

Rischi lavorativi da agenti fisici

LE RADIAZIONI IONIZZANTI E NON IONIZZANTI

Con il termine radiazione si intende l'emissione di entità fisiche che trasportano energia: tali entità possono essere costituite da **particelle (radiazioni corpuscolate)** o da **onde elettromagnetiche** e vengono distinte in radiazioni **ionizzanti e non ionizzanti**.

Le radiazioni ionizzanti **producono ionizzazione nel corpo che attraversano**, con la formazione di una coppia di ioni, allontanando un elettrone orbitale dal nucleo atomico cui è legato; ciò si può verificare solo quando l'energia veicolata dalla radiazione è maggiore di quella di legame dell'elettrone.

Le non ionizzanti **trasferiscono energia al corpo che attraversano**, ma non sono in grado di indurre ionizzazione.

Radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti corpuscolate sono principalmente rappresentate da particelle α , β^+ , e β^- , dotate di carica. Le α e le β hanno una velocità molto bassa, si arrestano facilmente sulla superficie cutanea (le β riescono a penetrare al massimo per un cm) con lesività biologica da irradiazione esterna bassa. I neutroni (corpuscoli senza carica), prodotti artificialmente, hanno un alto potere di penetrazione con conseguente lesività biologica da irradiazione esterna molto elevata.

Le radiazioni ionizzanti elettromagnetiche, senza carica, sono rappresentate dai **raggi X e raggi γ** . Hanno una velocità pari a quella della luce, penetrano in maniera notevole e quindi hanno una elevata lesività da irradiazione esterna, perché possono raggiungere i tessuti più radiosensibili del corpo anche in profondità

Dosimetria radiobiologica e unità di misura

Tra le grandezze fondamentali della dosimetria radiobiologica e le relative **unità di misura** va segnalata quella di **esposizione(X)**, che misura la quantità di ionizzazione prodotta in una massa unitaria, storicamente misurata in **Rontgen**, ora in fase di progressiva sostituzione nell'attuale Sistema Internazionale di misura (SI) con il **Coulomb**; quella di **dose assorbita(D)**, che misura la quantità di energia ceduta in una massa unitaria di tessuto ed è espressa in **Gray** e quella di **dose efficace(DE)**, espressa in **sievert**, che indica la probabilità che un organo irradiato possa subire un danno stocastico (leucemie, tumori, mutazioni genetiche) rispetto al corpo intero e che tiene conto di fattori di ponderazione specifici per organi. La **dose equivalente(H)**, che si ottiene moltiplicando la dose assorbita(D) per un fattore di ponderazione, esprime la capacità della radiazione di generare effetti biologici nei tessuti, non solo in rapporto all'energia ceduta ma anche in rapporto al tipo di radiazione; l'unità di misura nel SI è il **sievert**, mentre quella storica, ma ancor oggi talvolta usata è il **Rem**.

La **dose collettiva**, infine, esprime la dose assorbita da una popolazione irradiata e l'unità di misura è il **sievert-uomo (Sv-uomo)**.

Meccanismo d'azione delle radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti hanno un duplice meccanismo d'azione:

- le radiazioni corpuscolate, dotate di carica (α , β^+ , e β^-) agiscono con un **meccanismo diretto**, dando luogo ad una elevata produzione di ioni che sono in grado di ledere la membrana cellulare, di determinare alterazioni a livello dei ribosomi e dei mitocondri, di dar luogo a mutazioni geniche di tipo stabile (trasmissibili anche ai discendenti) o instabili (morte della cellula);
- Le radiazioni ionizzanti elettromagnetiche (raggi X e raggi γ) e i neutroni, entrambi non dotati di carica e che danno luogo ad una limitata produzione di ioni primari, agiscono con un **meccanismo indiretto**: le molecole d'acqua, sottoposte a irradiazione, danno luogo alla produzione di radicali liberi (H_2 e H_2O_2), che modificano e distruggono le macromolecole biologiche (acidi nucleici, proteine, ecc.).

L'effetto biologico dipende dalla dose assorbita e dalla **radiosensibilità dell'organo colpito**, che è condizionata dalla **velocità di ricambio cellulare** del tessuto stesso.

La massima sensibilità è a carico del tessuto **ematopoietico**, seguito da **gonadi, midollo osseo, strato basale della cute, cristallino, epitelio intestinale, fegato, alveoli polmonari, dotti biliari, tubuli renali, endoteli, connettivo e ossa muscoli e sistema nervoso**.

Sindromi cliniche da irradiazione

In relazione alle modalità di esposizione, l'organismo umano può essere colpito dalle radiazioni **dall'esterno**, su **tutto il corpo** o in **sedi localizzate**, oppure **dall'interno**, per contaminazione interna. A seconda della dose si potranno manifestare **effetti acuti** o **cronici**

Pertanto è possibile distinguere le seguenti sindromi:

sindrome acuta da irradiazione esterna globale (incidenti in centrali nucleari):

