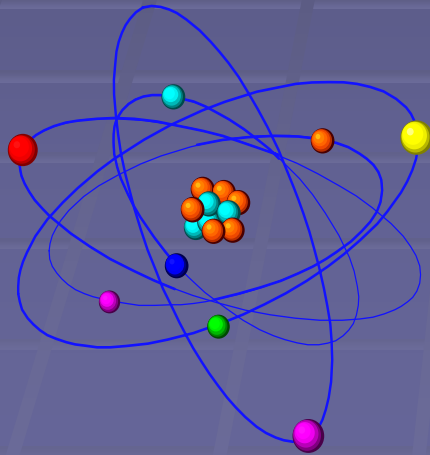


CORSO DI FORMAZIONE ASL AL 2010

Studio associato ECORAD



ECOLOGIA, RADIOPROTEZIONE,
PROGETTAZIONE INDUSTRIALE,
SICUREZZA SUL LAVORO,
IGIENE AMBIENTALE

Dott. Carlo Bergamaschi

RADIOPROTEZIONE

D.Lgs. 230/1995

Cosa diremo:

1. Cos'è e perché la radioprotezione;
2. Il D.Lgs. 230/95, le sue modifiche e perché;
3. Che cosa deve fare il datore di lavoro quando diventa esercente;
4. Chi è l'esperto qualificato;
5. Che cosa deve fare l'esperto qualificato;
6. La sorveglianza medica in caso di esposizione alle radiazioni ionizzanti.

RADIOPROTEZIONE

Scopo: eliminare i danni non stocastici o deterministici e ridurre a livelli accettabili il rischio relativo all'insorgenza di danni stocastici.

Norme di legge hanno previsto una limitazione dell'esposizione sia della popolazione che dei lavoratori in modo da garantire livelli di rischio accettabili.

CRITERI GENERALI RP

- **GIUSTIFICAZIONE**
- **OTTIMIZZAZIONE** (principio ALARA)
- **LIMITAZIONE DELLE DOSI INDIVIDUALI**

SICUREZZA E SALUTE DEI LAVORATORI

DIRETTIVE CEE

D.L. 19 settembre 1994
n. 626

RADIOPROTEZIONE

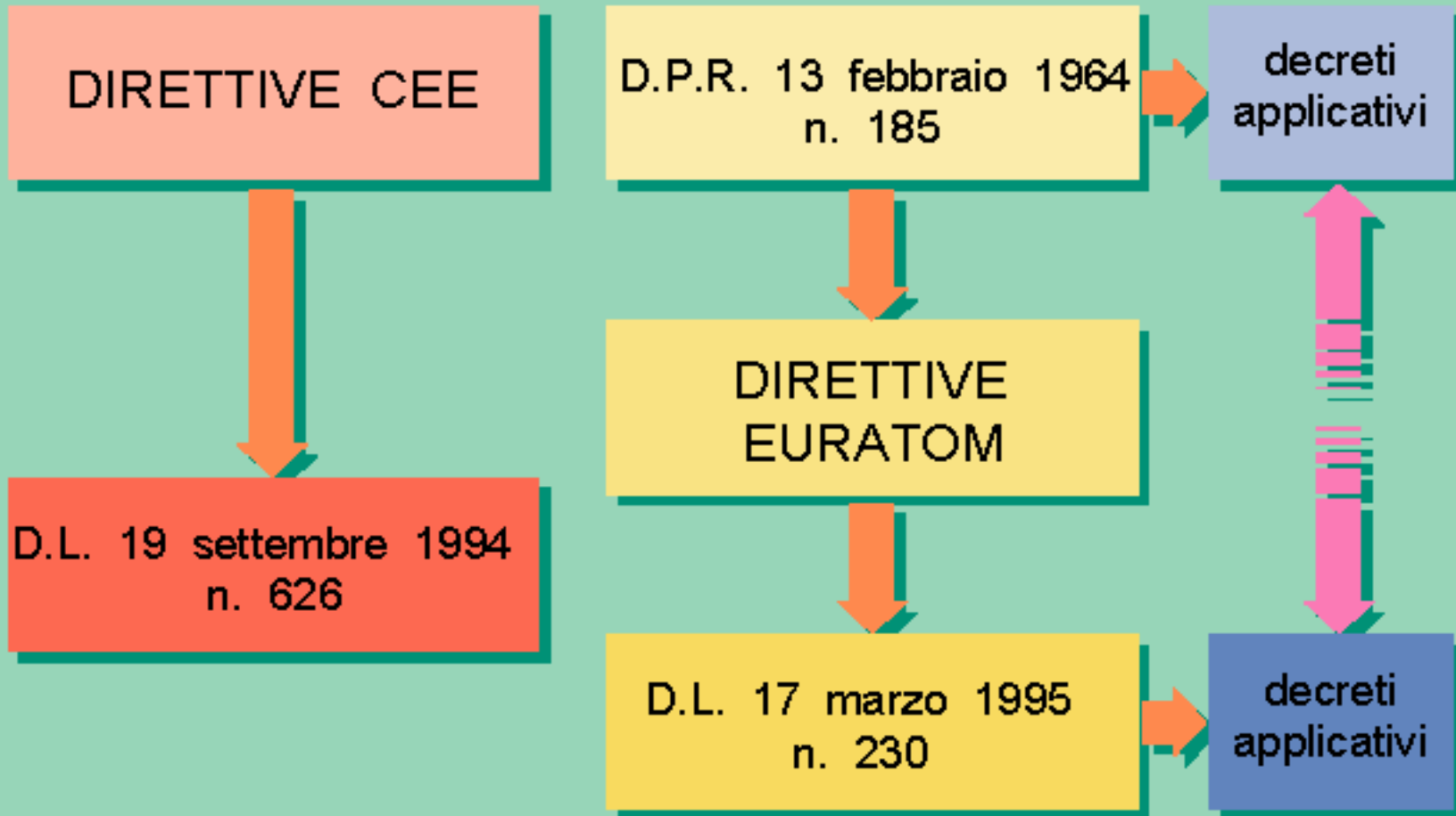
D.P.R. 13 febbraio 1964
n. 185

DIRETTIVE
EURATOM

D.L. 17 marzo 1995
n. 230

decreti
applicativi

decreti
applicativi



DECRETO
LEGISLATIVO
6 febbraio 2007,
n. 52

DECRETO
LEGISLATIVO
17 marzo 1995,
n. 230

DECRETO
LEGISLATIVO
26 maggio 2000,
n. 241

DECRETO
LEGISLATIVO
9 maggio 2001,
n. 257

DECRETO
LEGISLATIVO
20 febbraio 2009,
n. 23

DECRETO LEGISLATIVO

26 maggio 2000,

n. 241

- Inserisce la valutazione per le sorgenti di radioattività naturale
- Gli allegati sostituiscono i decreti applicativi
- Alcune correzioni

DECRETO LEGISLATIVO

9 maggio 2001,

n. 257

- Alcune correzione
- Invio documenti personali di radioprotezione dei dipendenti cessati ad ISPESL

D. LGS. 6 febbraio 2007, n. 52

- Sorgenti ad alta attività
- Sorgenti orfane

Il presente decreto disciplina le sorgenti sigillate ad alta attività, come definite dall'articolo 2 ed elencate nell'Allegato I, al fine di garantire che ognuna di tali sorgenti sia tenuta sotto controllo in tutte le fasi del suo ciclo di vita fino alla restituzione al fabbricante o allo smaltimento, nonché le sorgenti orfane come definite nell'articolo 2.

“SORGENTE ORFANA”: sorgente sigillata la cui attività è superiore, al momento della sua scoperta, alla soglia stabilita nella Tabella VII_I dell'Allegato VII del citato decreto legislativo n. 230/1995, e che non è sottoposta a controlli da parte delle autorità o perché non lo è mai stata o perché è stata abbandonata, smarrita, collocata in un luogo errato, sottratta illecitamente al detentore o trasferita ad un nuovo detentore non autorizzato ai sensi del presente decreto o senza che il destinatario sia stato informato;

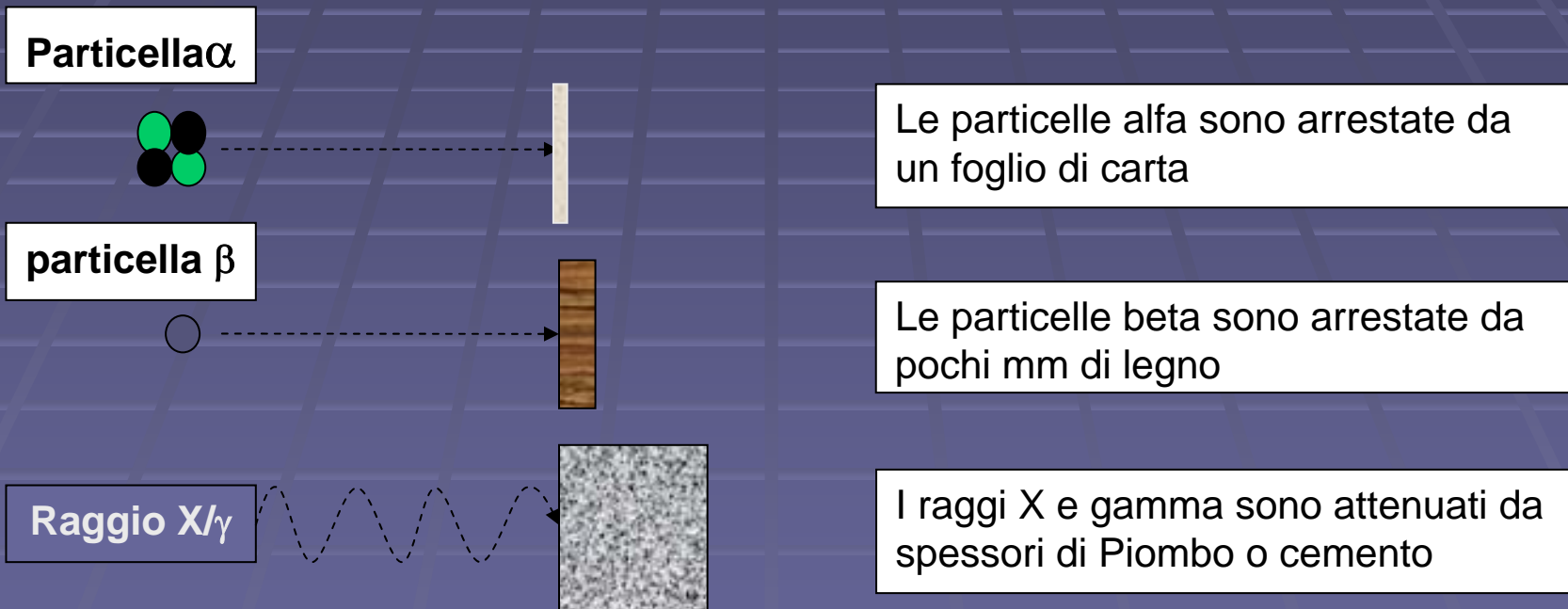
DECRETO LEGISLATIVO

20 febbraio 2009,

n. 23

- Modifiche per spedizioni, importazioni ed esportazioni di rifiuti radioattivi e di combustibile nucleare esaurito
- Sorveglianza radiometrica su materiali o prodotti semilavorati metallici

