Corso di Radioprotezione
La storia

- 8 Novembre 1895: **Conrad Roentgen** individua i raggi X effettuando un esperimento con i tubi di Hittorf ed uno schermo al platocianuro di bario e pubblica la sua scoperta su "una nuova specie di raggi"
- 12 Gennaio 1896: il Corriere della Sera riporta la notizia della sensazionale scoperta del prof. Roentzer!
- 23 Gennaio 1896: **C.Roentgen** illustra la sua scoperta all'Accademia Fisico-Medica di Wurzburg riproducendo la mano di Von Kolliker
- 10 dicembre 1901: C.Roentgen riceve il premio Nobel per la fisica dalle mani del principe Gustavo V

Corso di Radioprotezione
La storia

- La scoperta dei raggi X ha una rapida diffusione in tutta la comunità scientifica del tempo sia della fisica che della medicina
- Dalla fine del 1986 e per tutto il primo decennio del 1900 si assiste ad un fiorire di applicazioni del raggi X nel campo clinico
- Nel 1986 **Thomas Edison** segnala una irritazione oculare per uso prolungato dei raggi X ed abbandona gli studi sulla fluorescenza indotta, ma il suo assistente **M.Dallay**, da lui abbondantemente irradiato, muore nel 1904 per danni da radiazioni
- Nel 1986 il fisico **Elihu Thomson** descrive le lesioni indotte sul suo dito irradiato continuamente per diversi giorni

Corso di Radioprotezione
La storia

- Nel 1897 al 12° Congresso di medicina tenutosi a Mosca tre diversi fisici presentano 50 casi di incidenti prodotti dai raggi X e raccomandano prudenza nel loro uso
- Gran parte degli studiosi trascurano queste prime segnalazioni
- Già nel 1909 negli "Archivi di elettricità medica" erano segnalati non meno di 30 medici vittime di affezioni riconducibili all'utilizzo dei raggi X
- Nel 1914 su "La Radiologia Medica" sono pubblicati i risultati dell'autopsia effettuata sul radiologo **Eugenio Tiraboschi**

Corso di Radioprotezione
La storia

- Solo nel 1915 la British Roentgen Society pubblica le prime "raccomandazioni per la protezione degli operatori dei raggi X"
- Nel 1921 una commissione inglese non ufficiale introduce la "dose massima di tolleranza" inducendo erroneamente il concetto di valore – soglia
- Nel 1921 Robert Knox scriveva sul Times "….se non si prenderà nessuna precauzione, i radiologi andranno incontro al disastro"
- Alla fine del secondo decennio del 1900 creò molto scalpore il caso Byers, magnate americano della siderurgia che, dopo l'assunzione di circa 1500 fl. di "Radithor", morì nel 1932 per le devastanti lesioni radioindotte.

Corso di Radioprotezione
La storia

- Nel 1928 viene adottata l'unità roentgen
- Sempre nel 1928 viene costituita la ICRP (International Commision for Radiation Protection)
- Nel 1934 viene introdotto il concetto di "efficacia biologica relativa"
- Nel 1934 la SIRMN pubblica la "Carta delle protezioni"
- Nel Regio Decreto n. 1265 del 27 luglio 1934 "Testo unico delle leggi sanitarie" sono previsti obblighi per l'impiego delle sostanze radioattive e raggi X
- E' solo dopo le esplosioni atomiche di Hiroshima e Nagasaki che la radioprotezione ebbe un forte impulso

Corso di Radioprotezione
La storia

- La ICRP non ha carattere governativo, ma la sua autorevolezza scientifica è riconosciuta dall'Organizzazione delle Nazioni Unite e costituisce una guida per la stessa Commissione Europea
- Dal 1959 le pubblicazioni della ICRP sono numerate progressivamente ed alcune contenenti raccomandazioni di carattere generale sono state riformulate in quattro occasioni:1959(1), 1966(9), 1977(26), 1990(60)

Corso di Radioprotezione
La storia

- Nasce la figura del fisico sanitario
- Viene introdotto il concetto di rapporto costo/beneficio nell'utilizzo dei raggi X
- Sono individuati i concetti di dose assorbita e dose equivalente con le rispettive unità di misura (rad e rem)
- Si introducono i concetti di "dose geneticamente significativa" ed ALARA (As Low As Reasonably Achievable) Nel 1956 la SIRMN, per iniziativa del **Prof. L.Turano**, pubblica un volume recante i testi aggiornati delle norme e delle raccomandazioni allora esistenti
- E' sempre per merito del Prof. L.Turano che il 13 Febbraio 1964 viene pubblicato il DPR n.185

Corso di Radioprotezione
La storia

- La ICRP non ha carattere governativo, ma la sua autorevolezza scientifica è riconosciuta dall'Organizzazione delle Nazioni Unite e costituisce una guida per la stessa Commissione Europea
- Dal 1959 le pubblicazioni della ICRP sono numerate progressivamente ed alcune contenenti raccomandazioni di carattere generale sono state riformulate in quattro occasioni:1959(1), 1966(9), 1977(26), 1990(60)

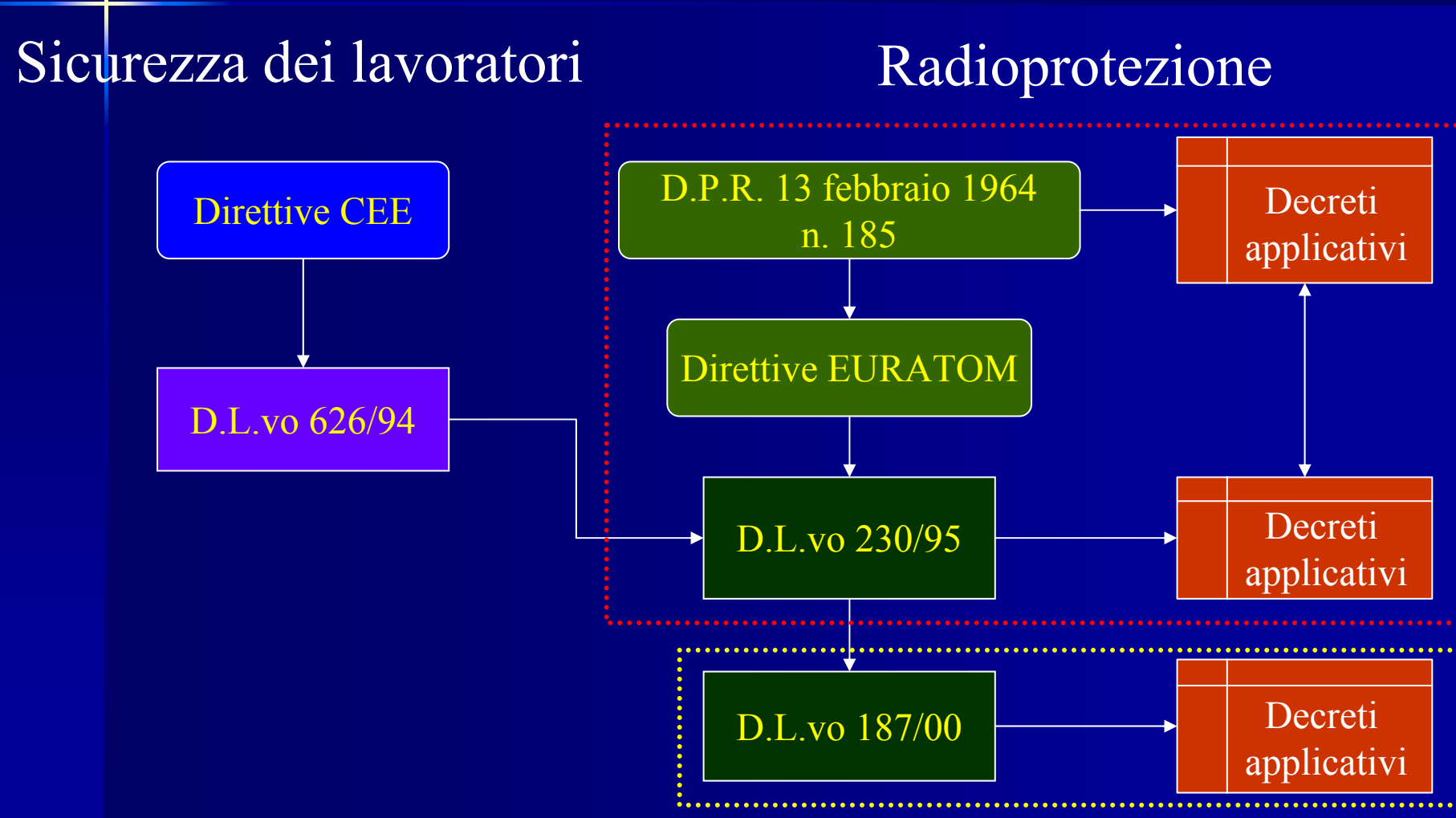
Corso di Radioprotezione

La legislazione

IL RISCHIO RADIOLOGICO E LA LEGISLAZIONE IN MATERIA DI RADIOPROTEZIONE IL RISCHIO RADIOLOGICO E LA LEGISLAZIONE IN MATERIA DI RADIOPROTEZIONE

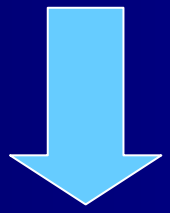
Corso di Radioprotezione

La legislazione



Corso di Radioprotezione
La legislazione

D.Lgs. n.187/2000 del 26 Maggio 2000 "Attuazione della direttiva 97/43 Euratom in materia di protezione sanitaria delle persone contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti connesse ad esposizioni mediche"



"Protezione del paziente"

D.L.gs 187/00 (il campo di applicazione)

1. Il presente decreto legislativo definisce i principi generali della radioprotezione delle persone per quanto riguarda le esposizioni di cui ai commi 2 e 3.
2. Il presente decreto legislativo si applica alle seguenti esposizioni mediche:
a) esposizione di pazienti nell'ambito della rispettiva diagnosi o trattamento medico;
b) esposizione di persone nell'ambito della sorveglianza sanitaria professionale;
c) esposizione di persone nell'ambito di programmi di screening sanitario;
d) esposizione di persone sane o di pazienti che partecipano volontariamente a programmi di ricerca medica o biomedica, in campo diagnostico o terapeutico;
e) esposizione di persone nell'ambito di procedure medico-legali.
3. Il presente decreto legislativo si applica inoltre alle esposizioni di persone che coscientemente e volontariamente, al di fuori della loro occupazione, assistono e confortano persone sottoposte a esposizioni mediche.

