

RADIAZIONI IONIZZANTI

**EFFETTI BIOLOGICI
E
RADIOPROTEZIONE**

Marcello Bellia

Col termine “radiazione” si definisce l’energia emessa da sistemi fisici eccitati che si propaga da un punto all’altro dello spazio sotto forma di particelle dotate di carica, ed eventualmente di massa, o di onde elettromagnetiche.

Le radiazioni quindi si distinguono in:

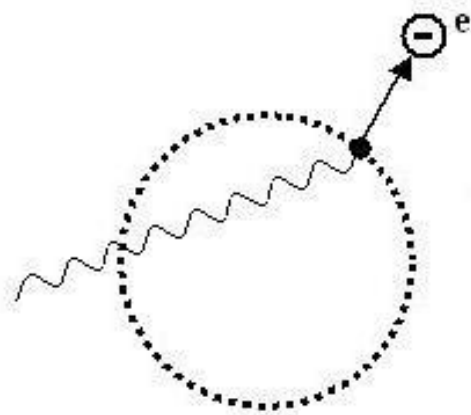
- **elettromagnetiche:** costituite da campi elettromagnetici oscillanti con una certa frequenza (onde elettromagnetiche) che si propagano nel vuoto con velocità pari a quella della luce;
- **corpuscolate:** costituite da particelle atomiche o subatomiche dotate di elevata velocità (prossima a quella della luce nel caso di elettroni e positroni) e quindi di elevata energia cinetica.

L'energia delle radiazioni, siano esse corpuscolate o elettromagnetiche, si misura in elettronVolt (eV) dove un elettronvolt é l'energia che acquista una particella elementare nell'attraversare una differenza di potenziale di 1 volt; i suoi multipli sono il KeV, il MeV ed il GeV.

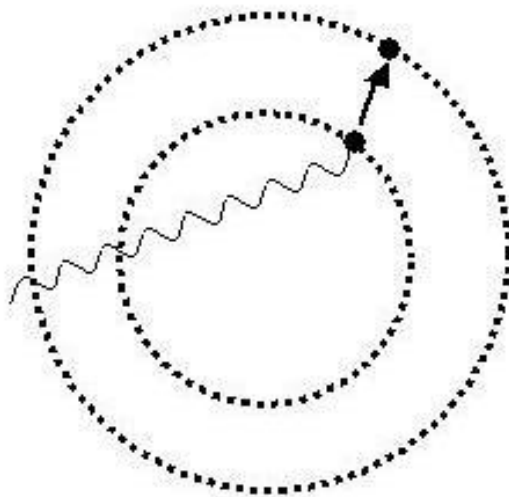
L'interazione tra le radiazioni e la materia, in rapporto alla quantità di energia ceduta, provoca fenomeni di eccitazione e di ionizzazione

Nel primo caso si ha lo spostamento di un elettrone da un orbitale ad un altro.

Nel secondo caso l'assorbimento di energia causa l'espulsione di un elettrone con produzione di ioni.



ionizzazione



eccitazione

Le radiazioni sono quindi classificate in ionizzanti (Ionizing Radiation) o non ionizzanti (Non Ionizing Radiation) in base alla loro capacità di produrre o meno la ionizzazione del mezzo attraversato

Tutte le radiazioni di energia superiore a 10 eV interagiscono con la materia che attraversano producendo fenomeni di ionizzazione conseguenti alla deposizione di parte o tutta la loro energia.

Nelle ionizzazioni, infatti, l'energia ceduta dalle radiazioni supera quella del legame dell'elettrone di valenza che viene quindi espulso dall'atomo di appartenenza.

A seguito di tale evento si crea una coppia di ioni: da una parte l'elettrone, ione negativo, e dall'altra l'atomo, che perdendo l'elettrone è divenuto uno ione positivo.

Le radiazioni ionizzanti sono in grado di spezzare i legami chimici di qualsiasi molecola, generando atomi e raggruppamenti atomici caratterizzati dall'avere un elettrone spaiato e, dunque, dei radicali liberi.

I radicali liberi sono i principali responsabili del danno biologico da radiazioni ionizzanti.

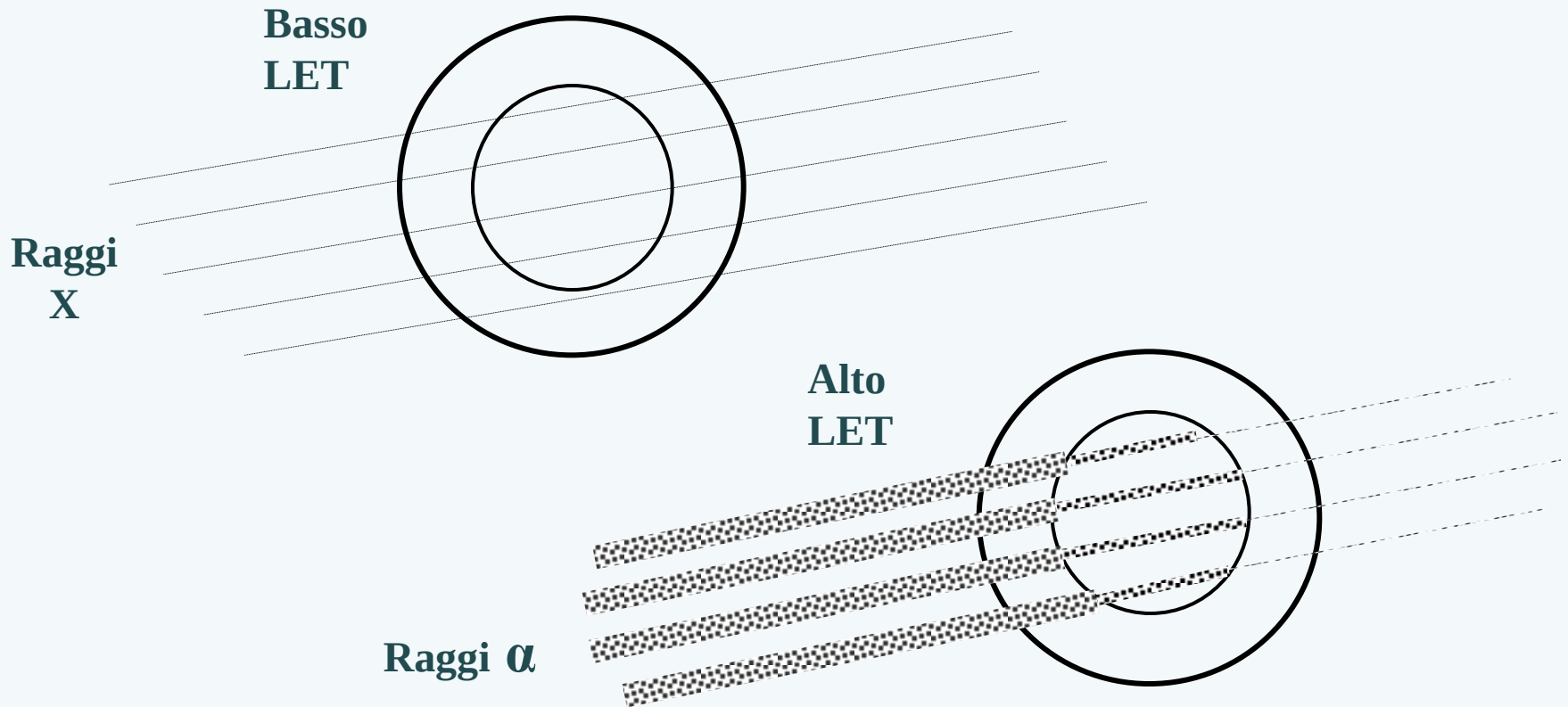
LET ed EBR

Sebbene tutte le radiazioni ionizzanti interagiscano con la materia vivente in modo analogo, i diversi tipi di radiazioni differiscono nella loro efficacia, o capacità di recar danno ad un sistema biologico.

Le diverse radiazioni, infatti, interagiscono con la materia in modo differente in rapporto alla quantità di energia depositata lungo il loro percorso.

Il trasferimento di energia della radiazione viene definito con il termine di LET (*linear energy transfer*).

Esso dipende dalla velocità, dalla carica e dalla eventuale massa della particella ionizzante. Le particelle α , i neutroni e i protoni sono radiazioni ad alto LET in quanto, essendo dotate di carica e/o di massa depositano la propria energia più facilmente; i raggi X, γ e gli elettroni veloci sono, invece, radiazioni a basso LET.



La concentrazione degli eventi in un percorso breve rende altamente probabile l'evenienza che nel mezzo attraversato si verifichino più ionizzazioni.

Dalla quantità di energia rilasciata da una radiazione che attraversa una struttura biologica dipende l'entità del suo effetto, cioè la risposta biologica, cellulare e tissutale.

Dalla entità della risposta deriva il concetto di Efficacia Biologica Relativa (EBR) della radiazione in esame.

L'Ebr è definita come il rapporto tra una dose determinata di radiazione X o gamma (scelta come valore di riferimento) e la dose della radiazione ionizzante in esame, in grado di produrre lo stesso effetto biologico.

Molti fattori influenzano l'effetto biologico di una data radiazione: l'età, il sesso, il volume di tessuto irradiato, il contenuto di ossigeno in un dato tessuto, la sua temperatura, l'eventuale frazionamento della radiazione.

