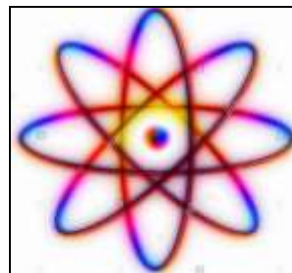




aa 2025-26

18/02/2026



***Le Radiazioni
Ionizzanti
in Medicina***

1^a Parte

*Caratteristiche e tipologia delle Radiazioni
Ionizzanti*

Docente

Dott. Francesco Muzzolon

Con il termine:

RADIAZIONE

si esprime il trasporto di energia nello spazio (materiale o vuoto)



può avvenire:

per
1. propagazione di

Onde



perturbazioni (oscillazioni) che *si propagano nello spazio e nel tempo* trasportando energia
(es. Onde elettromagnetiche)

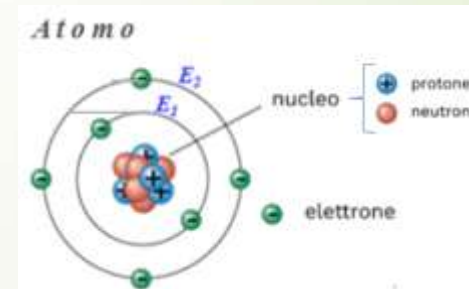
con

2. Emissione o flusso di
Particelle elementari

sono i costituenti microscopici della materia, es le p.lle sub-atomiche dotate di massa e/o carica

contribuiscono alla
trasmissione di

ENERGIA



RADIAZIONE $\approx$ ENERGIA

(*) **Esempi di Radiazione :**

- l'emissione di onde da reti di alta tensione (elettrodotto ad alta tensione)



- l'emissione di onde radio



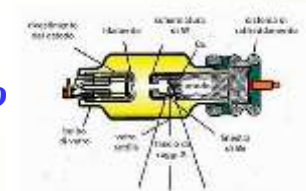
- l'emissione di microonde



- l'emissione della luce solare/artificiale (onde luminose)



- i raggi X emessi da un apparecchio radiologico



- raggi γ emessi da una sorgente radioattiva

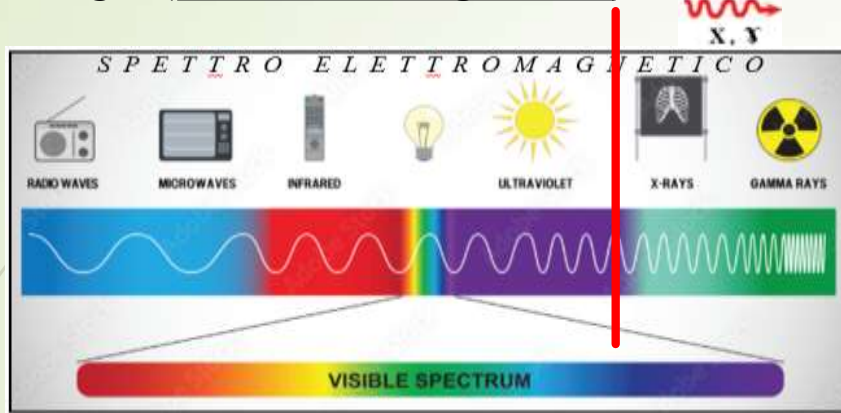


- flusso di particelle ($\rightarrow\rightarrow$) con massa e/o carica (componenti dell'atomo)



RADIAZIONI

1. Elettromagnetiche: trasporto di sola energia (onde elettromagnetiche)



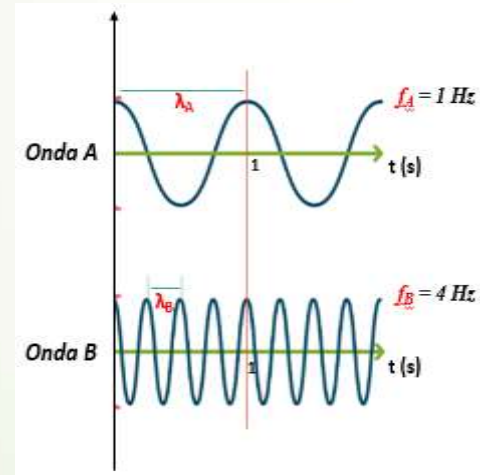
λ Lunghezza d'Onda :
distanza tra 2 creste

f Frequenza :
numero di oscillazioni
al secondo.

1 kHz = 10^3 Hz

1 MHz = 10^6 Hz

1 GHz = 10^9 Hz



-Velocità di un'onda em (C della luce) nel vuoto ≈ 300000 km/sec

$$C = \lambda \times f$$

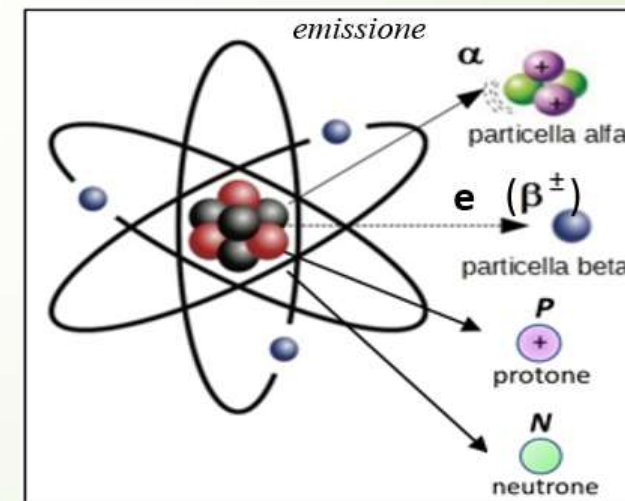
2. Particelle elementari: trasporto di energia e materia