D.L.gs 187/00 (gli argomenti – "medici")

Art. 3: "Principio di giustificazione"
Art. 4: "Principio di ottimizzazione"
Art. 5: "Responsabilità"
Art. 9: "Pratiche speciali"
Art. 10: "Protezione in gravidanza ed allattamento"

D.L.gs 187/00 (le professionalità)

Esercente: il soggetto che, secondo il tipo e l'organizzazione dell'impresa, ha la responsabilita' dell'impresa stessa ovvero dell'unita' produttiva, intesa come stabilimento o struttura finalizzata alla produzione di beni o servizi, dotata di autonomia finanziaria e tecnico-funzionale;

Esperto in fisica medica: una persona esperta nella fisica o nella tecnologia delle radiazioni applicata alle esposizioni;

Prescrivente: il medico chirurgo o l'odontoiatra, iscritti nei rispettivi albi

Responsabile di impianto radiologico: il medico specialista in radiodiagnostica, radioterapia o medicina nucleare individuato dall'esercente. Il responsabile di impianto radiologico puo' essere lo stesso esercente qualora questo sia abilitato a svolgere direttamente l'indagine clinica

Specialista: il medico chirurgo o l'odontoiatra che ha titolo per assumere la responsabilita' clinica per le esposizioni mediche individuali ai sensi dell'articolo 7, commi 3 e 4;

D.L.gs 187/00 (Le attività)

attivita' radiodiagnostiche complementari: attivita' di ausilio diretto al medico chirurgo specialista o all'odontoiatria per lo svolgimento di specifici interventi di carattere strumentale propri della disciplina, purche' **contestuali, integrate e indilazionabili**, rispetto all'espletamento della procedura specialistica

pratica: un'attivita' umana che puo' aumentare l'esposizione degli individui alle radiazioni ionizzanti

Pratiche speciali

a) bambini;
b) programmi di screening;
c) procedure comportanti alte dosi per il paziente, quali la radiologia interventistica, la tomografia computerizzata o la radioterapia.

D.L.gs 187/00 (la giustificazione)

- 1. E' vietata l'esposizione non giustificata
- 2. Le esposizioni mediche di cui all'articolo 1, comma 2, devono mostrare di essere sufficientemente efficaci mediante la valutazione dei potenziali vantaggi diagnostici o terapeutici complessivi da esse prodotti, inclusi i benefici diretti per la salute della persona e della collettività, rispetto al danno alla persona che l'esposizione potrebbe causare, tenendo conto dell'efficacia, dei vantaggi e dei rischi di tecniche alternative disponibili, che si propongono lo stesso obiettivo, ma che non comportano un'esposizione, ovvero comportano una minore esposizione alle radiazioni ionizzanti.

D.L.gs 187/00 (la giustificazione)

4. Tutte le esposizioni mediche individuali devono essere giustificate preliminarmente, tenendo conto degli obiettivi specifici dell'esposizione e delle caratteristiche della persona interessata. Se un tipo di pratica che comporta un'esposizione medica non è giustificata in generale, può essere giustificata invece per il singolo individuo in circostanze da valutare caso per caso

5. Il prescrivente e lo specialista, per evitare esposizioni non necessarie, si avvalgono delle informazioni acquisite o si assicurano di non essere in grado di procurarsi precedenti informazioni diagnostiche o documentazione mediaca pertinenti alla prevista esposizione

D.L.gs 187/00 (la giustificazione)

- Art. 3, comma 1: **E' vietata l'esposizione non giustificata**
- Un'indagine si può definire utile quando il suo risultato, positivo o negativo che sia, cambierà la gestione del paziente o confermerà la diagnosi del medico. Un numero significativo di indagini radiologiche non rispetta questo principio e può, quindi, comportare un'esposizione inutile del paziente alle radiazioni ionizzanti (linee guida C.E.)

D.L.gs 187/00 (la giustificazione)

- 1. Ripetere le indagini che sono state già fatte. L'esame è già stato fatto?
- 2. Richiedere un'indagine quando è improbabile che i risultati modifichino la gestione del paziente. C'è bisogno di questo esame?
- 3. Indagini ripetute troppo spesso. C'è bisogno di farlo adesso?

D.L.gs 187/00 (la giustificazione)

- 4. Attuare l'indagine sbagliata. E' questa la migliore indagine?
- 5. Omissione di informazioni cliniche adeguate e dei quesiti a cui l'indagine deve rispondere. Ho spiegato bene il problema?
- 6. Eccesso di indagini. Si esagera con le indagini?

D.L.gs 187/00 (la responsabilità)

Esercente (Struttura Decisionale) → Responsabilità primaria

→ Nomina

Responsabile impianto radiologico (Specialista)

→ Si Avvale

Esperto in fisica medica

Delega

TSRM

Esercente:

- Inventario attrezzature
- Nomina il responsabile di impianto radiologico

Il responsabile di impianto radiologico puo' essere lo stesso esercente qualora questo sia abilitato a svolgere direttamente l'indagine clinica

↓

Si avvale dell'esperto in fisica medica

D.L.gs 187/00 (la responsabilità)

- 1. Fermo restando quanto previsto all'art. 3, comma 6 (ricerca), le esposizioni mediche sono effettuate dallo specialista su richiesta motivata del prescrivente. La scelta delle metodologie e tecniche idonee ad ottenere il maggior beneficio clinico con il minimo detrimento individuale e la valutazione sulla possibilità di utilizzare tecniche sostitutive non basate su radiazioni ionizzanti compete allo specialista.
- 2. Ogni esposizione medica di cui all'art.1, comma 2, è effettuata sotto la responsabilità dello specialista
- 3. Gli aspetti pratici per l'esecuzione della procedura o di parte di essa possono essere delegati dallo specialista al tecnico sanitario di radiologia …… omissis

D.L.gs 187/00 (Protezione particolare durante la gravidanza e l'allattamento)

- 1. Il prescrivente e, al momento dell'indagine diagnostica o del trattamento, lo specialista devono effettuare un'accurata anamnesi allo scopo di sapere se la donna è in stato di gravidanza, e si informano, nel caso di somministrazione di radiofarmaci, se allatta al seno.

Gravidanza

- Art. 10 D.L.vo 187/00

Anamnesi → Prescrivente
Anamnesi → Specialista ⇢ TSRM

Dose → Specialista → Esperto in Fisica Medic

Avvisi → Preposto

Radiofarmaci → Specialista

Dose all'Utero

Allegato VI D.L.vo 187/00

Fascio primario

Tensione (kV)	Prodotto Corrente-Tempo (mAs)	Dose assorbita all'utero (mSv)
70	1	0,04
90	1	0,1
110	1	0,2

$$D = f * mAs * \left(\frac{100}{d}\right)^2$$

f = fattore di dose assorbita all'utero per mAs
Ad una fissata tensione

Diffusa

Esame Rx	Equivalente di dose al feto (mSv) Valore medio	Equivalente di dose al feto (mSv) Valore massimo
Torace	< 0,01	< 0,01
Cranio	< 0,01	< 0,01
Addome (solo AP)	1,4	4,2
Colonna dorsale	< 0,01	< 0,01
Colonna lombare	1,7	10
Pelvi	1,1	4
Urografia	1,7	10
Clisma opaco	6,8	24
Digerente	1,1	5,8
CT Pelvi	25	79
CT Cranio	<0,005	<0,005
CT Torace	0,06	0,96
CT Addome	8	49
Pelvimetria	0,2	0,4

Dose all'Utero

Valutazione dosimetrica

$$D_{air} = C * kV_p^{\,n} * mAs * \left(\frac{100}{d - s}\right)^2 * f_b$$

Parametri

Macchina:

1. C
2. N
3. HVL

Esame:

1. kV_p
2. mAs
3. d = distanza
4. f_b = backscattering

Paziente:

1. s = spessore

Dose all'Utero

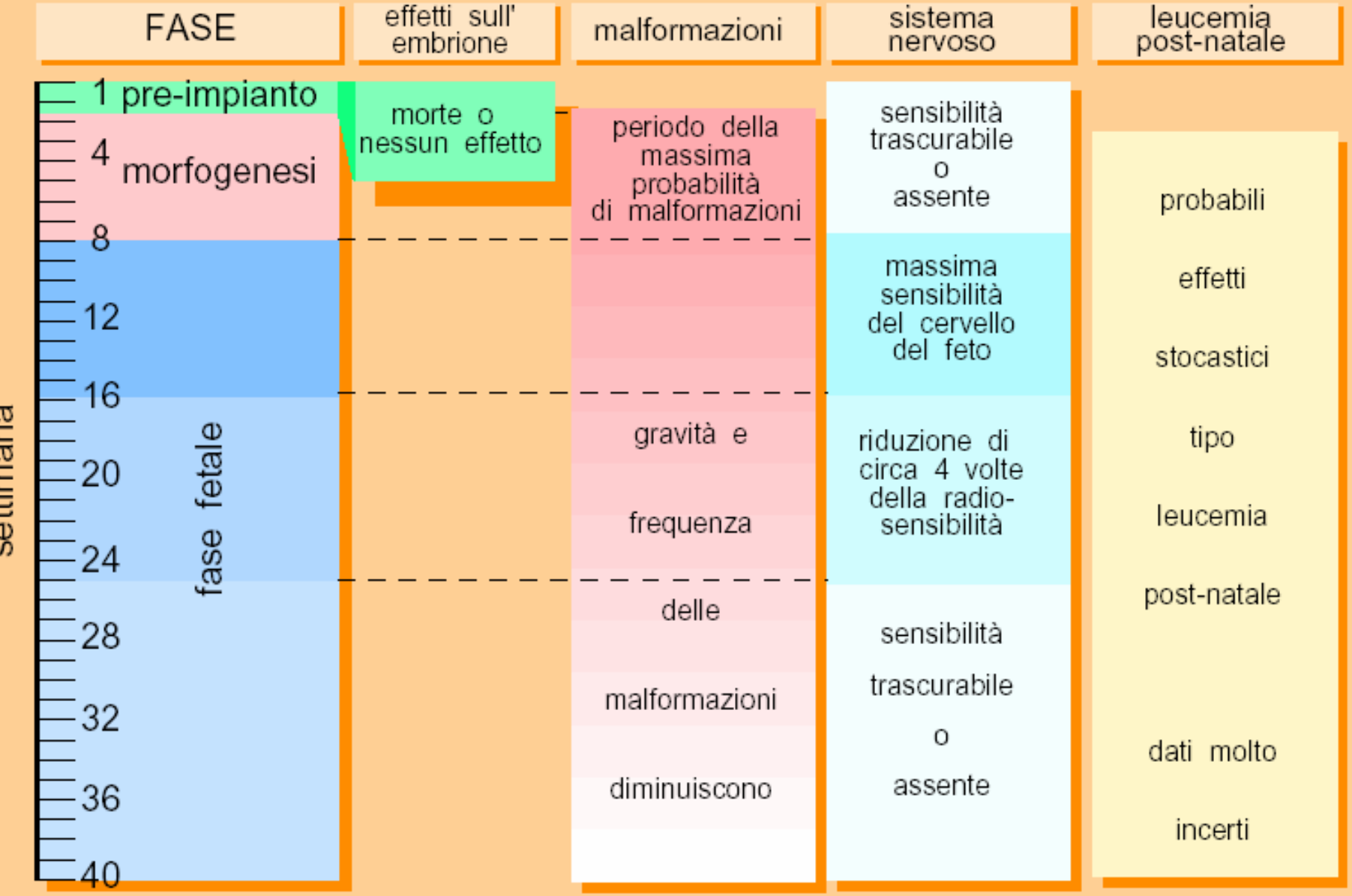
Valutazione dosimetrica

$$H_T = D_{air} * w_r * f_c$$

w_r = fattore peso della radiazione

f_c = fattore di conversione dose in aria dose in corpo

IRRADIAZIONE DELL'EMBRIONE E DEL FETO



D.L.gs 187/00 (l'ottimizzazione)