L'EBR risulta quindi un concetto limitato, principalmente perché non è espresso da un valore costante sempre valido.

Per confrontare gli effetti di radiazioni di diversa natura si è pensato allora di introdurre un coefficiente numerico, direttamente proporzionale all'EBR di ciascun tipo di R.I., che assegna valori ben precisi ai differenti tipi di radiazione:

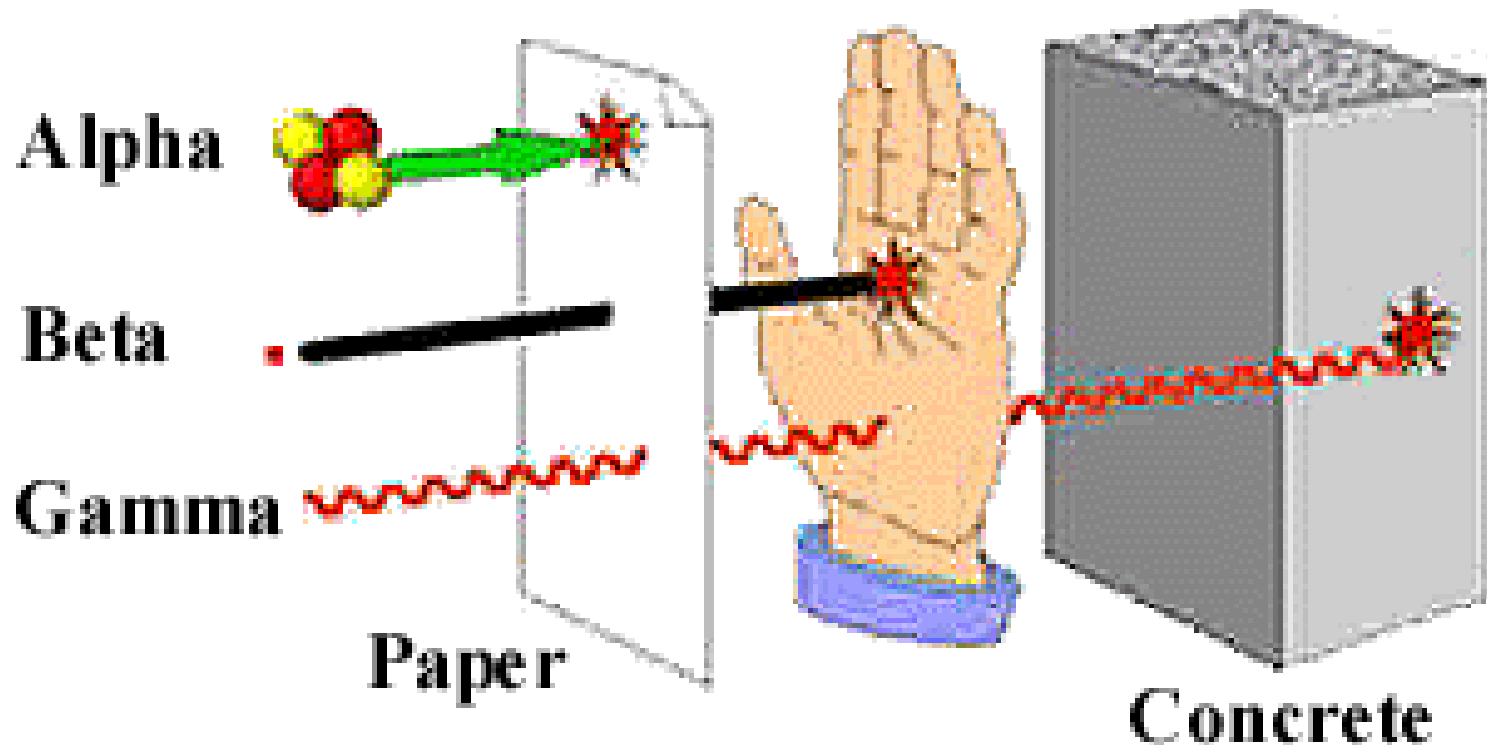
il "fattore di qualità" (Q)

FATTORE DI QUALITA' (Q)

L'ICRP (*International Commission Radiological Protection*) ha adottato i seguenti valori di Q a seconda del tipo di R.I.

- Fotoni, tutte le energie: 1
- Elettroni, tutte le energie: 1
- Neutroni: energia <5 keV: 5
 - 10-100 keV: 10
 - >100 keV-2MeV: 20
 - >2 MeV-20 MeV: 10
 - > 20 MeV: 5
- Protoni: 5
- Particelle α : 20

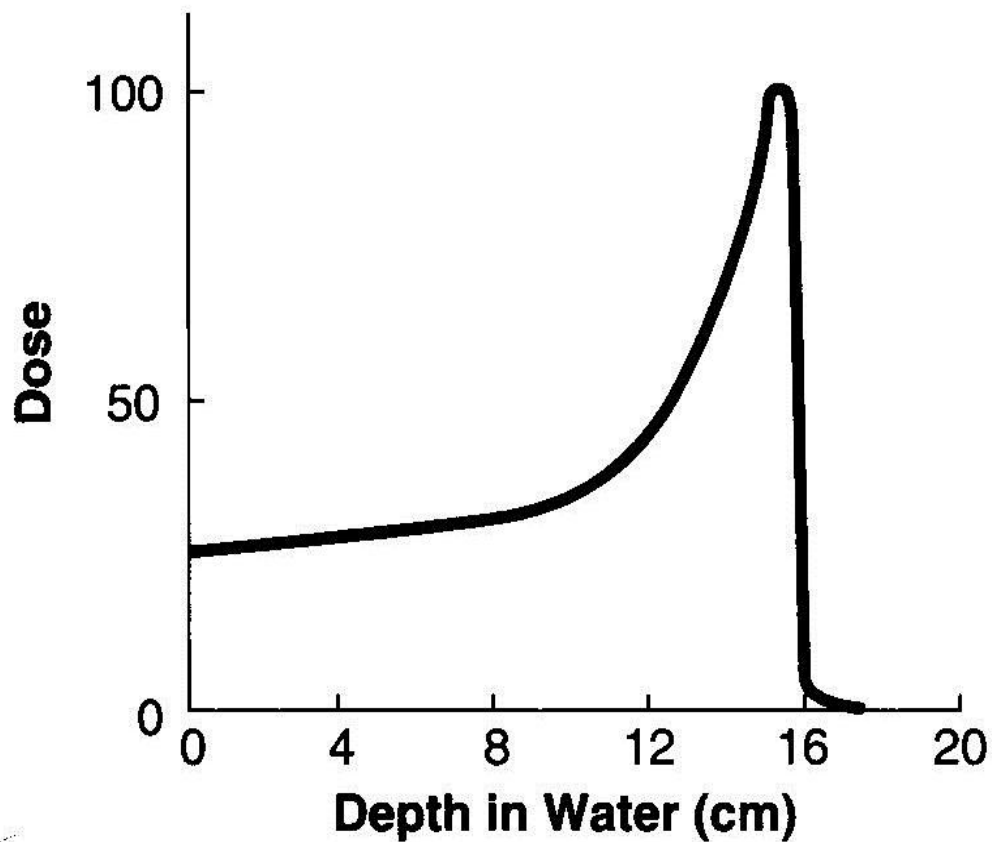
Il potere di penetrazione di una radiazione dipende dall'energia depositata per cui le radiazioni a basso LET sono più penetranti delle radiazioni ad alto LET.



Il LET delle particelle pesanti cariche (adroni carichi) dipende non solo dalla loro carica, ma anche dalla loro velocità di accelerazione.

Quando questa rallenta si verifica un'intensa ionizzazione con rilascio di una notevole quantità di energia concentrata in un breve spazio: *picco di Bragg*.

Perdita di energia in funzione della profondità di penetrazione in acqua per una particella carica pesante



Le particelle alfa, dato la loro carica e la loro massa hanno uno scarsissimo potere di penetrazione per cui per poter produrre un danno biologico devono essere introdotte nell'organismo in quanto vengono facilmente fermate dallo strato corneo della cute.

Pertanto non sono pericolose per l'uomo nei casi di irradiazione esterna ma lo diventano quando la sorgente radioattiva viene inalata o ingerita (irradiazione interna).

Nel novembre 2006, Alexandre Litvinenko, transfuga del Kgb riparato in Gran Bretagna, dopo un thé con un agente dei servizi russi, Andrei Lugovoi, e con l'uomo d'affari Dmitri Kovtun, si ammalò gravemente.

Morì poco dopo in ospedale, stroncato da un'intossicazione letale da polonio, elemento alfa-emittente altamente radioattivo.



Litvinenko prima e dopo la “cura”

DOSIMETRIA

Per attività di una radiazione ionizzante si intende il numero di transizioni nucleari spontanee in una quantità determinata di radionuclide nell'intervallo di tempo preso in esame.

L'attività si misura in BECQUEREL

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 * 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 2,7027 * 10^{-11} \text{ Ci}$$

Nell'ambito della radioprotezione l'attività di un dato ambiente non è sufficiente ad indicare la quantità di radiazioni assorbite, che rappresentano la DOSE, ma va introdotto il concetto di dose assorbita.

La dose assorbita è l'energia trasferita per unità di massa e si misura in Gray.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J Kg}^{-1}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

La dose assorbita non indica con precisione il danno potenziale in quanto questa, per ogni organo o tessuto, varia in base al tipo e alla qualità della radiazione. Per questo motivo è stato introdotto il concetto di DOSE EQUIVALENTE.

