

ing. Domenico Mannelli



Dove

Rischio radiazioni

# effetti biologici e patologie indotte della radiazione laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

---

Un fascio di luce laser sia diretto, che riflesso da superfici speculari può causare danni anche irreversibili alle strutture oculari e alla pelle (eritemi, ustioni cutanee, superficiali e profonde, )

Laser di potenza notevolmente elevata possono danneggiare seriamente anche gli organi interni.

# classificazione delle sorgenti laser secondo la norma cei 76-2

Il Limite di Emissione Accettabile (LEA), descrive i livelli di radiazione emergente da un sistema laser, la cui valutazione permette la collocazione dell'apparecchio nell'opportuna categoria di rischio.

Si sono individuate 5 classi: 1, 2, 3A, 3B e 4, con indice di pericolosità crescente con il numero di classe.

Nella Classe 1 vengono raggruppati i laser cosiddetti intrinsecamente sicuri, poiché il livello di esposizione massima permesso non viene mai superato, o quei sistemi laser non pericolosi grazie alla loro progettazione ed ingegnerizzazione

<b>PERICOLO</b>	<b>classe dei laser</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>4</b>
<b>Occhio:</b>					
i) <b>irraggiamento diretto</b>		1*	*	*	*
ii) <b>riflessioni speculari</b>		1*	*	*	*
iii) <b>riflessioni diffuse</b>					*
<b>Pelle :</b>					
i) <b>Lesioni</b>					*
ii) <b>Rischio cancerogeno</b>		UV	UV	UV	UV
<b>Incendio</b>					*
<b>Rischio Elettrico</b>	Per laser alimentati ad alta tensione e quando vengono aperti				
<b>Rischio Chimico</b>	Laser a coloranti (DYE) Laser a gas (KrF, XeCl, ...) Gas da interazione laser bersaglio				

1\* solo se il laser viene guardato volontariamente per più di 0.25 s

principali applicazioni dei laser

## Applicazioni mediche

Applicazioni dei laser in *Oftalmologia*

Applicazioni cliniche dei laser in *Chirurgia Generale*

Applicazioni cliniche dei laser in *Chirurgia con microscopio operatorio*

Applicazioni cliniche dei laser in *Chirurgia Endoscopica*

## misure di sicurezza, rischi, procedure e controllo dei rischi

---

Nei laboratori dove si usano laser di classe superiore alla Classe 3 A, l'utilizzatore deve servirsi della consulenza specialistica di un **Tecnico Laser con competenze specifiche relative ai problemi di sicurezza (TSL)** per la verifica del rispetto della Normativa corrispondente (CEI 1384 G - CT-76 del CEI Guida E) e per l'adozione delle necessarie misure di prevenzione

# controlli

**Tecnico Sicurezza Laser:** persona che possiede le conoscenze necessarie per valutare e controllare i rischi causati dai laser e ha la responsabilità di supervisione sul controllo di questi rischi. Il TSL è nominato dal DL. Il TSL valuta il rischio laser, prescrive le misure di sicurezza e gli appropriati controlli ed effettua dei sopralluoghi di verifica sulle condizioni di sicurezza, di concerto con il Responsabile del Servizio Prevenzione e Protezione.

Nei laboratori con laser di classe 3 e 4, la consulenza specialistica del TSL per la verifica del rispetto della normativa e per l'indicazione delle misure di prevenzione è **OBBLIGATORIA**.

# misure di sicurezza

## **Protezione degli occhi**

- Un protettore oculare previsto per assicurare una protezione adeguata contro le radiazioni laser specifiche deve essere utilizzato in tutte le zone pericolose dove sono in funzione laser della classe 3 e 4.

## **Vestiti protettivi**

- Da prevedere nel caso il personale sia sottoposto a livelli di radiazione che superano le EMP (esposizione massima permessa) per la pelle ( i laser di classe 4 rappresentano un potenziale di pericolo di incendio e i vestiti di protezione devono essere fabbricati con materiali appositi).

## **Formazione**

- I laser di classe 3 e 4 possono rappresentare un pericolo non solo per l'utilizzatore, ma anche per altre persone, anche a considerevole distanza. Il personale, quindi , che opera in questi ambienti deve avere adeguata preparazione al fine di rendere minimo il rischio professionale.

## **Sorveglianza medica**

- Esami oculistici di preimpiego dovrebbero essere eseguiti limitatamente ai lavoratori che utilizzano laser di Classe 3 e 4.

# protezione personale

## **Classe 1**

- a) Utilizzo senza prescrizioni

## **Classe 2**

- a) Evitare una visione continua del fascio diretto
- b) Non dirigere il fascio laser deliberatamente sulle persone

## **Classe 3 A**

- a) Evitare l'uso di strumenti ottici quali binocoli o teodoliti
- b) Affiggere un segnale di avvertimento laser
- c) Allineamento laser tramite mezzi meccanici o elettronici
- d) Terminare il fascio laser in una zona esterna al luogo di lavoro  
o delimitare tale zona
- e) Fissare la quota del raggio laser molto al di sopra o al di sotto dell'altezza dell'occhio
- f) Evitare che il fascio laser sia diretto verso superfici riflettenti
- g) Immagazzinare il laser portatile non in uso in un luogo  
inaccessibile alle persone non autorizzate

## protezione personale

### ***Classe 3 B***

Può causare danni a un occhio non protetto.