- - per dosi elevate si manifesta come **Sindrome cerebrale**: evolve in poche ore o giorni con nausea, vomito, tremori, convulsioni, coma, morte. Il tessuto nervoso è tra i meno sensibili alle radiazioni e, pertanto, sono necessarie dosi molto elevate per provocare danni cerebrali;
- per dosi alte si manifesta come **Sindrome gastrointestinale**: compare dal 3° al 20° giorno dall'esposizione ed è sempre fatale, con vomito, diarrea ematica non trattabile, che porta a disidratazione, collasso circolatorio e morte;
- - per dosi medio basse si manifesta come **Sindrome emopoietica**: vengono colpiti i tessuti più sensibili, compare tra l'8° e il 50° giorno dall'esposizione, è caratterizzata, in prima istanza da linfopenia seguita da neutropenia e piastrinopenia, con conseguenti manifestazioni emorragiche ed infezioni. La terapia è prevalentemente sintomatica, ma l'esito è quasi sempre fatale.

sindrome acuta da irradiazione esterna locale:

- avviene per azione di sorgenti distanti o per deposito di sostanze radioattive sulla superficie cutanea. Le strutture più sensibili sono la cute e le gonadi e si manifesta, **sulla cute**, con perdita di peli, arrossamento, bolle e fittene, ed, al crescere della dose, con il quadro di **radiodermite necrosante** caratterizzato da ulcere poco tendenti alla guarigione e con tendenza formazione di tumori cutanei ed a carico delle **gonadi** con azospermia transitoria nell'uomo, per una esposizione lieve, mentre, per esposizioni più elevate, compare sia per l'uomo che per la donna, sterilità permanente.

Sindrome cronica da irradiazione esterna globale:

- colpisce prevalentemente i lavoratori che sono addetti alle manipolazioni di sostanze radioattive, alla conduzione di impianti radiogeni, ad estrazioni minerarie in aree radiogene; la sintomatologia è molto sfumata, con ipotrofia cutanea, ipoplasia midollare, deperimento organico con un accorciamento della vita.

Sindrome cronica da irradiazione esterna locale:

- frequente in passato in radiologi ed ortopedici; riguarda soprattutto la cute di mani e avambraccio, con quadri di cute arrossata, bolle e delle ulcere e, soprattutto, frequente sviluppo di epitelomi.

Sindrome cronica da irradiazione interna :

può avvenire per errore o incidente, attraverso la via digerente, respiratoria (radionuclidi gassosi come il radon nei minatori) e cutanea. La distribuzione è condizionata dalla **affinità metabolica** per i diversi tessuti dell'elemento radioattivo che viene introdotto: il radio ha un'affinità molto elevata per il tessuto osseo, lo iodio per la tiroide, il cesio per i muscoli. Gli effetti più gravi sono legati alla cancerogenesi, per cui negli esposti, in genere, sono frequenti le leucemie, i carcinomi polmonari nei minatori esposti al radon, gli osteosarcomi della mascella, frequenti negli addetti alla verniciatura di quadranti fosforescenti degli orologi, utilizzando radio.

- Nelle contaminazioni locali è possibile lo sviluppo di cataratta e radiodermite, complicata dalla evoluzione in epiteloma.

Radiazioni non ionizzanti (NIR)

Con il termine **radiazioni non ionizzanti** si indicano, in genere, tutte quelle forme di radiazioni elettromagnetiche il cui meccanismo primario di interazione con gli organismi viventi si diversifica da quello della ionizzazione, non possedendo energia sufficiente a provocare ionizzazione nella materia colpita.

Lo spettro elettromagnetico può essere suddiviso in funzione della lunghezza d'onda e della frequenza in:

radiazioni ottiche: infrarosso, visibile, ultravioletto (luce, lampade a raggi infrarossi per produzione di calore, lampade germicide, letti solari);

onde radio, microonde (radar, telefonini cellulari, radio, televisione, radar terapia, marconi terapia, incollaggio industriale, microonde);

campi a frequenza estremamente bassa (ELF, Extremely Low Frequencies) (telefonia, linee elettriche ad alta tensione, risonanza magnetica).

Effetti biologici delle radiazioni non ionizzanti

Per quanto concerne gli effetti biologici dei **campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse (ELF)** occorre tenere presente che in ogni organismo esistono campi e correnti elettriche che svolgono un ruolo in complessi meccanismi di controllo fisiologico, quali l'attività neuromuscolare, le funzioni della membrana cellulare, nonché lo sviluppo, la crescita e la riparazione dei tessuti.

Studi epidemiologici ben controllati sullo stato di salute in generale di lavoratori addetti a linee e sottostazioni elettriche non avrebbero rilevato alcuna differenza statisticamente significativa tra gruppi di esposti e gruppi di controllo. Al contrario, studi epidemiologici più recenti avrebbero fornito un sostegno circa l'associazione tra leucemia infantile ed esposizione a deboli campi elettrici.

Lo studio Lagorio (1998) eseguito dall'Istituto Superiore della Sanità lascia delle incertezze circa la possibilità di insorgenza di tumori in seguito all'esposizione a campi ELF e conclude che i dati epidemiologici, oggi disponibili non possono essere assunti a base di processi decisionali e di sanità pubblica.

Lo studio NIEHS, eseguito nel 1998 National Institute of Environment, Health and Science, mette in luce una limitata cancerogenicità rispetto alla leucemia infantile ed una evidenza relativa per i tumori cerebrali e per i linfomi infantili da considerarsi inadeguata. Nella valutazione complessiva, comunque, i campi elettromagnetici ELF vengono classificati come possibili cancerogeni per l'uomo.