Particelle leggere elettricamente
cariche: elettroni (o p.lle β)

Particelle pesanti elettricamente
cariche :
protoni, deutoni, particelle alfa

Particelle neutre : neutroni

Particella	
	e (β)
	p
	d
	α
	n



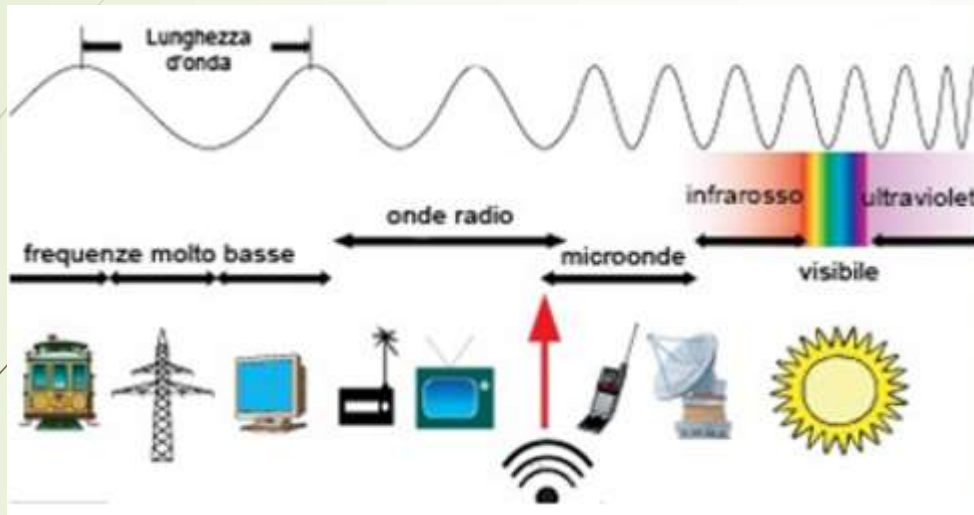
Le **Radiazioni** possono essere:

NON IONIZZANTI

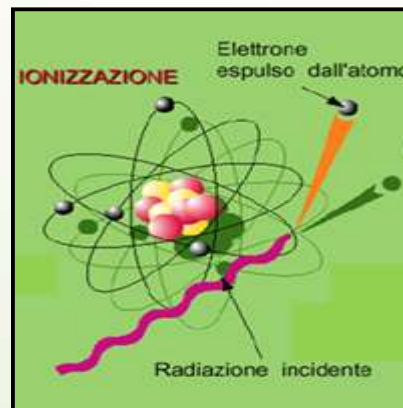
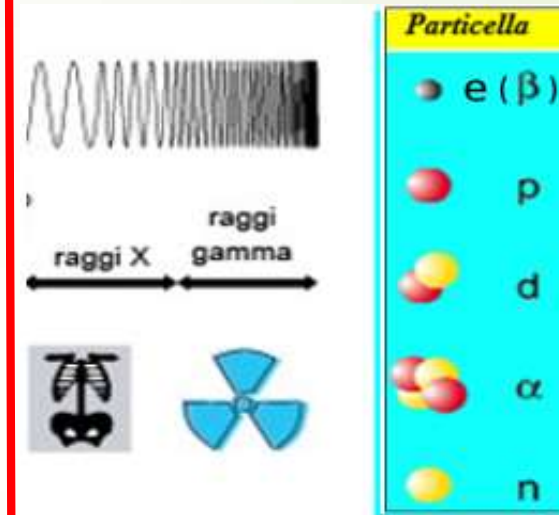
IONIZZANTI



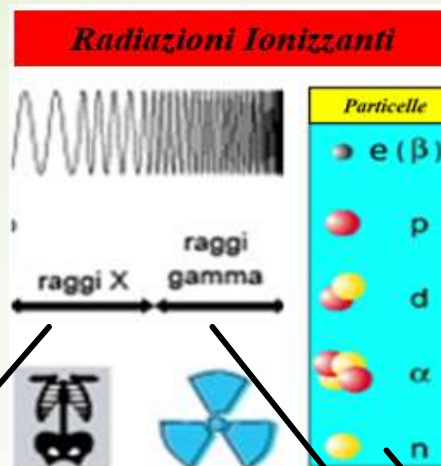
NON IONIZZANTI



IONIZZANTI

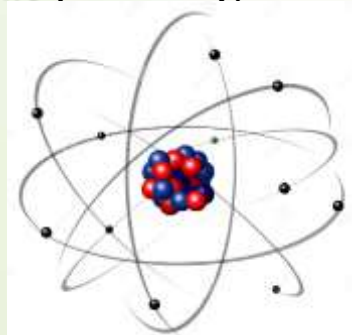


Le **radiazioni ionizzanti** sono radiazioni **elettromagnetiche** o **particellari** dotate di sufficiente energia per “ionizzare” la materia che attraversano, ovvero strappare elettroni ad atomi o molecole.