- 1. Tutte le dosi dovute a esposizioni mediche per scopi radiologici di cui all'articolo 1, comma 2, ad eccezione delle procedure radioterapiche, devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile e compatibile con il raggiungimento dell'informazione diagnostica richiesta, tenendo conto di fattori economici e sociali: ….. Omissis
- 3. Ai fini dell'ottimizzazione dell'esecuzione degli esami radiodiagnostici si deve tenere conto dei livelli diagnostici di riferimento (LDR) secondo le linee guida indicate nell'allegato II
- 6. Particolare attenzione deve essere posta a che la dose derivante da esposizione medico-legale di cui all'art.1, comma 2, lettera e), sia mantenuta al livello più basso ragionevolmente ottenibile.

LDR

Livelli diagnostici di riferimento

EUR 16260, EUR 16261, EUR 16262, EUR 16263

Tradizionale

Kerma in aria

- Tensione
- Corrente
- Tempo
- Fattori geometrici

Distanza
Dimensioni del campo

backscatter

"Legge quadratica inversa"

LDR

Livelli diagnostici di riferimento

EUR 16260, EUR 16261, EUR 16262, EUR 16263

Tomografia computerizzata

$$ {}_nCTDI_w = \frac{\left(\frac{1}{3} CTDI_{100,C} + \frac{2}{3} CTDI_{100,P}\right)}{C} \quad (mGy)/(mAs) $$

C = prodotto corrente tempo (mAs)

$$ DLP = \sum_i {}_n CTDI_w \cdot T \cdot N \cdot C $$

T = spessore nominale del fascio (mm)
N = numero di scansioni

$$ DLP = \sum_i {}_n CTDI_w \cdot T \cdot A \cdot t $$

A = corrente (mA)

t = il tempo di scansione (s)

DOSI RICEVUTE IN COMUNI ESAMI RADIOGRAFICI (FVG 1983) (mSv)

Esame	*Tiroide*	*Midollo osseo attivo*	*Polmone*	*Gonadi* ♂	*Gonadi* ♀	*Mammelle*
Cranio	1.61	0.17	0.01			
Torace	0.34	0.12	0.45			0.29
Spalla, clavicola	1.18	0.02	0.06			0.40
Addome		0.64	0.09	2.33	2.33	0.90
Bacino		0.34		8.09	2.38	0.04
Femore e anca		0.08		5.69	0.51	0.02
Rachide in toto	7.76	1.24	2.32	2.82	2.27	3.13
Rachide cervicale	4.00	0.03	0.02			
Rachide dorsale	16.45	0.73	2.63			0.68
R. lombo-sacrale		1.08	0.34	1.72	3.87	0.48
Urografia		1.42	0.65	7.56	5.03	8.78
Tubo digerente	0.73	3.74	2.11	0.15	1.18	1.85
Clisma opaco	0.11	5.19	0.54	2.26	11.95	0.50

Principio di ottimizzazione

- Ottimizzazione del processo
  - → Informazione diagnostica con la minima dose
  - → Scelta delle attrezzature
- → Programmi di garanzia della qualità
  - → Controlli di qualità

Garanzia della Qualità

le azioni programmate e sistematiche intese ad accertare con adeguata affidabilita' che un impianto, un sistema, un componente o un procedimento funzionera' in maniera soddisfacente conformemente agli standard stabiliti

Art. 7 (comma 6)
Controllo di Qualità
(attrezzature)

Una serie di operazioni (programmazione, coordinamento, attuazione) intese a mantenere o a migliorare la qualita'. Esso comprende il monitoraggio, la valutazione e il mantenimento ai livelli richiesti di tutte le caratteristiche operative delle attrezzature che possono essere definite, misurate e controllate

Art. 8 (comma 2)
Garanzia della Qualità
(attrezzature)

Prove:
1. Accettazione e Collaudo
2. Stato

Art.8, comma 2 lettera a
Programma della Garanzia della Qualità
Manuale della Garanzia della Qualità
TSRM
I controlli di qualità:
1. GIORNALIERI
2. SETTIMANALI
3. MENSILI
TC
Monitor
Archivi
Mammografi
Sistemi di stampa

Criteri minimi di accettabilità

Radiografia Dentale esclusa l'apparecchiatura per la radiografia dentale panoramica

Qualità della radiazione	Tensione ≥ 50 kV
Filtrazione	≥1.5 mmAl con Tensione ≤ 70 kV ≥ 2.5 mmAl con Tensione > 70 kV
FSD	≥10 cm con Tensione ≤ 60 kV ≥ 20 cm con Tensione > 60 kV
Dimensioni del fascio	60 mm all'estremità
Temporizzatore	Esattezza≤ 20% Precisione ≤ 10%
Radiazione emessa	30-80 μ Gy/mAs ad 1 metro dal fuoco con Tensione 50-70 kV

Manuale di Garanzia della Qualità

Elenchi

1. Personale
2. Macchine
3. Attività
4. …

Protocolli

1. Gestione del Paziente
2. Gestione dell'esame
3. Gestione delle macchine
4. Teleradiologia
5. Controllo di qualità
6. …

Dose alle persone

Art. 1 comm3

…
Il presente decreto legislativo si applica inoltre alle esposizioni di persone che coscientemente e volontariamente, al di fuori della loro occupazione, assistono e confortano persone sottoposte a esposizioni mediche.

Limiti

I vincoli di dose efficaci per ogni prestazione diagnostica a nell'arco di un ciclo terapeutico sono i seguenti:

1. per gli adulti di eta' inferiore ai 60 anni: 3mSv;
2. per persone d'eta' uguale o superiore ai 60 anni: 10mSv.

Mezzi di protezione

TSRM che esegue l'esame fornisce presidi radioprotezionistici

Informazioni

In tutti i casi devono essere fornite al paziente e rese note ai suoi familiari informazioni sui rischi dell'esposizione a radiazioni ionizzanti, istruzioni e norme di comportamento atte ad evitare che vengano superati i vincoli di dose indicati al numero 3, per le persone di cui all'articolo 1, comma 3, nonché i limiti di dose per le persone del pubblico.

Dose alle persone

$$E = H^{*}(10) * \left(\frac{100}{d}\right)^{2} * f_a$$

$H^{*}(10)$ = Valori di dose valutati a 1 metro dal bordo del fascio durante i sopraluoghi periodici

d = distanza del torace dal bordo del fascio

f_a = fattore di attenuazione del mezzo di protezione

D.L.gs 187/00 (le pratiche speciali)

- 1. L'esercente e il responsabile dell'impianto radiologico..omissis, utilizzano attrezzature radiologiche e tecniche e adeguate attrezzature ausiliarie per le esposizioni mediche che riguardano:
  - a) bambini
  - b) programmi di screening
  - c) procedure comportanti alte dosi per il paziente quali la radiologia interventistica, la tomografia assiale computerizzata o la radioterapia

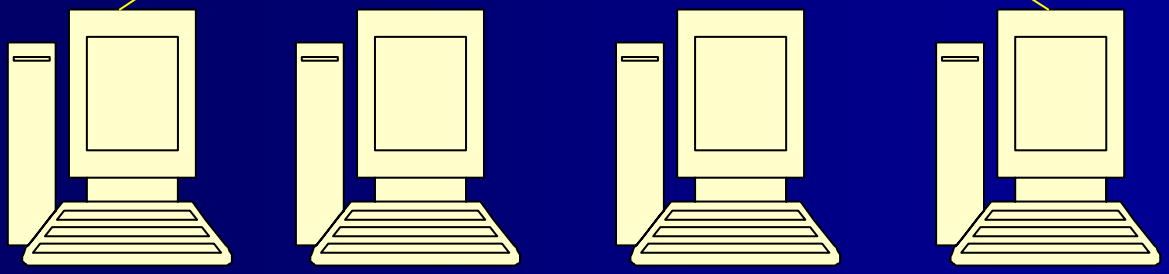
Formazione

→ Obbligatoria con periodicità 5 anni

Supporto Informatico

Server “Goliath”

Intranet



PC locali

Differenze

Fantoccio PMMA

(4.5 cm di spessore)

Tensione 28 kV
Annerimento = 0 o rif.
Semiautomatico

Densità Ottica nel punto di riferimento

(6 cm dalla parete)

D. L.vo 187/00
1.3 – 1.8 D.O.
base e velo inclusi

Accettabile
± 0.15

Vecchio manuale
1.0 ± 0.1 D.O.
base e velo esclusi

Accettabile
< ± 0.15

Linee guida
1.4 D.O.
base e velo esclusi

Fantoccio PMMA

Differenze

D.L.vo 187/00		European Guidelines… Third Edition	
Accettabile		Accettabile	Desiderabile
S ± 0.15	Compensazione per lo spessore	w < ± 0.15	< ± 0.10
<0.2	Precisione a lungo termine	< ± 0.20	< ± 0.15
	Artefatti	No	
< 10%	Prodotto Corrente Tempo "mAs"	< 10%	< 5%
0.10 - 0.20	Variazione gradini	< 0.20, >0.05	< 0.10, >0.05