Lo studio SETL (ASL-Università di Milano, 1999-2001), appena terminato, sta valutando il rapporto tra esposizione a campi magnetici a bassissima frequenza e sviluppo di leucemie, linfoma non Hodgkin e neuroblastomi nei bambini.

Sulla base degli studi epidemiologici dagli anni '70 la **IARC** (Monografia n. 80 del 2002) ha concluso:

In relazione alla **leucemia infantile** vi è una **limitata evidenza di cancerogenicità** nell'uomo riferibile a campi magnetici ELF

In relazione a **tutte le altre forme di cancro**, vi è **inadeguata evidenza di cancerogenicità** nell'uomo riferibile a campi magnetici ELF

I **campi magnetici ELF** vengono pertanto classificati "**possibili cancerogeni**" per l'uomo (**Gruppo IARC 2B**)

Il settore delle **radiofrequenze e microonde** è il più studiato fra le radiazioni non ionizzanti e gli effetti sanitari accertati o ipotizzati si dividono in due grandi categorie:

-effetti termici: gli organi più colpiti sono il cristallino e i testicoli. Le manifestazioni patologiche sono rispettivamente la cataratta e l'oligo- e azospermia. Il cristallino è particolarmente sensibile al calore in quanto non vascolarizzato (il trasferimento veloce del calore dai tessuti interni alla superficie avviene tramite la corrente sanguigna).

-effetti non termici: di non univoca accettazione a livello del sistema nervoso centrale e neurovegetativo, studiati e riconosciuti dagli autori russi, ma messi in discussione dagli autori occidentali, quali, bradicardia, ipotensione alterazioni ECG (allungamento del tratto PQ), linfocitosi, monocitosi, iperattività tiroidea, caduta dei capelli, fragilità ungueale, alterazioni ECG con onde lente e diminuita ampiezza delle onde α , cefalea, diminuzione della libido, riduzione della attività sessuale, disturbi della memoria.

Nessun importante studio epidemiologico **supporta l'ipotesi di aumento di incidenza di tumori cerebrali** in relazione all'uso di telefoni cellulari (**Muscat 2000, Inskip 2001**).

L'**OMS** afferma che **non vi è alcuna evidenza convincente che l'esposizione a campi e.m. a RF abbrevi la durata della vita umana ovvero induca o favorisca il cancro.**

ICONOGRAFIA

Radiazioni

RADIAZIONE IONIZZANTI

Radiazioni capaci di determinare, direttamente o indirettamente, la ionizzazione della materia distaccando un elettrone dall'orbita periferica di un atomo con formazione di uno ione positivo ed uno negativo (elettrone)

di natura corpuscolata:raggi α , β , neutroni e protoni
di natura elettromagnetiche (quanti di energia): raggi X, γ

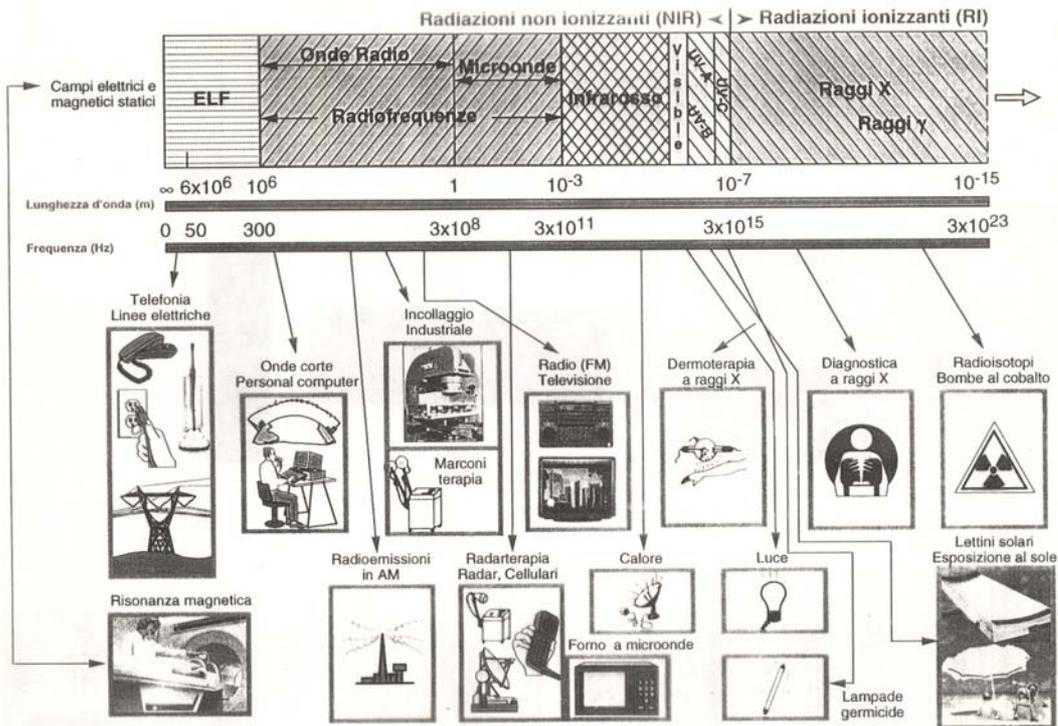
RADIAZIONI NON IONIZZANTI

(NIR:non ionizing radiation)