Valgono le precauzioni della classe 3 A e inoltre

- a) Funzionamento solo in zone controllate dagli operatori
- b) Evitare assolutamente riflessioni speculari
- c) Far terminare il fascio su un materiale atto a disperdere calore e riflessione
- d) Indossare le protezioni oculari

# protezione personale

## **Classe 4**

Causa danni a un occhio sia tramite il fascio diretto, riflessioni speculari e diffuse. Rappresentano anche un potenziale pericolo di incendio. Valgono le precauzioni della classe 3 B e inoltre

- a) Tragitti dei fasci protetti da un riparo
- b) Durante il funzionamento presenza solo di personale tecnico munito di protettori oculari e idonei vestiti protettivi
- c) Per evitare la presenza di personale sarebbe preferibile se fossero comandati a distanza
- d) Preferibili bersagli metallici non piani e adeguatamente raffreddati come coni e assorbitori
- e) Per evitare riflessioni indesiderate nella parte invisibile dello spettro per la radiazione laser situata nell'infrarosso lontano, il fascio e la zona di impatto dovrebbero essere avvolte da un materiale opaco per la lunghezza d'onda del laser

## Interazione radiazioni - materia

Le particelle  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  emesse dalle sorgenti radioattive, i raggi X delle macchine radiogene e gli elettroni dei LINAC interagiscono con i materiali nei quali si propagano (es. aria, materiali biologici, ...)

Lungo il loro percorso cedono frazioni della loro energia agli elettroni del mezzo attraversato

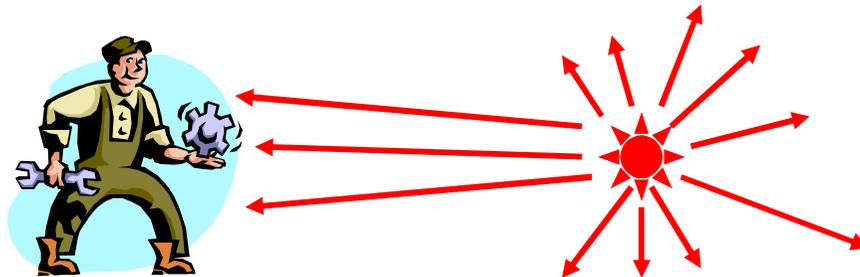
Le modalità di interazione sono molto diverse a seconda che si parli di **particelle cariche:  $\alpha$  o elettroni** oppure di **particelle neutre: raggi X, fotoni e neutroni**



## Rischi da radiazioni ionizzanti:

irraggiamento:

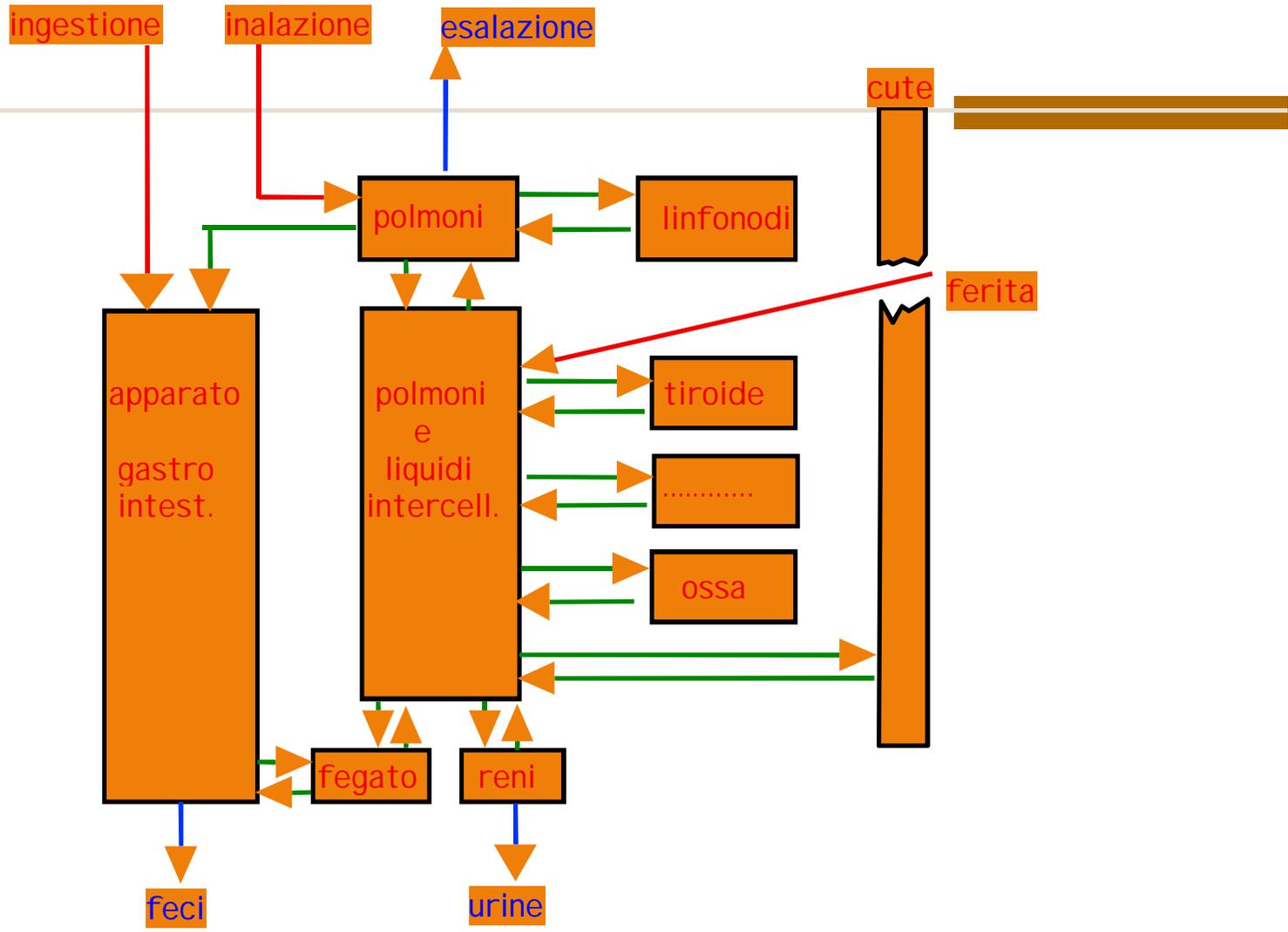
Sorgente esterna all'organismo  
Le radiazioni incidono sul lavoratore