POTERE PENETRANTE INDICATIVO DELLE RADIAZIONI



GRANDEZZE DI CAMPO PRIMARIE

(definite in assenza di ricettore)

FLUENZA DI PARTICELLE

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

ESPOSIZIONE

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Un tempo misurata in röntgen (R)

$$1R = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$

KERMA IN ARIA

$$K_{\text{air}} = \frac{dE_{\text{tr}}}{dm}$$

dE_{tr} è la somma delle energie cinetiche iniziali di tutte le particelle cariche prodotte da particelle indirettamente ionizzanti nell'elemento di volume di massa dm

RADIAZIONI INDIRETTAMENTE
IONIZZANTI



PRODUZIONE DI
SECONDARI CARICHI



DEPOSIZIONE
DELL'ENERGIA

GRANDEZZE DOSIMETRICHE

ENERGIA IMPARTITA

$$\varepsilon = R_{in} - R_{out} + \sum Q$$

R_{in} = energia radiante incidente

R_{out} = energia radiante uscente

$\sum Q$ = energia spesa per aumentare la massa del sistema

DOSE ASSORBITA

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

Si misura in gray (Gy):

$$1\text{Gy} = 1\text{J} / 1\text{kg}$$

$$1\text{Gy} = 100\text{ rad} \quad (1\text{rad} = 100\text{erg} / 1\text{g})$$

RELAZIONE TRA DOSE ASSORBITA ED ESPOSIZIONE (equilibrio di particelle cariche)

$$D = \frac{\overline{W}_a}{e} X$$

\overline{W}_a = energia media per produrre una coppia di ioni in aria (~34 eV)

nelle stesse condizioni il kerma e la dose assorbita praticamente coincidono.

QUANTIFICAZIONE DEL RISCHIO DA R.I.

EQUIVALENTE DI DOSE

$$H=QDN$$

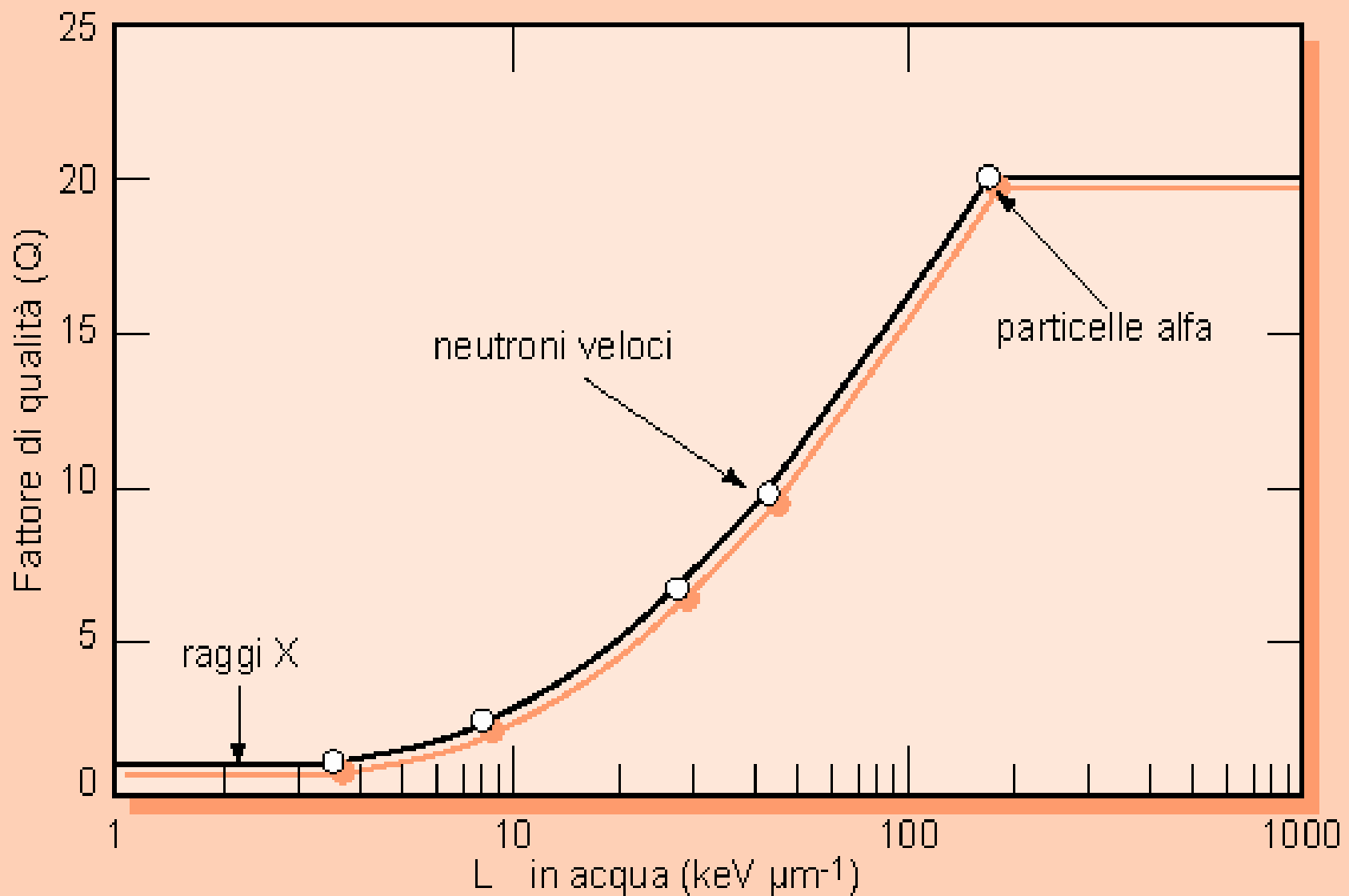
- D=DOSE ASSORBITA (Gy)
- Q=FATTORE DI QUALITÀ (adimensionale)
- N=EVENTUALE FATTORE CORRETTIVO (ATTUALMENTE SEMPRE =1)

IL L.E.T. (LINEAR ENERGY TRANSFER)

$$L=dE/dL$$

- IL L.E.T. (keV/ μm) È UN INDICATORE DEL POTERE DI IONIZZAZIONE DELLA RADIAZIONE E DUNQUE DELLA POTENZIALITÀ DI DANNO

RELAZIONE TRA IL FATTORE DI QUALITA' ED IL LET



GRANDEZZE LIMITE PRIMARIE (definite nell'individuo)

EQUIVALENTE DI DOSE EFFICACE

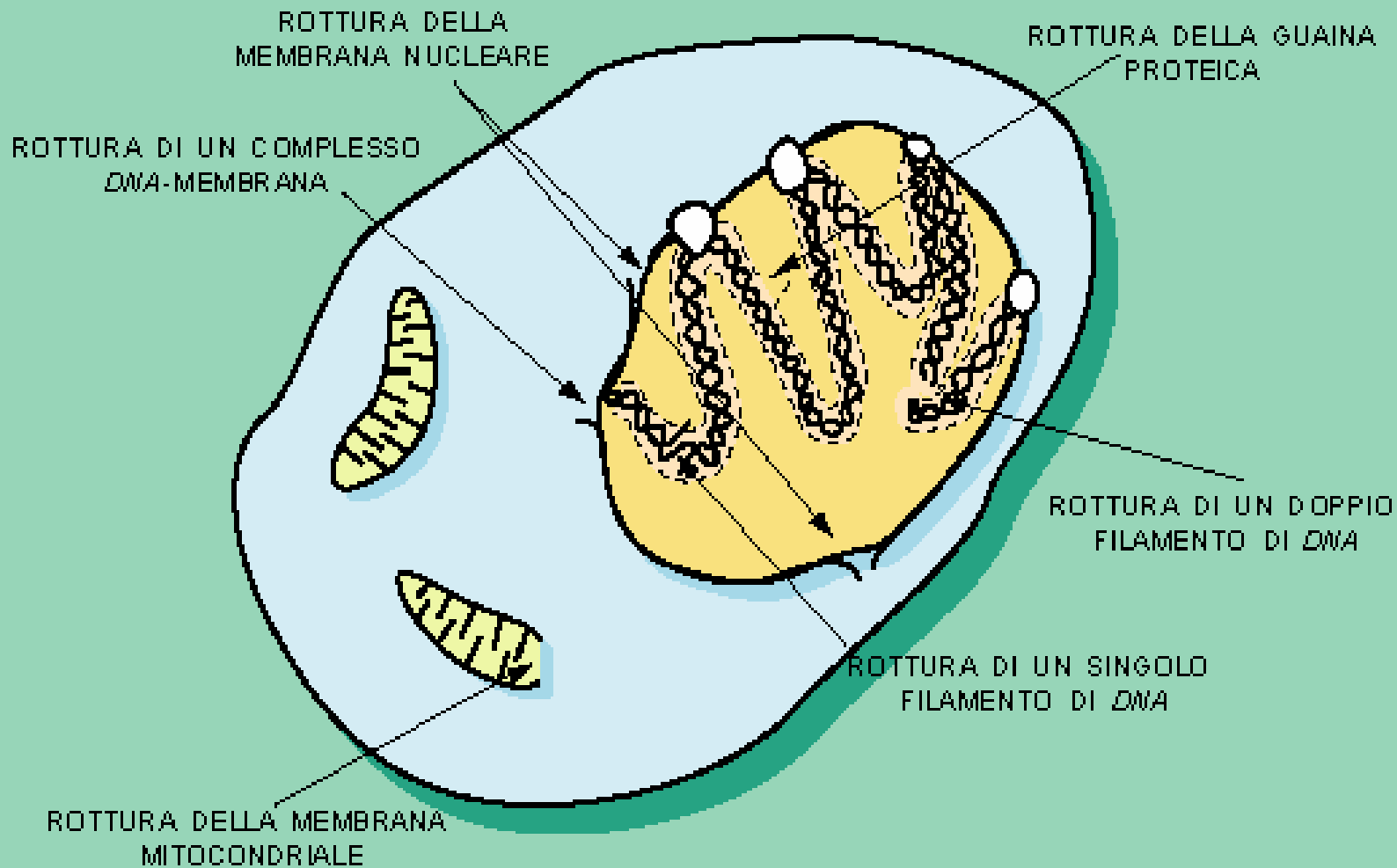
$$H_E = \sum_T w_T H_T$$

con H_T equivalente di dose ricevuto dal tessuto o organo T e w_T il fattore di ponderazione relativo a tale tessuto o organo.