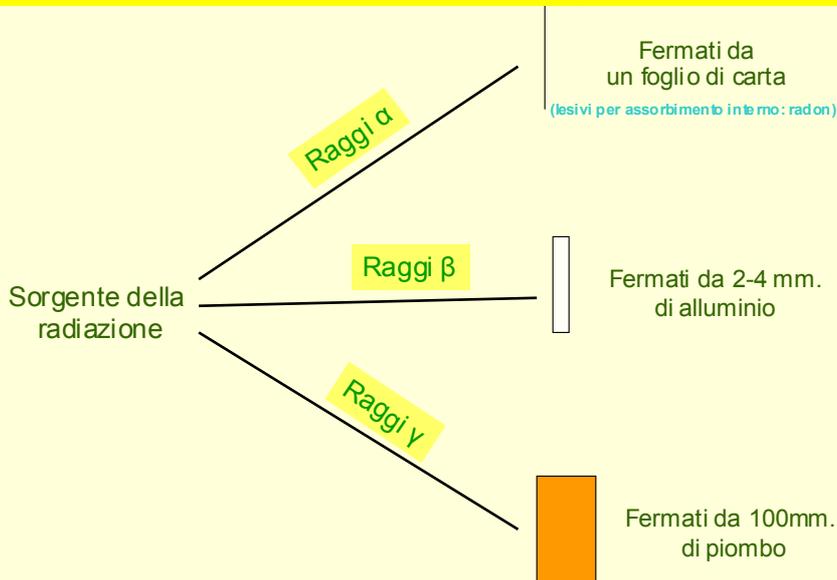
Trasferiscono energia al corpo che attraversano in quantitativi non sufficienti a indurre ionizzazione

(onde radio, radiofrequenze,microonde, infra rosso,visibile ,ultravioletto)

RADIAZIONE ELETTRIMAGNETICA E SUOI IMPIEGHI



Capacità penetrante e lesività biologica da irradiazione esterna



Raggi X e neutroni sono dotati di capacità penetrante e lesività biologica da irradiazione esterna elevata

Radiazioni ionizzanti: meccanismi d'azione e danni biologici

I processi di ionizzazione agiscono sulle strutture biologiche in modo:
diretto od indiretto

I raggi X e γ danno luogo a limitata produzione di ioni primari,
agiscono, quindi, prevalentemente in modo indiretto

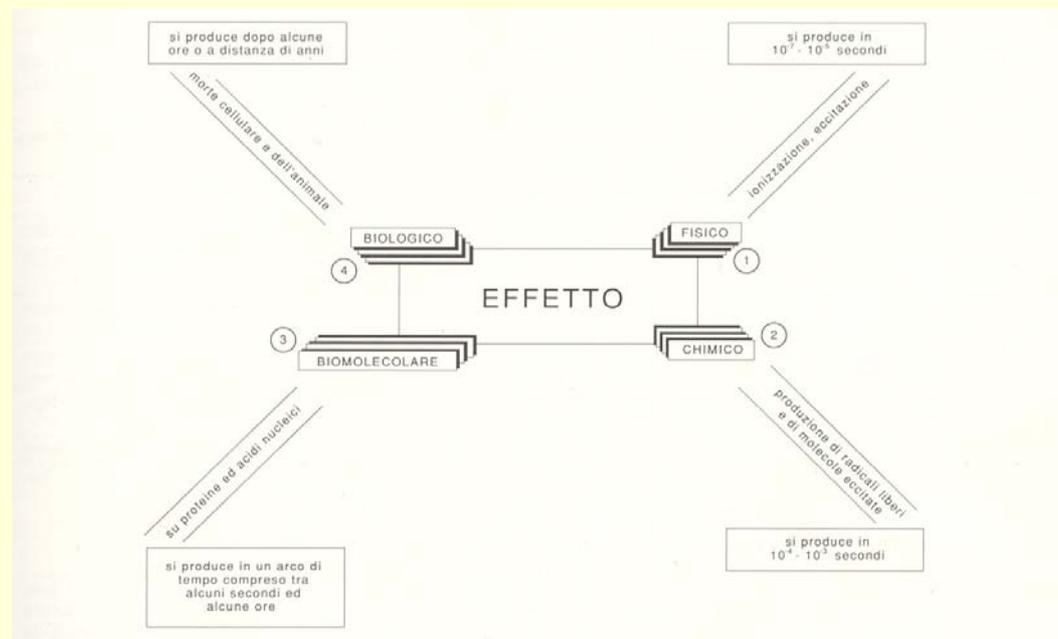
Diretto (effetto biologico e biomolecolare):

- lesione della membrana cellulare
- alterazioni dei ribosomi e mitocondri
- mutazioni dei geni stabili o instabili (danno genetico)

