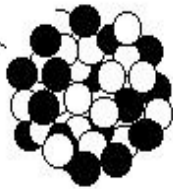


Aspetti Fisici della Radioprotezione

Nucleo Figlio

$^{40}_{20}\text{Ca}$



Nucleo Padre

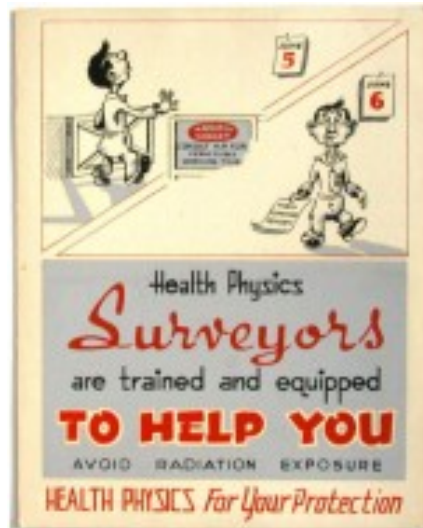
$^{40}_{19}\text{K}$

$^0_0\bar{\nu}$
Antineutrino

$^0_{-1}\beta^-$
Beta

Grandezze
FISICHE
RADIOPROTEZIONISTICHE
OPERATIVE

31/10/2018



Sorgenti di radiazioni ionizzanti

SORGENTI RADIOGENE

(RAGGI X)

SORGENTI RADIOATTIVE

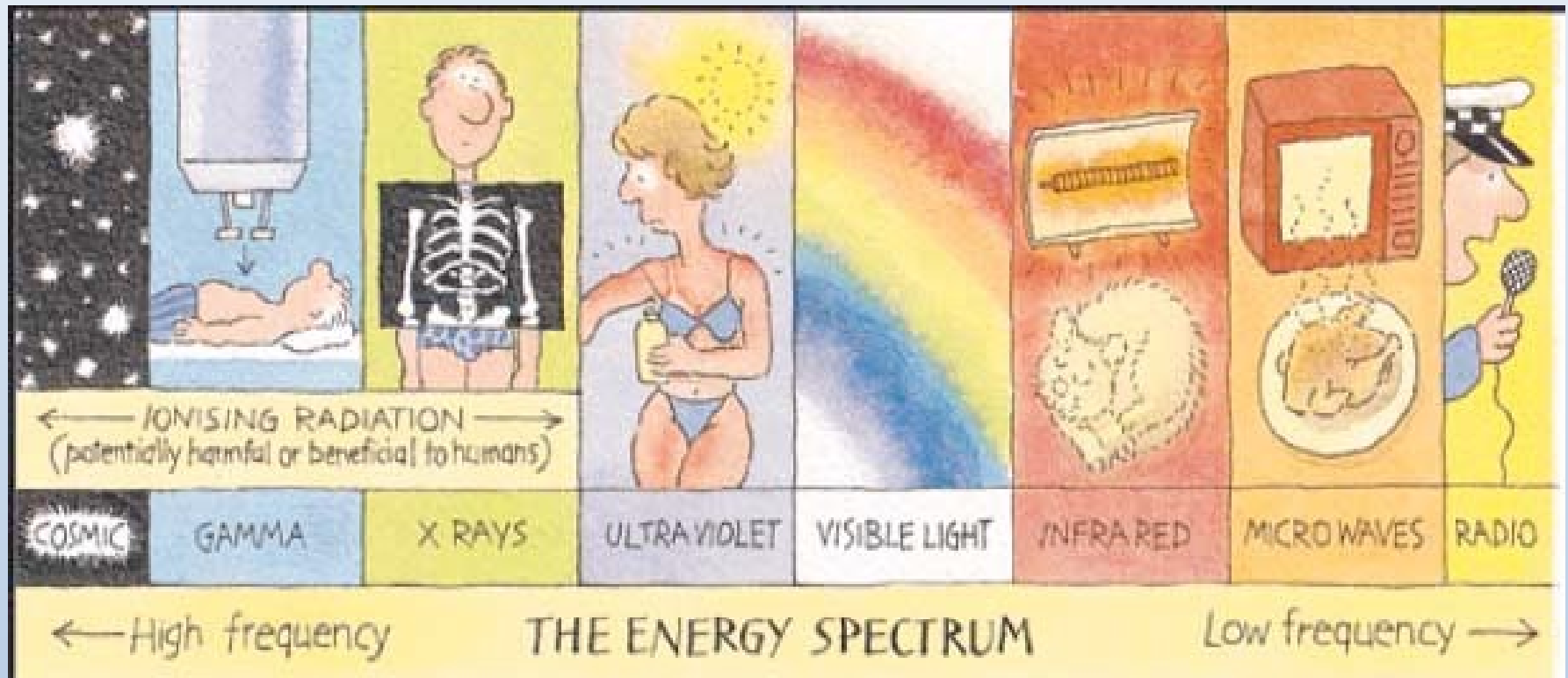
NATURALI OD ARTIFICIALI,

(ALFA, BETA, GAMMA,
ETC...)

SORGENTI EXTRATERRESTRI

(RAGGI COSMICI)

Sorgenti di radiazioni ionizzanti



Sorgenti di radiazioni ionizzanti

L'uso delle radiazioni ionizzanti, nonostante rappresenti una fonte di rischio per

gli operatori, il paziente e la popolazione,

è entrato nella pratica quotidiana, in virtù del beneficio netto (diagnosi di malattie, terapie) che tale pratica comporta;

Rimane ovviamente inteso che la conoscenza del rischio connesso con l'uso quotidiano delle radiazioni ionizzanti sia il primo e più efficace metodo per difendere gli operatori, i pazienti e la popolazione nel suo insieme, a vario titolo coinvolti.

Non va dimenticato che tutti siamo esposti alla **radiazione di fondo** (naturale ed artificiale) dovuta ai **raggi cosmici**, alle **sostanze radioattive naturali** presenti sulla Terra e ai **materiali radioattivi prodotti dall'uomo e immessi nell'ambiente**.