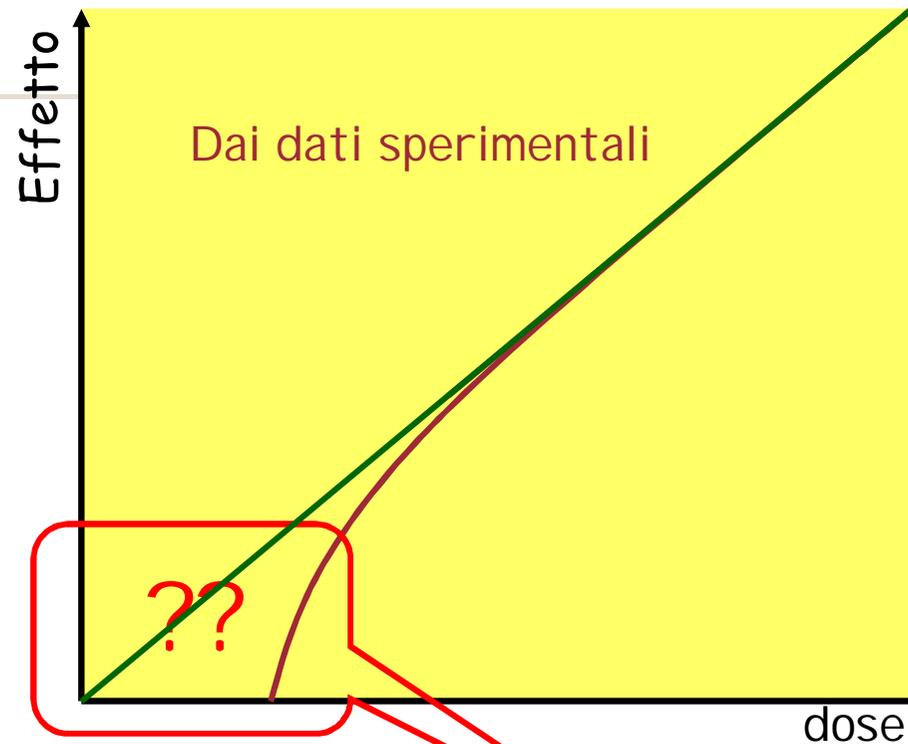
Contaminazione interna:

Sorgente entra nell'organismo a seguito di  
Ingestione, inalazione, ....

# Contaminazione interna:



# standard di radioprotezione



Nella zona a basse dosi gli effetti sono immisurabili

L'ICRP assume che una dose, comunque piccola, produce un danno: non vi è soglia, la curva passa per l'origine

# radioattività

L'unità di misura è il Sievert (Sv). Di uso più comune è il sottomultiplo millisievert (mSv), pari a un millesimo di Sv. Ad esempio, una radiografia al torace comporta l'assorbimento di una dose di circa 0,14 mSv. La dose annualmente assorbita da ogni individuo per effetto della radioattività naturale è in media di 2,4 mSv per anno.

## I limiti di dose

L'ICRP distingue due categorie:

- a) Gli individui esposti per motivi professionali
- b) La popolazione nel suo insieme

Il limite per i lavoratori professionalmente esposti e':  
100 mSv in 5 anni (cioe' in media 20 mSv/anno)

## I limiti di dose

L'ICRP distingue due categorie:

- a) Gli individui esposti per motivi professionali
- b) La popolazione nel suo insieme

Il limite di dose per le persone del pubblico è: 1 mSv per anno solare

Questo valore coincide con quello dovuto alla radioattività naturale

(raggi cosmici,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ , ... )

Esiste una probabilità su 100.000 di contrarre durante l'intera vita una grave malattia per esposizione naturale a dosi di 1 mSv/anno