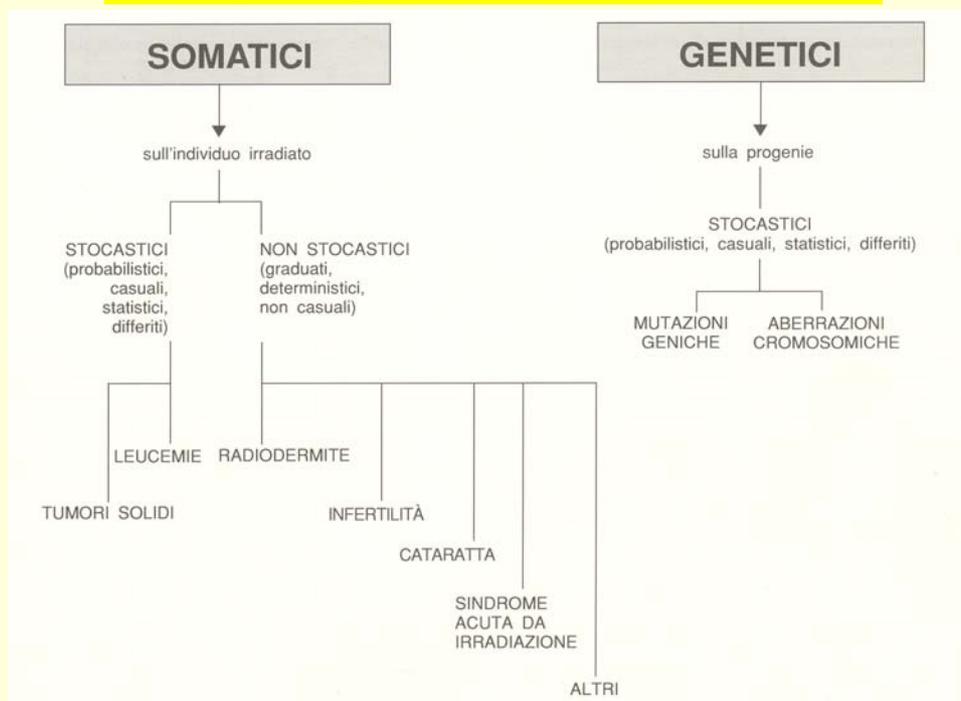
Indiretto (effetto fisico e chimico)

- azione sui mezzi solventi con produzione di radicali liberi (H_2O_2) che modificano e distruggono le macromolecole biologiche (proteine, acidi nucleici)

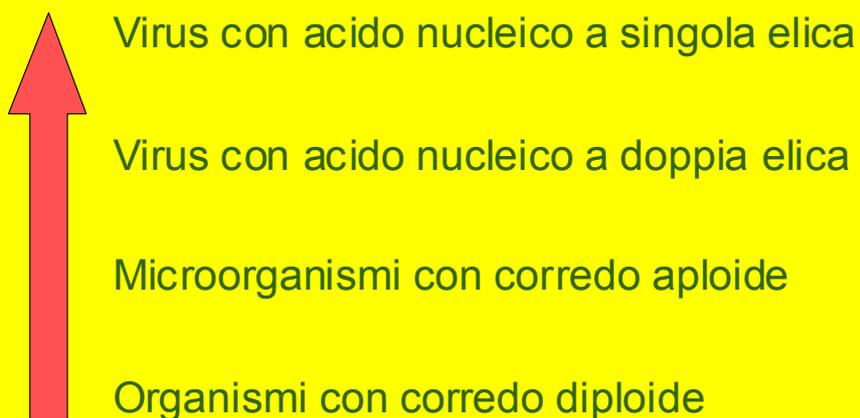
EFFETTI INDOTTI DALLE RADIAZIONI IONIZZANTI



Effetti patologici delle radiazioni ionizzanti



Gerarchia di sensibilità alle radiazioni ionizzanti nei sistemi biologici



Effetti patologici delle radiazioni ionizzanti

L'effetto biologico dipende dalla dose assorbita e dalla radiosensibilità della struttura colpita che è condizionata dalla velocità di ricambio cellulare del tessuto stesso

ricambio



Tessuto ematopoietico
gonadi
strato basale cute
cristallino
epitelio intestinale
fegato
alveoli polmonari
dotti biliari
tubuli renali
endoteli
connettivo
ossa, muscoli, sistema nervoso

Quadri clinici da irradiazione

L'organismo può essere colpito dall'esterno o dall'interno, per introduzione di radionuclidi, e, pertanto, si distinguono sindromi da irradiazione esterna e sindromi da irradiazione interna, che a loro volta, in funzione della dose assorbita si dividono in acute e croniche

Irradiazioni esterne

Sindrome acuta da irradiazione globale

Sindrome acuta da irradiazione locale:

Sindrome cronica da irradiazione esterna globale

Sindrome cronica da irradiazione esterna locale

Irradiazioni interna

Danni somatici tardivi generali

Danni somatici localizzati

Danni tardivi di carattere genetico

Radiazioni ionizzanti: Sindromi cliniche da irradiazione esterna

Sindrome acuta da irradiazione globale

Esposizione accidentale di lavoratori a rischio

In ordine alla dose assorbita si distinguono diversi quadri clinici

Per dosi elevate

(circa 300 gray)

Sindrome cerebrale

evolve in pochi ore o giorni
ed è sempre fatale
con nausea,
vomito, tremori,
convulsioni,
coma,
Morte

Per dosi alte

(da 100 a 10 gray)

Sindrome gastrointestinale

si manifesta dal 3° al 20° giorno
ed è sempre fatale,
con vomito,
diarrea ematica,
grave disidratazione,
collasso cardiocircolatorio,
Morte