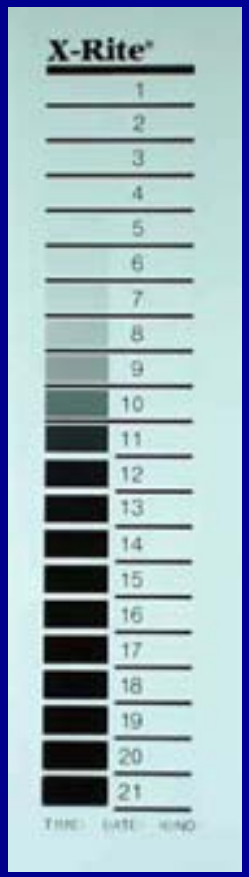
S=semestrale; W=Settimanale

Sensitometria

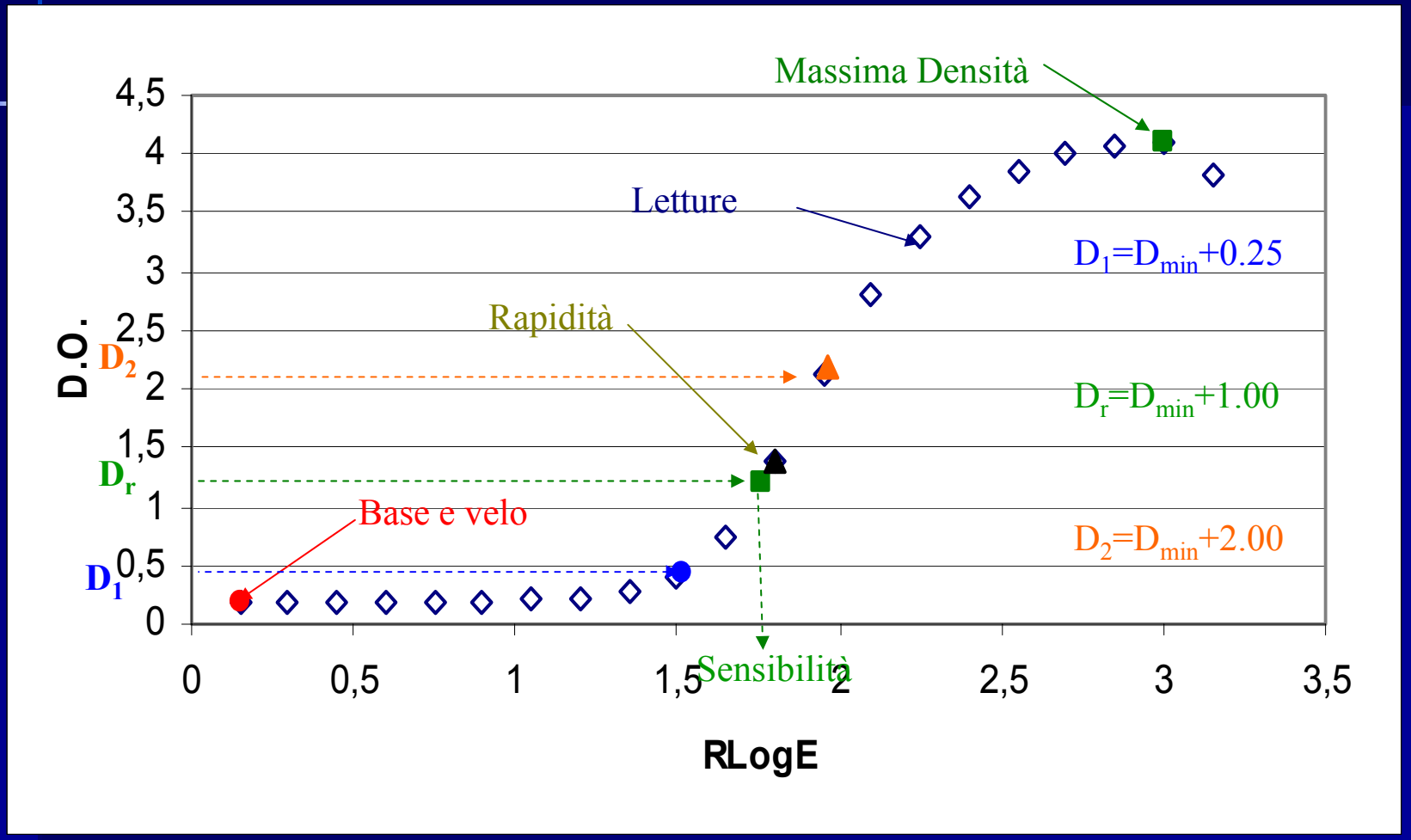
Sensitometro

Densitometro

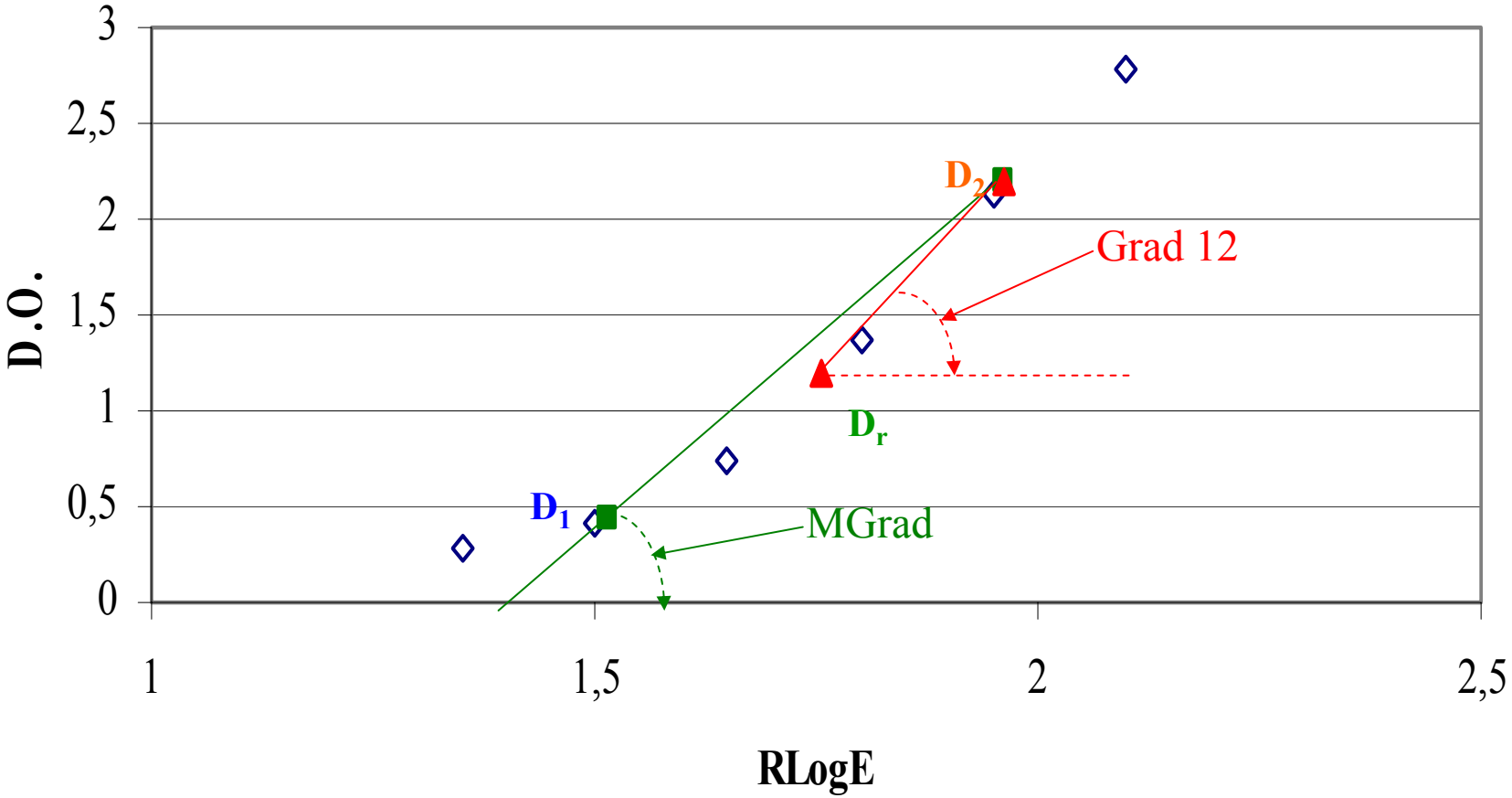
Gradini Curva Sensitometrica



Curva sensitometrica



Curva sensitometrica



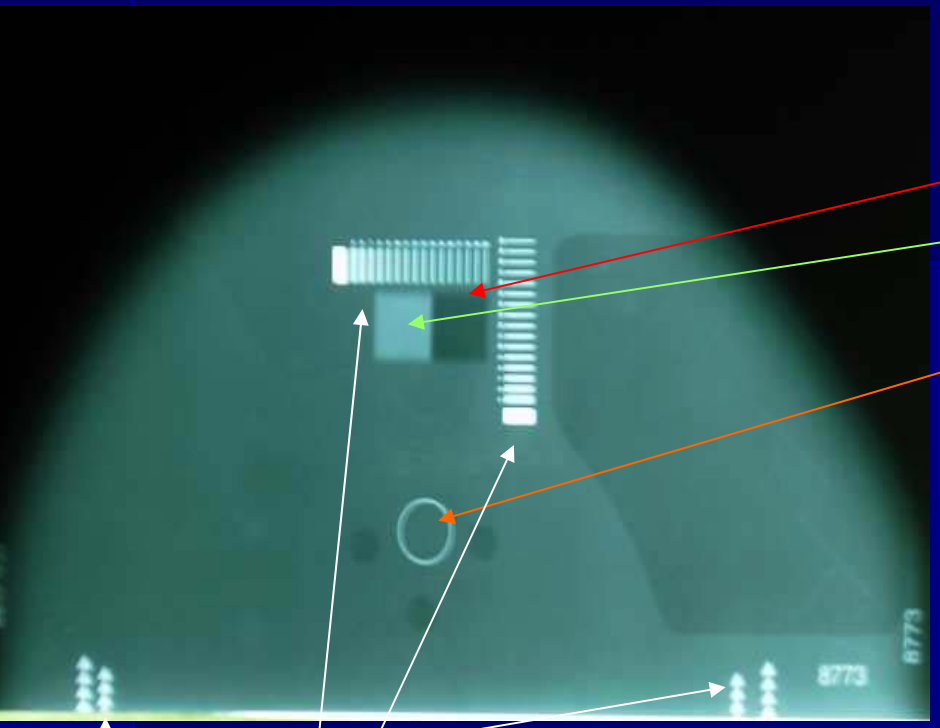
Sensitometria

Differenze

Limiti	Variazione Accettabile		Valori tipici	Variazione Accettabile	Variazione Desiderabile	
= 0.2	± 10%	Base e velo	0.15 – 0.25	< 0.03	< 0.02	D.O.
= *	± 10%	Sensibilità	= *	< 0.05	< 0.03	
= *	± 10%	Indici di Contrasto	= *	< 0.30	< 0.20	D.O.
= *	± 10%	Temperatura	34 – 36	< 2	< 1	°C
> 2.8	± 10%	Gradiente medio “MGrad”	3.0 – 4.0	< 0.30	< 0.15	
		Gradiente mediano “Grad 1,2”	3.5 – 5.0	< 0.40	< 0.20	
		Indici di Sensibilità	= *	< 0.30	< 0.20	D.O.
		Alta densità	= *	< 0.30	< 0.20	D.O.