La somma delle dosi equivalenti dei diversi organi e tessuti rappresenta la DOSE EFFICACE che si misura in Sievert.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

$$1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

DEFINIZIONI

IRRADIAZIONE ESTERNA

- Dose assorbita: dose ricevuta da un organo o tessuto in seguito all'esposizione a radiazioni ionizzanti.
- Dose equivalente: integrale rispetto al tempo dell'intensità di dose equivalente in uno specifico organo o tessuto ricevuta da un individuo a seguito dell'esposizione.
- Dose efficace: somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti, ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione del tessuto.

DEFINIZIONI

IRRADIAZIONE INTERNA

- Dose impegnata: dose ricevuta da un organo o tessuto in seguito all'introduzione di uno o più radionuclidi.
- Dose equivalente impegnata: integrale rispetto al tempo dell'intensità di dose equivalente in un tessuto o organo ricevuta da un individuo a seguito dell'introduzione di uno o più radionuclidi.
- Dose efficace impegnata: somma delle dosi equivalenti impegnate nei diversi organi o tessuti, ciascuna moltiplicata per il fattore di ponderazione del tessuto.

Esposizione della popolazione generale

- **Radiazioni naturali o di fondo.**
- **Contaminazione ambientale.**
- **Irradiazioni a scopo sanitario.**

Esposizione professionale

- Applicazioni sanitarie: radiodiagnostica e radioterapia.
- Applicazioni industriali: γ -grafie di spessore.
- Industria estrattiva: uranio, radon.
- Trasporto di sostanze radioattive: minerali, radioisotopi.
- Reattori nucleari: centrali termonucleari.
- Laboratori di ricerca: acceleratori di particelle, radioisotopi.

EFFETTI BIOLOGICI

Le radiazioni ionizzanti interagiscono con la materia che incontrano nel loro tragitto potendo indurre modificazioni transitorie o permanenti delle caratteristiche chimiche e fisiche dei materiali irradiati.

La ionizzazione provocata dal passaggio delle radiazioni può innescare nelle strutture biologiche tutta una serie di modificazioni fisico-chimiche tali da determinare un'alterazione delle loro funzioni vitali.

Il processo di produzione del danno biologico passa attraverso tre stadi:

- **Stadio fisico-chimico: formazione di ioni con successiva creazione di molecole reattive;**
- **Stadio chimico: reazione dei composti creatisi con strutture biologicamente importanti della cellula;**
- **Stadio biologico: produzione delle alterazioni cellulari e manifestazioni cliniche.**

LE FASI DEI PROCESSI DI INTERAZIONE TRA RADIAZIONE E TESSUTI BIOLOGICI

FASE	TEMPO	EFFETTO
Fisico-chimica	10^{-13} - 10^{-6} secondi	Ionizzazione e formazione di radicali liberi
Biochimica	frazioni di secondi - settimane	Azione sulle strutture cellulari
Biologica-clinica	giorni- mesi- anni	Riparazione del danno; morte cellulare; mutazione Manifestazioni cliniche a carico dell'organismo

L'ultima fase si può manifestare in tempi variabili in rapporto al tipo di danno che si è creato nella struttura biologica.

Può verificarsi, infatti, la morte della cellula per gravi alterazioni incompatibili con la vita cellulare o la sua trasformazione e trasmissione alle cellule figlie della modificazione la cui espressione clinica si manifesta anche a distanza di decenni.

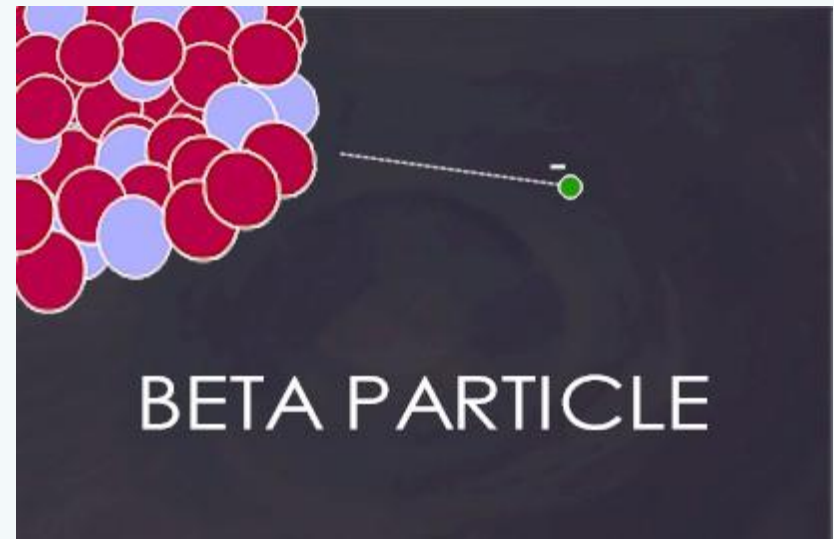
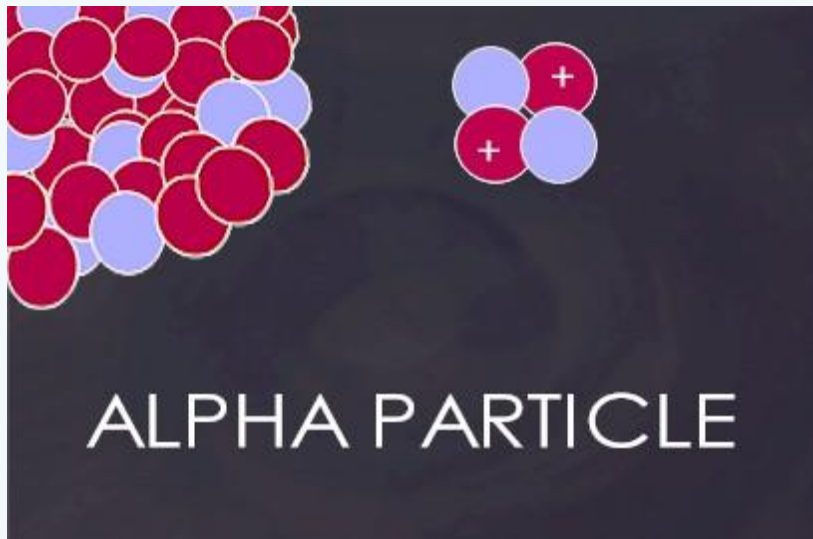
In base alla modalità di induzione della ionizzazione le radiazioni si distinguono in:

- direttamente ionizzanti**
- indirettamente ionizzanti**

Le radiazioni indirettamente ionizzanti, diversamente da quelle direttamente ionizzanti, interagiscono con la materia e determinano la ionizzazione attraverso dei meccanismi “indiretti”.

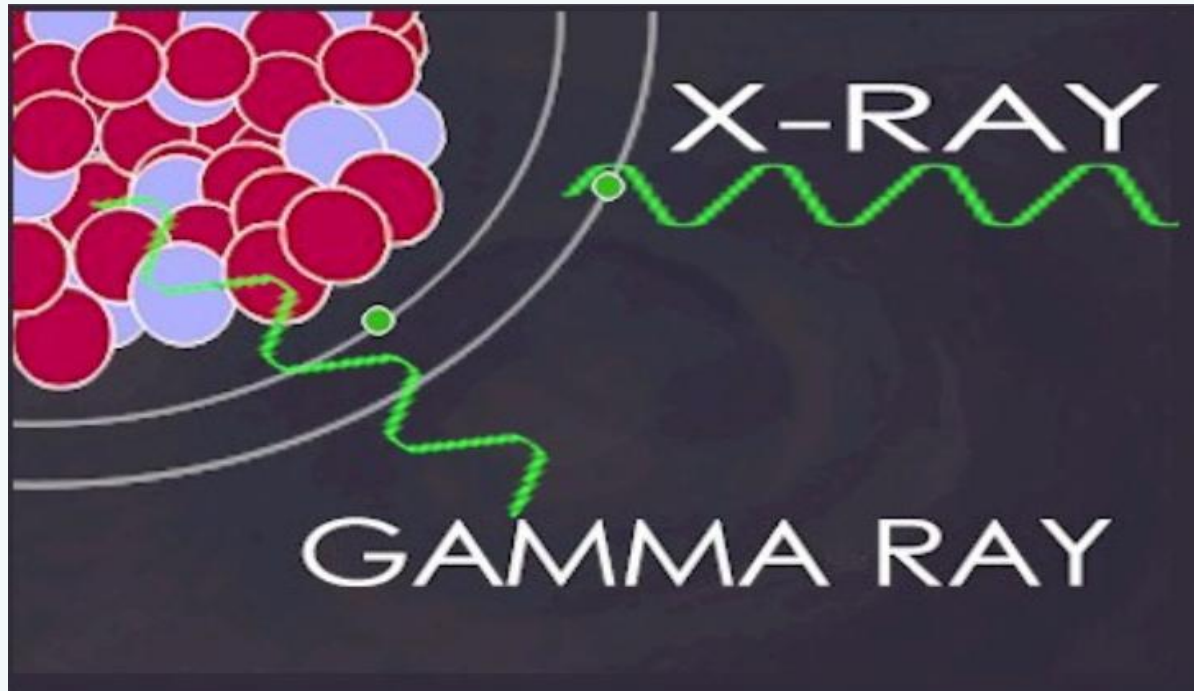
Le radiazioni direttamente ionizzanti sono:

- I cosiddetti adroni carichi, particelle α , i protoni (H^+) e gli ioni;
- Gli elettroni (o particelle β)



Sono radiazioni indirettamente ionizzanti:

- Neutroni;
- Raggi (o fotoni) X;
- Raggi (o fotoni) γ .