## Effetti deterministici delle radiazioni ionizzanti

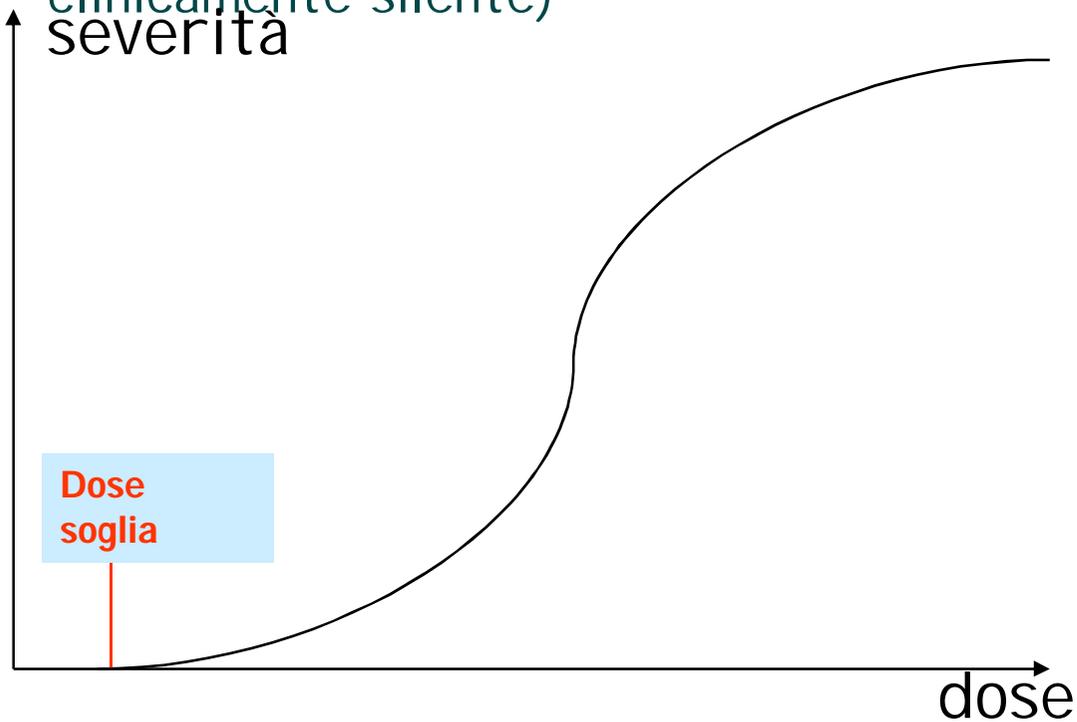
---

- Gli **effetti deterministici** sono dovuti **all'irradiazione di tutto il corpo** oppure **localizzata in alcuni tessuti**, la quale produce **inattivazione cellulare** in grado tale da **non poter essere compensata** dalla proliferazione delle cellule che sopravvivono.
- La perdita di cellule che ne risulta può causare una **perdita di funzioni grave e clinicamente rilevabile** in un tessuto od organo.

# Effetti deterministici delle radiazioni ionizzanti

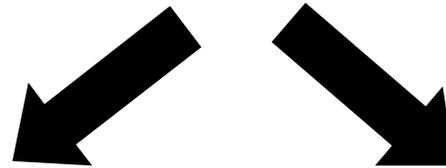


Vi è una soglia al di sotto della quale la perdita di cellule è troppo piccola per produrre una perdita funzionale clinicamente rilevabile del tessuto o dell'organo (effetto clinicamente silente)



# Effetti deterministici delle radiazioni ionizzanti

PRECOCI



## Localizzati

Danno a singoli organi e/o tessuti:  
Alterazioni funzionali e/o morfologiche  
in giorni e settimane

## Generalizzati

Sindrome Acuta da Radiazioni

# Effetti deterministici delle radiazioni ionizzanti

RI TARDATI



- Dermatite da Radiazioni
- Cataratta da Radiazioni
- Effetti Teratogeni

# Effetti deterministici delle radiazioni ionizzanti

---

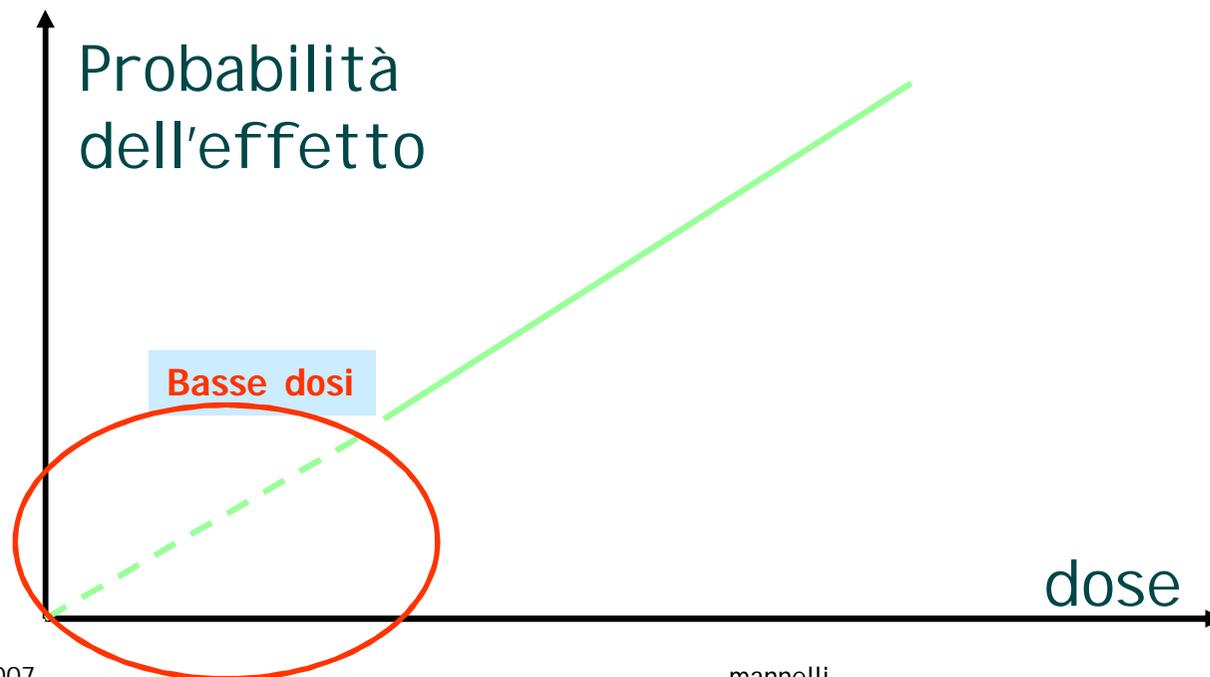
LA PREVENZIONE DEGLI EFFETTI DETERMINISTICI PUO' ESSERE EFFICACEMENTE ATTUATA RIDUCENDO L'ESPOSIZIONE AL DI SOTTO DELLA DOSE SOGLIA.