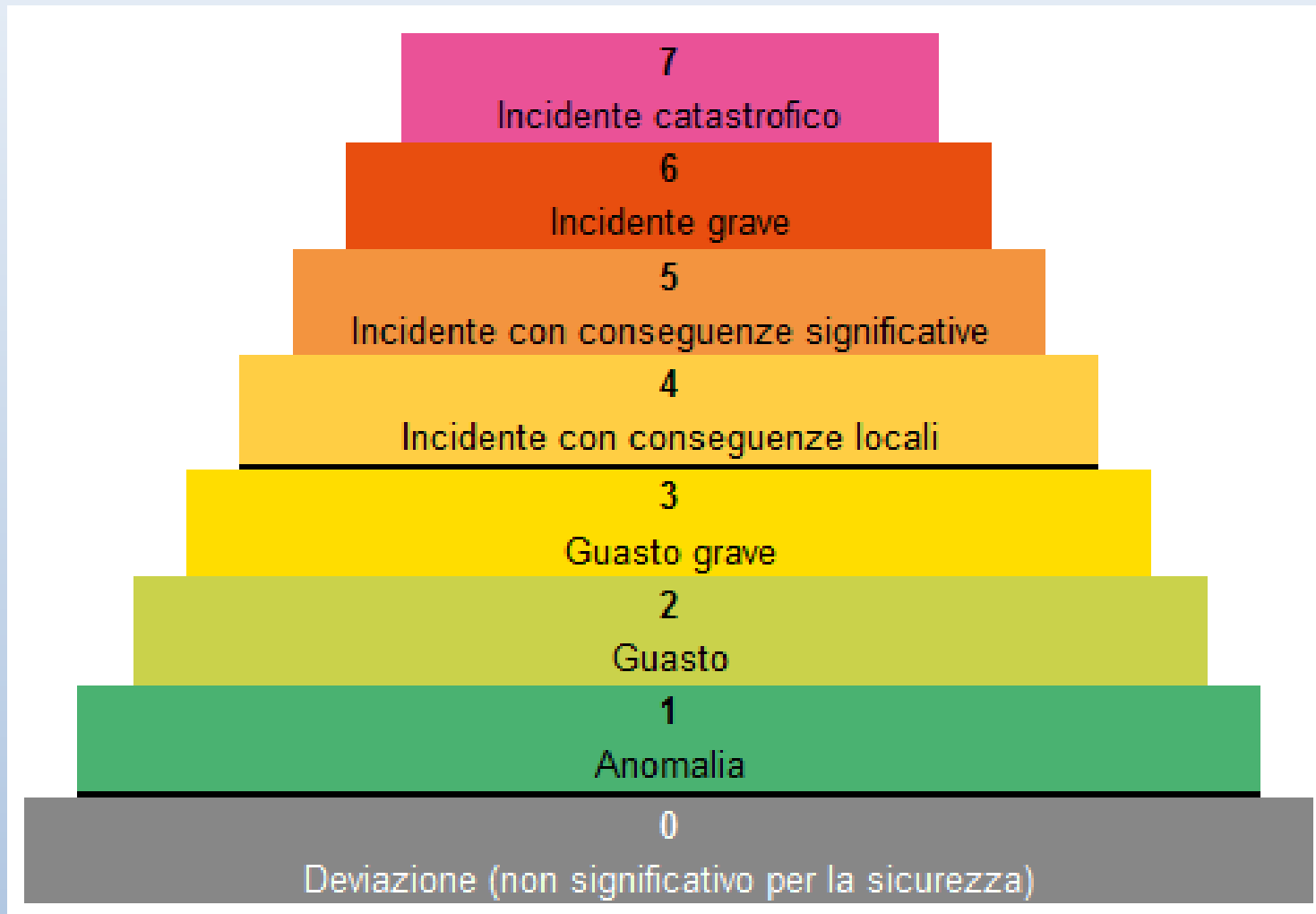
Il contributo di dose dovuto a questa radiazione varia da luogo a luogo.

5 CATASTROFI NUCLEARI PIÙ GRAVI DELLA STORIA



- 1957, Disastro di Kyshtym (URSS) 6° livello della scala INES
- 1979, incidente di Three Mile Island (USA) 5° livello della scala INES
- 1986, disastro di Černobyl' (URSS) livello più alto della scala INES
- 1999, disastro di Tokaimura (Giappone) 4° livello della scala INES
- 2011, disastro di Fukushima Dai-ichi (Giappone) inizialmente classificato al livello 4 della scala INES, poi al 5 e infine, considerando l'insieme dell'evento, al grado 7

SCALA INES



30 settembre 1999, disastro di Tokaimura (Giappone)

Hisashi Ouchi (35 anni), assorbì radiazioni di 10.000-20.000 millisievert

Masato Shinohara (40 anni) assorbì radiazioni di 6.000-10.000 millisievert

Yutaka Yokokawa (54 anni) assorbì radiazioni di 1.000-5.000 millisievert

Un quantitativo eccezionalmente superiore alla soglia di sicurezza di 50 millisievert.

Cosa succede all'organismo

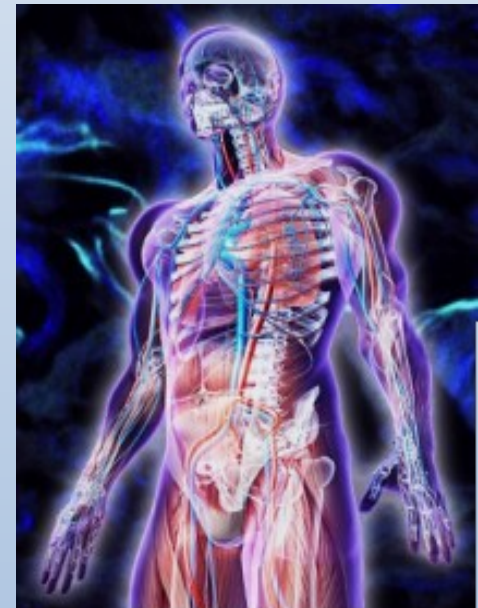
Gli atomi dei tessuti del corpo che sono in uno stato di normalità



sono colpiti da protoni, neutroni, elettroni, raggi gamma, o raggi X, prodotti dal decadimento radioattivo

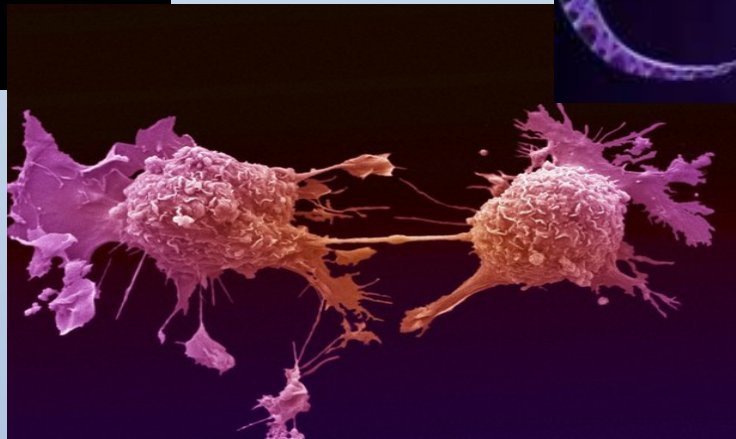
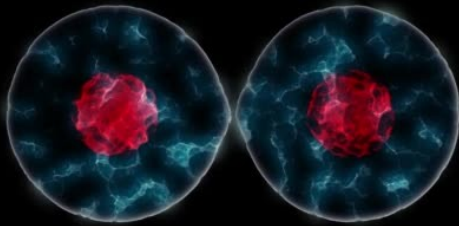


e passano ad una condizione di instabilità e quindi di maggiore reattività che porta alla formazione di nuove molecole, tra cui i radicali liberi (tossici).



Cosa succede all'organismo

Queste possono alterare la riproduzione e il funzionamento delle cellule, per poco tempo o per molti anni, velocemente o lentamente: dipende dalla quantità di tessuto che è stato colpito e dalla natura della radiazione: se la dose assorbita è molto piccola, gli effetti sono minimi e quest'ultimo è in grado di riparare i danni da solo. Ma se la dose è alta e la zona colpita è estesa, le cellule non sono in grado di far fronte all'invasione di radicali tossici.