Le radiazioni ionizzanti riescono a causare un danno biologico, a livello cellulare e tissutale, attraverso un duplice meccanismo:

Diretto: in cui le macromolecole cellulari e tissutali, subiscono esse stesse gli effetti ionizzanti e eccitanti;

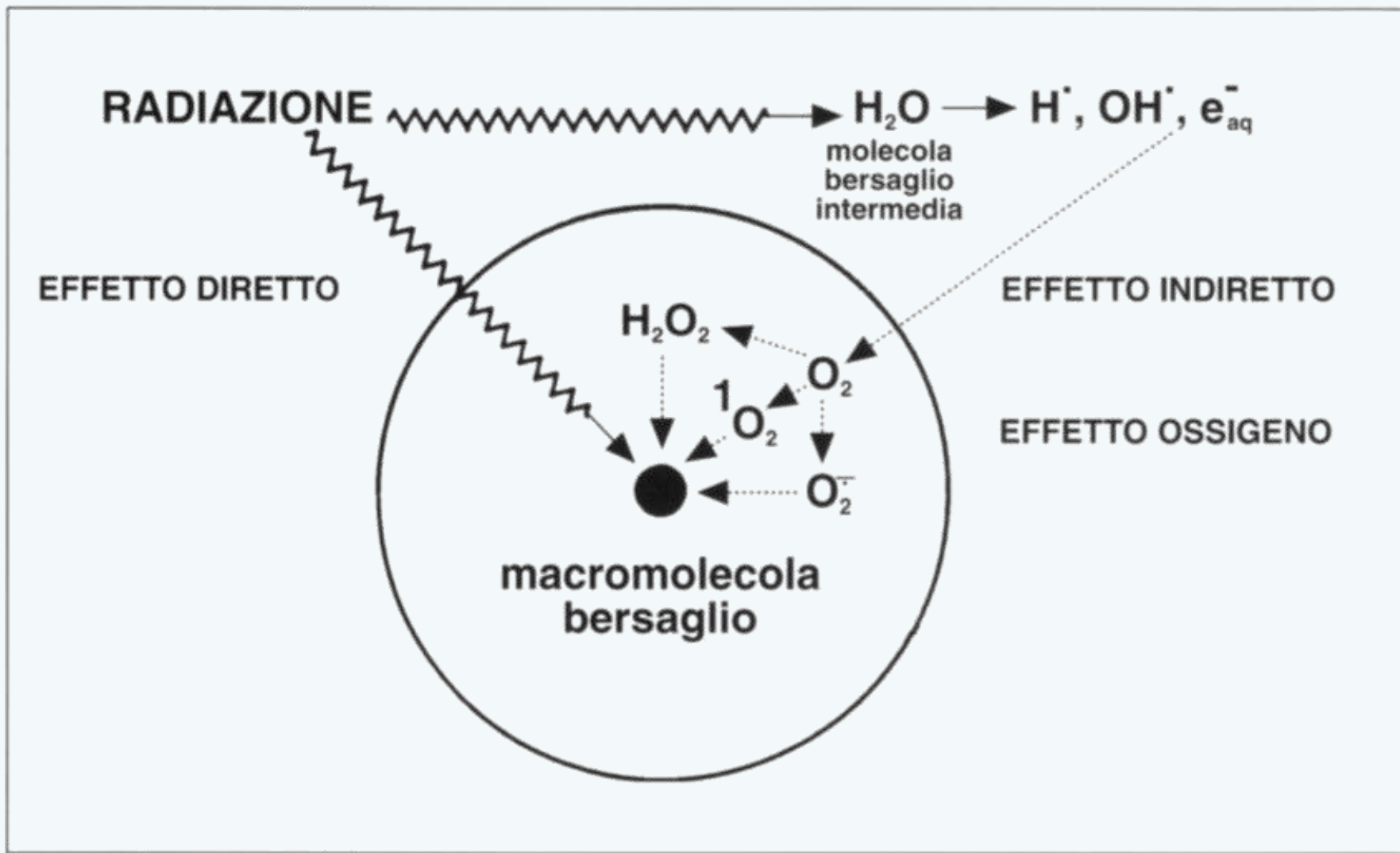
Indiretto: in cui le alterazioni a carico di queste macromolecole sono dovute ai radicali liberi prodotti dall'azione delle radiazioni sulla componente maggiormente presente nell'organismo, cioè l'acqua.

I radicali liberi sono molecole molto reattive che si formano quando un atomo rimane con uno degli elettroni orbitali spaiato e si carica elettricamente.

L'atomo tende a ritornare allo stato precedente accettando un elettrone simile o eliminando l'elettrone spaiato. In tal modo diventa accettore (ossidante) o donatore (riducente) di elettroni.

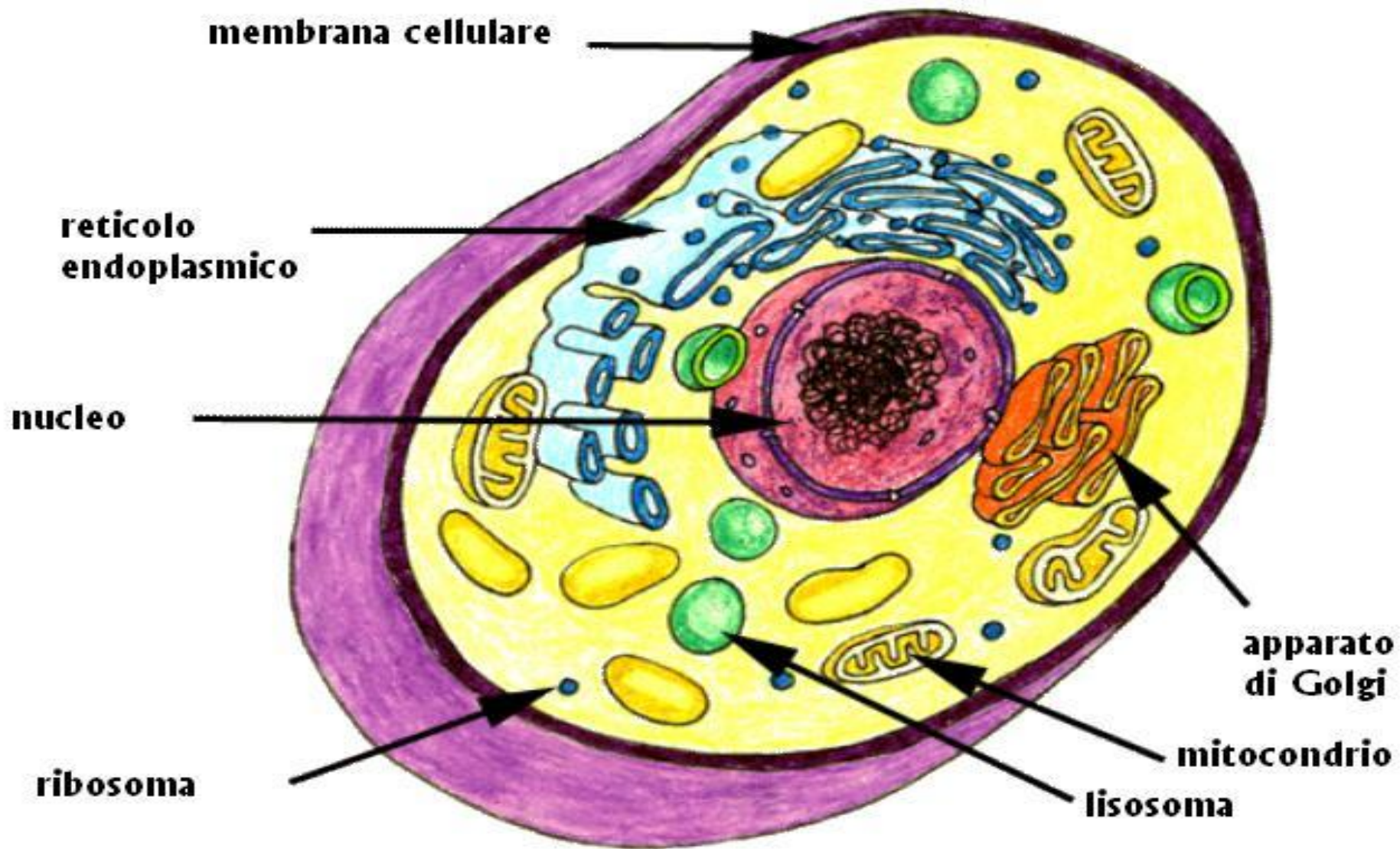
I radicali liberi in presenza di ossigeno producono specie reattive dell'ossigeno (ROS), tra cui le più importanti per la genesi del danno al DNA sono il radicale ossidrile (OH), il perossido d'idrogeno H_2O_2 e l'anione superossido O_2^- .

L'azione lesiva delle R.I. viene quindi potenziata dalla presenza di ossigeno (effetto ossigeno) perché si crea un maggior numero di radicali liberi.