1. Raggi x

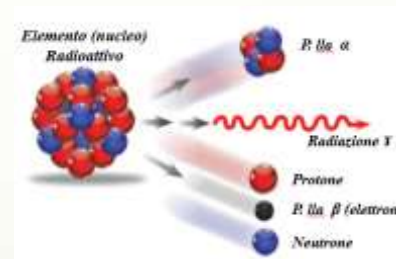
I **raggi X** hanno origine da fenomeni che interessano l'**atomo** (elettroni);



2. Sorgenti radioattive

(Naturali o Artificiali)

I **raggi γ , β , α** hanno origine da fenomeni che interessano il **nucleo atomico**.



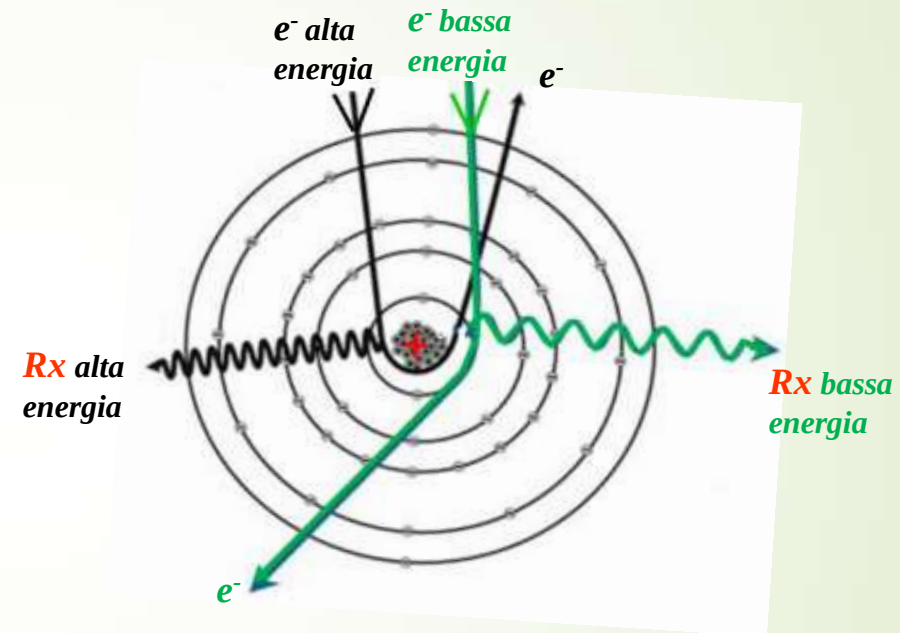
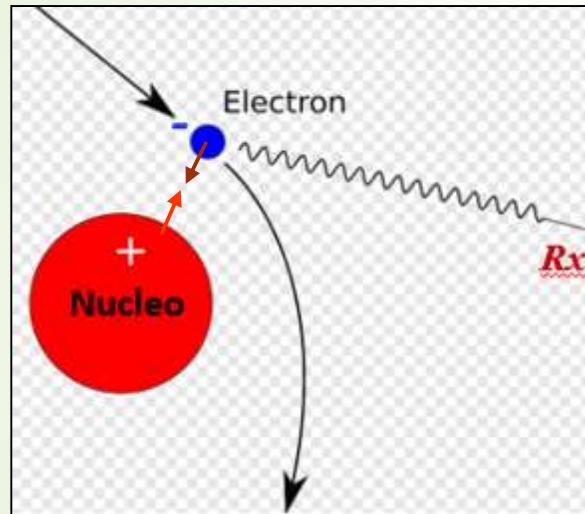
Hanno caratteristiche proprie (es. l'**attività**) e seguono leggi fisiche (es. il **decadimento**) diverse. (*)

(*) L'argomento sarà introdotto prima di iniziare la RADIOTERAPIA con utilizzo di sorgenti radioattive e prima di affrontare l'argomento della «Medicina Nucleare»

1. Raggi x

Come si producono ?

Fenomeno del
Bremsstrahlung (*)



Maggiore è l'energia dell'elettrone ($e^- \rightarrow e^-$)
maggiore sarà l'energia dei **Rx** prodotti

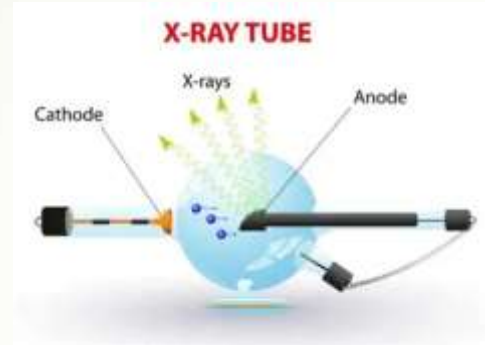
(*) Bremsstrahlung = radiazione di frenamento

Origini storiche dei **Rx**

La scoperta:



Il 4/1/1896 **Roentgen** annuncia la scoperta dei raggi X



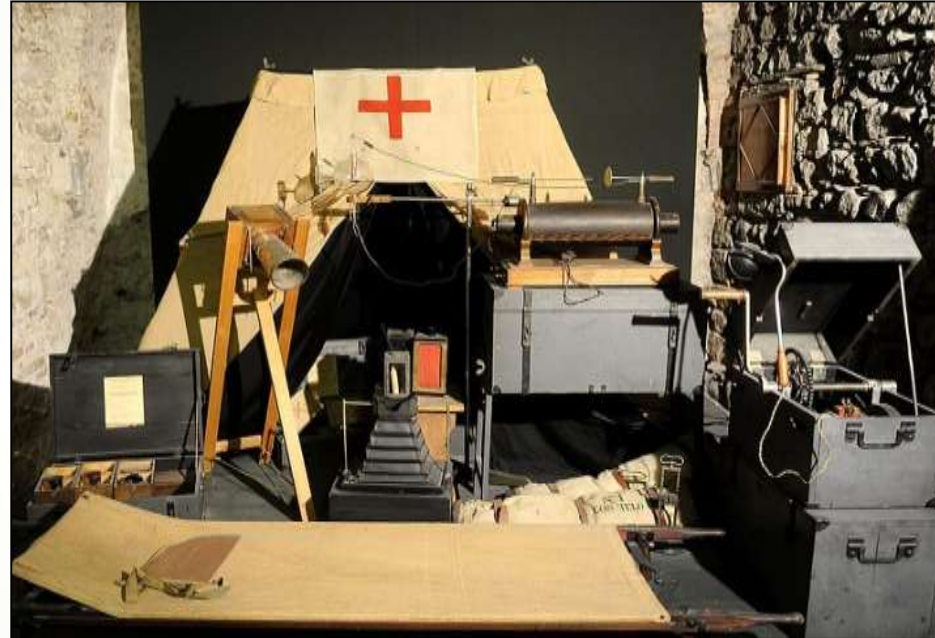
Primi impieghi dei raggi X : origini della Radiologia

John Hall-Edwards (Birmingham) fu il pioniere nell'uso dei raggi X per scopi medici. Venuto a conoscenza dei risultati raggiunti da Röntgen si dedicò allo studio e all'uso applicativo dei **raggi X**.



*Applicazione dell'utilizzo dei raggi X
durante il primo conflitto mondiale*

*Ambulatorio radiologico
da campo*

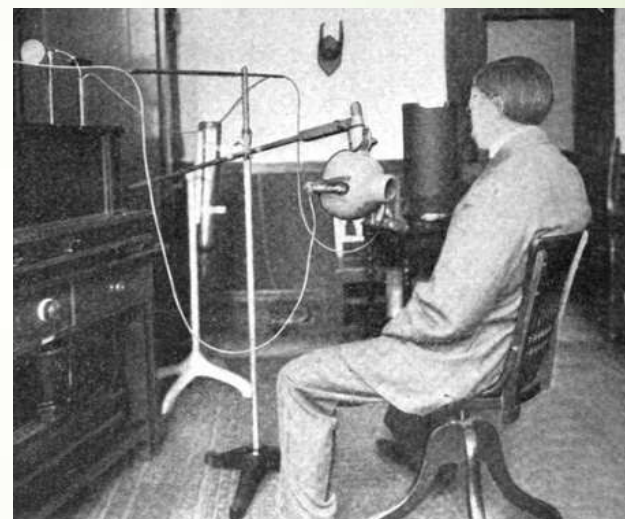


Impiego dei Raggi X a più elevata energia : origini della Radioterapia

*Roentgenterapia e
Plesioterapia*



Rx su Epiteliomi sul viso (1915)



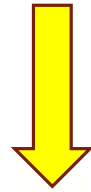
Apparecchio per Plesioterapia

Raggi X nella *Medicina* moderna :

- **Diagnostica** : raggi x a bassa energia **TUBO A RAGGI X**
- **Terapia** : raggi x ad alta energia **ACCELERATORE LINEARE (*)**

(*) L'energia dei Raggi X in Terapia (acceleratori) è intorno al centinaio di volte superiore all'energia dei Raggi X in Diagnostica (tubi radiologici)