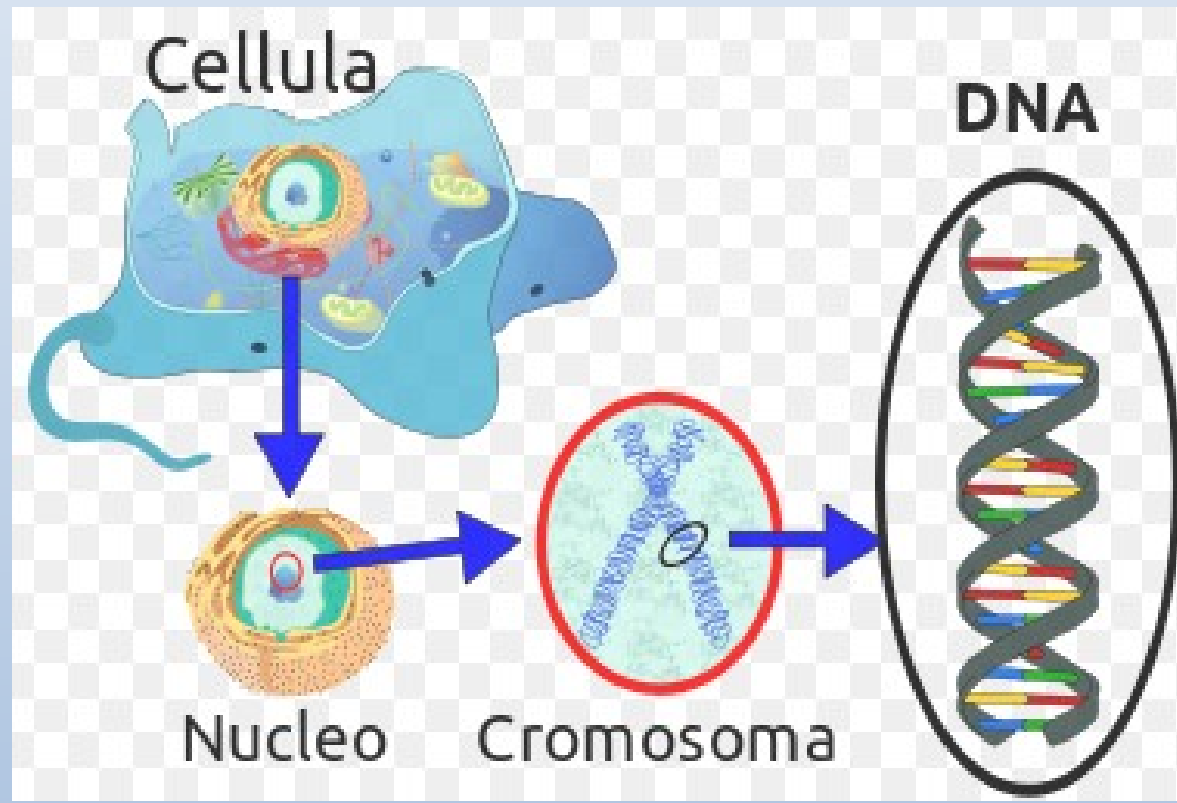


Cosa succede all'organismo

La particelle più attive, come protoni e neutroni, possono ledere il DNA, che poi si riproduce in maniera anomala. Questo spiegherebbe l'insorgere dei tumori a distanza di tempo in persone che sono state colpite da forti radiazioni.

Anche i cromosomi possono essere spezzati dalla radiazione.

In questo caso le nuove cellule avranno un "messaggio" cromosomico alterato e così quelle che da esse nasceranno.



Effetti delle radiazioni

Ci sono organi che risentono più di altri degli effetti delle radiazioni intense. Ecco quali.

Midollo osseo. Vengono alterate le cellule che producono globuli bianchi, rossi e piastrine. Insorgono perciò anemie, infezioni ed emorragie. Se la dose è stata molto alta, anche la leucemia.

Apparato riproduttivo. I danni dipendono molto dalla dose. Diminuisce o scompare la produzione di spermatozoi. Possono aumentare i tumori alle ovaie.

Apparato digerente. Insorgono vomito, nausea, diarrea, anoressia, ulcere intestinali. Aumenta il rischio di cancro allo stomaco, al colon e all'esofago.

Tiroide. Adenomi (tumori benigni), e scarso funzionamento della ghiandola.

Occhio. Dopo alcuni mesi si possono formare aree opache nel cristallino.

Gravidanza. Il feto sottoposto a radiazioni nelle prime settimane può avere il cranio più piccolo, ritardo mentale e, dopo la nascita, riduzione dell'altezza.

Radiazioni e misura

Una radiazione viene identificata dal suo tipo (alfa, beta, gamma, neutroni) e dalla sua energia.

Nel decadimento radioattivo si ha una riduzione dei nuclei che emettono radiazioni in base al tempo di dimezzamento.

Il tempo di dimezzamento $T_{1/2}$ del radioisotopo, è definito come il tempo nel quale il numero di nuclei si dimezza in seguito al decadimento.

La grandezza che rappresenta il numero di decadimenti radioattivi nell'unità di tempo dovuti ad una certa quantità di radioisotopo è l'attività.

L'unità di misura dell'attività è il bequerel. Un bequerel equivale ad una decadimento/sec. (Bq)

L'energia delle radiazioni si misura in eV (multipli e sottomultipli).

(1 eV = energia acquisita da un elettrone quando viene accelerato da una d.d.p. di 1 V).

Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura

Quando le radiazioni attraversano il corpo umano, cedono parte della loro energia all'interno dell'organismo.

Per «quantificare» l'effetto della cessione di energia all'interno del corpo umano e per valutarne gli effetti, si definiscono specifiche grandezze:

- ✓ dose assorbita
- ✓ dose equivalente
- ✓ dose efficace

Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura

Gli effetti delle radiazioni ionizzanti si manifestano soltanto se si verifica una cessione di energia al mezzo attraversato.

Di questa circostanza si tiene conto per mezzo della grandezza
DOSE ASSORBITA, D

che è relazionabile all'energia assorbita per unità di massa, chiamata

DOSE (u.d.m. Gray; $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).

Harold Gray
(1905–1965)