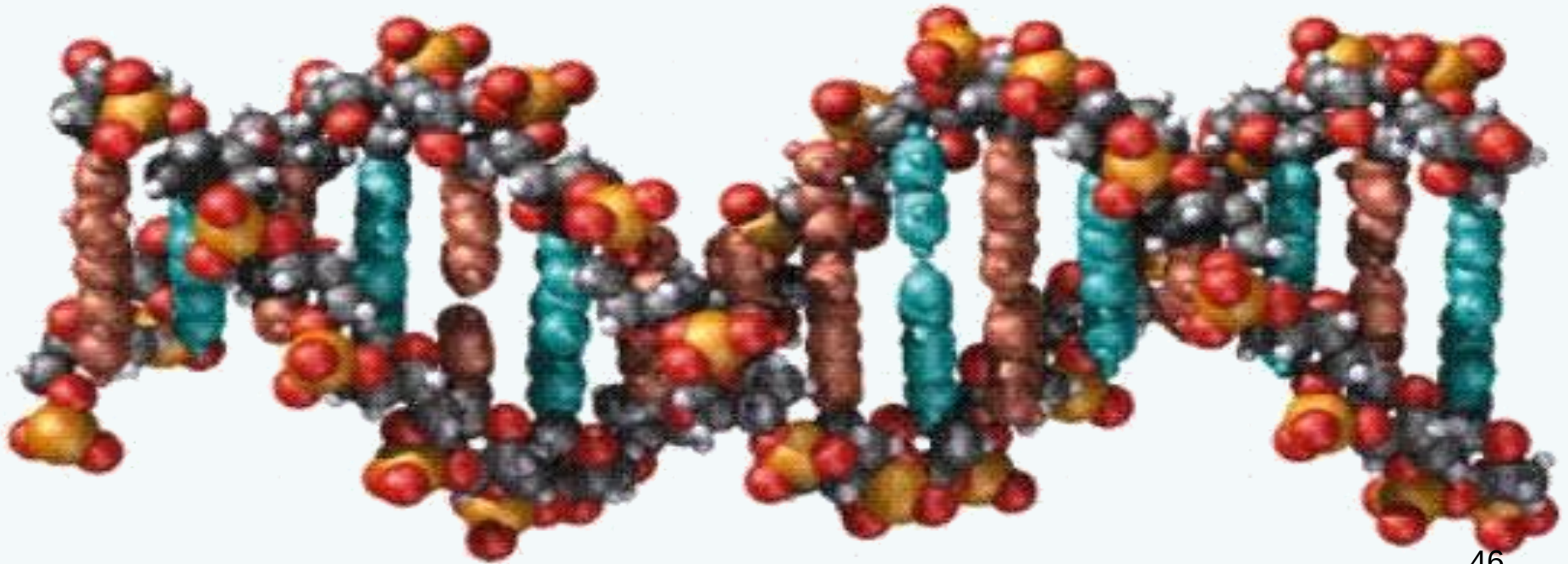
L'unità fondamentale delle diverse strutture biologiche, siano esse animali o vegetali, è la cellula che organizzata in tessuti ed organi specializzati ne consente la vita ed il normale funzionamento.

La cellula può subire l'azione delle radiazioni in tutti i suoi componenti cellulari necessari alla vita della cellula stessa: proteine, ribosomi, membrane semipermeabili, mitocondri, lisosomi, DNA, telomeri.



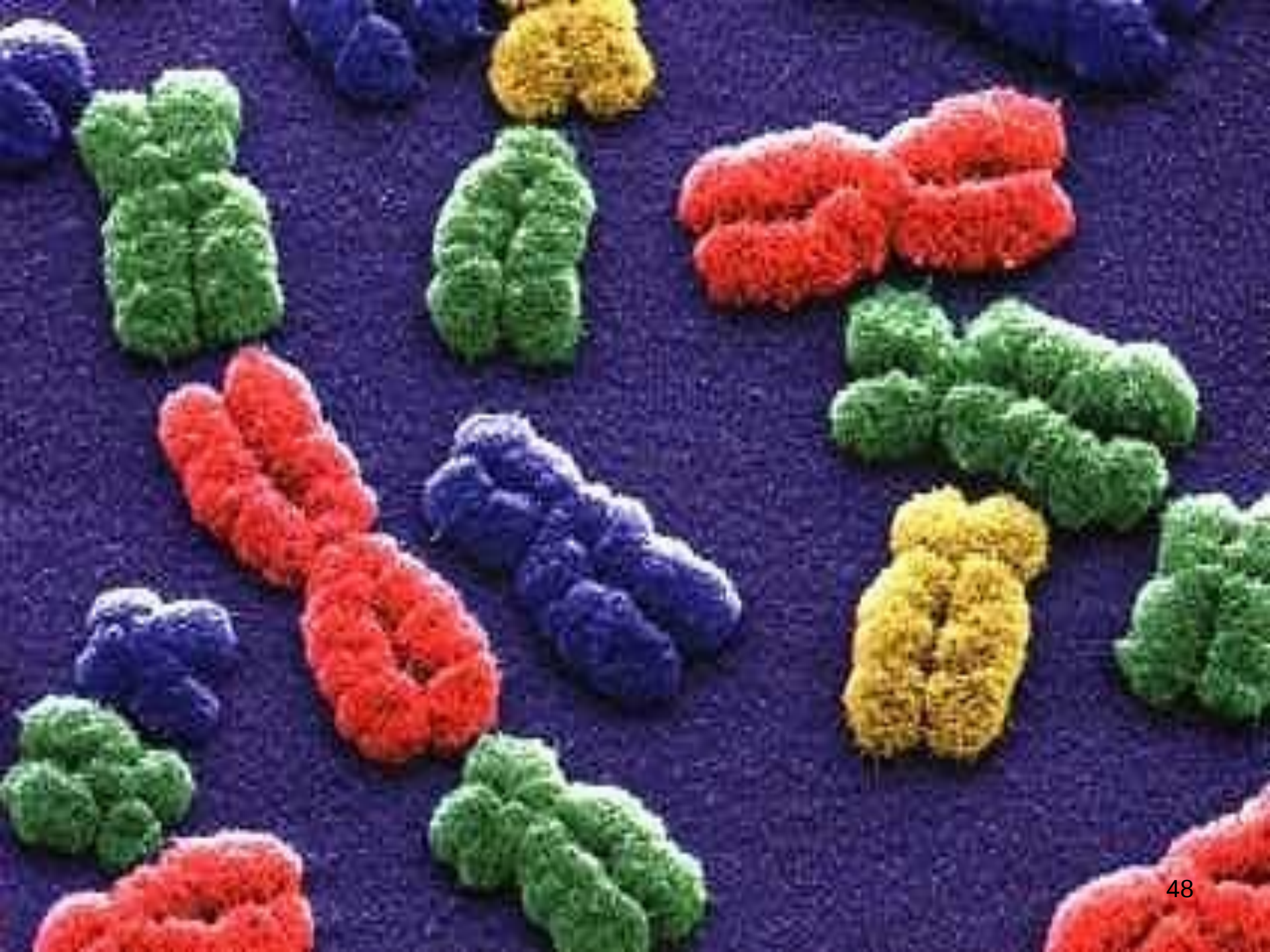
IL DANNO DEL DNA

Le lesioni cellulari più importanti (dal punto di vista biologico), si verificano a carico del DNA, sebbene anche il danno al citoplasma può condurre a notevoli alterazioni normale fisiologia della cellula.



Ogni cellula contiene 6×10^9 paia di basi (pb) di DNA, per una lunghezza totale di circa 2 metri di DNA lineare.

Per recuperare spazio la struttura a doppia elica è avvolta a proteine basiche (istoni) ed è condensata formando i cromosomi che nell'uomo sono in numero di 23 paia.



La sequenza di basi nella catena del DNA ha una funzione ben precisa in quanto è questa che codifica l'informazione genetica; le basi azotate in serie di tre, dette triplette, formano il cosiddetto codone e identificano uno specifico aminoacido.