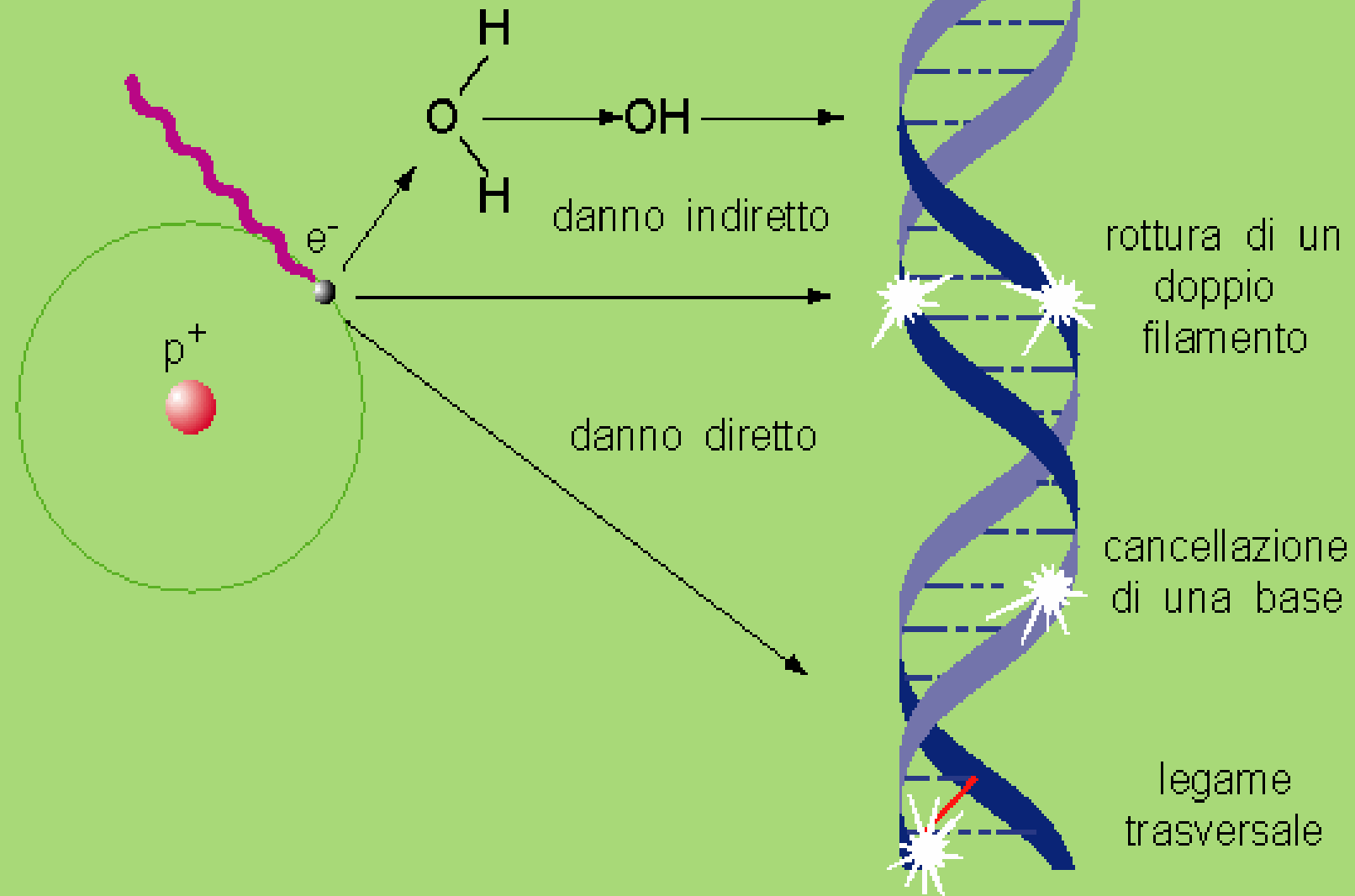
Valori dei fattori di ponderazione

Organo o tessuto	stima del rischio (casi per 10^{-3} Sv^{-1})	w_T
Gonadi	4.0	0.25
Mammelle	2.5	0.15
Midollo osseo rosso	2.0	0.12
Polmone	2.0	0.12
Tiroide	0.5	0.03
Superficie ossea	0.5	0.03
Rimanenti organi e tessuti	5.0	0.30