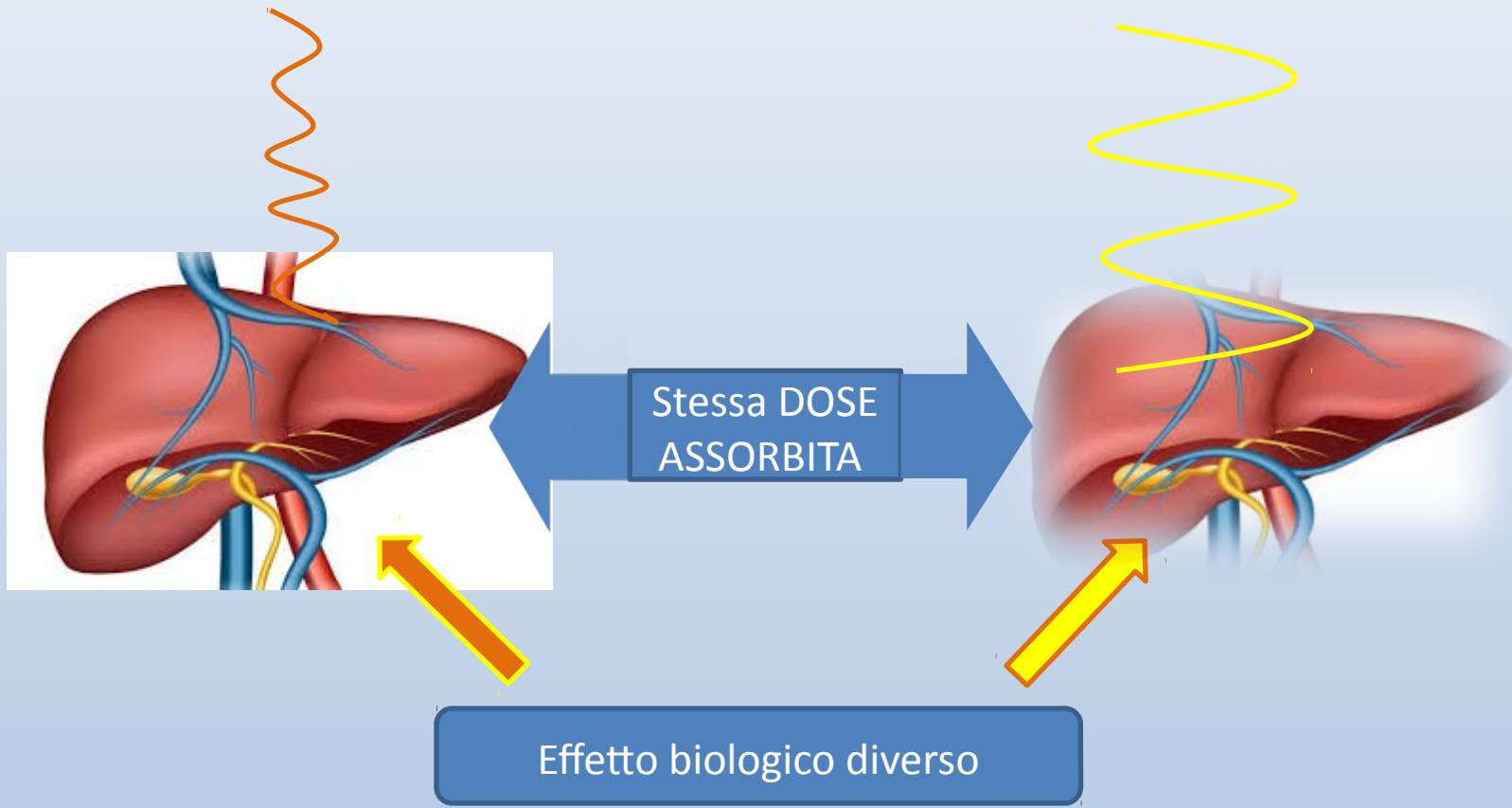


Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura

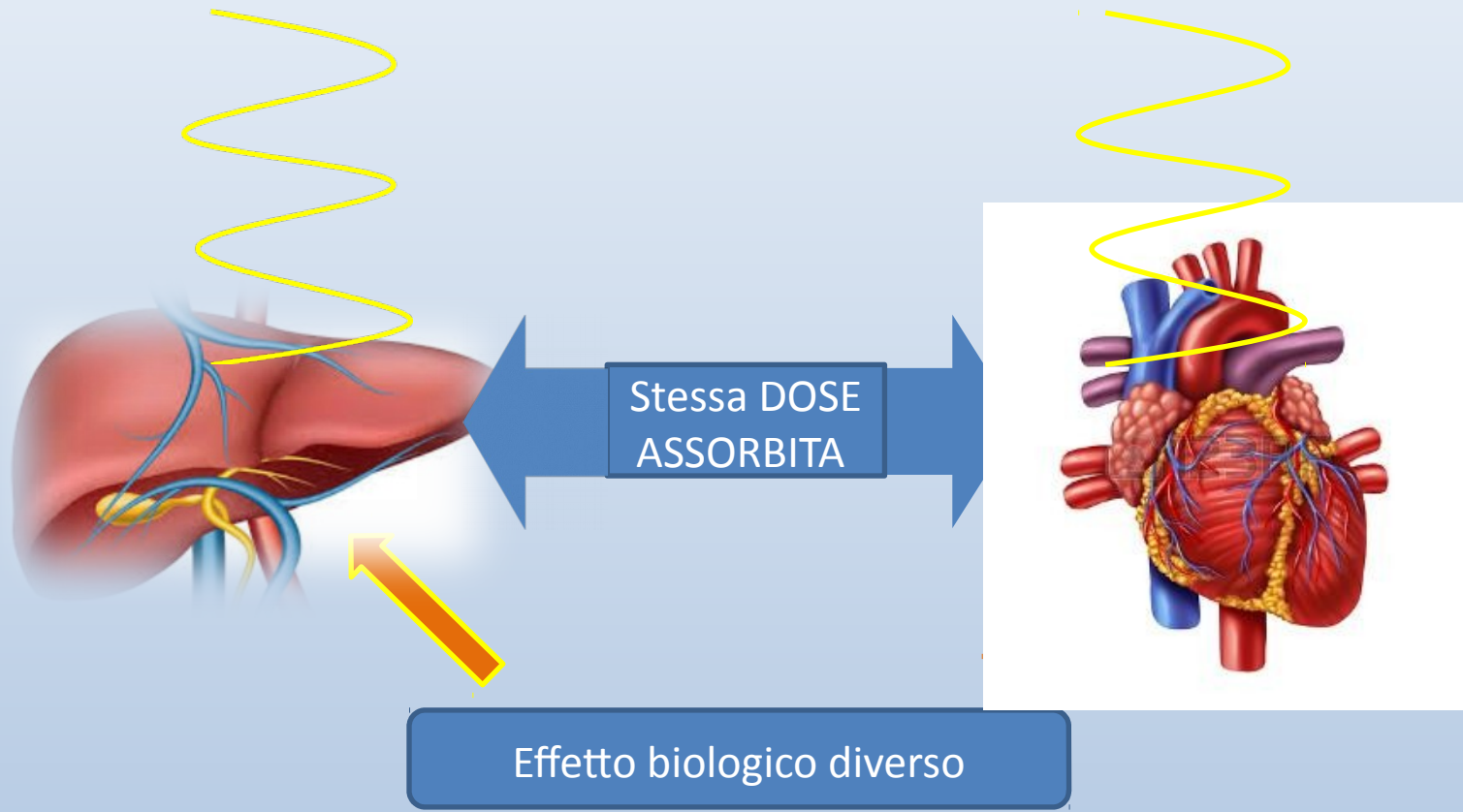
La quantità di energia assorbita nei tessuti può determinare effetti biologici nei tessuti interessati la cui entità è variabile a seconda:

- **dell'energia della radiazione rilasciata (tipo ed energia);**
- **dell'organo interessato;**
- **dell'età della persona;**

Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura



Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura



Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura

Pertanto la grandezza DOSE ASSORBITA non è idonea ad interpretare in modo corretto gli effetti provocati dal trasferimento di energia dalle radiazioni alla materia vivente.

La dose assorbita non consente di tenere conto della diversità degli effetti biologici indotti da radiazioni di diversa qualità.

Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura

Inoltre la conoscenza della dose assorbita è insufficiente per predire sia la severità sia la probabilità degli effetti. Pertanto si introduce il concetto di **dose equivalente (H)**.

Dose equivalente (H) = D x F di peso della radiazione

Per i raggi X il fattore di peso è 1 quindi la dose equivalente è numericamente uguale alla dose assorbita

Unità di misura: **Sievert (Sv)**.



Rolf Sievert
(1896–1966)

Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura

La **dose equivalente** cerca di tenere conto del diverso livello di pericolosità delle radiazioni per un dato tessuto

I vari organi e tessuti hanno una diversa **radiosensibilità** cioè sono sensibili in modo diverso all'effetto delle radiazioni.

La **dose efficace (E)** tiene conto di questa diversa radiosensibilità.