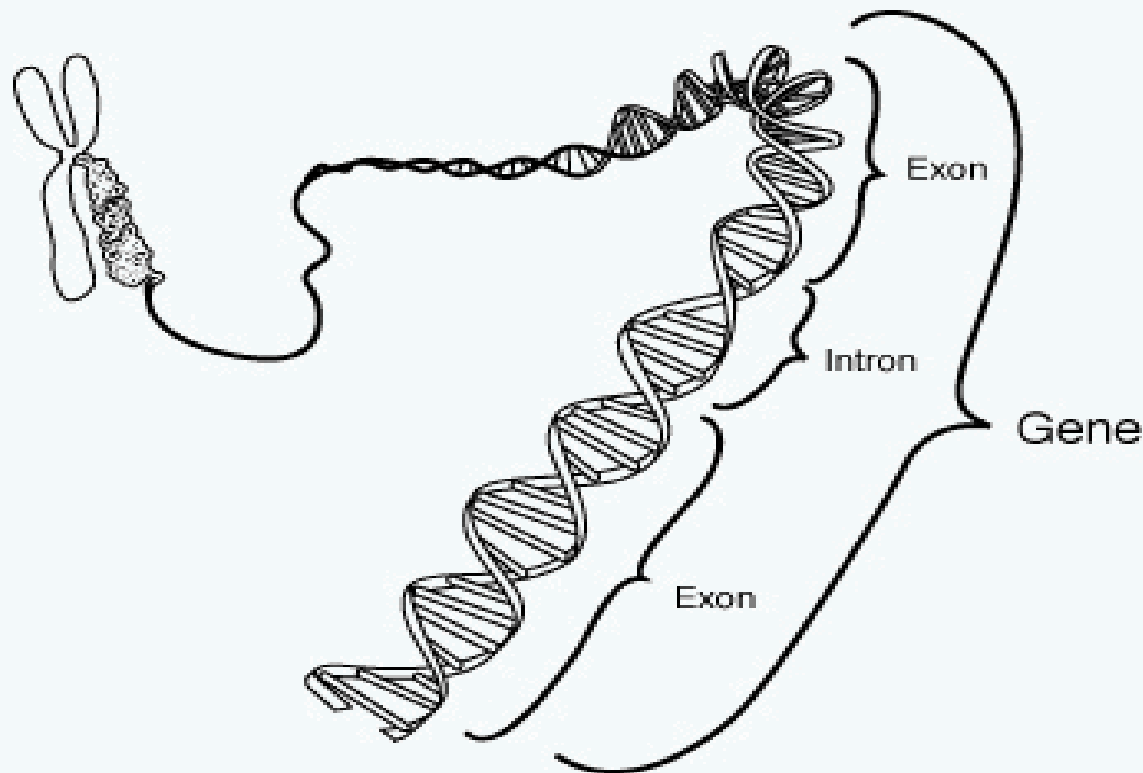
La regola di trasformazione dell'informazione da sequenza di basi ad aminoacidi è definita genoma e rappresenta il

CODICE GENETICO

Il genoma può essere semplicemente immaginato come un set completo di istruzioni necessarie per costruire un organismo. Ciascun organismo ha un proprio genoma specifico.

In una cellula umana il genoma si trova nel nucleo cellulare.

La molecola del DNA è suddivisa in regioni funzionali, dette geni, in numero di circa 30.000-50.000, che hanno la funzione di codificare le istruzioni necessarie per produrre le proteine.



La sequenza codificante non è un segmento continuo di DNA, ma è interrotta da sequenze, variabili per dimensioni, non codificanti; ambedue le sequenze, tra loro collegate, formano i GENI.

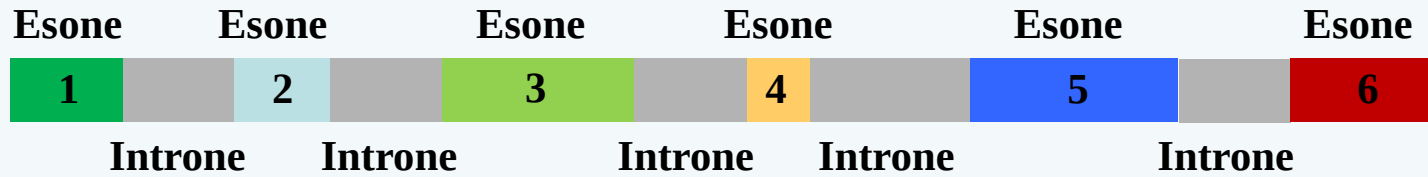
Solo una piccola parte (ca 2,5 %) del genoma umano, infatti, è composto da DNA codificante, mentre la restante parte non codifica e la sua funzione non è ancora chiarita.

Il genoma e' suddiviso, inoltre, in porzioni geniche e porzioni intergeniche.

Le porzioni geniche (geni) sono formate da esoni (regioni codificanti) e introni e regione regolatoria (regioni non codificanti).

Le porzioni intergeniche sono regioni non codificanti di cui non si conosce la funzione.

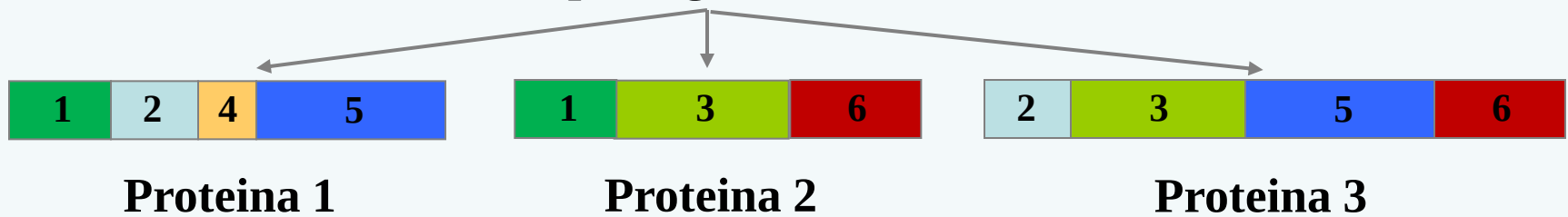




Splicing



Splicing alternativo



I vari tipi di lesioni del DNA in cellule esposte all'azione di radiazioni ionizzanti ad alto e basso producono alterazioni che possono essere biologicamente ininfluenti, poiché la cellula è in grado di ripararne la maggior parte.

Quando, però, la riparazione non viene completata o non è ripristinata fedelmente la sequenza nucleotidica originale l'alterazione può trasmettersi alle cellule figlie fissandosi permanentemente nel genoma (mutazione).

Le lesioni del DNA possono provocare le seguenti alterazioni nelle cellule irradiate:

Riduzione della sopravvivenza cellulare

Incremento della presenza di micronuclei

Aumento di mutazioni

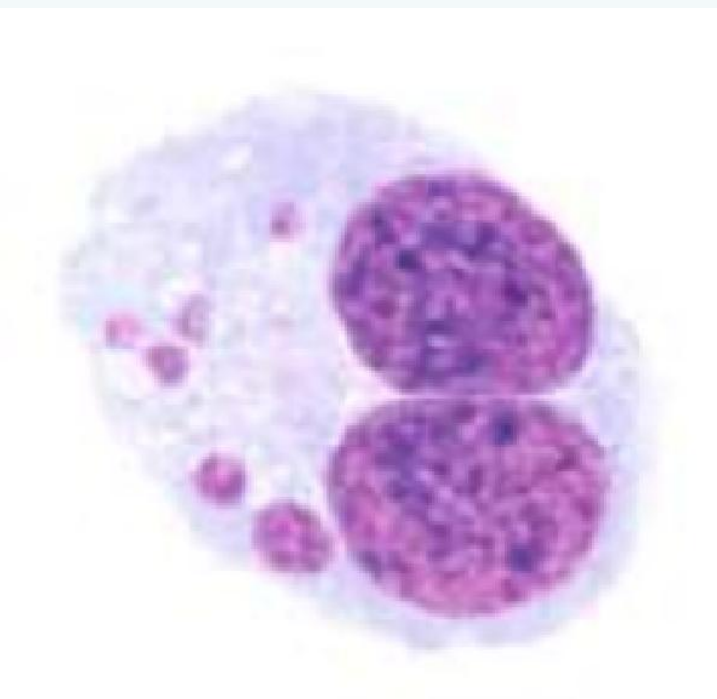
Scambio di Cromatidi Fratelli

Rotture di singolo o doppio filamento

Modificazioni dell'espressione genica

Trasformazione neoplastica

Secondo l'interpretazione protezionistica più accreditata, la frequenza delle suddette aberrazioni cromosomiche aumenta linearmente, senza limite di soglia, in funzione della dose di radiazioni impiegata.



Radiazioni Ionizzanti

Effetti sull'Uomo

Come si è visto il danno biologico da radiazioni ionizzanti si esplica su tutti i componenti cellulari con danni alla struttura o alle funzioni della cellula da cui può derivare la morte della cellula o la sua trasformazione.