**Effetti delle
Radiazioni Ionizzanti**

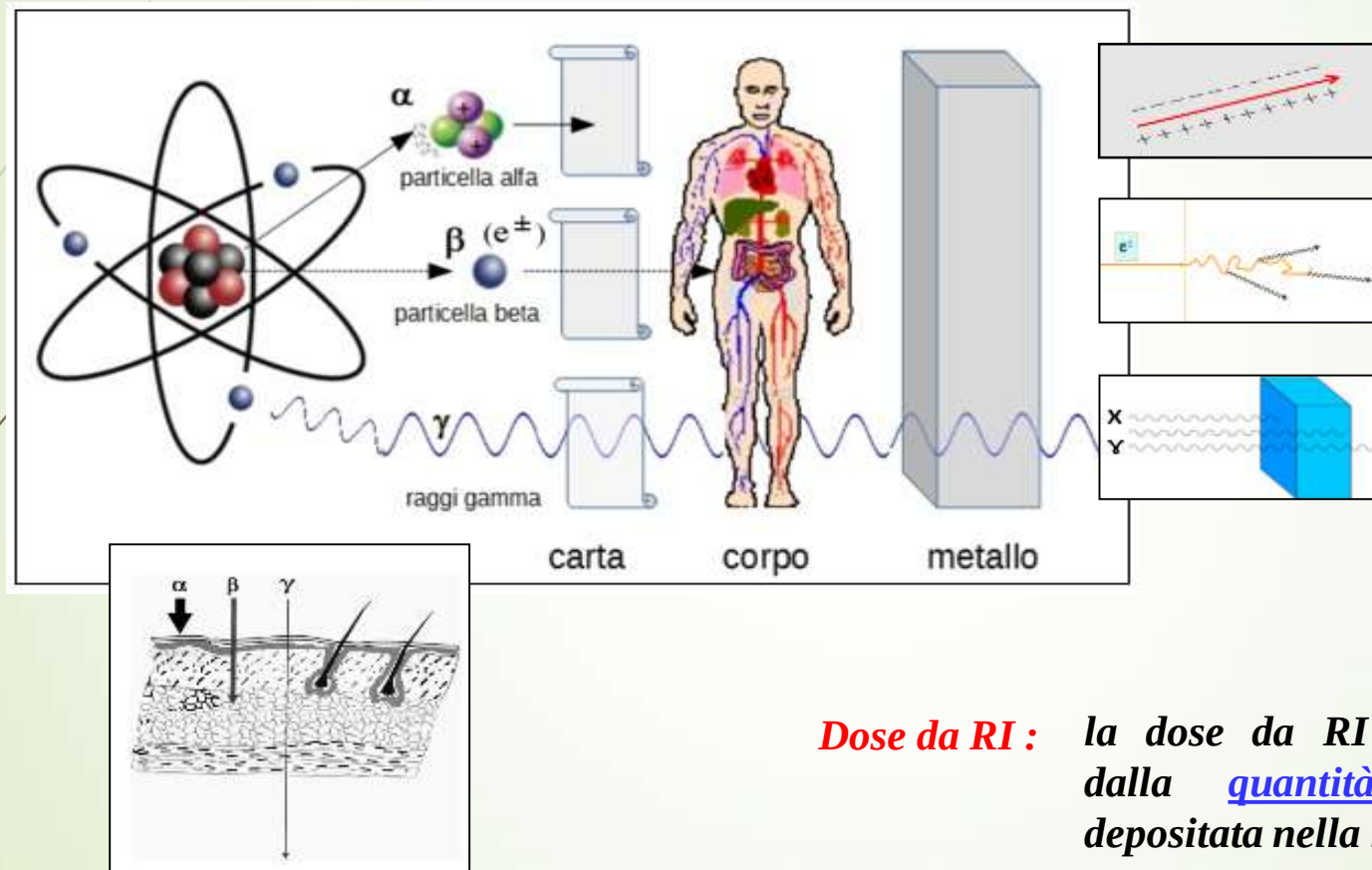


*Per capire gli effetti delle radiazioni sull'uomo è necessario conoscerne
la loro interazione con i tessuti biologici*

Nel corpo umano

capacità di **penetrazione** delle **RI**

Cessione (deposito) di energia

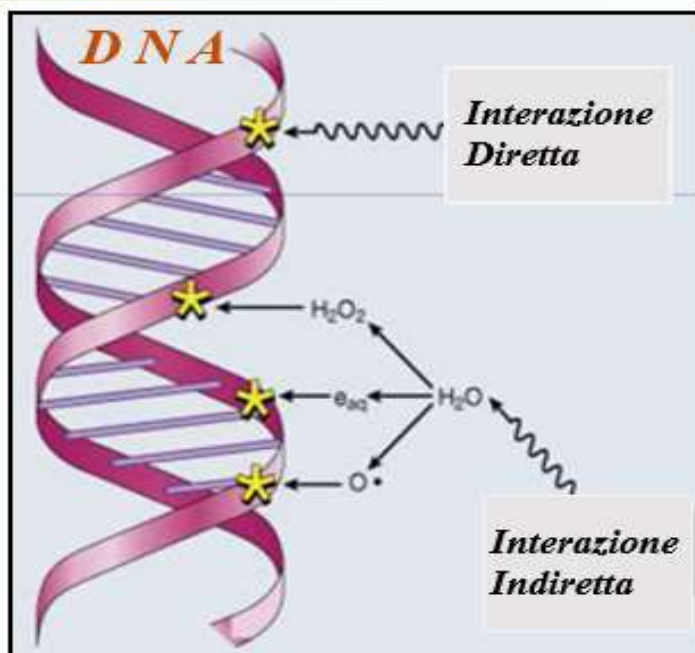


Dose da RI : la dose da RI è determinata dalla quantità di energia depositata nella materia (corpo)



L'Interazione delle RI nel corpo umano

determina il processo di ionizzazione che porta ad alterazioni degli atomi e delle molecole : dal danno molecolare, in particolare del **DNA**, si può produrre un danno alle cellule.