Si ottiene valutando il fattore di sensibilità wt per i vari tessuti e organi

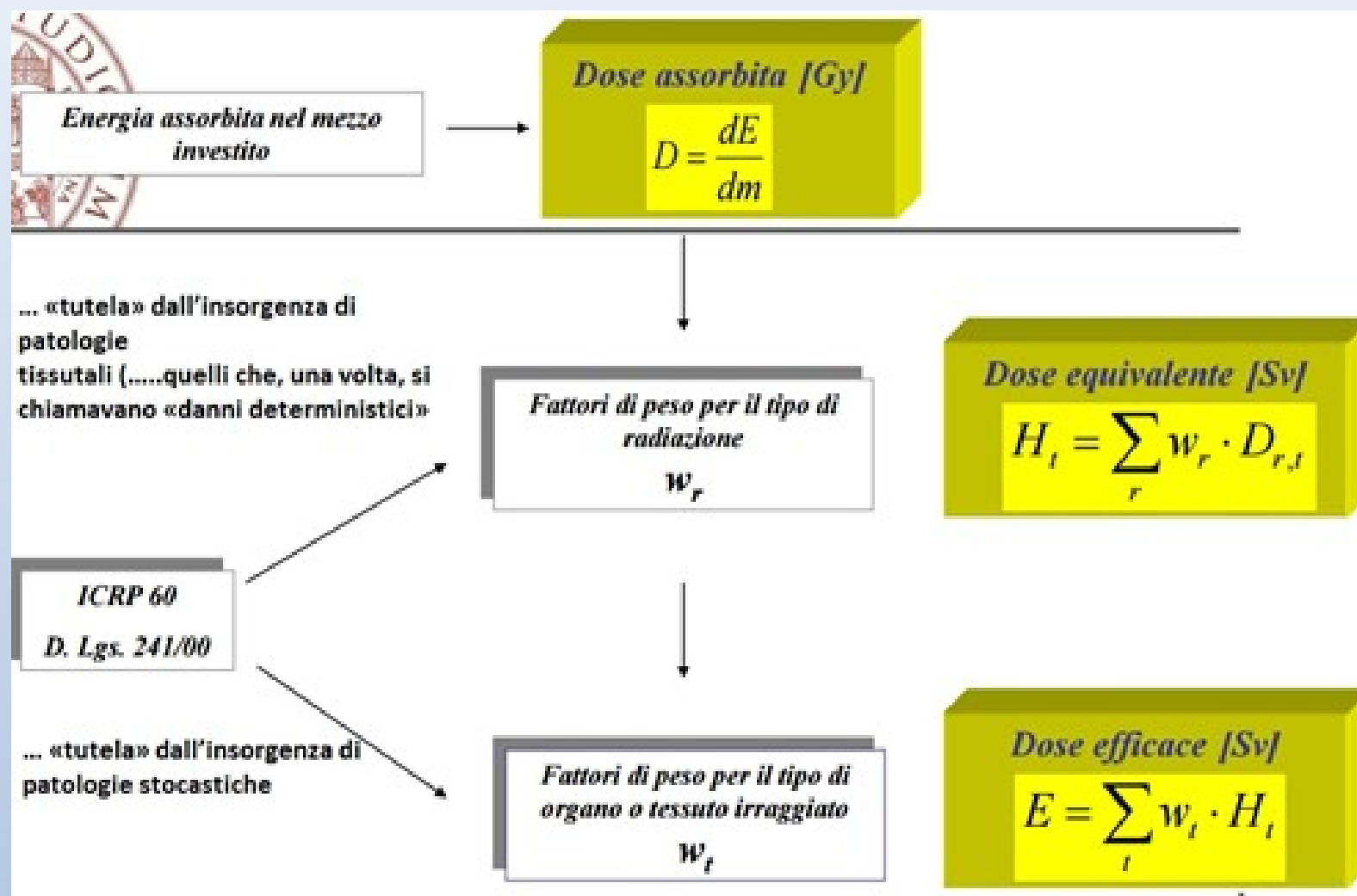
Unità di misura: **Sievert (Sv)**.

Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura

La **dose efficace** tiene conto della diversa radiosensibilità dei tessuti e degli organi.

Tessuto o organo	Fattore peso per il tessuto, W_T^*
Gonadi	0.08
Mammelle	0.12
Midollo osseo rosso	0.12
Fegato	0.04
Colon	0.12
Vescica	0.04
Polmone	0.12
Esofago	0.04
Stomaco	0.12
Tiroide	0.04
Pelle	0.01
Superficie ossea	0.01
Ghiandole salivari	0.01
Cervello	0.01
Rimanenti organi o tessuti	0.12

Grandezze fisiche, grandezze radioprotezionistiche e unità di misura



Esposizione a sorgenti naturali

Sorgente	Media mondiale (mSv / anno)
Raggi cosmici:	
Al livello del mare	0,270
A tutte le quote	0,380
Viaggi aerei	0,002
Radioisotopi naturali:	
Irradiazione esterna	0,460
Irradiazione interna (escluso radon)	0,230
Irradiazione interna da radon	1,2
Totale di tutte le sorgenti	2,4 mSv/anno

Grandezze e unità di misura

Riassumendo:

Dose = quantità di energia **assorbita** dall' organismo per unità di massa
unità di misura **Gray(Gy)**.

Dose equivalente = tiene conto della **diversa capacità di provocare effetti biologici** (a parità di dose, i vari tipi di R. I. hanno una capacità di provocare, agli organismi, effetti biologici diversi: fattore di qualità specifica di R.I.)
unità di misura **Sievert (Sv)**

Nel campo dei *raggi X ed elettroni in radioterapia* tale fattore di qualità vale numericamente 1 per cui si può **indifferentemente** parlare di **dose assorbita** (in **Gray**) o di **dose equivalente** (in **Sievert**).

Inoltre i rischi, a parità di dose assorbita (o dose equivalente) sono differenziati a seconda dell' organo interessato. Si è introdotto allora il concetto di:

Dose efficace = è la **somma delle dosi equivalenti ponderate - ovvero pesate per i vari rischi relativi nei tessuti ed organi del corpo**.
unità di misura **Sievert**

La probabilità di insorgenza di **effetti stocastici** si correla direttamente con la dose efficace.



Il Gray misura
l'energia assorbita
per unità di massa

Il Sievert (Sv) tiene
conto della diversa
capacità di provocare
effetti biologici

Modalità di esposizione

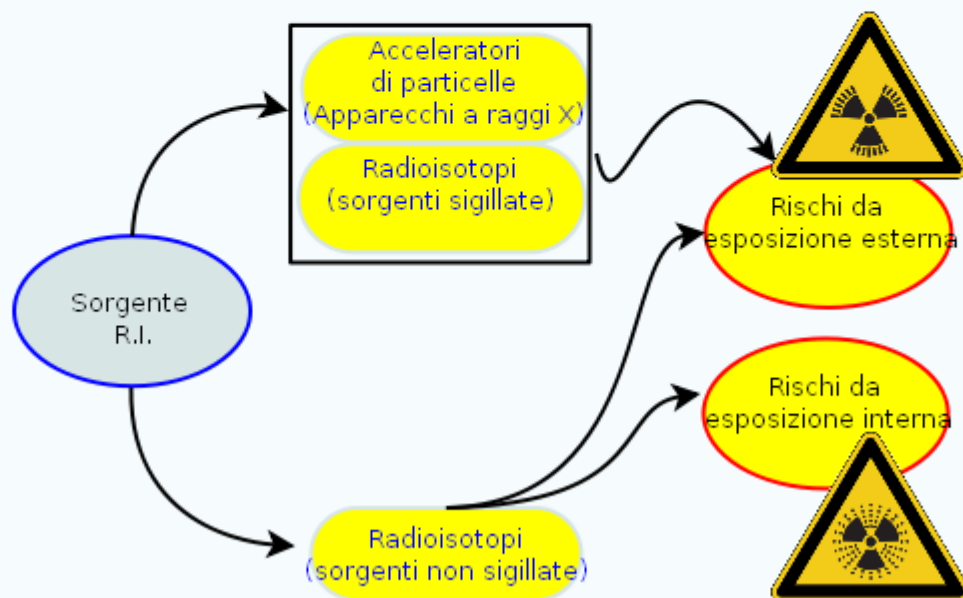
L'irraggiamento (e quindi il conseguente rilascio di dose) avviene tramite **due** canali:

irraggiamento esterno

dovuto all'esposizione del corpo ai radionuclidi presenti nell'ambiente,

irraggiamento interno

causato dall'ingestione o dall'inalazione di sostanze contenenti isotopi radioattivi.



Rischio di esposizione rispetto alla sorgente di radiazioni

Modalità di esposizione

Radiazioni alfa: Non danno luogo ad alcun rischio di **esposizione esterna**, ma solo interna nel caso di incorporazione di radionuclidi alfa-emettitori

Radiazioni beta: Possono di norma dar luogo ad **esposizione esterna**, soprattutto della cute e del cristallino, oltre che, naturalmente, ad **esposizione interna** nel caso di incorporazione di radionuclidi beta-emittenti.

Radiazioni gamma: I raggi gamma, come del resto i raggi X, producono ionizzazione in modo indiretto, cioè come già visto per mezzo di particelle cariche messe in moto nella materia irradiata, in questo caso principalmente gli elettroni secondari prodotti in interazioni di tipo fotoelettrico, Compton e creazione di coppie.



EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI



SOMATICI

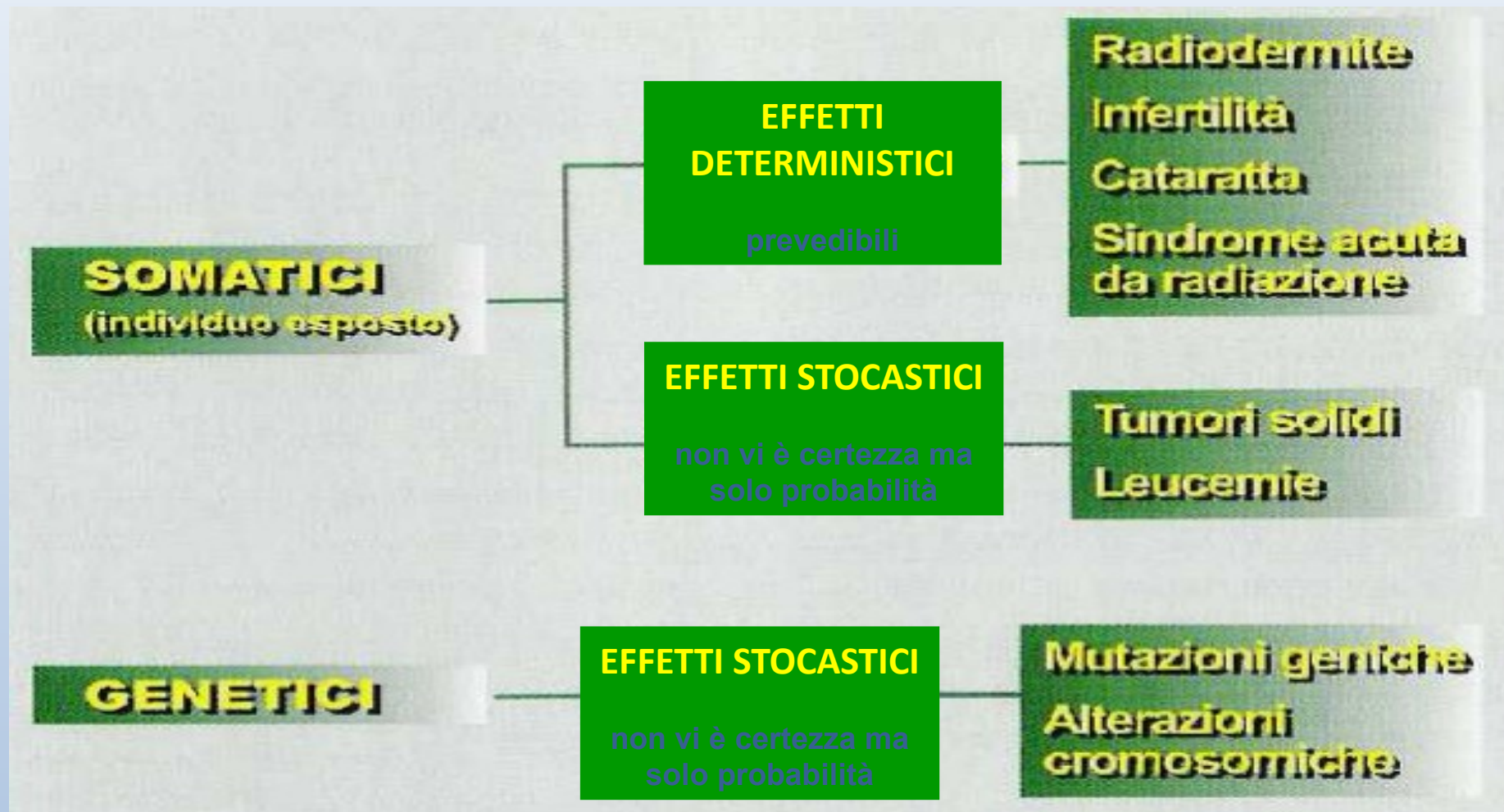
RIGUARDANO L'INDIVIDUO ESPOSTO



GENETICI

RIGUARDANO LA PROGENIE

EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI



EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

SOMATICO

Deterministico

Stocastico

EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

SOMATICO

Deterministico

- ❖ Sono danni prevedibili, cioè ad una certa dose di esposizione a R. I. corrisponde sicuramente l'insorgenza di un certo numero di effetti, con una gravità direttamente legata alla dose assorbita durante l'esposizione.
- ❖ È possibile prevedere quali conseguenze e dopo quanto tempo dal momento dell'irraggiamento.
- ❖ Sono comunque necessarie dosi relativamente elevate.
- ❖ Possono manifestarsi una serie di patologie dovute a esposizione frazionata per anni a basse dosi.

EFFETTI BIOLOGICI DELLE RADIAZIONI

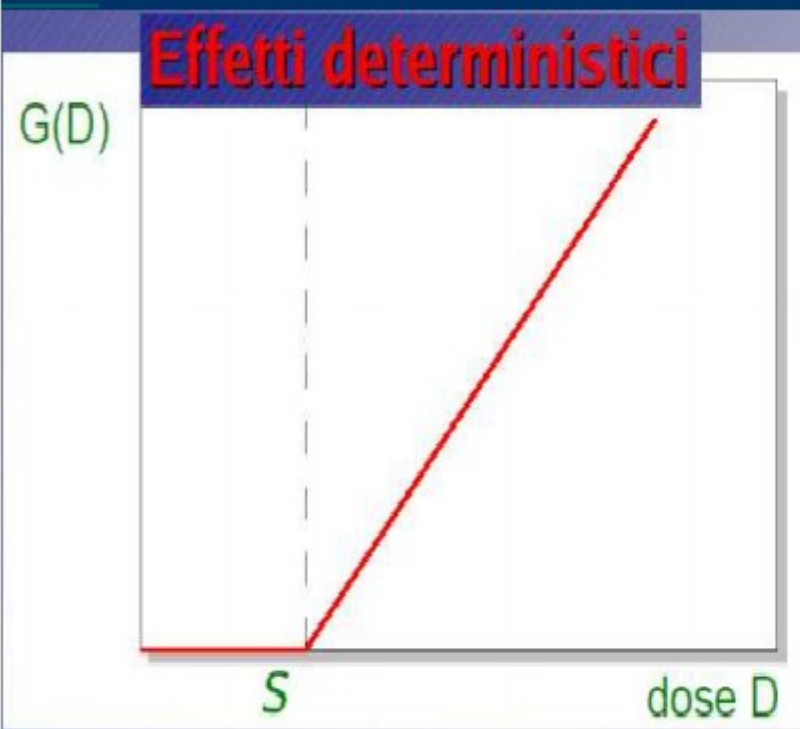
SOMATICO

Stocastico

- ❖ Non vi è certezza ma solo probabilità che compaiano a seguito di esposizione a R. I.
- ❖ Tale probabilità è legata all'entità della dose ed è legata alla frequenza di accadimento del danno e non alla sua gravità.
- ❖ Sono danni (leucemie e tumori maligni) che si manifestano solamente in una limitata percentuale degli irradiati nel volgere degli anni o decenni.