ALLE DOSI DI ESPOSIZIONE CONSENTITE **NON E' POSSIBILE LA COMPARSA DI ALCUN EFFETTO DI TIPO DETERMINISTICO** NELLA POPOLAZIONE LAVORATIVA.

# Effetti stocastici (Leucemie, tumori solidi)

Gli effetti stocastici sono dovuti a una **modificazione di cellule normali provocata da un evento di ionizzazione** (*mutazione non letale*)

La **probabilità** che una tale modificazione si verifichi in una popolazione di cellule di un tessuto è **proporzionale alla dose**.



## esperto qualificato

**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. 17 marzo 1995, nr. 230.**

# Abilitazione degli esperti qualificati: elenco nominativo

1. Con decreto del Ministro del lavoro e della previdenza sociale, di concerto con il Ministro della sanità, è istituito, presso l'Ispettorato medico centrale del lavoro, un elenco nominativo degli esperti qualificati, ripartito secondo i seguenti gradi di abilitazione:
  - a) abilitazione di primo grado, per la sorveglianza fisica delle sorgenti costituite da apparecchi radiologici che accelerano elettroni con tensione massima, applicata al tubo, inferiore a 400 kV,
  - b) abilitazione di secondo grado, per la sorveglianza fisica delle sorgenti costituite da macchine radiogene con energia degli elettroni accelerati compresa tra 400 keV e 10 MeV, o da materie radioattive, incluse le sorgenti di neutroni la cui produzione media nel tempo, su tutto l'angolo solido, sia non superiore a  $10^4$  neutroni al secondo;
  - c) abilitazione di terzo grado, per la sorveglianza fisica degli impianti come definiti all'articolo 7 del capo I I del presente decreto e delle altre sorgenti di radiazioni diverse da quelle di cui alle lettere a) e b).
2. L'abilitazione di grado superiore comprende quelle di grado inferiore.

Campo di applicazione (art. 1)

Le disposizioni del decreto si applicano:

Comma b "...a tutte le pratiche che implicano un rischio dovuto a radiazioni ionizzanti provenienti da una sorgente artificiale o da una sorgente naturale..."

"... al funzionamento di macchine radiogene"

## Lavoratori Esposti (All. III)

Coloro che a causa della specifica attività svolta sono suscettibili di superare in un anno solare uno o più dei seguenti valori di esposizione:

**1 mSv** di Dose Efficace

**50 mSv** di Dose Equivalente per il Cristallino

**50 mSv** di Dose Equivalente per:

cute

estremità

# Classificazione dei lavoratori esposti

I lavoratori esposti sono classificati in:

categoria A

categoria B

a seconda che siano suscettibili di superare (cat. A) uno dei seguenti valori di esposizione:

**6 mSv** di Dose Efficace

**45 mSv** di Dose Equivalente per il Cristallino

**500 mSv** di Dose Equivalente per  
cute  
estremità

# Limiti di dose per i Lavoratori esposti (categoria A e B)

---

**20 mSv** di Dose Efficace

**500 mSv** di Dose Equivalente per il Cristallino

**500 mSv** di Dose Equivalente per

cute

estremità

***La verifica del non superamento delle dosi limite viene effettuata dall'Esperto***

***Qualificato mediante lettura dei dosimetri individuali.***

# Disposizioni per le lavoratrici madri (art. 69)

Le donne gestanti non possono svolgere attività che le espongano in zone classificate o comunque attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda 1 mSv durante il periodo di gravidanza

E' fatto obbligo alle lavoratrici di notificare al DDL il proprio stato di gestazione, non appena accertato.

E' vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione (radioisotopi)

## Classificazione delle aree di lavoro

- Zona Classificata: qualsiasi zona sottoposta a regolamentazione ai fini della radioprotezione

**Zona Sorvegliata:** qualsiasi zona nella quale sia possibile il superamento di uno qualsiasi dei valori limite per la classificazione di lavoratore esposto di categoria B

**Zona Controllata:** qualsiasi zona nella quale sia possibile il superamento di uno qualsiasi dei valori limite per la classificazione di lavoratore esposto di categoria A

L'accesso alla zona Controllata è segnalato e regolamentato da apposite procedure scritte.

