Internazionali (ICRP , ICRU)

Legislazione internazionale

(direttive CEE: EURATOM 80/836, 84/467, 92/3, 96/29, ecc.)

Legislazione italiana

Leggi nazionali e regionali, sentenze della corte costituzionale e di cassazione (D.Lgs. 230/95 e s.m.i., legge 1860/62,, ecc.)

Circolari Ministeriali

Regolamentazione tecnica emanata dagli organismi di vigilanza

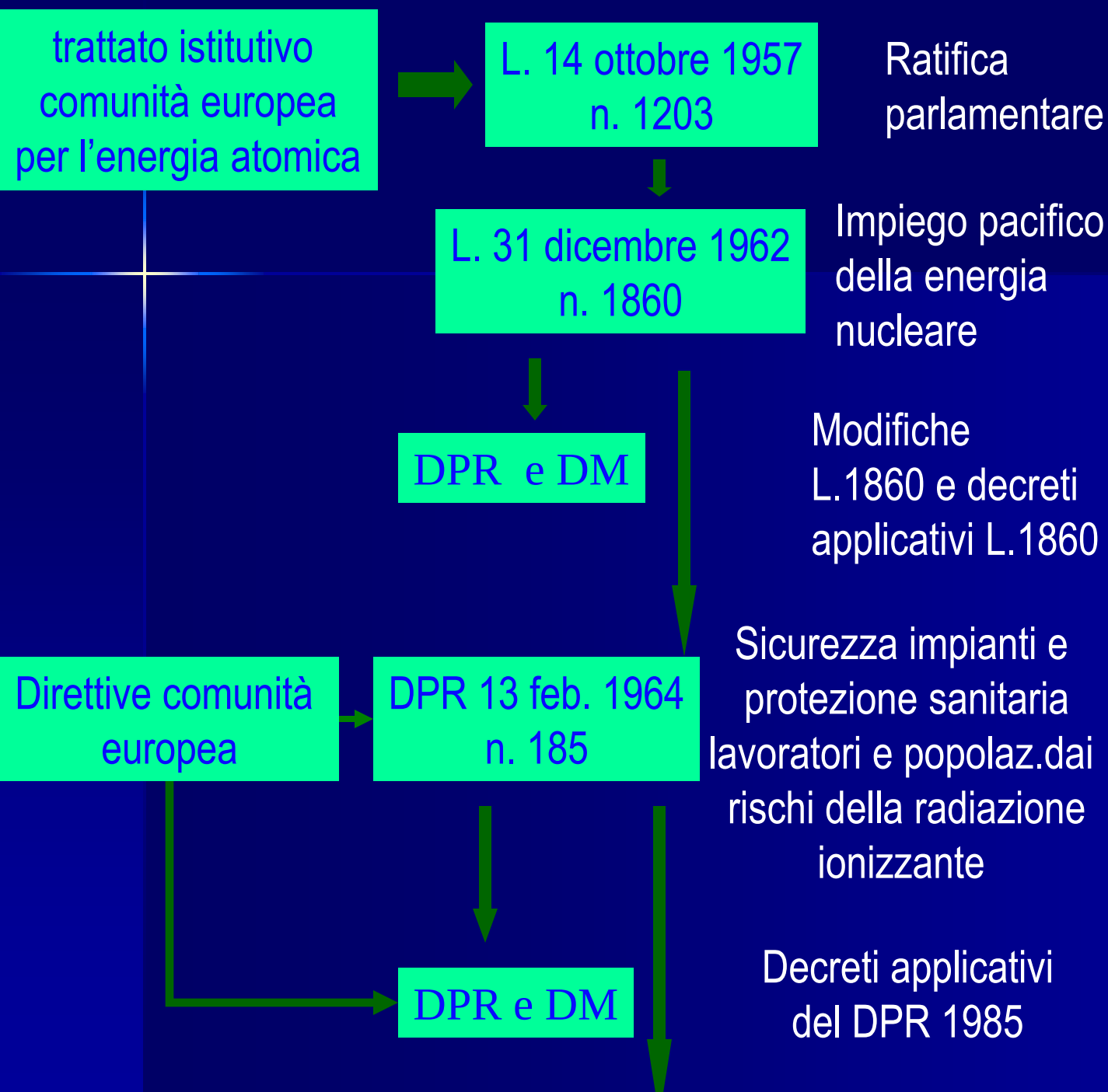
(guide tecniche ANPA, SSN, ecc.) relativi ad impiego, detenzione, trasporto ecc, (Ministeri competenti: Attività Produttive, Salute, Lavoro, Interno, Trasporti, Ambiente, ecc.)