EFFETTI DETERMINISTICI SOMATICI

- Compaiono al superamento della dose soglia
- Compaiono in tutti gli irradiati




- Latenza generalmente breve, in pochi casi più lunga

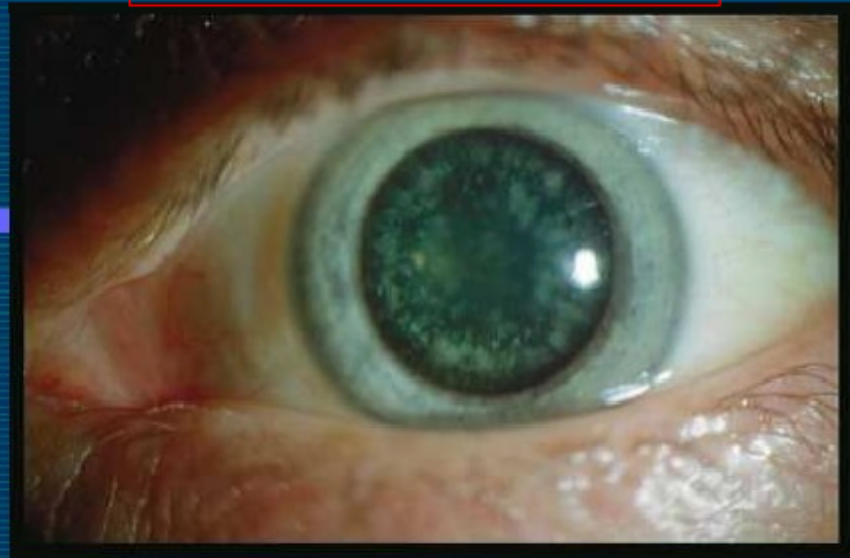
Effetti Deterministici

Per questo tipo di danni esiste una dose soglia con stretta relazione dose / effetto

✓ Perdita di funzioni specifiche (es. secretoria, motoria)

✓ Blocco  transitorio
definitivo della funzione proliferante

cataratta



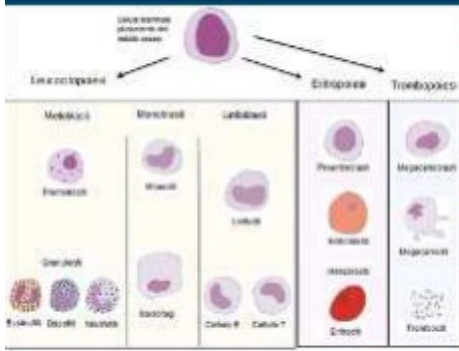
radiodermite



dermatite

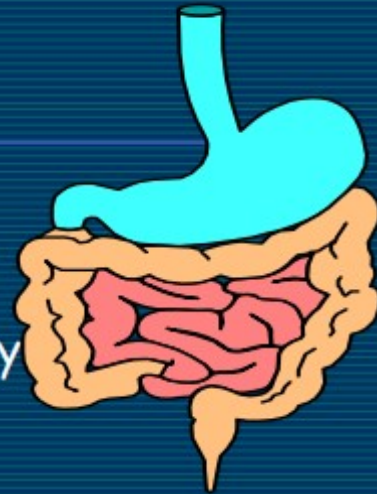


SINDROMI DA IRRADIAZIONE

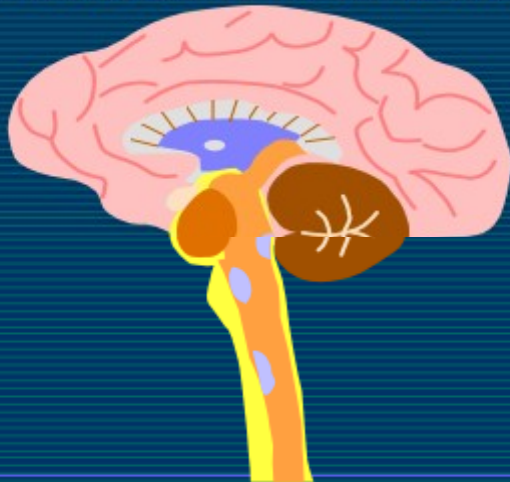


SINDROME EMOPOIETICA : 2-6 Gy

SINDROME GASTROINTESTINALE : 6-10 Gy



SINDROME NERVOSA: > 10 Gy



EFFETTI SULLE GONADI :
OVAIO TESTICOLI

1-2 Gy
STERILITA'
TEMPORANEA

2,5-6 Gy
STERILITA'
PERMANENTE

0.1 Gy
OLIGOSPERMIA

0.15 Gy
STERILITA'
TEMPORANEA

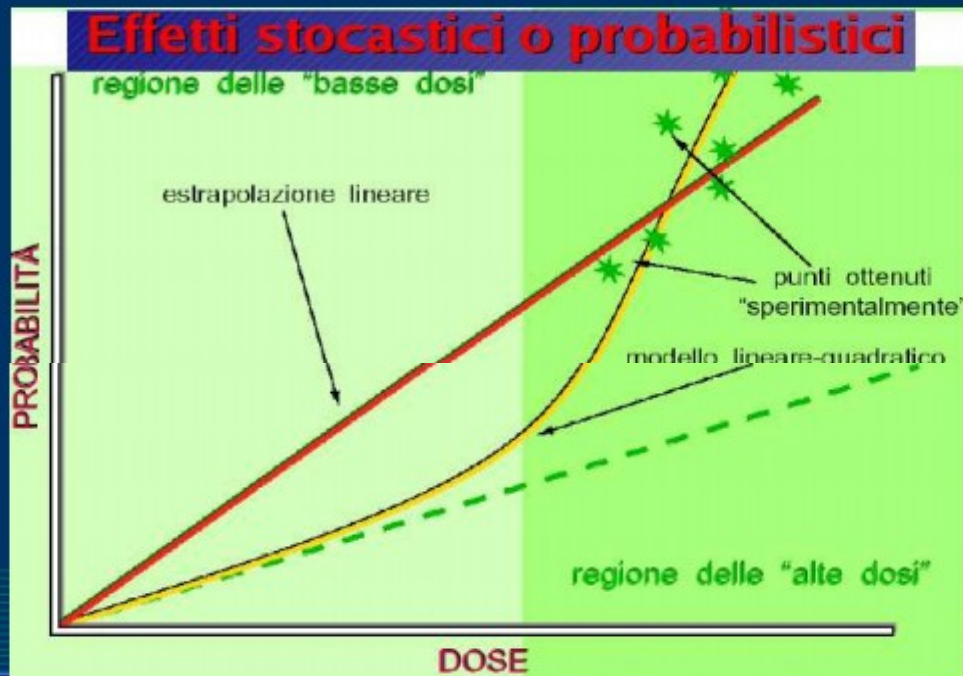
3,5-6 Gy
STERILITA'
PERMANENTE

Effetti Deterministici

Tessuto ed effetto	Soglia	
	Dose totale ricevuta in una singola esposizione acuta (Gy)	Dose totale ricevuta in esposizioni fortemente frazionate o protratte nel tempo (Gy)
Testicoli		
Sterilità temporanea	0,15	NA ²
Sterilità permanente	3,5 – 6	NA
Ovaie		
Sterilità	2,5 - 6	6,0
Cristallino		
Opacità visibili	0,5 – 2.0	5
Riduzione del visus (cataratta)	5,0 ¹	> 8
Midollo osseo		
Depressione dell'ematopoiesi	0,5	NA

Effetti Stocastici

Per questo tipo di danni non esiste dose soglia, all'aumentare della dose aumenta la **probabilità** che l'evento si verifichi, ma non la sua gravità.