Per dosi medio basse

(> 10 gray)

Sindrome emopoietica

compare tra l'8° ed il 50° giorno
ad esito per lo più fatale,
con, in ordine cronologico,
linfopenia, neutropenia e
piastrinopenia e quindi
manifestazioni emorragiche
ed infezioni

La terapia è sintomatica

Quadro ematico periferico da irradiazione

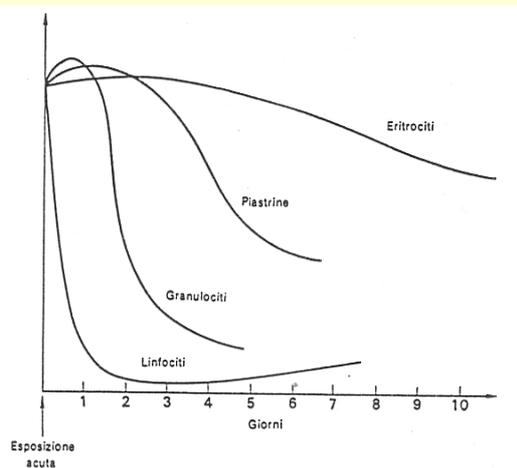


Fig. - 9 Quadro ematico da irradiazione

Dopo una dose di 10Gy è indicato l'andamento del quadro ematico periferico nel tempo.

I linfociti riportati sono quelli circolanti, quelli della memoria sono molto resistenti. Il quadro riportato è la conseguenza della distruzione della cellula staminale ematopoietica e quindi della impossibilità a produrre cellule mature che rimpiazzino quelle che normalmente muoiono.

Radiazioni ionizzanti: Sindromi cliniche da irradiazione esterna

Sindrome acuta da irradiazione locale
Avviene per azione di sorgenti distanti o per deposito di sostanze radioattive sulla superficie cutanea.
Le strutture più sensibili sono la cute e le gonadi

Cute

al crescere della dose si ha:

depilazione, eritema, radio epidermite con eritema,
bolle e flittene, radiodermite necrosante con ulcere poco
tendenti alla guarigione e propense alla degenerazione neoplastica

Gonadi

col crescere della dose si ha:

nell'uomo azospermia transitoria -> sterilità permanente
nella donna disturbi ovarici, sterilità permanente con disturbi endocrini

RADIODERMITE NECROSANTE CON ULCERA



Radiazioni ionizzanti: Sindromi cliniche da irradiazione esterna

Sindrome cronica da irradiazione esterna globale

Riguarda lavoratori addetti alla manipolazione di sostanze radioattive, alla conduzione di impianti radiogeni, a lavori minerari in aree radiogene.

La sintomatologia è sfumata ed è caratterizzata da:

ipotrofia cutanea, ipoplasia midollare, deperimento organico con un accorciamento della vita media.

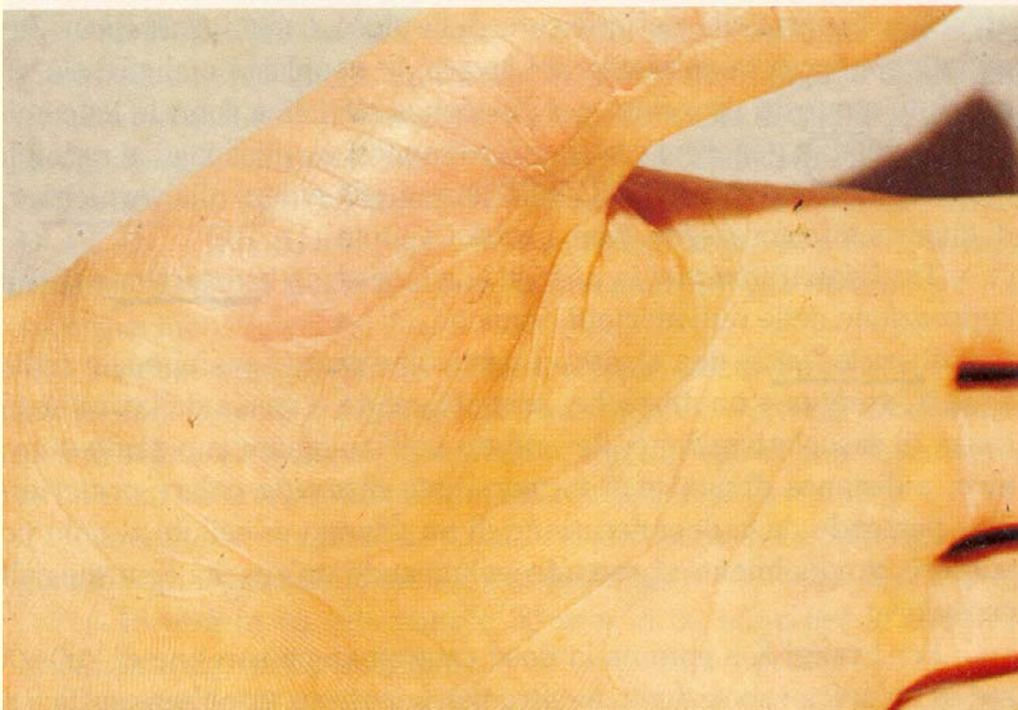
Sindrome cronica da irradiazione esterna locale

Frequente in passato in radiologi ed ortopedici.