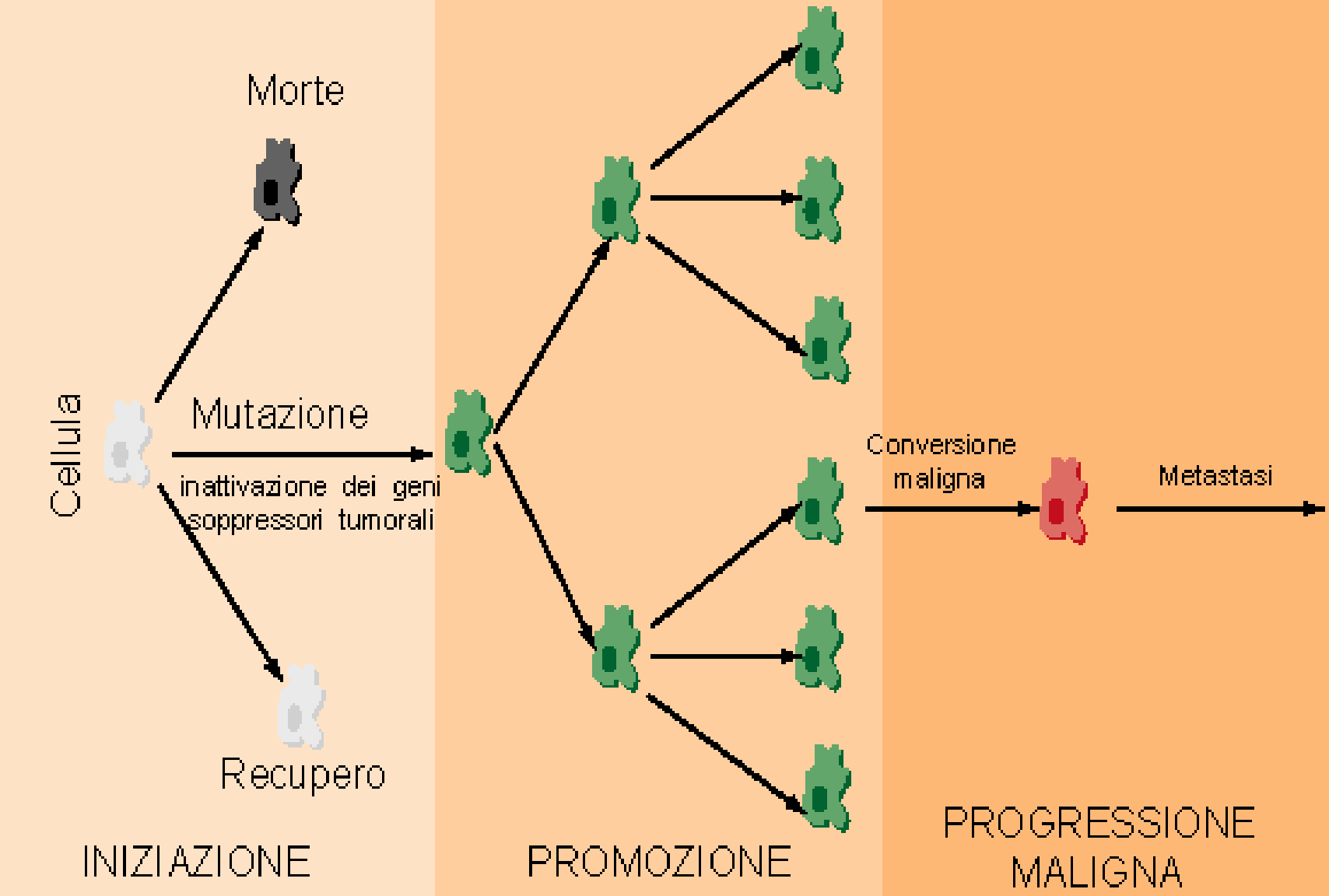
TIPI FONDAMENTALI DI DANNI PRODOTTI ALLE STRUTTURE CELLULARI



DANNO AL DNA



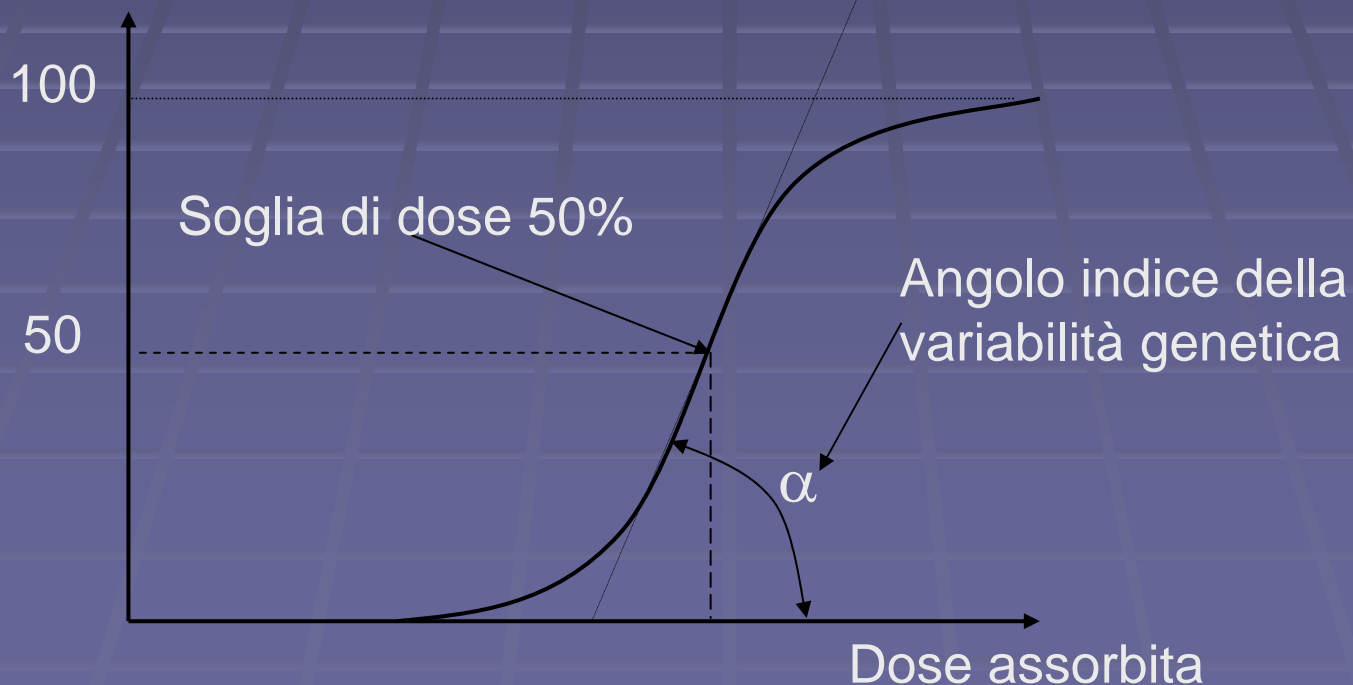
CARCINOGENESI



DANNI SOMATICI DETERMINISTICI

- si manifestano solo al superamento di una dose di soglia
- al superamento di tale soglia, tutti gli irradiati mostrano i sintomi
- il periodo di latenza è solitamente breve
- la gravità aumenta con la dose

Frequenza percentuale



VALORI DI SOGLIA ACCETTATI PER GLI EFFETTI DETERMINISTICI SULL'UOMO

TESSUTO ED EFFETTO	SOGLIA DI DOSE		
	Equivalente di dose totale ricevuto in una singola breve esposizione (Sv)	Equivalente di dose totale ricevuto per esposizioni fortemente frazionate o protratte (Sv)	Dose annuale se ricevuta per esposizioni fortemente frazionate o protratte per molti anni (Sv/anno)
TESTICOLI			
Sterilità temporanea	0.15	n.a.	0.4
Sterilità permanente	3.5	n.a.	2.0
OVAIE			
Sterilità	2.5 - 6.0	6.0	> 0.2
CRISTALLINO			
Opacità osservabili	0.5 - 2.0	5.0	> 0.1
Deficit visivo (cataratta)	5.0	> 8.0	> 0.15
MIDOLLO OSSEO			
Depressione dell' emopoiesi	0.5	n.a.	>0.4
Aplasia mortale	1.5	n.a.	>1A

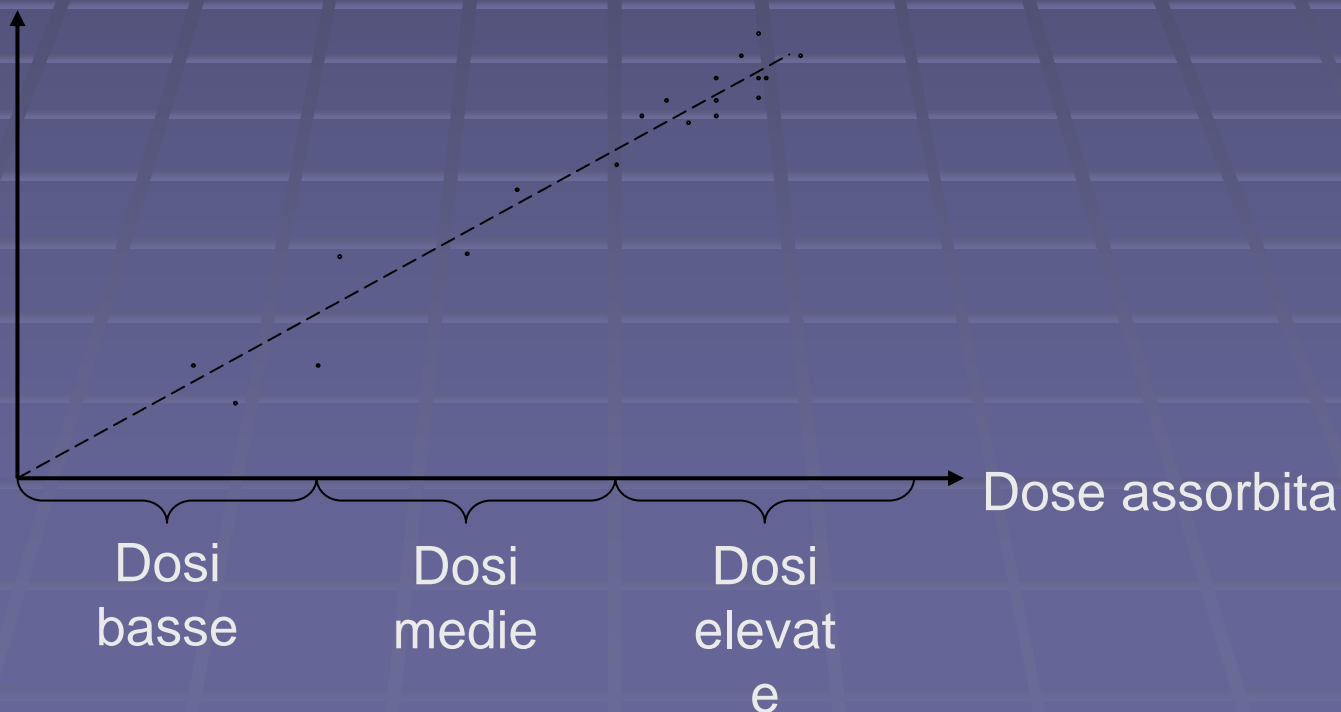
EFFETTI PREVEDIBILI DELLE DOSI ACUTE DI RADIAZIONE ESTESE A TUTTO IL CORPO

DOSE ACUTA (Sv)	EFFETTI PROBABILI
0 ÷ 0.5:	effetti non rilevabili, eccettuata la possibilità di piccoli mutamenti nel sangue.
0.8 ÷ 1.2:	vomito e nausea, per circa un giorno, nel 5 o 10% del personale esposto; senso di stanchezza che però non limita fortemente la capacità lavorativa.
1.3 ÷ 1.7:	vomito e nausea per un giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi, in circa il 25% del personale esposto.
1.8 ÷ 2.2:	vomito e nausea per circa un giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi in circa il 50% del personale esposto; non si verificano decessi precoci.
2.7 ÷ 3.3:	vomito e nausea nel primo giorno, seguiti da altri sintomi del male da raggi, in quasi tutto il personale esposto; circa il 20% di morti in due-sei settimane dopo l'esposizione; i sopravvissuti rimangono convalescenti per circa 6 mesi.
4.0 ÷ 5.0:	vomito e nausea nel primo giorno, in tutto il personale esposto; circa il 50% di morti in un mese.
5.5 ÷ 7.5:	vomito e nausea in tutto il personale entro 4 ore dall'esposizione, seguiti dagli altri sintomi del male da raggi; quasi il 100% di morti.
10:	vomito e nausea in tutto il personale esposto, entro una o due ore; probabilmente non ci saranno superstiti.
50:	inabilità immediata: tutte le persone colpite muoiono entro una settimana.

DANNI SOMATICI STOCASTICI

- non richiedono il superamento di una dose-soglia per la loro comparsa
- hanno frequenza di piccola comparsa che aumenta con la dose
- hanno lunghi periodi di latenza
- la loro gravità non dipende dalla dose ricevuta

Frequenza di comparsa



PROBABILITÀ

regione delle "basse dosi"