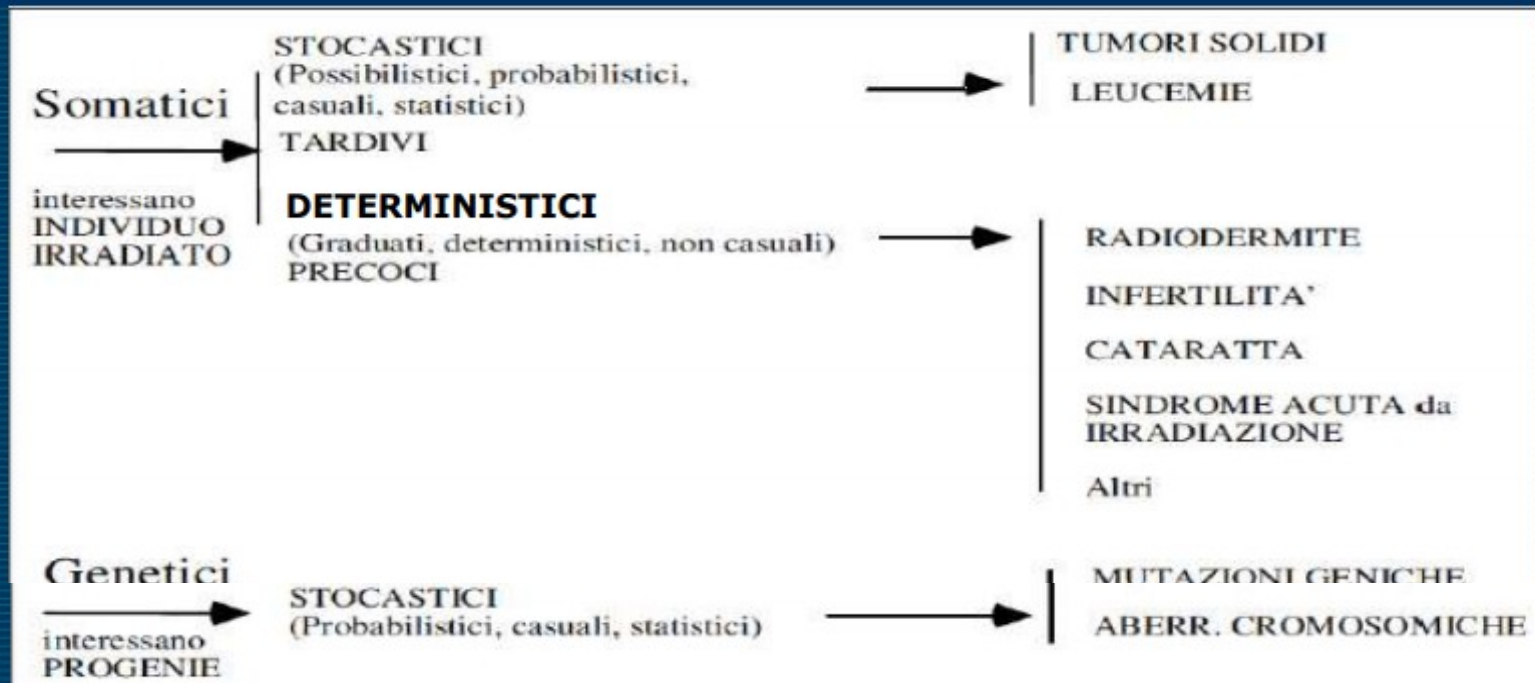


✓ Somatici

✓ Genetici

DANNI RADIO-INDOTTI

- 1) Cellule somatiche con conseguenti modificazioni fenotipiche solo a carico dell'individuo esposto
- 2) Cellule germinali con alterazioni che si rendono evidenti nei discendenti dell'individuo esposto



I fattori che influenzano la risposta biologica alle radiazioni sono:

fisici

1. tipo di energia delle radiazioni ionizzanti
2. entità della dose assorbita
3. distribuzione della dose assorbita nello spazio e nel tempo.

biologici

4. **caratteristiche intrinseche delle unità biologiche irradiate**: suscettibilità di danno; numero di unità esposte al rischio; cinetica del sistema; attività metabolica; capacità di recupero e di riparazione.
2. **caratteristiche dell' ambiente biologico locale e generale**: condizione di nutrizione e di ossigenazione; vascolarizzazione; competitività biologica; meccanismi di controllo omeostatici; reattività immunitaria.

I fattori di rischio sono normalmente espressi come **probabilità** di contrarre un cancro per una esposizione di 1000 mSv.

Il danno di tipo **precoce** è legato all' eventualità di situazioni incidentali e non fa parte della routine quotidiana del lavoratore del comparto sanità, mentre l'eventuale danno di tipo **tardivo**, leucemie e tumori maligni, poiché può manifestarsi anche per esposizioni a basse dosi, diviene l' oggetto d' interesse prevalente secondo i nuovi indirizzi della sorveglianza medica della radioprotezione.

Rischi per irradiazione in utero

L' **embrione** e il **feto** sono sensibili alle radiazioni e, come avviene anche nell' esposizione agli altri agenti fisici e ad agenti chimici, questa sensibilità è variabile in funzione dello stadio di sviluppo.

Prima dell' impianto dell' embrione (9° giorno dalla fecondazione), gli effetti di una irradiazione possono determinare la morte dell' embrione stesso o, in alternativa, non avere conseguenze sul suo sviluppo.

Durante la fase fetale (dall' inizio del 3° mese fino al termine della gravidanza) la frequenza e la gravità delle malformazioni diminuiscono, mentre risulta rilevante il rischio di uno sviluppo difettoso del sistema nervoso centrale che è radiosensibile per buona parte di questo periodo. La radiosensibilità alle R.I. del cervello del feto è massima tra l' ottava e la quindicesima settimana dal concepimento e l' irradiazione può portare ad un ritardo mentale. Il ritardo mentale è quindi il danno principale; non dovrebbe tuttavia essere apprezzabile alcun effetto sul quoziente di intelligenza fino a dosi dell' ordine di 100 mSv.

Si possono individuare schematicamente tre stadi dello sviluppo embrionale:

- impianto dell'uovo (9-14 giorni);

- organogenesi (15-50 giorni);

- fase fetale (50-280 giorni).

In ciascuna fase le radiazioni possono, se assorbite dall'embrione in dosi elevate, produrre effetti specifici che vanno dalla morte dell'uovo segmentato (con conseguente espulsione prima dell'annidamento) alle malformazioni vere e proprie, a vari effetti che possono essere riassunti in un ritardo o in un deficit dello sviluppo psicofisico o all'induzione di neoplasie maligne. In ogni caso man mano che lo sviluppo fetale si avvia a compimento, si riduce di pari passo la sensibilità del feto alle radiazioni.

A partire dal secondo mese, gli effetti morfologici dell'irradiazione divengono meno importanti, a seguito del progressivo aumento delle cellule in ciascun tessuto, ciò che rende meno probabile la lesione di un numero sufficiente di cellule, capace cioè di dar luogo a malformazioni gravi.

Va detto che tutti questi effetti sono stati osservati in studi su sopravvissuti all'esplosione della bomba atomica a Hiroshima, oppure su bambini irradiati in utero a dosi considerevoli, a causa di una radioterapia eseguita su madre durante la gravidanza.

Altri studi su bambini, specie quelli nati dopo il 1960 ed esposti durante la vita fetale a basse dosi per esecuzione di esami di radiodiagnostica, hanno dato risultati diversi.

Nell'uomo, i difetti più importanti osservati sono la **microcefalia** e il **ritardo mentale** che è verosimilmente provocato da un deficit nelle cellule cerebrali. Il periodo tra l'ottava e la sedicesima settimana corrisponde alla fase di proliferazione rapida dei neuroblasti, che sono assai radiosensibili, e alla migrazione dei neuroni corticali che dalle regioni paraventricolari si portano fino alla corteccia.

Per quanto riguarda l'induzione di neoplasie maligne, nonostante un'ampia letteratura che mostra l'insorgere soprattutto di leucemie a seguito dell'esplosione nucleare di Hiroshima, il rischio di neoplasie maligne in bambini sottoposti durante la vita fetale a pelvimetria nel terzo trimestre (circa 10 mGy) e controllati per 14 anni dopo la nascita è risultato pari allo 0,064%/10 mGy in più dal rischio naturale dello 0,1%.

Il rischio globale è comunque di modesta entità: esso è quantificabile fra zero e un caso su 1000 nati vivi per una dose embrio-fetale di 10 mGy nel primo quadrimestre della gestazione.

Rischio genetico

Oltre al rischio teratogeno, esiste un rischio genetico, dovuto all'irradiazione delle cellule germinali in un maschio o in una femmina non gravida.

Le mutazioni così risultanti possono trasmettersi per generazioni. Il rischio di anomalie genetiche indotte dalle radiazioni è dell'1% per 1 Gy.

L'esposizione **paterna** prima del concepimento *aumenta il rischio di leucemia nei figli*.