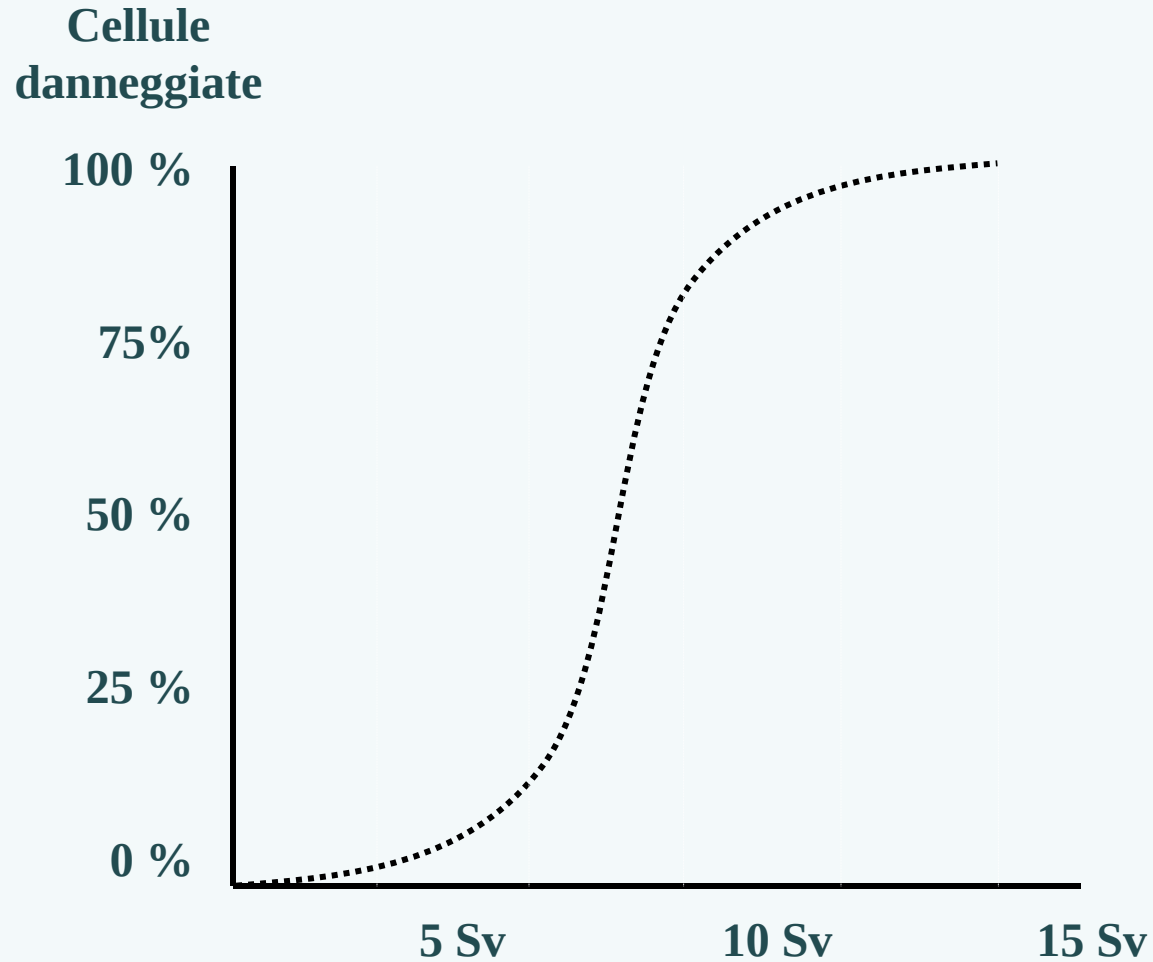
Se il numero delle cellule danneggiate è notevole possono manifestarsi forme cliniche più o meno gravi, in rapporto al numero delle cellule che vanno incontro a morte, per la progressiva perdita della funzione degli organi irradiati.

In base all'entità della dose ed alla qualità della radiazione nell'uomo possono verificarsi:

- **Effetti immediati sull'individuo irradiato;
(effetti deterministici o reazioni tissutali)**
- **Effetti tardivi sull'individuo irradiato;
(effetti somatici stocastici)**
- **Effetti genetici;
(effetti stocastici alla progenie).**

Reazioni tissutali

- Tipici di condizioni di irradiazione forte e di breve durata (incidenti o infortuni).
- Sono “Dose-dipendenti” e dunque possiedono una “Dose soglia”.
- Relazione dose-effetto non lineare, di tipo sigmoidale.
- I danni sono prevedibili e sperimentalmente riproducibili e si manifestano su tutta la popolazione esposta.
- Sono indotti da un danno policitico.
- Entro certi limiti sono reversibili.
- L’insorgenza di solito è precoce (giorni o settimane) ma a volte è tardiva (mesi o anni).



Reazioni tissutali: relazione dose-effetto di tipo sigmoide

Reazioni tissutali

- **Sindromi acute da irradiazione**
 - **Radiodermite**
 - **Cataratta**
 - **Infertilità**
- **Patologie cardiovascolari e cerebrovascolari**

La pubblicazione 41 dell'ICRP del 2012 ha evidenziato come i limiti di dose per la comparsa di reazioni tissutali sono in parte modificati rispetto al passato.

Prima l'entità della dose era stata estrapolata dai giapponesi sopravvissuti alle bombe atomiche su Hiroshima e Nagasaki, i cosiddetti “Hibacusha”.

L'analisi attuale si basa, invece, prevalentemente sugli effetti della radioterapia, degli incidenti nucleari e dalla esposizione dei lavoratori.

In caso di sovraesposizioni accidentali possono verificarsi irradiazioni acute localizzate e irradiazioni globali, a seconda se vengono colpite dalle radiazioni solo parti limitate dell'organismo o l'organismo intero.

Nel primo caso possono essere tollerate dosi notevoli, nel secondo, poiché tutte le cellule dell'organismo sono irradiate, le manifestazioni cliniche possono essere drammatiche anche a dosi relativamente basse (< 10 Gy).

IRRADIAZIONI ACUTE LOCALIZZATE

- Nessun effetto funzionale: < 100 mGy
- Pelle:
 - Nessun danno visibile < 1 Gy
 - Eritema, epilazione > 5 Gy
 - Desquamazione essudativa > 18 Gy
 - Ulcerazione, necrosi > 24 Gy
- Apparato visivo:
 - Cataratta > 0,5 Gy
- Sterilità permanente:
 - Donne > 2,5 Gy
 - Uomini > 3,5 Gy

IRRADIAZIONI CRONICHE

• <u>Malattie cardiovascolari</u>	0,5 Gy
• <u>Malattie cerebrovascolari</u>	0,5 Gy
• <u>Cataratta</u>	0,5 Gy
• <u>Polmonite da raggi</u>	18 Gy
• <u>Nefropatie</u>	20 Gy





IRRADIAZIONI GLOBALI

Le irradiazioni globali ad alte dosi sono caratterizzate da tre grandi forme cliniche:

Ematologica

Gastrointestinale

Neurologica

Le forme cliniche sono progressivamente ingravescenti e compaiono in funzione delle rispettive dosi-soglia.

Per dosi superiori a 5-6 Gy la sopravvivenza è virtualmente impossibile.

SINDROME EMATOLOGICA

La sindrome ematologica deriva dalla riduzione del numero delle cellule ematiche della serie bianca e rossa. La morte può avvenire in seguito a possibili infezioni per caduta delle difese immunitarie per riduzione del numero delle cellule della serie bianca ed emorragie da deficit piastrinico.

La depressione dell'emopoiesi compare dopo esposizione acuta di 0,5 Gy, il decesso avviene dopo esposizione di 1-3 Gy. L'esposizione frazionata di 5-10 Gy in pochi mesi sembra tollerabile.

SINDROME GASTROENTERICA

La sindrome gastroenterica si manifesta dopo 7-10 giorni da un'esposizione acuta superiore a 6 Gy con dolori addominali a tipo colica, diarrea ematica, vomito, gravi turbe elettrolitiche.

La sua sintomatologia scaturisce dal fatto mucosa che ricopre il tratto digerente è estremamente vulnerabile alle radiazioni, in quanto sede di intensa attività rigenerativa.

La morte avviene dopo circa dieci-quindici giorni dall'esposizione.

SINDROME NEUROLOGICA

La sindrome neurologica é rappresentata da iperpiressia, edema cerebrale, convulsioni, coma e morte. La morte avviene entro due giorni dalla irradiazione acuta superiore a 10 Gy.

La sindrome si manifesta per azione diretta delle radiazioni sulle cellule nervose e sui vasi cerebrali con un quadro di grave compromissione del SNC: perdita di coscienza, convulsioni, coma, morte.