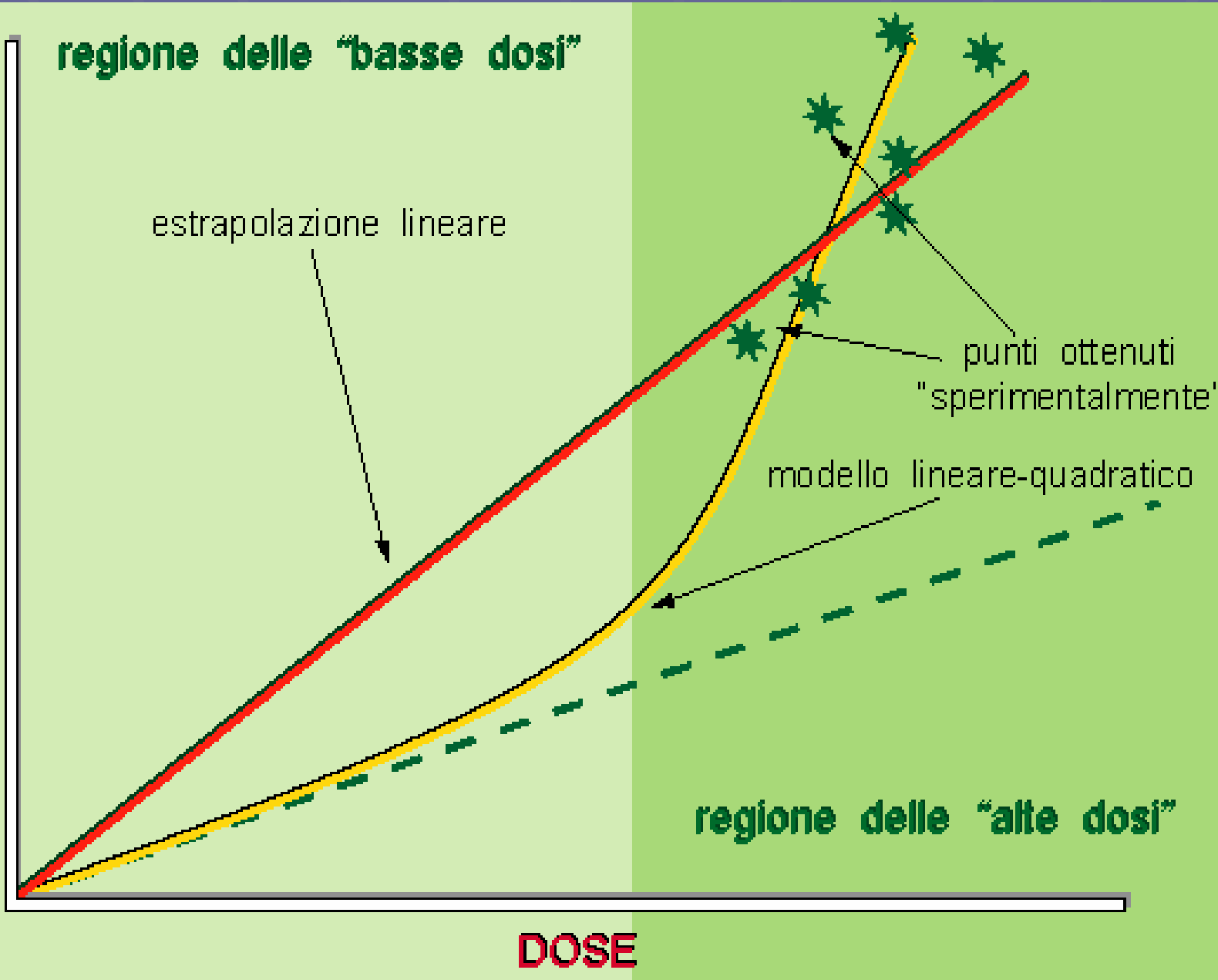
estrapolazione lineare

punti ottenuti
"sperimentalmente"

modello lineare-quadratico

regione delle "alte dosi"

DOSE



DANNI SOMATICI STOCASTICI

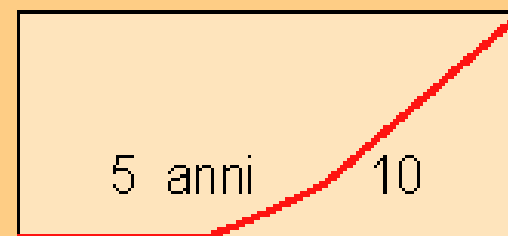
Le informazioni epidemiologiche riguardanti questo tipo di danni sono limitate, al momento, agli effetti prodotti da esposizioni medio-alte. Sono rari i dati per i bassi livelli di dose, per cui la stima del rischio di contrarre una leucemia o un altro tumore radioindotto si effettua estrapolando alle basse dosi i dati delle alte dosi.

Per questo tipo di danni si deve tenere conto di un periodo di latenza e della forma della curva che fornisce la probabilità di insorgenza.

Leucemia: 2 anni di latenza, picco verso i 5 - 8 anni, poi calo



Altri tumori: più di 5 anni di latenza crescita costante dopo i 10 anni



DANNI GENETICI STOCASTICI

- mutazioni geniche, vale a dire alterazioni della struttura e quindi della funzione dei singoli geni,
- aberrazioni cromosomiche, consistono in alterazioni del numero di cromosomi (aberrazioni numeriche) oppure in cambiamenti della struttura stessa (aberrazioni strutturali).

IRRADIAZIONE IN UTERO

- Prima del 9° giorno sono del tipo tutto/niente
- tra il 9° giorno e il 2° mese elevata radiosensibilità (morfogenesesi)
- tra il 3° mese ed il termine limitata radiosensibilità (tra 8° e 15° settimana formazione dei neuroblasti e possibilità di danno al cervello)

IRRADIAZIONE DELL'EMBRIONE E DEL FETO

	FASE	effetti sull'embrione	malformazioni	sistema nervoso	leucemia post-natale
settimana	1 pre-impianto	morte o nessun effetto	periodo della massima probabilità di malformazioni	sensibilità trascurabile o assente	probabili effetti stocastici tipo leucemia post-natale dati molto incerti
	4 morfogenesi				
	8			massima sensibilità del cervello del feto	
	12				
	16	fase fetale	gravità e	riduzione di circa 4 volte della radio-sensibilità	
	20		frequenza		
	24		delle	sensibilità trascurabile o assente	
	28		malformazioni		
	32		diminuiscono		
	36				
40					

PRINCIPI FONDAMENTALI DELLA RADIOPROTEZIONE

- 1 - GIUSTIFICAZIONE DELLA PRATICA
- 2 - OTTIMIZZAZIONE DELLA
PROTEZIONE
- 3 - LIMITAZIONE DELLE DOSI
INDIVIDUALI

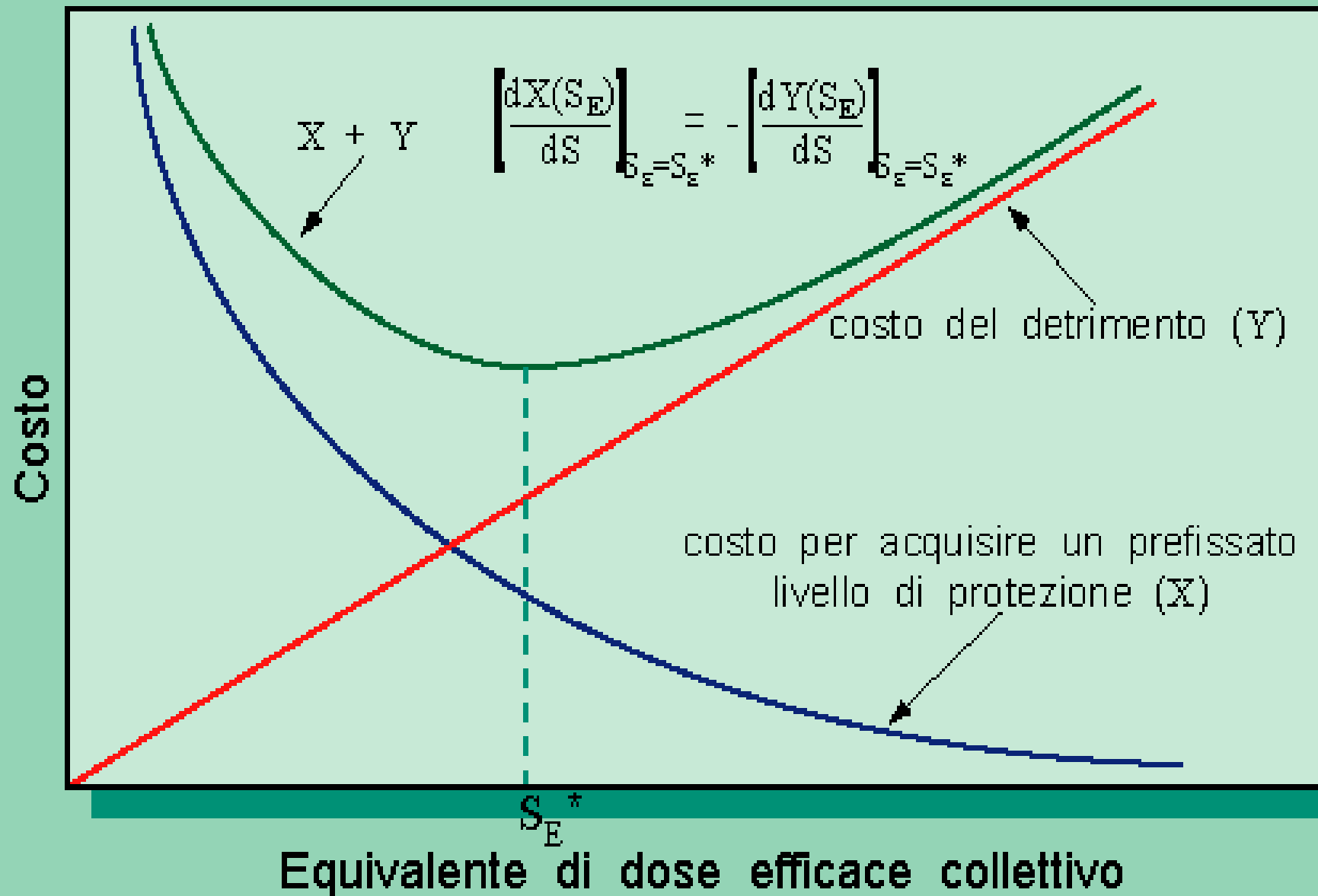
PRINCIPIO **ALARA**

“AS LOW AS REASONABLY
ACHIEVABLE”

STRUTTURA OPERATIVA

- 1 FIGURE SPECIALIZZATE NELLA SORVEGLIANZA FISICA E MEDICA
- 2 DOCUMENTAZIONE DI RADIOPROTEZIONE
- 3 CLASSIFICAZIONE DELLE AREE E DEI LAVORATORI
- 4 LIMITI DI DOSE

OTTIMIZZAZIONE DELLA RADIOPROTEZIONE



SORVEGLIANZA FISICA

Sono competenze esclusive dell'esperto qualificato:

- la classificazione delle aree con rischio da radiazioni
- la classificazione del personale
- la predisposizione delle norme interne di radioprotezione
- la segnalazione mediante contrassegni delle aree
- la predisposizione di un programma di informazione e formazione, finalizzato alla radioprotezione

SORVEGLIANZA FISICA (segue)