# Sorveglianza Medica

Il **DDL** deve provvedere ad assicurare mediante uno o più **Medici Autorizzati** la sorveglianza medica dei lavoratori esposti, degli apprendisti e degli studenti.

La Sorveglianza Medica viene condotta mediante **visite mediche:**

preventive

periodiche

    annuali (categoria B)

    semestrali (categoria A)

Sorveglianza medica eccezionale a fine rapporto di lavoro

2007 ***I lavoratori hanno l'obbligo di sottoporsi a visita di sorveglianza medica***

# Sorveglianza Medica

La sorveglianza medica costituisce una **misura di tutela specifica del lavoratore** nei confronti del rischio da Radiazioni Ionizzanti

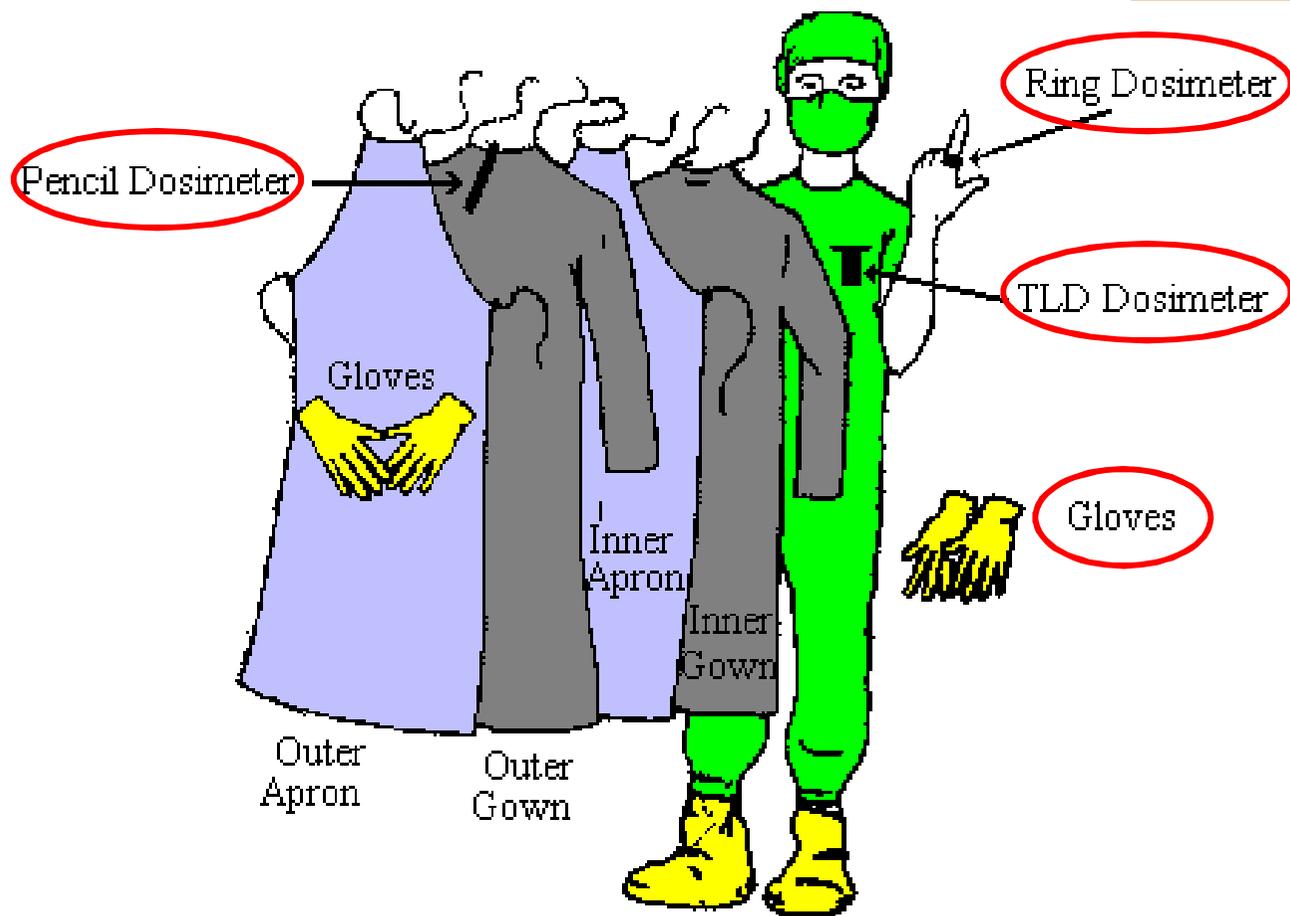
Si attua mediante visite mediche programmate e controlli strumentali, di laboratorio e specialistici atti a valutare:

*Stato di salute generale*

*Funzionalità di organi ed apparati critici per l'esposizione*

*Eventuali condizioni di ipersuscettibilità individuale*

## Dispositivi di protezione e monitoraggio individuali



## le procedure radiografiche tradizionali

Durante l'attività radiologica tradizionale, il personale staziona normalmente in un box comandi schermato: un progetto ottimizzato di una sala radiologica garantisce che la dose efficace assorbita dall'operatore sia mediamente dell'ordine di  $0.1 \mu\text{Sv}/\text{radiogramma}$ .