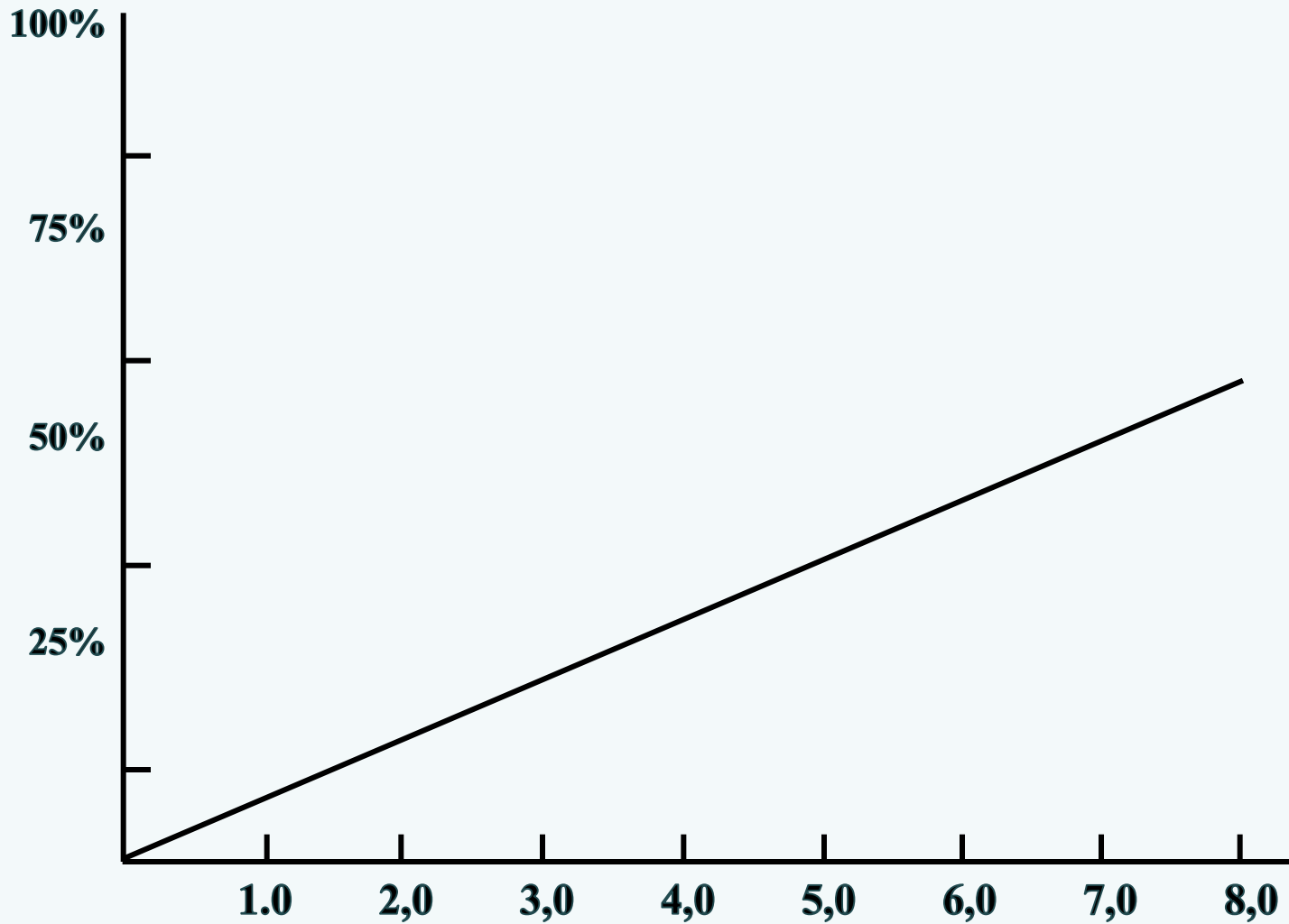
EFFETTI STOCASTICI

Definizione ICRP

Danni di cui solo la probabilità di accadimento e non la gravità è in funzione della dose ed è cautelativamente esclusa l'esistenza di una dose soglia.

Effetti Stocastici

- Hanno un lungo periodo di latenza e non sono reversibili.
- La dimostrazione dell'evento può avvenire solo attraverso confronto statistico.
- Non sembrano avere una dose soglia.
- Relazione dose-effetto di tipo lineare.
- La correlazione causa ed effetto può essere attribuita solo su base probabilistica.
- Induzione per danno ad una o poche cellule.
- Latenza lunga o molto lunga.
- Assenza di reversibilità.



Effetto stocastico: relazione dose effetto di tipo rettilineo

DANNI STOCASTICI

- **Leucemie (tranne la leucemia linfocitica cronica)**
- **Linfomi (ad esclusione del Linfoma di Hodgkin)**
- **Tumori solidi (tutti i tumori)**

EFFETTI GENETICI

Gli effetti genetici delle radiazioni ionizzanti sono:

- **Le aberrazioni cromosomiche;**
- **Le variazioni del numero dei cromosomi;**
- **Le mutazioni genetiche trasmissibili (siano esse dominanti o recessive).**

RADIOPROTEZIONE

La Radioprotezione è quella disciplina che ha come obiettivo quello di tutelare lo stato di salute dei lavoratori esposti e della popolazione nel suo insieme.

La radioprotezione si divide in due componenti:

- Sorveglianza fisica;**
- Sorveglianza medica.**

Classificazione dei luoghi di lavoro

- Zona sorvegliata

Esposizione globale

>1 mSv/anno

Cristallino

>15 mSv/anno

Pelle ed estremità

>50 mSv/anno

- Zona controllata

Esposizione globale

>6 mSv/anno

Cristallino

>45 mSv/anno

Pelle ed estremità

>150 mSv/anno

Classificazione degli esposti

- **Popolazione generale** < 1 mSv/anno
- **Esposti Categoria "B"** 1-6 mSv/anno
- **Esposti Categoria "A"** 6-20 mSv/anno

SORVEGLIANZA MEDICA

Per il medico incaricato della sorveglianza medica della radioprotezione sono previsti diversi livelli di competenza, in rapporto alla classificazione dei lavoratori.

È affidata al Medico Autorizzato la sorveglianza medica degli esposti di categoria “A” mentre i lavoratori di categoria “B” possono essere affidati al Medico Competente.

Possono ottenere la qualifica di Medico Autorizzato solo i Medici Competenti che hanno superato l’apposito esame per l’inserimento nel previsto elenco nazionale.

ATTRIBUZIONI DEL MEDICO INCARICATO

- **analisi dei rischi individuali connessi alla destinazione lavorativa ed alle mansioni per la programmazione degli accertamenti complementari alla visita medica;**
- **istituzione e aggiornamento del documento sanitario personale;**
- **esecuzione della visita medica ai lavoratori esposti secondo la prescritta periodicità;**
- **emissione del giudizio di idoneità al lavoro, con o senza limitazioni, comunicazione dell'esito, per iscritto, al datore di lavoro;**
- **invio del documento sanitario all'ISPESL entro sei mesi dalla cessazione del rapporto di lavoro o dell'attività dell'impresa.**

Sorveglianza medica

I lavoratori esposti professionalmente a Radiazioni Ionizzanti devono essere sottoposti ad una specifica sorveglianza medica intesa come:

“L’insieme delle visite mediche, delle indagini specialistiche e di laboratorio, dei provvedimenti sanitari adottati dal medico, al fine di garantire la protezione sanitaria dei lavoratori esposti”.

Ai sensi dell'art. 83 del D.Lgs. 230/95, due sono le figure professionali che possono effettuare la sorveglianza medica della radioprotezione, in base alla classificazione dei lavoratori effettuata dall'Esperto Qualificato:

- Il Medico Competente (solo per i lavoratori di categoria B);**
- Il Medico Autorizzato (per i lavoratori di tutte le categorie).**

Medico Autorizzato

“Medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti, la cui qualificazione e specializzazione sono riconosciute secondo le procedure e le modalità stabilite dalla normativa”.

Il Medico Autorizzato è il principale responsabile della sorveglianza medica della radioprotezione e quindi il garante della protezione sanitaria dei lavoratori esposti a radiazioni ionizzanti con il fine di mantenerne lo stato di salute.

Sorveglianza medica

L'art. 84, comma 3, del D.Lgs. 230/95 obbliga il medico autorizzato a valutare lo stato generale di salute del lavoratore esposto e non più danno da radiazioni.

Viene quindi approfondita l'impostazione preventiva data alla tutela sanitaria del personale radioesposto non più indirizzata a evidenziare solo l'eventuale danno rischio-correlato ma anche l'eventuale predisposizione a contrarre patologie la cui patogenesi può avere un nesso causale con l'esposizione.

Art. 84 - *Visita medica preventiva*

1. Il datore di lavoro deve provvedere a che i lavoratori esposti e gli apprendisti e studenti di cui all'art. 70, prima di essere destinati ad attività che li espongono alle radiazioni ionizzanti, siano sottoposti a visita medica a cura del medico addetto alla sorveglianza medica.

2. Omissis

3. La visita medica preventiva deve comprendere una anamnesi completa, dalla quale risultino anche le eventuali esposizioni precedenti, anche esami e trattamenti medici, e un esame clinico generale completato da adeguate indagini specialistiche e di laboratorio, per valutare lo stato generale di salute del lavoratore.

Art. 85 - *Visite mediche periodiche e straordinarie*

Il datore di lavoro deve provvedere a che i lavoratori esposti e gli apprendisti e studenti siano sottoposti, a cura del medico addetto alla sorveglianza medica, a visita medica periodica almeno una volta all'anno e, comunque, ogni qualvolta venga variata la destinazione lavorativa o aumentino i rischi connessi a tale destinazione.

La visita medica, integrata da esami complementari, per i lavoratori di categoria A e per gli apprendisti e studenti ad essi equiparati deve essere effettuata almeno ogni sei mesi.

Durante la visita medica preventiva deve essere effettuata una accurata raccolta dell'anamnesi e un esame clinico approfondito corredato da un adeguato protocollo di accertamenti sanitari per ricercare eventuali patologie che possono impedire lo svolgimento dell'attività e l'eventuale ipersuscellibilità dell'individuo.

Dopo l'inserimento al lavoro il personale esposto sarà sottoposto ad un controllo sanitario periodico, almeno annuale per gli esposti di categoria "B" e almeno semestrale per quelli di categoria "A".

PROTOCOLLO DI INTERVENTO SANITARIO

•Esami di laboratorio:

•Profilo ematologico

Esame emocromocitometrico; Conta delle piastrine; VES; Tempo di protrombina; Tempo di tromboplastina parziale.

•Profilo biochimico

Glicemia; Creatininemia; Bilirubina totale e frazionata; Colesterolo totale; Colesterolo HDL; Trigliceridemia; Transaminasemia (AST, ALT); GGT; Protidogramma;

•Esame completo delle urine.

•Visita oculistica (con bassi livelli medi di esposizione si consiglia eseguire la visita oculistica all'inizio del rapporto di lavoro ed alla sua cessazione).

•Elettrocardiogramma (da eseguire con periodicità annuale dopo i 40 anni)

•Radiografia del torace (da ripetere con periodicità triennale)

•Prevenzione oncologica:

•Ecografia della tiroide (con periodicità triennale dopo i 40 anni per i classificati di categoria B, annuale per quelli di categoria A).

•Ricerca del sangue occulto nelle feci (dopo i 40 anni)

Soggetti di sesso maschile:

•PSA libero e legato (dopo i 40 anni) con eventuale ecografia prostatica in caso di positività.

Soggetti di sesso femminile:

•Visita senologica (con periodicità triennale dopo i 40 anni, annuale dopo i 50 anni).

•Mammografia (con periodicità triennale dopo i 40 anni, annuale dopo i 50 anni).