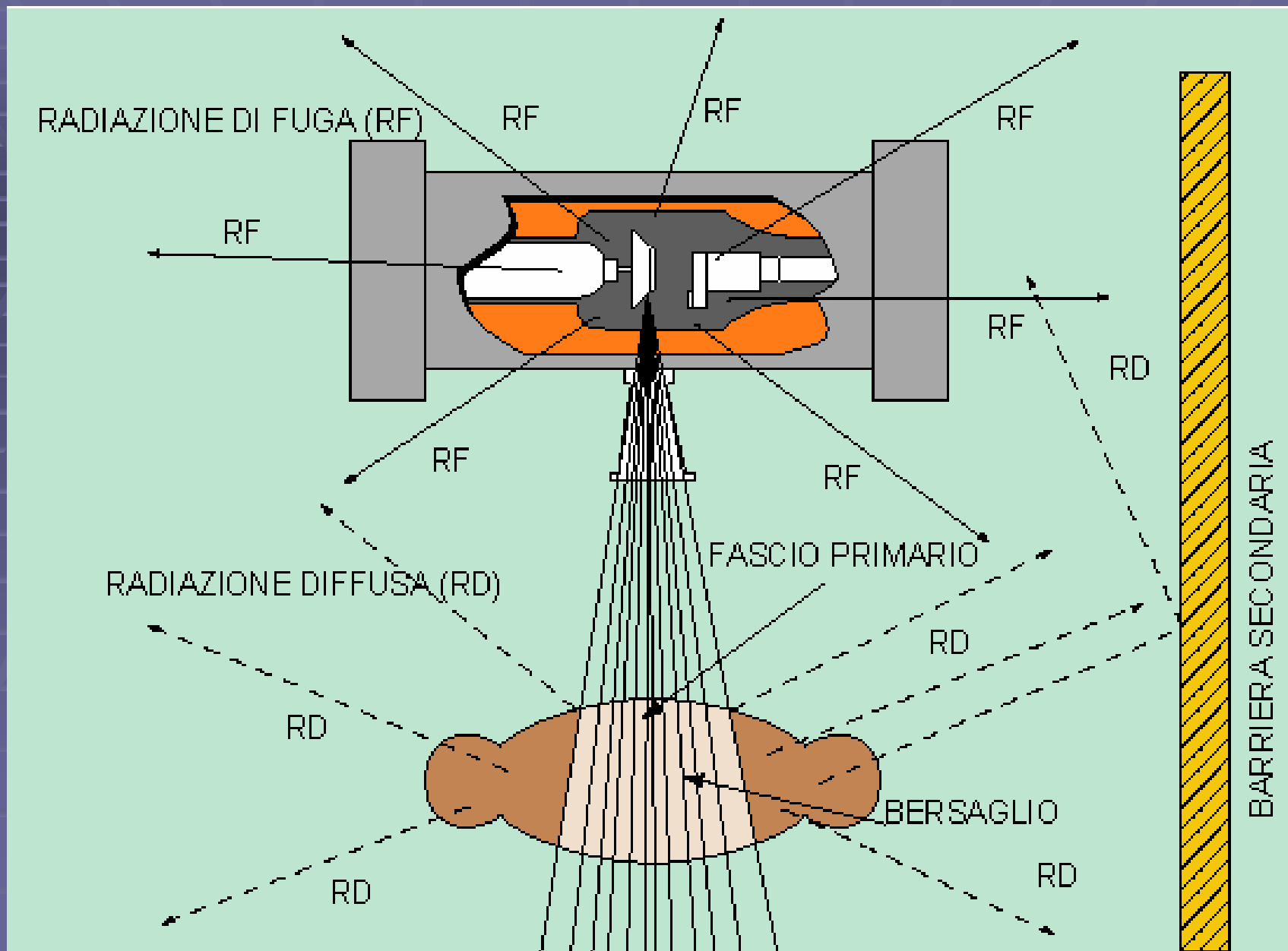
Nell'esercizio dei propri compiti, l'esperto qualificato deve:

- esaminare i progetti degli impianti, rilasciando il relativo benestare
- provvedere ad effettuare il collaudo e la prima verifica degli impianti
- verificare periodicamente l'efficacia dei dispositivi ovvero delle tecniche di radioprotezione
- effettuare il controllo periodico del buon funzionamento della strumentazione di radioprotezione
- effettuare la sorveglianza ambientale
- valutare le dosi ricevute dai lavoratori e le introduzioni dei radionuclidi
- valutare le dosi ricevute o impegnate sia in fase di progetto che in fase di esercizio, nelle condizioni normali di lavoro e nel caso di incidenti

SORVEGLIANZA MEDICA

Al medico addetto, sia esso autorizzato o competente sono demandati:

- a) analisi dei rischi individuali connessi alla destinazione lavorativa e alle mansioni ai fini della programmazione di indagini specialistiche del lavoratore, anche attraverso accessi diretti negli ambienti di lavoro
- b) istituzione e aggiornamento dei documenti sanitari personali e loro consegna all'Ispettorato medico centrale del lavoro con le modalità previste all'articolo 90 del presente decreto [D.LGS. 230/95]
- c) consegna al medico subentrante dei documenti sanitari personali di cui alla lettera b, nel caso di cessazione dall'incarico
- d) consulenza al datore di lavoro per la messa in atto di infrastrutture e procedure idonee a garantire la sorveglianza medica dei lavoratori esposti, sia in condizioni di lavoro normale che in caso di esposizioni accidentali o di emergenza.



CALCOLO DELLO SPESSORE DI UNA BARRIERA PRIMARIA

A titolo di esempio riportiamo la formula utilizzata per il calcolo dello spessore di una barriera primaria.

$$K_{ux} = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT}$$

dove P rappresenta la dose massima corrispondente al periodo per il quale si è definito W e d_{pri} la distanza della barriera primaria dal punto di origine della radiazione.

I valori di K_{ux} per diversi materiali e tipi di fasci sono riportati sotto forma di diagrammi. $K_{ux} = P(d_{pri})^2 / WUT$

PRINCIPALI FATTORI DA PRENDERE IN COSIDERAZIONE

Carico di lavoro (W)

Si intende la quantità di radiazioni ionizzanti erogata dalla fonte radiogena in un determinato periodo di tempo. Si esprime in mA min./settimana.

Fattore di occupazione (T)

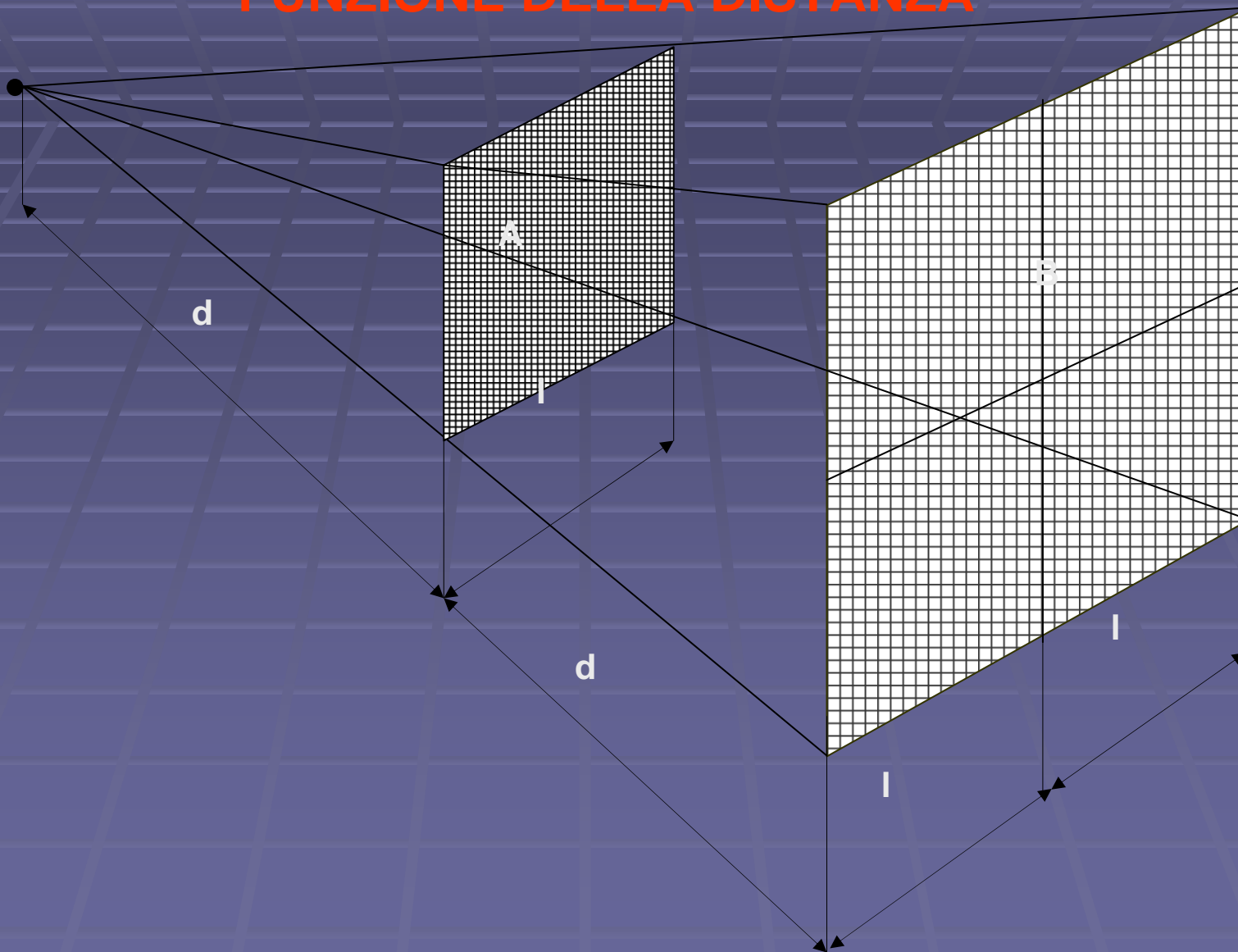
È il fattore per il quale va moltiplicato il carico di lavoro W, per tenere conto del grado o del tipo di occupazione dei locali adiacenti alle barriere protettive in esame

Fattore d'uso (U)

Rappresenta la frazione del carico di lavoro durante la quale la barriera è esposta alla radiazione.

DENSITÀ DEL FASCIO DI RADIAZIONI IN FUNZIONE DELLA DISTANZA

F



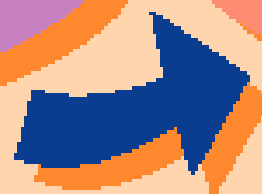
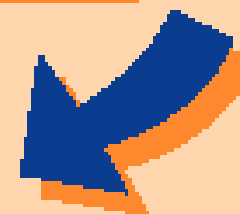
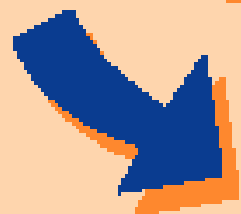
VALUTAZIONE DELL'
IRRAGGIAMENTO
ESTERNO

VALUTAZIONE DELL'
IRRAGGIAMENTO
INTERNO

CLASSIFICAZIONE
DEI LOCALI

BARRIERE
PROTETTIVE
E NORME DI
COMPORTAMENTO

CLASSIFICAZIONE DEL
PERSONALE



ZONA CONTROLLATA

Ogni area di lavoro in cui, sulla base degli accertamenti compiuti dall'esperto qualificato, sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno qualsiasi dei limiti di dose che stabiliscono la definizione di lavoratore di Categoria A.