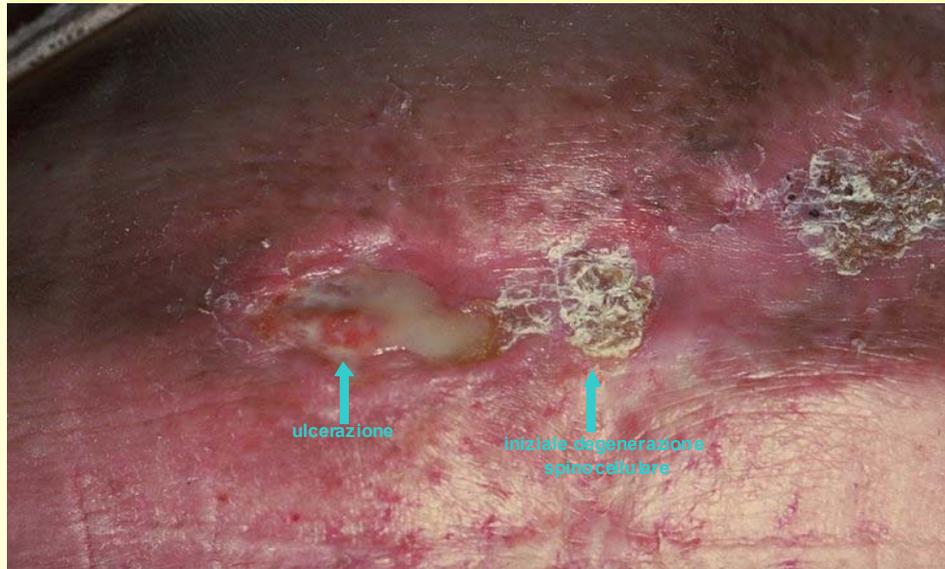
La sintomatologia riguarda la cute con un quadro di

radiodermite cronica con atrofia cutanea, distrofia ungueale e discheratosi, ulcerazioni e frequente sviluppo di epitelomi

Radiodermite cronica palmare da contatti ripetuti con isotopi gammaemittenti in laboratorio



RADIODERMITE CRONICA CON ULCERAZIONE E INIZIALE DEGENERAZIONE SPINOCELLULARE



Radiazioni ionizzanti: Sindromi cliniche da irradiazione interna

Avviene per errore o incidente attraverso la via digerente, e respiratoria (radionuclidi gassosi come il radon nei minatori).

La distribuzione è condizionata dalla affinità metabolica:

radio → tessuto osseo, iodio → tiroide, cesio → muscoli

Danni somatici tardivi generali

Leucemie negli esposti in genere
Carcinomi polmonari (minatori esposti al radon)
Osteosarcomi del mascellare (addetti alla verniciatura di quadranti fosforescenti)
Precoce e rapida senescenza, processi sclerotico degenerativi polidistrettuali

Danni somatici localizzati

Cataratta

Danni tardivi di carattere genetico

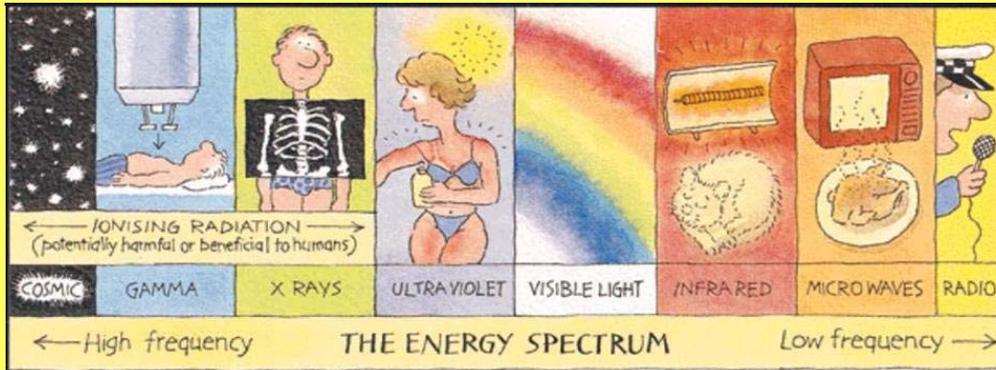
Mutazioni nel DNA delle cellule germinali con possibili difetti genetici nella progenie

RADIAZIONI NON IONIZZANTI (NIR:non ionizing radiation)

Trasferiscono energia al corpo che attraversano in quantitativi non sufficienti a indurre ionizzazione

(onde radio, radiofrequenze, microonde, infrarosso, visibile, ultravioletto)

L'esposizione al rischio più elevato per i lavoratori si riscontra nell'incollaggio rapido del legno, stampaggio plastica, saldatura e fusione metalli



Effetti biologici a lungo termine delle NIR

Per quanto riguarda gli effetti biologici a lungo termine dell'esposizione a campi di radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, occorre operare una distinzione tra

campi a frequenze estremamente basse (ELF)

(in particolare le frequenze di 50-60 Hz utilizzate per la **rete elettrica**)

e l'insieme delle RF e MW (comprese tra 100 kHz e 300 GHz)

telecomunicazioni (televisione, radio FM) **telefoni cellulari** (900 – 1800 MHz)

industria (incollaggio rapido del legno, stampaggio plastica, saldatura e fusione metalli)

medicina (radarterapia)

Effetti biologici a lungo termine delle NIR

I campi da 0 Hz a 1 MHz non producono alcun riscaldamento significativo.