Anche utilizzando RX portatili per esami su pazienti allettati si può stimare un campo di radiazioni dovuto alla radiazione diffusa variabile da  $0.4$  a  $1 \mu\text{Sv}/\text{radiogramma}$  a  $1 \text{ m}$

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

Lavoratore Categoria A:  
80 radiografie al giorno

# TAC

In tomografia computerizzata le dosi al paziente possono essere elevate (dipendentemente dallo spessore dello strato e dal numero di strati) ma le dosi efficaci assorbite dal personale in sala comandi risultano di solito estremamente basse.

Per il personale alla console di una TAC la tomografia computerizzata non rappresenta una significativa fonte di rischio.

solo in esami particolari, in cui e' necessario lo stazionamento nelle vicinanze del gantry, il personale e' interessato a campi di radiazioni rilevanti (da 5 a 20  $\mu\text{Gy}$ /strato).

# Mammografia

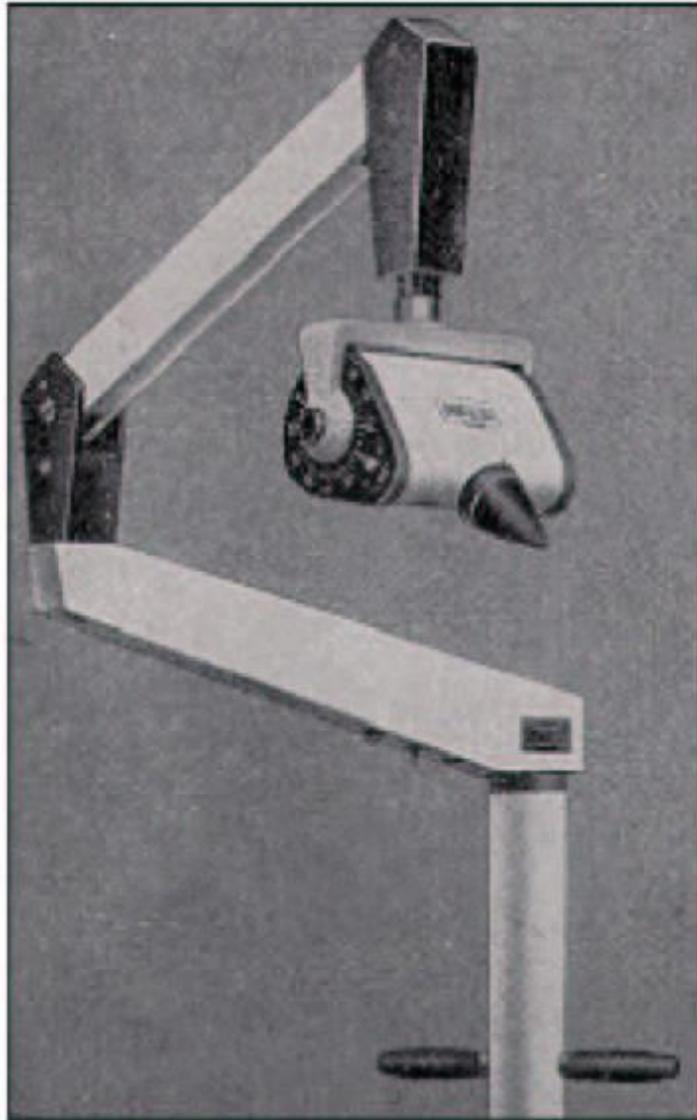


Mammografo

Per quanto attiene le procedure  
**mammografiche:**

con apparecchiature dedicate e  
procedure ottimizzate le  
esposizione lavorative risultano di  
assoluta irrilevanza  
radioprotezionistica.

# Radiologia dentale



Monoblocco dentale

Per quanto attiene le procedure di **radiologia dentale**:

con apparecchiature dedicate e procedure ottimizzate le esposizioni lavorative risultano di assoluta irrilevanza radioprotezionistica.

alla distanza di 1 m	$\leq 0.5 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 1,5 m	$\leq 0.22 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 2 m	$\leq 0.13 \mu\text{Gy}$
alla distanza di 3 m	$\leq 0.06 \mu\text{Gy}$
dietro barriere	$< 0.003 \mu\text{Gy}$

*Dosi da radiazione diffusa a 90° da un apparecchio per radiografie endorali funzionante a: 70 kV-7 mA tempo di esposizione di 1 s*

## Medicina nucleare

La Medicina nucleare si occupa dello studio della morfologia e della funzionalità di alcuni organi del corpo umano, utilizzando sorgenti  $\gamma$  emittenti non sigillate (energia dei fotoni emessi: da 100 a 400 keV circa).

**La parte "in vivo" comprende Scintigrafie e Pet.**

**La parte "in vitro" comprende il Laboratorio Analisi.**

Ai fini della protezione dei lavoratori in esso operanti, un Laboratorio RIA deve essere dotato di:

sistema di ventilazione adeguato alla tipologia e alle quantità di sostanze radioattive in esso utilizzate;

una cappa

pavimenti a sguscio e superfici lavabili per facilitare le operazioni di decontaminazione;

adeguata strumentazione di monitoraggio della contaminazione superficiale (monitor per contaminazioni superficiali);

deposito per lo stoccaggio e il decadimento di rifiuti liquidi e solidi radioattivi, prima del loro smaltimento.