ZONA SORVEGLIATA

Ogni area di lavoro in cui sussiste per i lavoratori in essa operanti il rischio di superamento di uno dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico, ma che non debba essere classificata ZONA CONTROLLATA

Le Zone controllate e le Zone sorvegliate devono essere segnalate utilizzando la segnaletica definita dalle norme di buona tecnica o comunque in maniera visibile e comprensibile. Le Zone controllate sono delimitate e le modalità di accesso ad esse sono regolamentate.

LAVORATORI ESPOSTI

Soggetti che, in ragione della loro attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, sono suscettibili di una esposizione alle radiazioni ionizzanti superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

LAVORATORI NON ESPOSTI

Soggetti sottoposti, in ragione dell'attività lavorativa svolta per conto del datore di lavoro, ad una esposizione non superiore ad uno qualsiasi dei limiti fissati per le persone del pubblico.

Per i lavoratori non esposti e per le persone del pubblico:

- 1 mSv/anno per l'equivalente di dose per esposizione globale 15 mSv/anno per l'equivalente di dose al cristallino
- 50 mSv/anno per l'equivalente di dose alla pelle;
- 50 mSv/anno per l'equivalente di dose a mani, avambracci, piedi, caviglie.

CATEGORIA A

I lavoratori esposti sono poi classificati in **Categoria A** se, in base agli accertamenti compiuti dall'esperto qualificato, sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, ad uno dei seguenti valori:

- 6 mSv per esposizione globale o di equivalente di dose efficace;
- i tre decimi di uno qualsiasi dei limiti di dose fissati per il cristallino, la pelle, nonché per le mani, avambracci, piedi e caviglie.

CATEGORIA B

Tutti gli altri lavoratori esposti sono classificati in **Categoria B**.

CLASSIFICAZIONE DELLA POPOLAZIONE E LIMITI DI DOSE

LAVORATORI ESPOSTI	ESPOSIZIONE GLOBALE E EQ. DI DOSE EFFICACE	EQUIVALENTE DI DOSE.		
		CRISTALLINO	PELLE	ESTREMITA'

Categoria "A"

limite per 5 anni solari consecutivi	100 mSv			
limite massimo annuo	50 mSv	150 mSv	500 mSv	500 mSv

Categoria "B"

limite annuo	6 mSv	45 mSv	150 mSv	150 mSv
--------------	-------	--------	---------	---------

PUBBLICO E LAVORATORI NON ESPOSTI	ESPOSIZIONE GLOBALE E EQ. DI DOSE EFFICACE	EQUIVALENTE DI DOSE.		
		CRISTALLINO	PELLE	ESTREMITA'

limite annuo	1 mSv	15 mSv	50 mSv	50 mSv
--------------	-------	--------	--------	--------

OBBLIGHI DEI LAVORATORI (ART.68)

- a) 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;
- b) usare secondo le specifiche istruzioni i dispositivi di sicurezza, i mezzi di protezione e di sorveglianza dosimetrica predisposti o forniti dal datore di lavoro;
- c) segnalare immediatamente al datore di lavoro, al dirigente o al preposto le deficienze dei dispositivi e dei mezzi di sicurezza, di protezione e di sorveglianza dosimetrica, nonché le eventuali condizioni di pericolo di cui vengono a conoscenza;
- d) non rimuovere né modificare, senza averne ottenuto l'autorizzazione, i dispositivi, e gli altri mezzi di sicurezza, di segnalazione, di protezione e di misurazione.

OBBLIGHI DEI LAVORATORI (continua)

e) non compiere, di propria iniziativa, operazioni o manovre che non sono di loro competenza o che possono compromettere la protezione e la sicurezza;

f) sottoporsi alla sorveglianza medica ai sensi del presente decreto.

Inoltre, "...lavoratori che svolgono, per più datori di lavoro attività che li espongono al rischio da radiazioni ionizzanti, devono rendere edotto ciascun datore di lavoro delle attività svolte presso gli altri, ai fini di quanto previsto al precedente articolo 66.

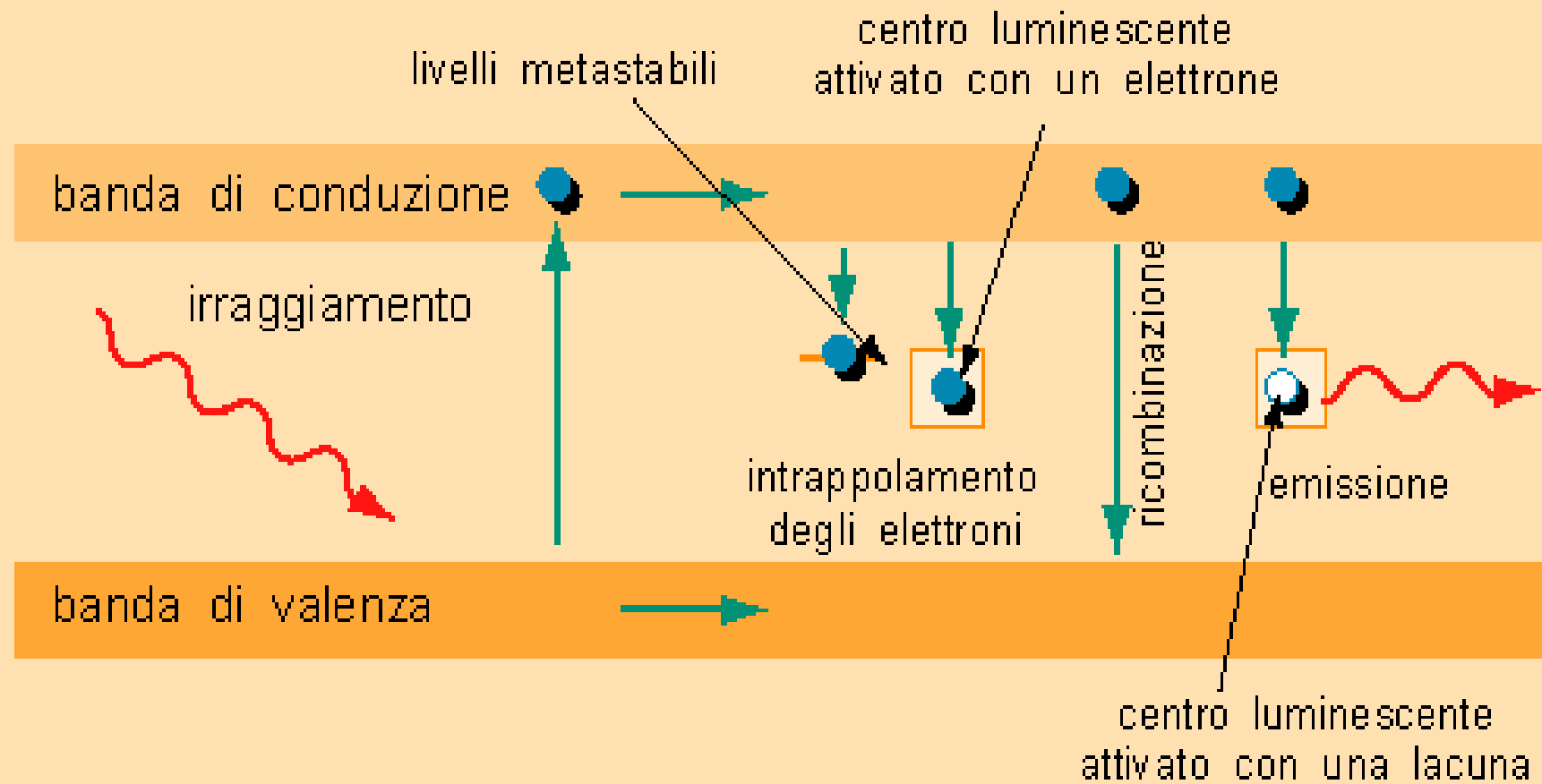
Analoga dichiarazione deve essere resa per eventuali attività pregresse. I lavoratori esterni sono tenuti ad esibire il libretto personale di radioprotezione all'esercente le zone controllate prima di effettuare le prestazioni per le quali sono stati chiamati" (articolo 68, comma 2).

FILM-BADGE



TERMOLUMINESCENZA

(fase dell'irraggiamento)

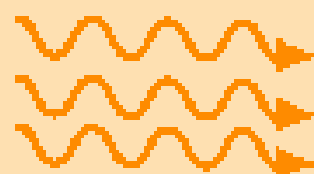


TERMOLUMINESCENZA

(fase del riscaldamento)