* = media su un mese

Fantoccio MTM 100



D2

D1

Dz

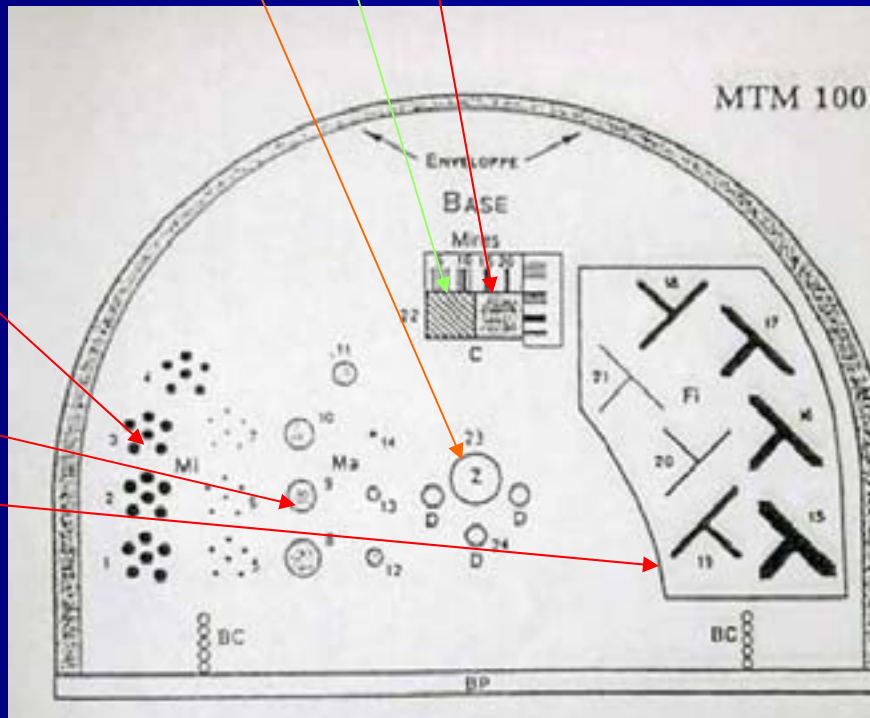
Allineamento

Risoluzione Spaziale

Microcalcificazioni

Emisfere

Set di fibre



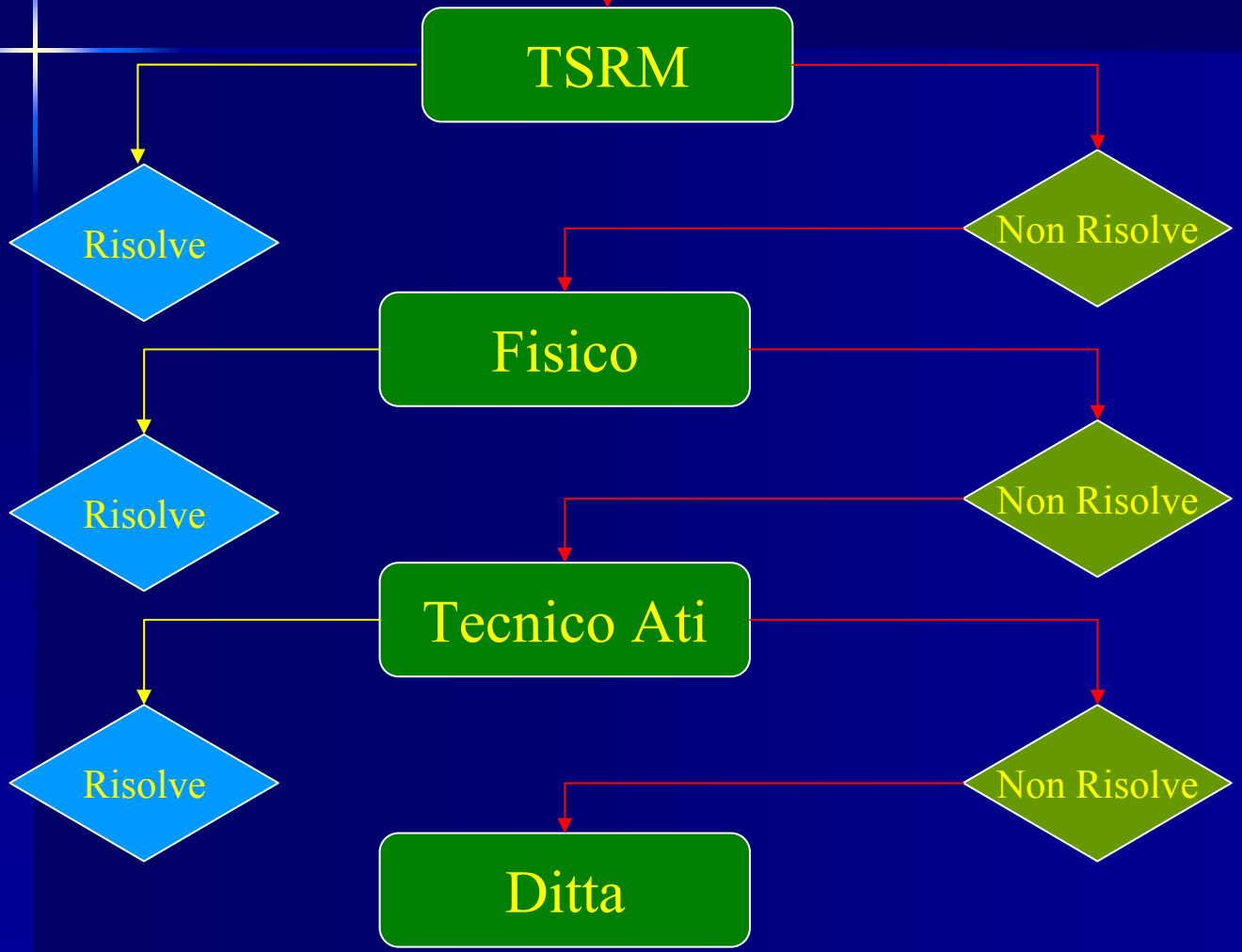
Fantoccio MTM 100

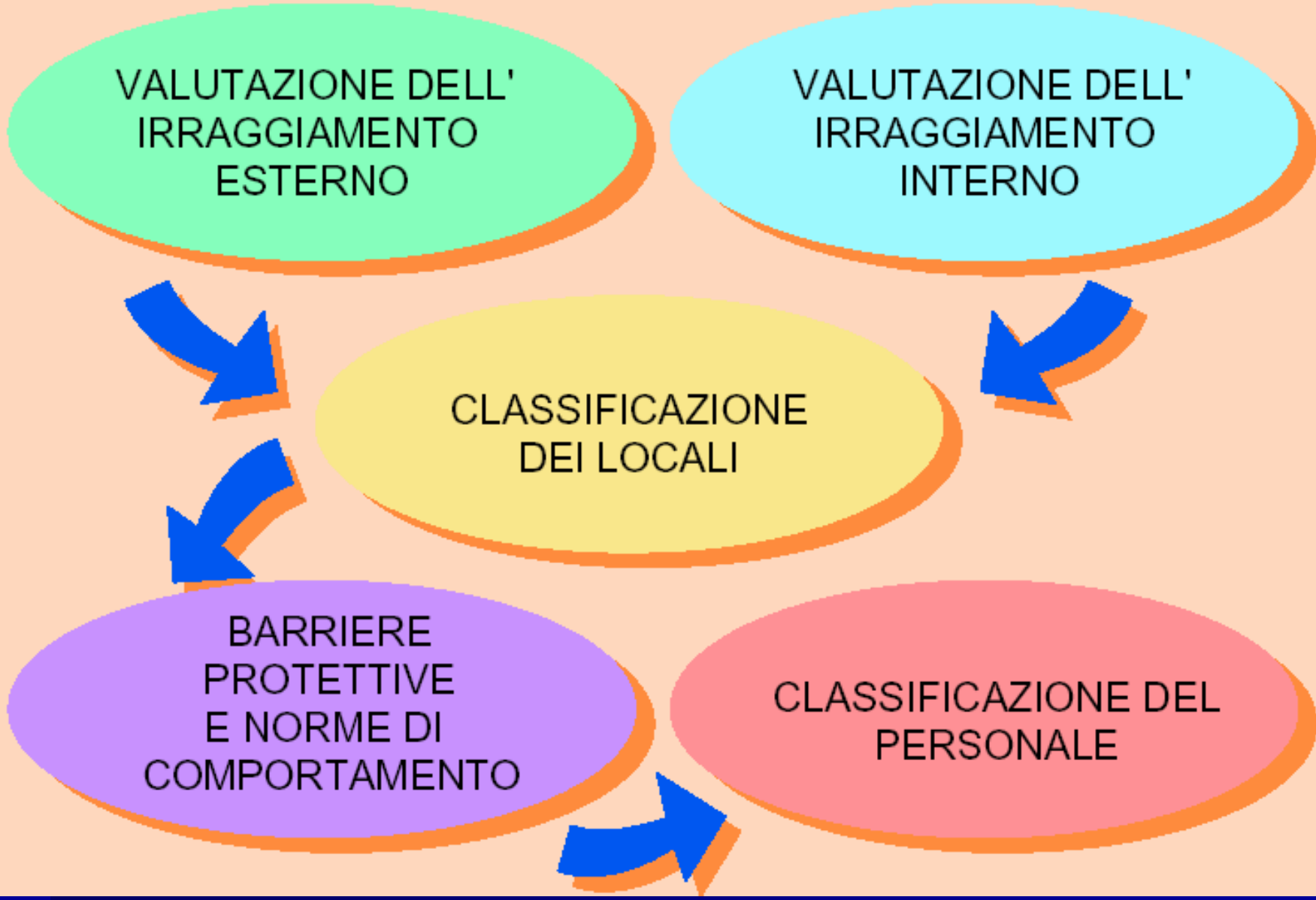
Automatico
Annerimento = 0 o rif.