Di solito il rischio di irradiazione esterna è praticamente trascurabile in tali attività a meno che non si utilizzino beta emettitori di alta energia; ai fini della protezione dai rischi di irradiazione interna è indispensabile

utilizzare tutti i dispositivi di protezione individuali disponibili e in particolare guanti monouso da utilizzare durante la manipolazione del tracciante.

## Esame scintigrafico

L'esame scintigrafico viene effettuato somministrando al paziente, principalmente per via endovenosa, una sostanza radioattiva legata ad un composto chimico (tracciante) diverso a seconda dell'organo che si desidera studiare.

Isotopo	T1/2	Energia (keV)
$^{67}\text{Ga}$	3.26 d	93.3
		184.6
		300.2
$^{111}\text{In}$	2.81 d	171.3
		245.4
$^{123}\text{I}$	13.2 h	159.0
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.0 h	140.5
$^{201}\text{Tl}$	3.0 d	167.4

*Parametri di interesse radioprotezionistico relativi ad alcuni radionuclidi utilizzati in medicina nucleare*



*Gamma camera a doppia testa*

Alla base della formazione di una immagine scintigrafica e' la possibilita, accostando al corpo del paziente un rivelatore di radiazioni, di rivelare i fotoni emessi dalla sostanza somministrata; i segnali prodotti dal rivelatore, opportunamente processati da un sistema elettronico, forniscono a video l'immagine della distribuzione del tracciante. L'insieme costituito dal rivelatore e dal sistema elettronico di elaborazione del segnale viene chiamato comunemente **gamma camera**.

## Cosa è la PET?

La PET è l'acronimo di Tomografia ad Emissione di Positroni, una metodica diagnostica di medicina nucleare che si basa sull'impiego di traccianti marcati con isotopi positron-emittenti prodotti da ciclotroni compatti ad uso medico.

Lo strumento per acquisire le immagini è il tomografo PET .

Questa apparecchiatura consente di misurare la radioattività emessa dal tracciante e, mediante algoritmi matematici, ricostruire delle immagini tomografiche relative a come il tracciante si è distribuito nell'organismo.

## Misure di prevenzione e protezione in Medicina nucleare

La protezione dei lavoratori, in un Servizio di Medicina nucleare, si fonda in larga misura su accorgimenti progettuali; un Servizio di medicina nucleare deve infatti essere caratterizzato da:

sistemi di ventilazione che convogliano l'aria dalle **zone fredde** alle **zone calde** e garantiscano **adeguati ricambi di aria**;

un locale apposito per la **manipolazione** di radionuclidi (**camera** pavimenti a sguscio e superfici lavabili per **facilitare le operazioni di decontaminazione**;

**percorsi differenziati** in ingresso e in uscita dal reparto e una zona di decontaminazione;

**adeguata strumentazione di monitoraggio** della contaminazione superficiale (monitor mani - piedi, monitor per contaminazioni superficiali)

**un deposito per lo stoccaggio** e il decadimento di rifiuti liquidi e solidi radioattivi, prima del loro smaltimento.

## Rifiuti radioattivi

Nell'esercizio delle attività di diagnostica in vivo vengono prodotti, di norma, solo rifiuti radioattivi in forma solida e liquida, a condizione che:

a) i vapori o gas radioattivi, peraltro prodotti normalmente in piccole quantità, vengano filtrati prima della loro immissione in ambiente da parte degli impianti di ventilazione e/o condizionamento di cui sono normalmente dotate le strutture di medicina nucleare;

b) si provveda alla sostituzione programmata dei filtri assoluti e/o a carbone attivo dei servizi di medicina nucleare al fine di mantenerne inalterata la funzionalità e il potere filtrante.

## Rifiuti radioattivi solidi

I rifiuti solidi derivanti dall'uso di sostanze radioattive a scopo diagnostico in vivo sono principalmente costituiti da:

- **siringhe, provette e contenitori** vuoti di sostanze radioattive;
- **materiale di medicazione;**
- **biancheria contaminata;**
- **materiale venuto a contatto con escreti di pazienti** sottoposti ad esame scintigrafico (pannoloni, teli, cateteri, sondini, etc);
- **materiale di consumo utilizzato in camera operatoria** e venuto a contatto con pazienti portatori di radioattività sottoposti a intervento chirurgico
- **materiali utilizzati per operazioni di lavaggio** e decontaminazione;
- **filtri degli impianti di estrazione dell'aria** dei servizi di Medicina nucleare

## Rifiuti radioattivi liquidi

I principali rifiuti liquidi derivanti dall'uso di sostanze radioattive non sigillate a scopo diagnostico in vivo, sono costituiti da:

- **residui di soluzioni somministrate**, costituiti da piccoli volumi con attività inferiore, in genere, al centinaio di MBq.
- **acque utilizzate per il lavaggio** di vetrerie o altri oggetti contaminati, con un volume non precisabile e attività massima dell'ordine di qualche kBq;
- **acque di lavaggio di biancheria contaminata**, con volume non precisabile e attività non stimabili a priori ma comunque estremamente contenute;
- **escreti dei pazienti**, di solito raccolti in sistemi di vasche.



I rifiuti vanno controllati e conservati  
in attesa del loro decadimento

Possono essere smaltiti nel rispetto delle leggi solo quando la loro attività specifica (Bq/kg) è scesa sotto ai livelli previsti dalla normativa europea vigente.