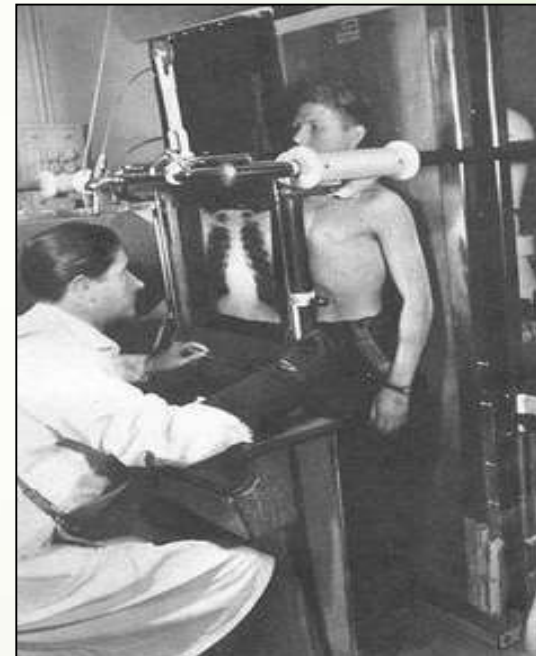
Strutture biologiche importanti del corpo possono essere modificate direttamente dalla ionizzazione, oppure indirettamente dai radicali liberi da essa indotta.

La radiazione crea ionizzazione negli atomi che costituiscono le macromolecole vitali (**DNA**), la cellula viene danneggiata direttamente dalla radiazione

Il danno è prodotto dai radicali liberi dovuti dalla ionizzazione delle molecole di acqua che costituiscono circa il 70% del corpo umano.

Primi effetti (negativi) osservati

*All'inizio, dopo la scoperta dei **Raggi X** e della **Radioattività** (1896 e 1998), esami ed esperimenti nel campo medico, venivano eseguiti **senza protezioni** in quanto i pericoli delle Radiazioni erano ancora quasi del tutto sconosciuti.*



Quali conseguenze ... ?

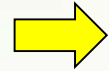
- Con l'impiego dei **raggi X** a bassa energia, (diagnostica medica) hanno cominciato a manifestarsi i primi **danni biologici**, che interessavano solo la **pelle**, (considerata la bassa energia della radiazione).



- Con l'impiego di **raggi x** a energia più elevata (compresi i **raggi γ** del **Radium** utilizzati in terapia) hanno cominciato a verificarsi **danni biologici** anche nei **tessuti più profondi**.

Effetti Biologici conseguenti all'esposizione alle Radiazioni Ionizzanti

- **Effetti** dovuti ad esposizioni acute ai raggi X (**effetti con soglia**): erano frequenti quando ancora i danni prodotti dalle RI erano poco conosciuti.

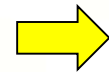


“Effetti deterministici”
da esposizione alle RI;



Mano Sx del Dott. John Hall-Edwards amputata nel 1898 a causa di una grave dermatite da Rx.

- **Effetti** dovuti ad esposizioni di bassa intensità, ma prolungata nel tempo (irradiazione cronica, tipica dell'esposizione occupazionale nei lavoratori).



“Effetti stocastici”
da esposizione alle RI;

Nota : per ulteriori informazioni sugli Effetti Biologici delle RI vedi Apendice

Come si iniziò ad affrontare il problema ?

All'inizio i provvedimenti di “protezione” erano presi su iniziativa individuale e dei singoli gruppi interessati.

*Nel 1928 durante il secondo congresso Internazionale di Radiologia (Stoccolma) fu costituito un organismo internazionale per la protezione radiologica l' **ICRP** :
INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION*

*Le prime Raccomandazioni dell' **ICRP** del 1959, e le successive fino al 1977, erano dirette essenzialmente a eliminare la possibilità che si verificassero **effetti DETERMINISTICI** (effetti evidenti solo con il superamento di una certa soglia)*

*La Radioprotezione attuale mira soprattutto a ridurre il più possibile gli **effetti STOCASTICI** (effetti senza soglia).*



Nascita della Radioprotezione

... dal quel lontano 1896-1898 il progresso tecnico ha portato a un grande sviluppo dell'uso delle sorgenti di RI in tutti i campi delle attività umane con la conseguente necessità di dover proteggersi : nasce e si sviluppa così una nuova disciplina :

la **RADIOPROTEZIONE** :

*è una disciplina di contenuto fisico, biologico e naturalistico che ha l'obbiettivo di preservare lo stato di salute dei lavoratori e della popolazione, riducendo i rischi sanitari indotti dall'uso delle Radiazioni Ionizzanti nelle attività umane **giustificate** dai benefici che ne derivano alla società e ai suoi membri. (C.Polvani 1980)*

Come si attua la **RADIOPROTEZIONE** ?

- **mettendo in atto** tutti i mezzi e strumenti a disposizione, quali **schermature**, **dispositivi di sicurezza**, **norme**, **procedure** e **comportamenti** atti a ridurre al minimo il **Rischio da Radiazioni Ionizzanti**;

***Principali attività Mediche
con uso delle Radiazioni Ionizzanti***

Attività Medica

Tipo di Radiazione

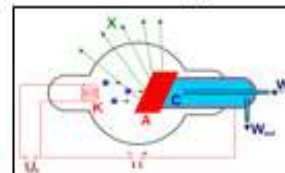
Sorgente e/o apparecchiatura

1. RADIOLOGIA DIAGNOSTICA (*)



Raggi X a bassa energia (25- 160 keV)

Tubo a Raggi X



2. RADIOTERAPIA

ACCELERATORE a)



Raggi X ad alta energia (4- 18 MeV) (**)

ACCELERATORE b)
(di p.lle)

Protoni e altri ioni positivi
ADROTERAPIA (*)**



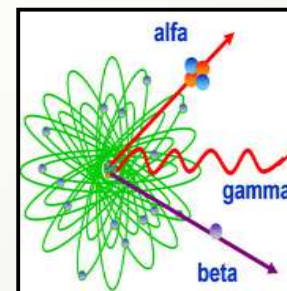
SORGENTI
RADIOATTIVE
(Sigillate * !)