Limiti	Variazione Accettabile		Valori tipici	Variazione Accettabile	Variazione Desiderabile
= *	± 10%	Tensione	= *	± 10%	± 5%
= *	± 10%	Prodotto Corrente tempo	= *	± 10%	± 5%
= *	± 10%	D.O. punto Z	= *	± 10%	± 5%
= *	± 10%	Indice di contrasto (D2-D1)	= *	± 10%	± 5%
	> 12lp/mm	Risoluzione Spaziale	= *	> 10 lp/mm	> 13 lp/mm
		Basso Contrasto	= *	Visibile	
		Contrasto di immagine	= *	± 10%	± 5%

Conclusioni

Si supera costantemente il valore desiderabile
o
Si supera il valore accettabile



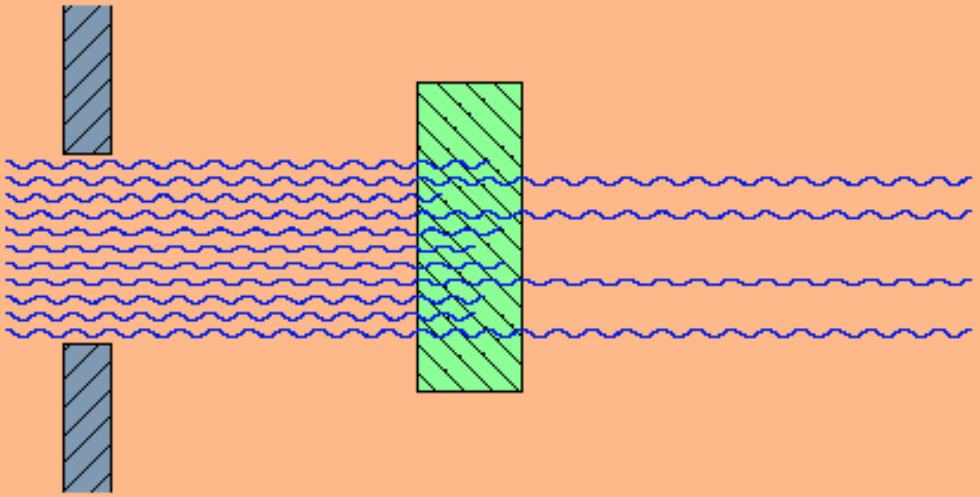

VALUTAZIONE DELL' IRRAGGIAMENTO ESTERNO
VALUTAZIONE DELL' IRRAGGIAMENTO INTERNO
CLASSIFICAZIONE DEI LOCALI
BARRIERE PROTETTIVE E NORME DI COMPORTAMENTO
CLASSIFICAZIONE DEL PERSONALE

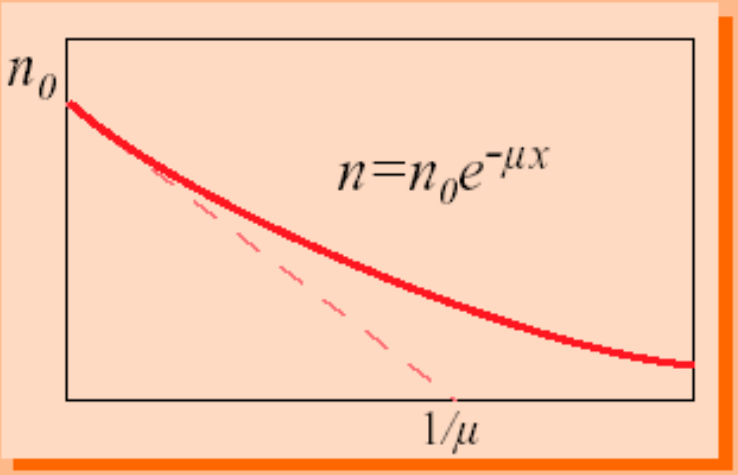
INTERAZIONE DELLA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA

Nel caso di fasci collimati di fotoni monoenergetici incidenti su un assorbitore di spessore dx e densità , si ha:

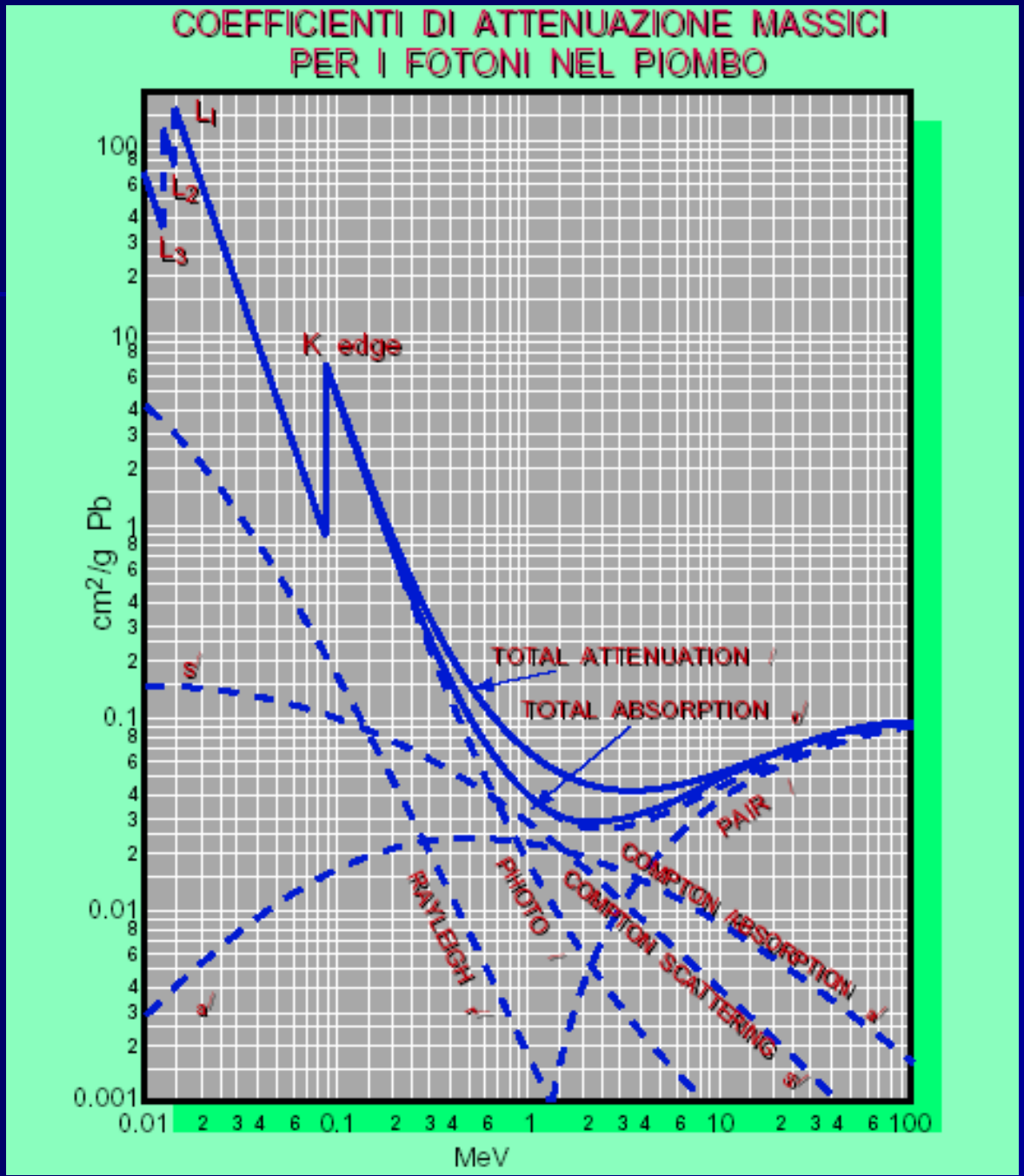
$$dn = n \quad dx = n\left(-\right)(\quad dx)$$

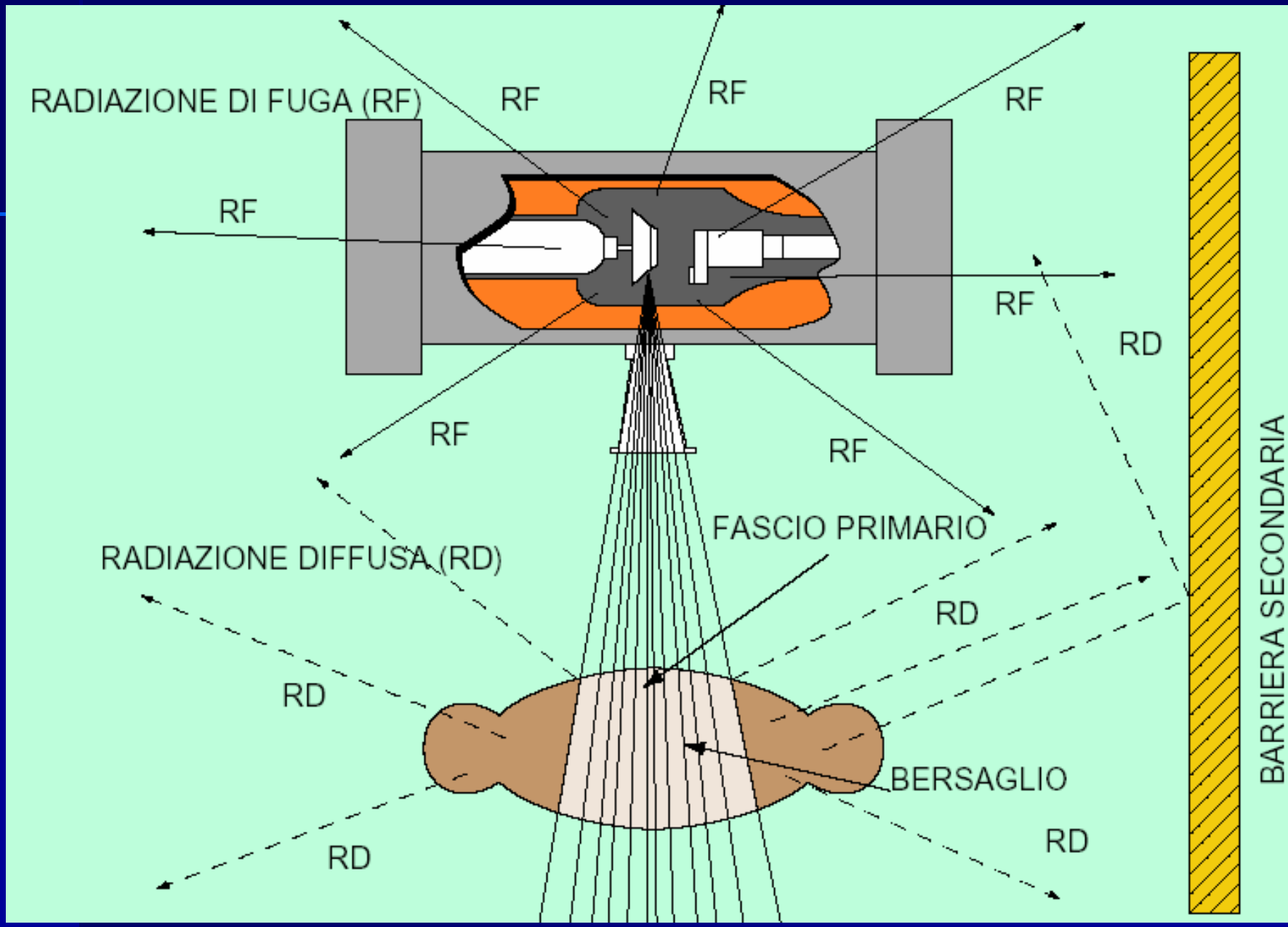
con μ/ *coefficiente di attenuazione massico*





COEFFICIENTI DI ATTENUAZIONE MASSICI PER I FOTONI NEL PIOMBO




RADIAZIONE DI FUGA (RF)
RF
RF
RF
RF
RF
RF
RF
RF
RD
RADIAZIONE DIFFUSA (RD)
FASCIO PRIMARIO
RD
RD
RD
RD
BERSAGLIO
BARRIERA SECONDARIA

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/setimana.