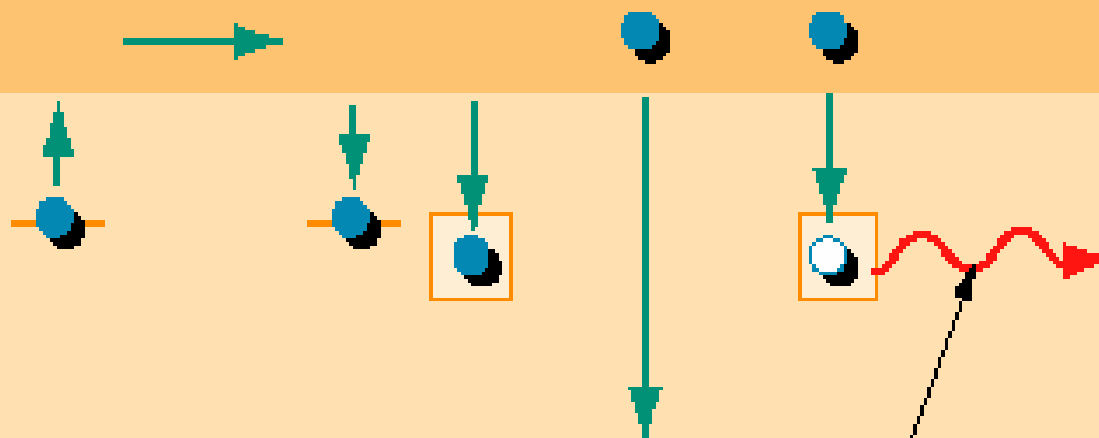
banda di conduzione

riscaldamento

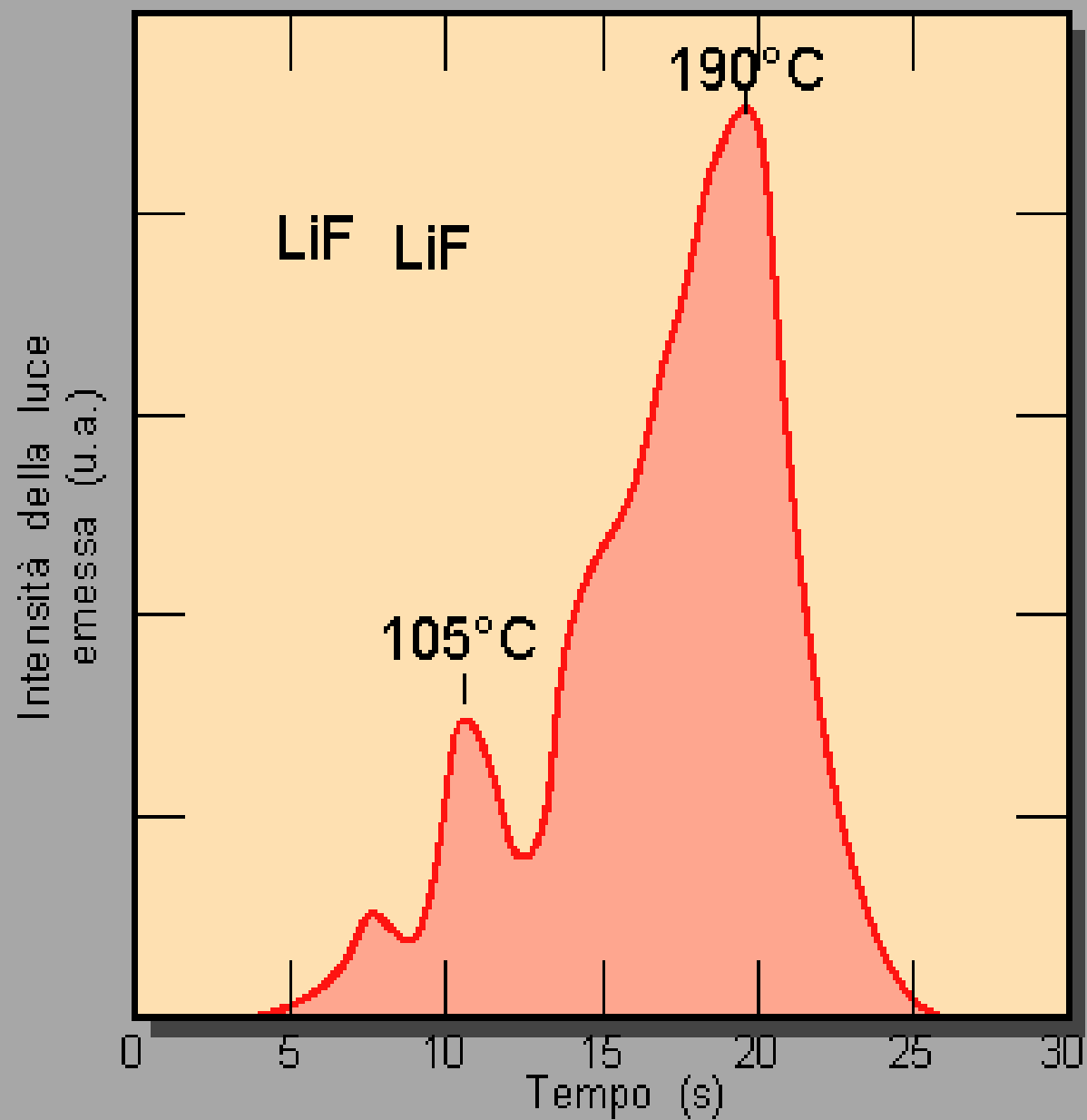


banda di valenza

TERMOLUMINESCENZA

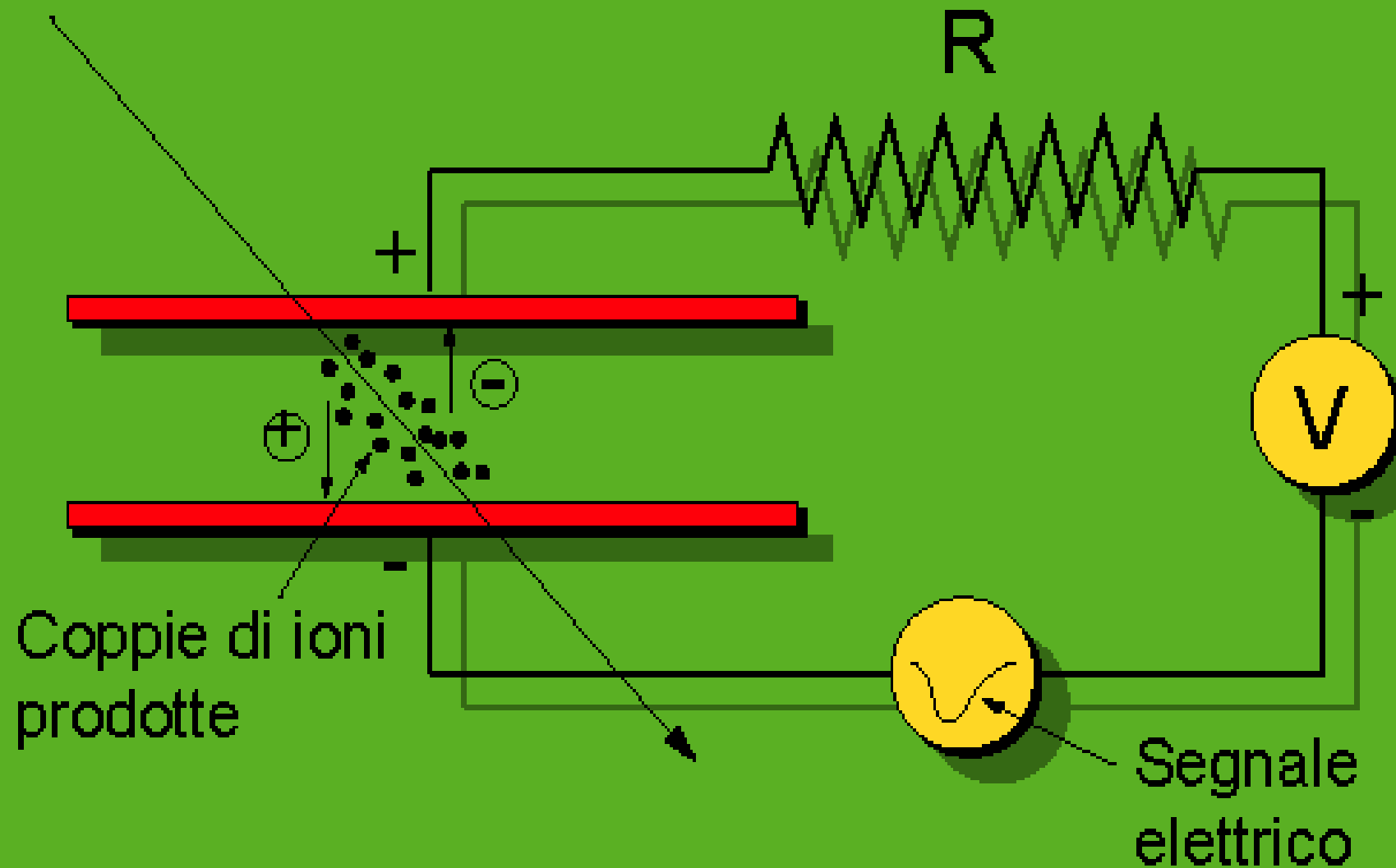


TERMOLUMINESCENZA "GLOW CURVE"



CONTATORI PROPORZIONALI, CAMERE A IONIZZAZIONE RIVELATORI GEIGER-MÜLLER

Radiazione incidente

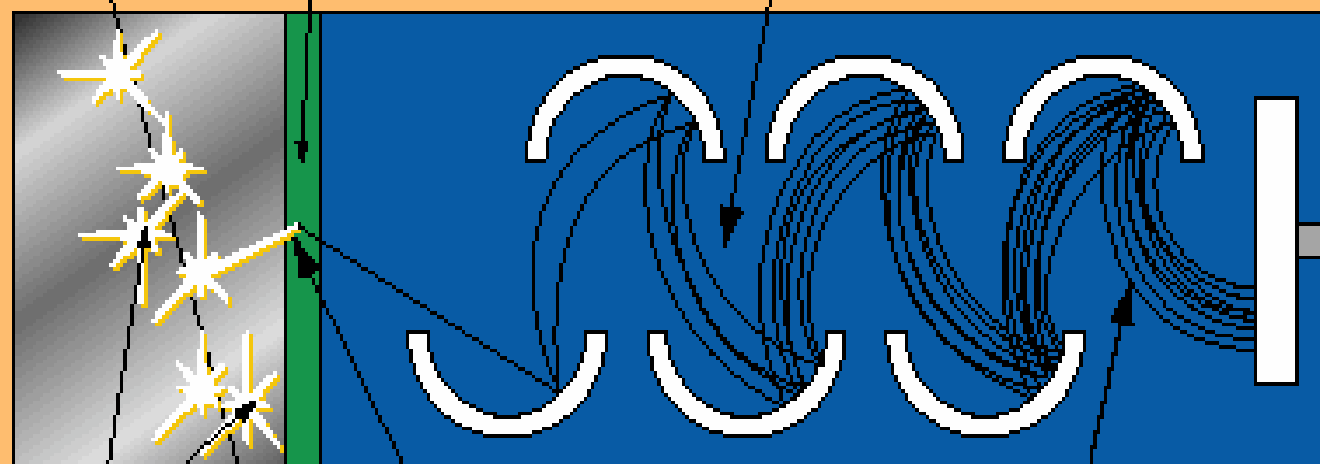


SCINTILLATORI

Radiazione incidente

sostanza
fotosensibile

Fotomoltiplicatore



luce emessa
in seguito alla
diseccitazione
degli atomi

colpiti dalla radiazione

Impulso luminoso
convertito in elettroni

moltiplicazione
a cascata

Segnale
elettrico

DOSIMETRO CON SONDA DI TIPO CAMERA A IONIZZAZIONE



CONTAMINAMETRO CON SONDA GM TIPO "PANCAKE"