Terapia esterna (Teleterapia)

Terapia interna (Brachiterapia)



Raggi $\gamma + \beta + \alpha$



(*) + Attività specialistiche complementari

(**) + elettroni e^-

(***) Terapia con Adroni (protoni e ioni Carbonio)

Attività Medica

Tipo di Radiazione

Sorgente e/o apparecchiatura

3. MEDICINA NUCLEARE (*)

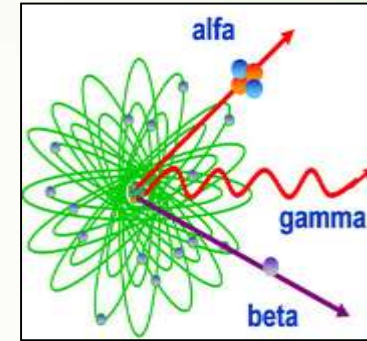
3.1 MEDICINA Nucl. Diagnostica

Raggi γ (140-360 keV) (****)



3.2 MEDICINA Nucl. Terapia Radiometabolica

Raggi γ , particelle β , particelle α



(*) Impiego di Sorgenti radioattive *Non Sigillate* !

(****) + PET : Raggi γ (510 keV)

Indice

Prima parte

Le Radiazioni Ionizzanti (RI) : definizioni e concetti di base

- *Radiazioni Elettromagnetiche e Corpuscolari,*
- *Radiazioni Ionizzanti e non Ionizzanti*
- *Raggi X e Sorgenti radioattive, caratteristiche fisiche*
- *Scoperta dei raggi X , cenni storici*
- *Osservazione dei primi effetti dannosi causati dalle RI*
- *RI : capacità di penetrazione, cessione di energia e interazione nel corpo umano*
- *Nascita della radioprotezione.*
- *Le RI nei principali settori della Medicina: introduzione*