Norme costruttive e di buona tecnica (norme UNI, CEI, ISO)

Rapporti e pubblicazioni Internazionali (organismi internazionali: NCRP , IAEA, UNSCEAR, ecc.)

Autorizzazioni di singoli impianti con prescrizioni operative (autorità competenti)

Norme interne (datore di lavoro, E.Q.)



DPR 13 eb. 1964
n. 185



Nuove direttive
comunità europea



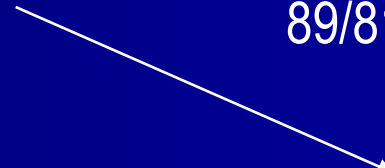
DL 17 marzo 1995
n. 230
e DM

Attuazione delle
direttive EURATOM
80/836, 84/467 84/466,
89/818 90/641, 92/3

Dlgs. 241/00
Radioprotezione
dei lavoratori



Dlgs. 187/00
Radioprotezione dei
pazienti



modifiche

Art. 61 Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti.

- *prima dell'inizio delle attività, acquisire dall'esperto qualificato la relazione di radioprotezione fornendogli dati e planimetrie*
 - *individuare, delimitare, segnalare, classificare le zone a rischio e regolamentare l'accesso, come indicato dall'esperto qualificato*
 - *provvedere per classificare i lavoratori*
 - *predisporre norme interne adeguate al rischio e curare che siano consultabili dai lavoratori*
 - *nomina addetti all'emergenza e PS*
-
- *fornire i dosimetri e i mezzi di protezione*
 - *in relazione alle loro mansioni, rendere edotti i lavoratori su: rischi, norme, prescrizioni mediche, modalità di esecuzione del lavoro*
 - *provvedere affinché si osservino le norme*
 - *apporre segnalazioni sul tipo di zona ed i rischi e siano indicate, mediante contrassegni, le sorgenti*
 - *fornire al lavoratore i risultati delle valutazioni di dose (documentazione disponibile)*
 - *comunicare tempestivamente la cessazione del lavoro degli esposti*

Art. 68 *Obblighi dei lavoratori*

Il lavoratore **si prende cura** della sicurezza **propria** e di **altre** persone, ed in particolare:

- ⇒ **osserva le disposizioni, a seconda mansioni**
- ⇒ **usa, secondo le istruzioni, i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di dosimetria**
- ⇒ **segnala immediatamente le deficienze dei dispositivi e le condizioni di pericolo**
- ⇒ **non rimuove né modifica, senza autorizzazione, i dispositivi e i mezzi di protezione e di misurazione**
- ⇒ **non compie manovre non di competenza o che compromettono la protezione e la sicurezza**
- ⇒ **si sottopone alla sorveglianza medica**
- ⇒ **informa ciascun DdL su attività svolte presso altri**
- ⇒ **trasmette su richiesta le dosi ricevute**

Art. 69 Disposizioni particolari per le donne lavoratrici.

Ferma restando l'applicazione delle norme speciali concernenti la tutela delle lavoratrici madri, *le donne gestanti non possono svolgere attività in zone classificate o, comunque, attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda un millisievert durante il periodo della gravidanza.*

2. È fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al datore di lavoro il proprio stato di gestazione, non appena accertato.
3. È altresì vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione.

SEGNALETICA



**RADIAZIONI
IONIZZANTI**

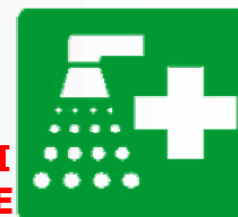


**PERICOLO
IRRADIAZIONE**

**PERICOLO
CONTAMINAZIONE
RADIOATTIVA**



**DOCCIA DI
DECONTAMINAZIONE**



Dosi equivalenti tipiche

radioattività naturale	3 mSv
Radiografia torace	0.02 mSv
Radiografia addome	< 1 mSv
Mammografia	< 1 mSv
TC addominale	8 mSv
PET/ SPECT	10-20 mSV

- Radioterapia con LINAC 50 mSv (2 Gy x 25 sedute)

Grazie