I campi e.m. tra 1 MHz e 10 GHz penetrano nei tessuti e producono riscaldamento a causa dell'assorbimento di energia, innalzando la temperatura in tali tessuti.

L'assorbimento di energia dei campi RF nei tessuti viene misurato come tasso di assorbimento specifico (SAR) all'interno della massa di tessuto. L'unità di misura del SAR è il W/kg

I campi e.m. con frequenza tra 10 e 300 GHz vengono pressoché totalmente assorbiti presso la superficie cutanea e l'energia che penetra nei tessuti sottostanti è molto ridotta.

Effetti biologici a lungo termine delle NIR

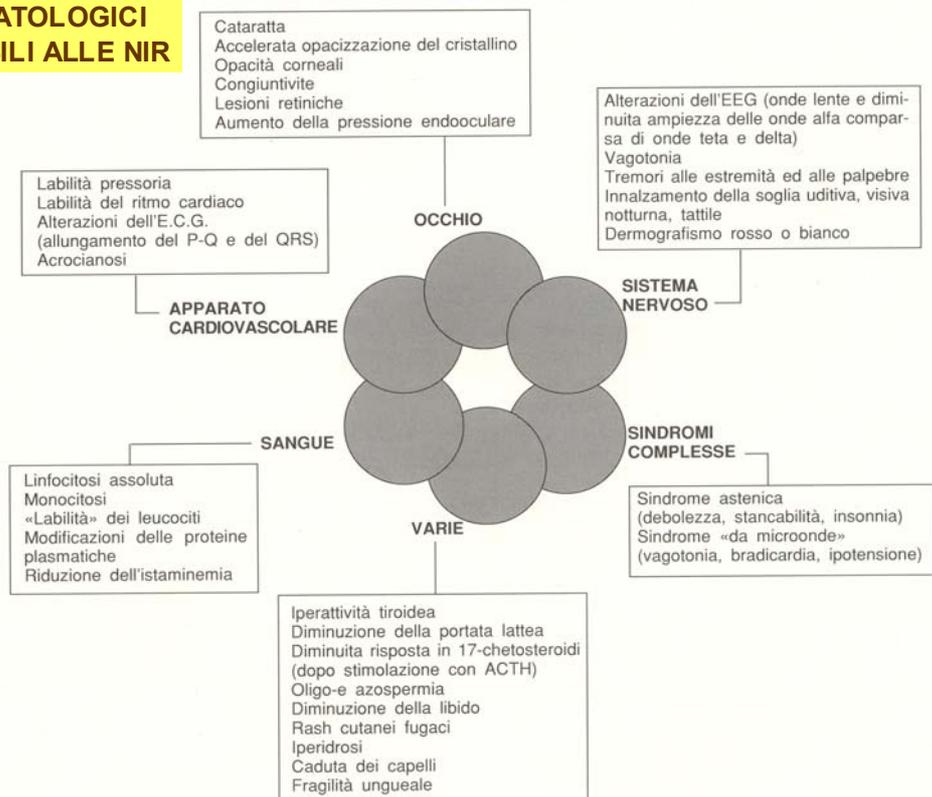
Gli effetti biologici vengono comunemente suddivisi in: effetti termici o deterministici ed effetti non termici o stocastici.

Gli effetti termici sono dovuti ad innalzamento della temperatura all'interno dell'organo.

Gli organi più colpiti sono il cristallino (non vascolarizzato) con la cataratta ed i testicoli (sensibilità elevata al calore) con l'oligo e azo-spermia.

Gli effetti non termici sono costituiti da alterazioni biologiche che possono determinarsi in assenza di effetti termici apprezzabili carico del sistema emopoietico, cardiovascolare, nervoso centrale e vegetativo.

EFFETTI PATOLOGICI ATTRIBUIBILI ALLE NIR



Studi epidemiologici su esposizione a campi e.m. ELF (effetti non termici)

Sulla base degli studi epidemiologici dagli anni '70 la **IARC** (Monografia n. 80 del 2002) ha concluso:

In relazione alla **leucemia infantile** vi è una **limitata evidenza di cancerogenicità** nell'uomo riferibile a campi magnetici ELF

In relazione a **tutte le altre forme di cancro**, vi è **inadeguata evidenza di cancerogenicità** nell'uomo riferibile a campi magnetici ELF

I **campi magnetici ELF** vengono pertanto classificati "**possibili cancerogeni**" per l'uomo (**Gruppo IARC 2B**)

**Studi epidemiologici su campi e.m. a RF e MW
(effetti non termici)**

Nessun importante studio epidemiologico **supporta** l'ipotesi di aumento di incidenza di tumori cerebrali in relazione all'uso di telefoni cellulari (Muscat 2000, Inskip 2001).

L'OMS afferma che non vi è alcuna evidenza convincente che l'esposizione a campi e.m. a RF abbrevi la durata della vita umana ovvero induca o favorisca il cancro.