- ***Appendice : Esposizione e generalità sugli effetti delle RI***

FINE
PRIMA PARTE



GRAZIE
PER L'ATTENZIONE

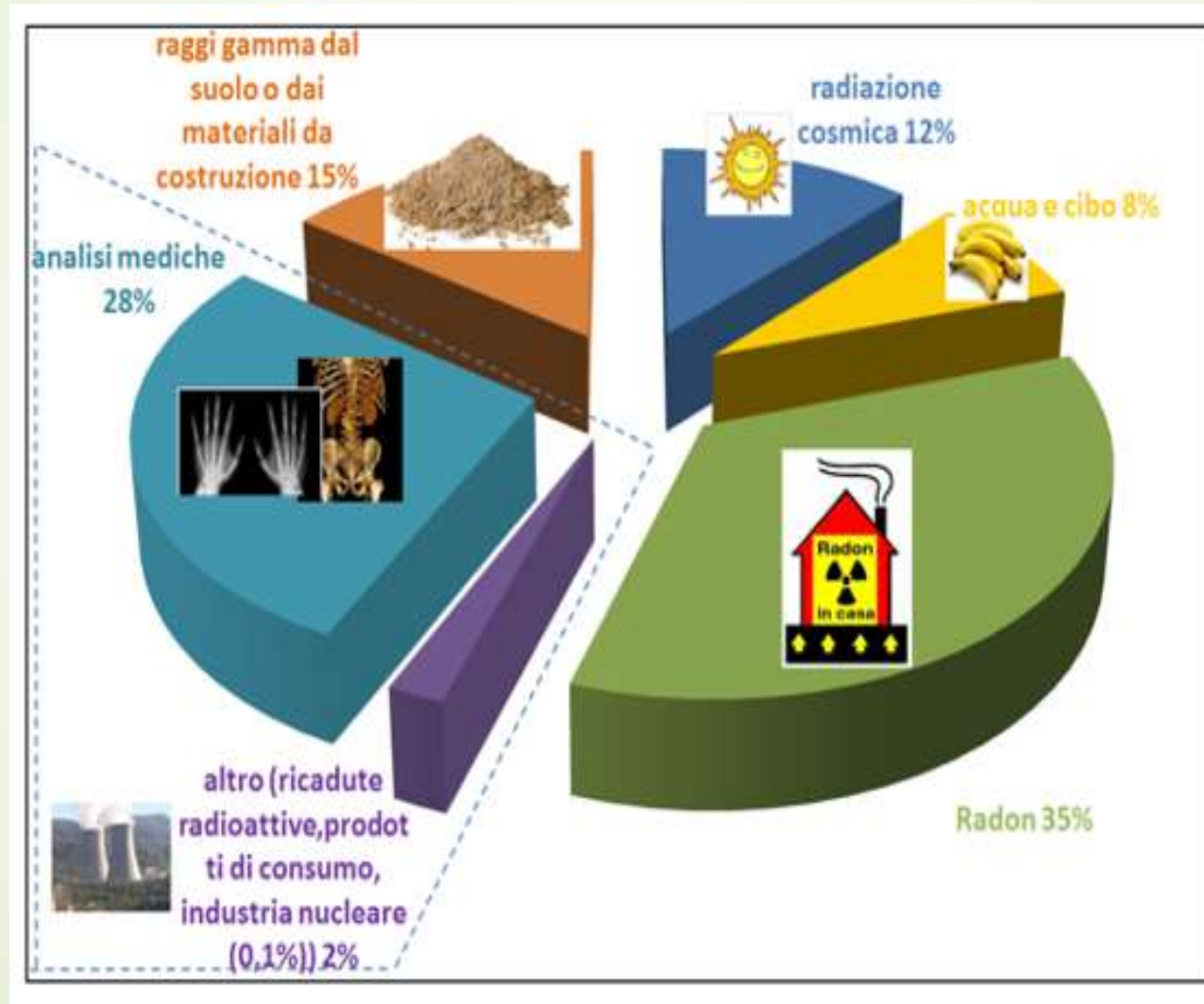


APENDICE

Esposizione alle RI e generalità sugli effetti Biologici

Esposizione dell'uomo alle RI

L'uomo riceve dosi di radiazione provenienti sia da **Sorgenti Naturali** che da **Sorgenti Artificiali**





Generalità sugli effetti delle RI

1. Effetti **Deterministici** (a soglia)
2. Effetti **Stocastici** (probabilistici)

1. Caratteristiche principali degli effetti deterministici

- si manifestano solo al superamento di un **valore-soglia** di dose (caratteristico per ogni effetto);
- si manifestano, per lo più, **entro qualche giorno** o qualche settimana dopo l'irradiazione (insorgenza precoce);
- colpiscono **tutte o quasi** le persone irradiate che superano la dose soglia;
- mostrano in genere un **aggravamento** delle manifestazioni con il **crescere della dose ricevuta**.
- sono **reversibili** (entro certi limiti)

2. Caratteristiche principali degli effetti stocastici

- hanno carattere **probabilistico**;
- la probabilità di comparsa **aumenta con la dose di radiazione ricevuta**;
- **non mostrano gradualità** di manifestazione con la dose ricevuta, ma sono del tipo “tutto o niente”, quale che sia la dose;
- si manifestano **dopo anni**, talora decenni, dall'irradiazione;
- sono **indistinguibili** dai tumori indotti da altri cancerogeni.
- sono **distribuiti casualmente** nella popolazione esposta;
- non richiedono il superamento di un valore-soglia di dose per la loro comparsa (ipotesi cautelativa ammessa per i soli scopi preventivi della radioprotezione);
- sono dimostrati dalla sperimentazione radiobiologica;

EFFETTI DETERMINISTICI

gli *effetti deterministici* per l'evidenza di una soglia ben individuabile, non costituiscono oggetto di particolari modelli ai fini della prevenzione:

è sufficiente limitare i livelli di esposizione al di sotto dei valori soglia per avere la garanzia della loro impossibilità di manifestarsi.

EFFETTI STOCASTICI

(di tipo
probabilistico)

Inizialmente il Sistema di Radioprotezione conteneva un unico principio: quello della *limitazione della dose al di sotto di un valore limite valutato*, con criteri "tossicologici",

Con la conoscenza di altri dati epidemiologici sulla induzione oncogena, quell'unico principio è stato accompagnato da un secondo:

*il principio ALARA (As Low As Reasonable Achievable),
con lo scopo di : ridurre la probabilità degli effetti stocastici.*



Ci sono poi :

1. EFFETTI SOMATICI

Si manifestano sulla persona che è stata esposta alle RI

2. EFFETTI EREDITARI

Si manifestano sui discendenti della persona che è stata esposta alle RI

1. SOMATICI

(Individuo esposto alle
RI)

1.1 DETERMINISTICI (graduati, non
casuali): cataratta, sindrome acuta da
irradiazione (radiodermiti)

1.2 STOCASTICI (probabilistici,
casuali): tumori solidi, leucemie

2. EREDITARI
(Progenie)

STOCASTICI

MUTAZIONI GENICHE

ABERRAZIONI
CROMOSOMICHE

RADIAZIONI (**RI e **NIR**) IN MEDICINA**
(Impiego nelle varie attività)

a.a. 2025-26

- **RI** : definizioni e caratteristiche fisiche
- Produzione di **Rx** e **apparecchi radiologici** in Medicina (diagnostica medica); radioprotezione.
- **Radioterapia oncologica**: acceleratori lineari (LINAC) a Rx e elettroni
- **Adroterapia** (frontiera della RT) : la protonterapia

a.a. 2026-27 ? ; a.a. 2027-28 ?

- **Le sorgenti radioattive** nella Radioterapia Oncologica esterna (Teleterapia) e interna (Brachiterapia)
- **Le sorgenti radioattive** in Medicina Nucleare nella diagnostica tradizionale e PET e nella terapia radiometabolica.
- **L'Ecografia** nella Diagnostica medica (Ultrasuoni) **NIR** e/o
- **La Risonanza Magnetica Nucleare (RMN) → NIR**
- **Impiego del Laser** nelle attività mediche. → **NIR** (?)