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.

VALORI TIPICI PER I FATTORI *W*, *T*, *U*

Il valore di *W* si deve dedurre dalle caratteristiche e dalle modalità d'uso dell'apparecchiatura. Può variare da poche unità sino a decine di migliaia (apparecchiature per radioterapia).

T=1	occupazione piena (uffici, laboratori, abitazioni)
T=1/4	occupazione parziale (corridoi, ripostigli)
T=1/16	occupazione occasionale (servizi igienici, vani scala, ascensori)

U=1	utilizzazione totale (pareti, porte esposti al fascio utile)
U=1/4	utilizzazione parziale (pareti, porte non esposte al fascio utile)
U=1/16	utilizzazione occasionale (soffitti non esposti al fascio utile)

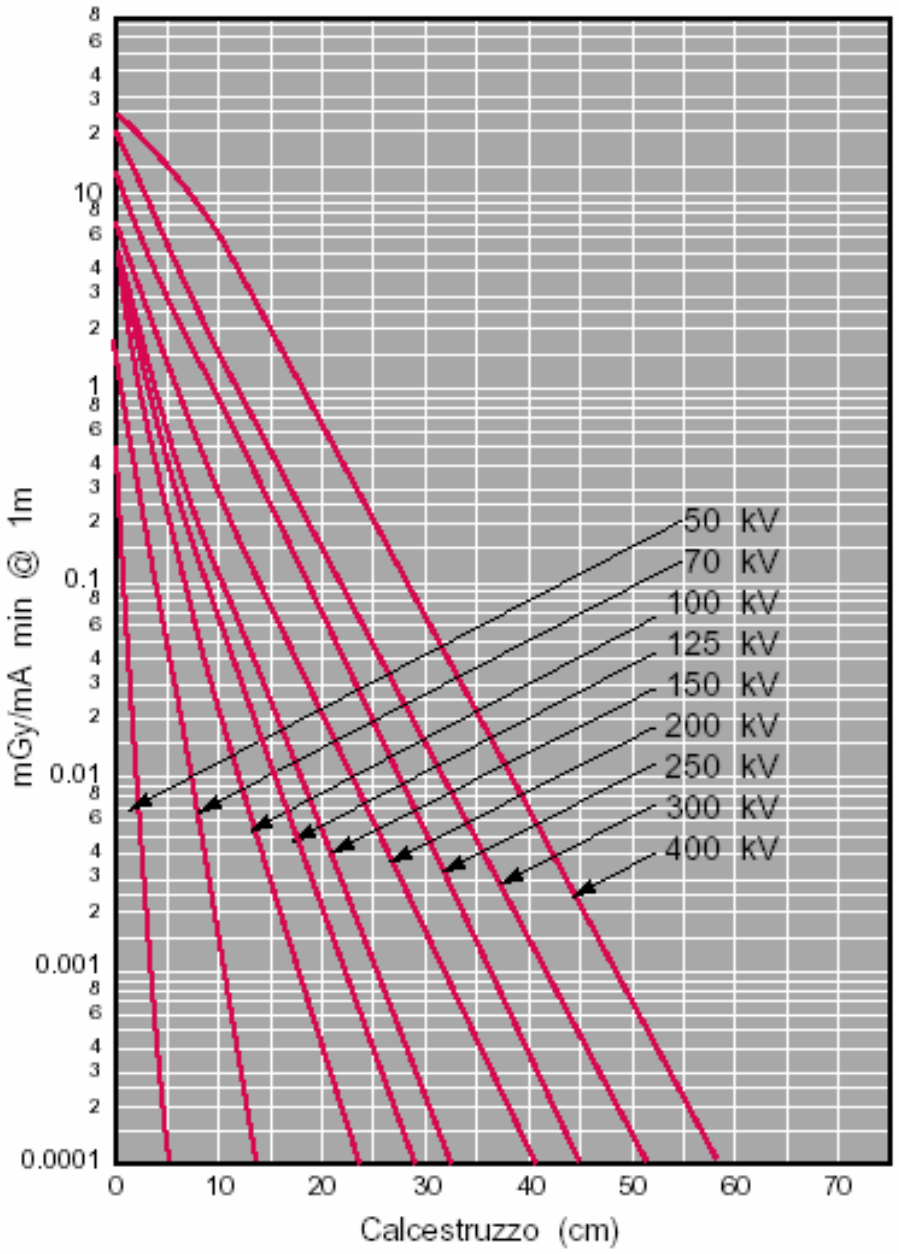
CALCOLO DELLO SPESSORE DI UNA BARRIERA PRIMARIA

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.


mGy/mA min @ 1m
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0
10
20
30
40
50
60
70
Calcestruzzo (cm)
50 kV
70 kV
100 kV
125 kV
150 kV
200 kV
250 kV
300 kV
400 kV

ESEMPIO

Generatore operante a V = 60 kVp, I = 33 mA con anodo in molibdeno (Mo, Z=42, $K_{\alpha 1}$ = 17.48 keV, $K_{\alpha 2}$ = 17.37 keV). Carico di lavoro settimanale H = 40 h.
Fissato un limite di dose settimanale pari a 0.02 mSv abbiamo:

D_W = 0.13 Sv @ 1 m

che richiede uno spessore di piombo di circa 0.26 mm.

Si deve sottolineare che in questo calcolo si è utilizzata l'energia massima dei raggi X emessi. Una valutazione più realistica potrebbe utilizzare l'energia media degli stessi, facendo diminuire di molto l'intensità della dose calcolata.

KERMA IN ARIA

$$K_{air} = dE_{tr}/dm$$

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

DOSE ASSORBITA

$$D = dE/dm$$

energia assorbita per unità di massa e cioè il quoziente di dE diviso per dm, in cui **dE è l'energia media ceduta** dalle radiazioni ionizzanti alla materia in un elemento volumetrico e **dm la massa di materia contenuta** in tale elemento volumetrico; ai fini del presente decreto, la dose assorbita indica la dose media in un tessuto o in organo.

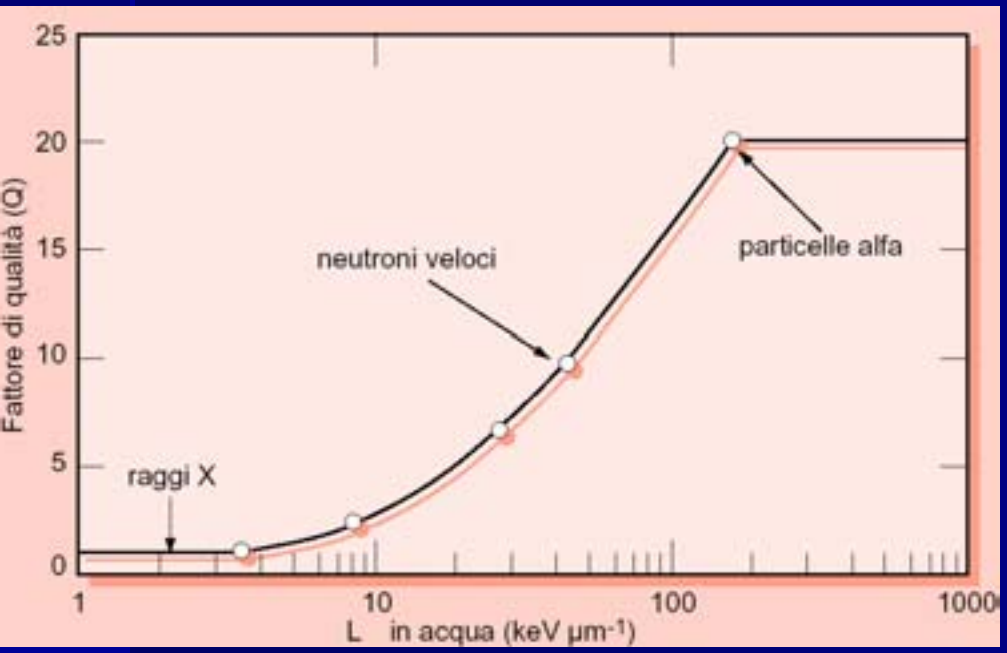
Si misura in gray (Gy):
1Gy = 1J / 1kg
1Gy = 100 rad (1rad = 100erg / 1g)

Dose Equivalente

dose assorbita media in un tessuto o organo T, ponderata in base al tipo e alla qualità della radiazione nel modo indicato nei provvedimenti di applicazione, dove w_R è il fattore peso della radiazione.

$$H_{T,R} = \Sigma_R w_R D_{T,R}$$

Il LET
Linear Energy Transfer



$$L_{\Delta} = dE/dl_{\Delta}$$

Δ = limite superiore per l'energia trasferita. Il LET si misura in keV µm-1.

Se si prendono in considerazione tutte le perdite di energia il LET (in questo caso $L\infty$), coincide con il potere frenante per collisione.

EQUIVALENTE DI DOSE EFFICACE

$$H_E = \Sigma_T w_T H_T$$

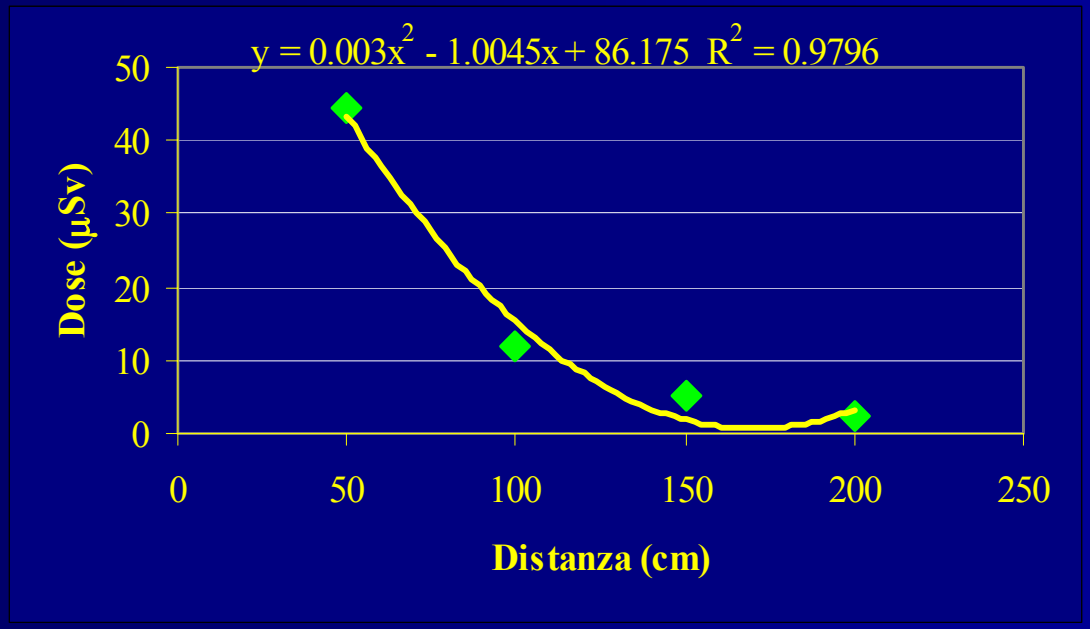
con H_T equivalente di dose ricevuto dal tessuto o organo T e w_T il fattore di ponderazione relativo a tale tessuto o organo.

Si misurano in sievert (Sv).
1 Sv = 1 J /1 kg
1 Sv = 100 rem;

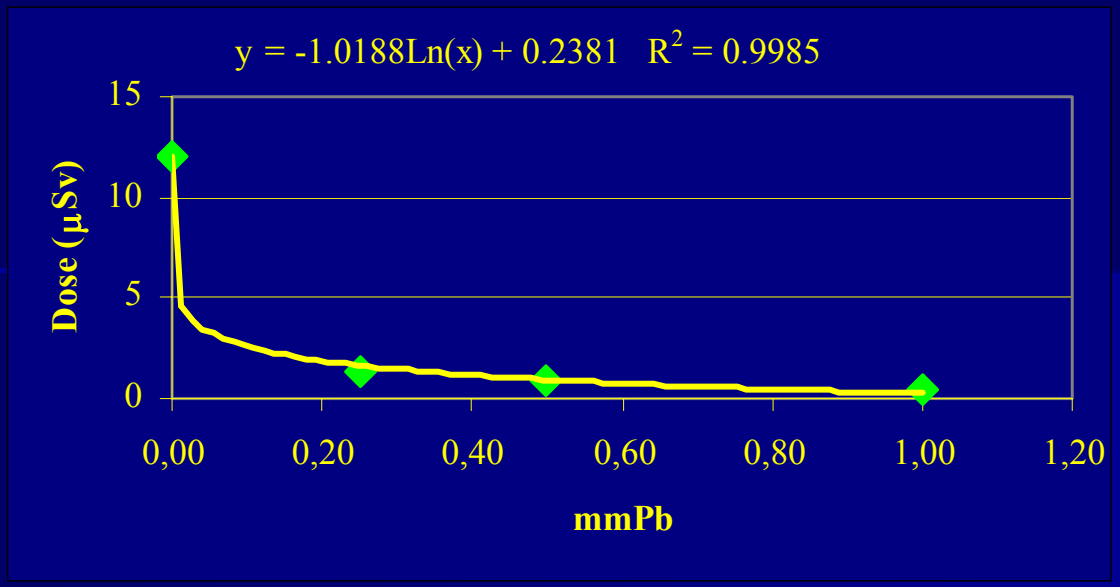
Valori dei fattori di ponderazione

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
Superfice ossea	0.5	0.03
Rimanenti organi e tessuti	5.0	0.30

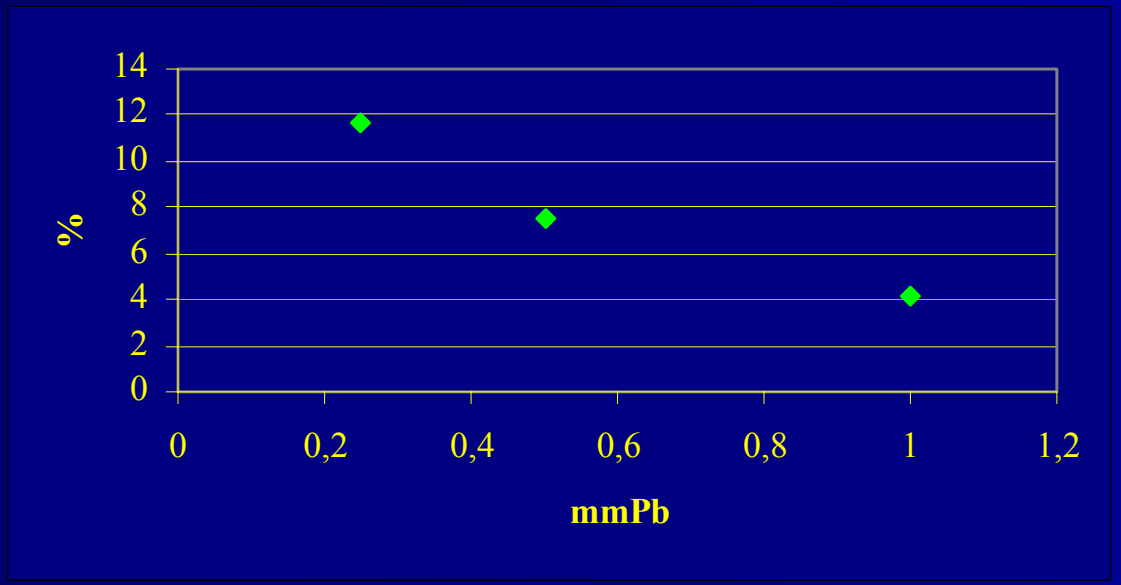
Andamento dose vs distanza



Andamento Dose vs mmPb



Riduzione % della dose



GRANDEZZE ICRU

Grandezze operative da usare nella valutazione delle radiazioni penetranti e poco penetranti.

EQUIVALENTE DI DOSE INDIVIDUALE PENETRANTE $H_P(10)$

fornisce una valutazione cautelativa di H_E e degli H_T negli organi profondi.

QUIVALENTE DI DOSE INDIVIDUALE SUPERFICIALE $H_S(0.07)$

ornisce una valutazione cautelativa degli equivalenti di dose ricevuti dalla pelle e dal ristallino

a profondità d alla quale viene effettuata la valutazione è espressa in mm.

er la loro misura è sufficiente porre un idoneo rivelatore sulla superficie del corpo dell'individuo posto e ricoprirlo con lo specifico spessore di materiale tessuto equivalente.

CLASSIFICAZIONE DELLA POPOLAZIONE E LIMITI DI DOSE

LAVORATORI ESPOSTI

	ESPOSIZIONE GLOBALE E EQ. DI DOSE EFFICACE	EQUIVALENTE DI DOSE. CRISTALLINO	PELLE	ESTREMITA'
imite annuo	1 mSv	15 mSv	50 mSv	50 mSv
Categoria A				
imite max annuo	20 mSv	150 mSv	500 mSv	500 mSv
Categoria B				
imite max annuo	6 mSv	45 mSv	150 mSv	150 mSv

CLASSIFICAZIONE DEGLI APPRENDISTI E STUDENTI

Apprendisti e studenti, di età non inferiore a 18 anni, che si avviano ad una professione nel corso della quale saranno esposti alle radiazioni ionizzanti, o i cui studi implicano necessariamente l'impiego di sorgenti di radiazioni ionizzanti

SONO EQUIPARATI AI LAVORATORI ESPOSTI

Apprendisti e studenti di età compresa tra 16 e 18 anni, che si trovino nelle condizioni precedenti

SONO EQUIPARATI AI LAVORATORI ESPOSTI DI CATEGORIA“B” CON IN PIU' ALCUNE PRESCRIZIONI PER LA CONTAMINAZIONE INTERNA

Apprendisti e studenti, di età non inferiore a 16 anni, che non si trovino nelle condizioni precedenti e apprendisti e studenti di età inferiore a 16 anni

I LIMITI DI DOSE SONO LA META' DI QUELLI PER IL PUBBLICO E OGNI SINGOLA ESPOSIZIONE NON PUO' SUPERARE UN VENTESIMO DEI VALORI ANNUALI PER L'IRRAGGIAMENTO GLOBALE ED UN CENTESIMO PER L'IRRAGGIAMENTO PARZIALE.

EQUIVALENTE DI DOSE EFFICACE ANNUALE RICEVUTO IN MEDIA IN ITALIA

SORGENTE DI IRRADIAZIONE	*mSv/anno*
Fondo naturale	1.1
Radiologia e medicina nucleare	0.9
Sorgenti varie	1.0
Totale	3.0

CONDIZIONI CHE RICHIEDONO IL NULLA OSTA

Il nulla osta è richiesto per gli apparecchi generatori di radiazioni ionizzanti qualora la tensione superi i 200 kV. (dpr 185/64)

Una bozza del decreto applicativo riguardante la classificazione degli esercizi in categoria "A" e "B" stabilisce che sono classificati di categoria "A" quegli esercizi ove:

a) si utilizzino macchine radiogene nelle quali gli elettroni sono accelerati ad energie uguali o superiori a 10 MeV;

b) l'energia di accelerazione sia superiore a 0.5 MeV purché la potenza del fascio sia superiore a 1 kW, tenendo conto del fattore di utilizzo (duty cycle).

Viene inoltre classificato di categoria "A" l'impiego di sorgenti di radiazioni allorché la produzione media nel tempo di neutroni su tutto l'angolo solido sia uguale o superiore a 10^7 neutroni al secondo.

DIVERSI TIPI DI MACCHINE RADIOGENE

Tubi a raggi X per diagnostica medica

- apparecchi endorali
- ortopantomografi
- tomografi
- apparecchi per TAC

Apparecchiature a raggi X per radiografia industriale

Difrattometri

Acceleratori di particelle

PROBLEMATICHE CONNESSE

1) Protezione dal fascio principale di particelle accelerate

2) Protezione dal campo di radiazione prodotto dall'interazione del fascio principale con il bersaglio

3) Protezione dalla radiazione emessa in direzioni diverse da quella del fascio principale

4) Protezione dalla radiazione prodotta dall' interazione del fascio di particelle con l'aria

5) Protezione dall'eventuale radioattività indotta

6) Protezione della popolazione

Linee Guida

Strumento
Informazione
Assistenza
Detentori
Riferimento applicativo
Controllo
Vigilanza
Consulenza
Non sono esaustive
Principali obblighi normativi

Detentore

Nomina l'esperto qualificato

Comunicazione preventiva di pratica

Comunicazione preventiva di cessazione di pratica

Protezione della popolazione

Classificazione del personale

Registro di sorveglianza fisica della protezione

Benestare di progetto

Detentore

Obblighi derivanti dall'art. 103 comma 1

Esposizioni accidentali o rilevanti

Sorveglianza fisica individuale e valutazione della dose individuale

Documentazione relativa alla sorveglianza fisica individuale

Sorveglianza medica

Documentazione relativa alla sorveglianza medica