



CORSO DI LAUREA IN TECNICHE DELLA PREVENZIONE NELL'AMBIENTE E NEI LUOGHI DI LAVORO

MEDICINA E IGIENE **DEL LAVORO**,
MEDICINA LEGALE

Lez. 13 novembre 2023

Dott.ssa Manuela Campisi

RtdA Medicina del Lavoro



manuela.campisi@unipd.it



049 8216640



Rischio fisico

L'art. 180 del D Lgs 81/08 definisce come agenti fisici il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche di origine artificiale, il microclima e le atmosfere iperbariche, **che possono comportare rischi per la salute dei lavoratori**

- **Rumore**

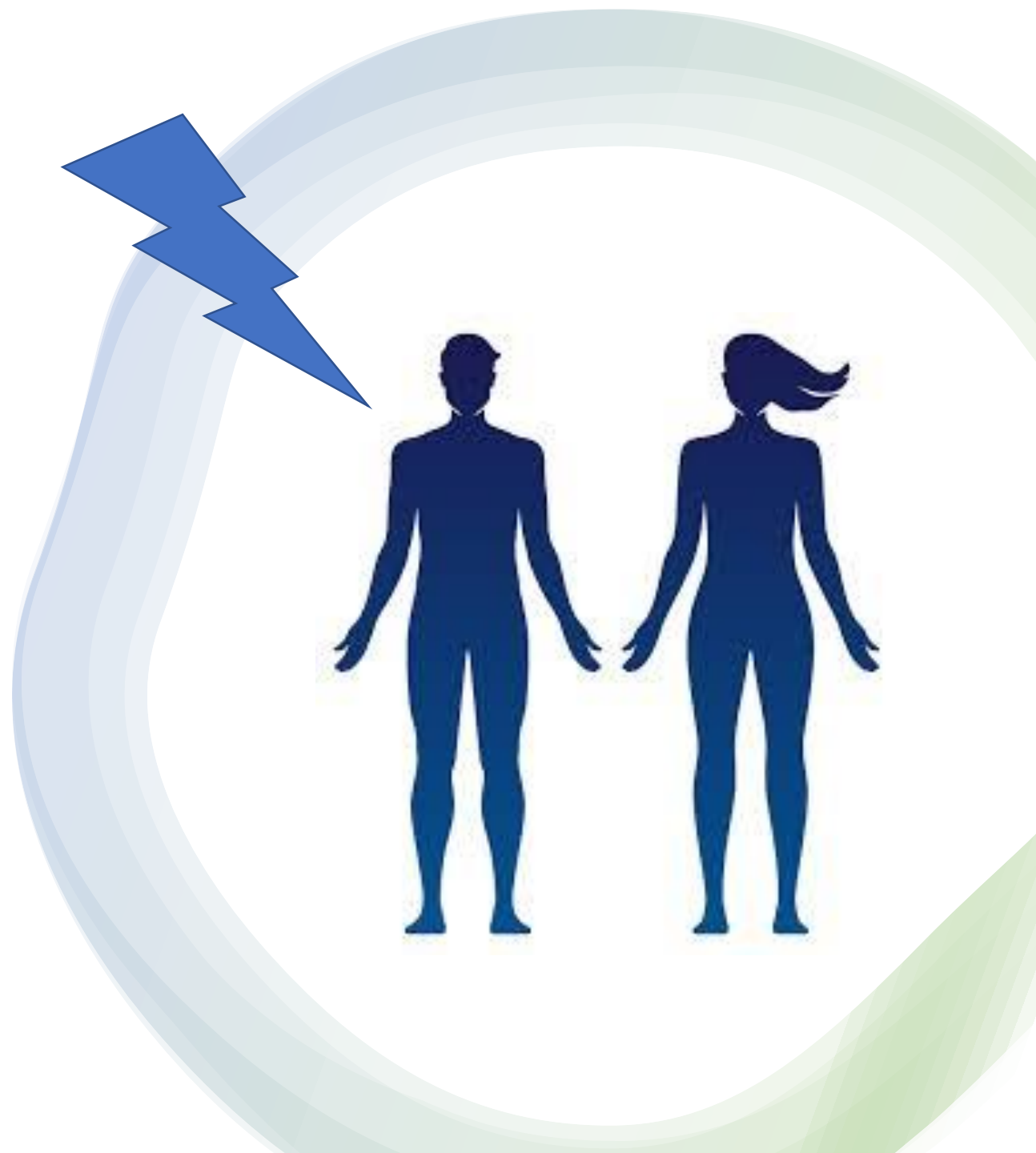
- **Vibrazioni**

- **Radiazioni ionizzanti
e
non ionizzanti**

- **Microclima e
atmosfere compresse**

Gli *agenti fisici* agiscono cedendo energia all'organismo, talora in quantità sufficiente da provocare *danni anatomici o funzionali*, localizzati o diffusi (interessa tutto il corpo o parti di esso per applicazione localizzata o specificità d'organo o maggiore sensibilità all'agente), temporanei o permanenti, immediati o irradiati nel tempo, deterministici (correlati alla dose) o su base stocastica (frequenza dell'effetto correlata alla dose, ma non alla sua gravità).

- *Energia meccanica (rumore, ultrasuoni, vibrazione e pressione)*
- *Energia termica o elettrica*



Rumore

Suono sgradevole (stridente, troppo forte, disturbante) derivante dalla disordinata concomitanza di suoni a frequenza diversa; dal punto di vista fisico si tratta di un'onda irregolare mancante di un preciso carattere di periodicità.

Uno dei problemi più importanti tra quelli compresi nell'Igiene del lavoro



Continua meccanizzazione della produzione, l'introduzione di processi tecnologici continui ha portato al moltiplicarsi delle fonti di rumore ed un aumento della percentuale di lavoratori esposti a questo fattore di rischio.



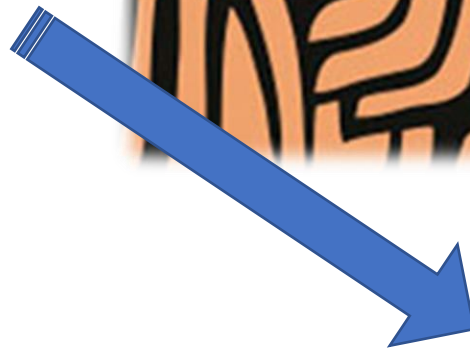
Rumore

Fattore di rischio professionale di tipo fisico, potenzialmente in grado di provocare effetti dannosi



Effetti sulla Salute

- effetti uditivi
- effetti extra-uditivi su altri organi



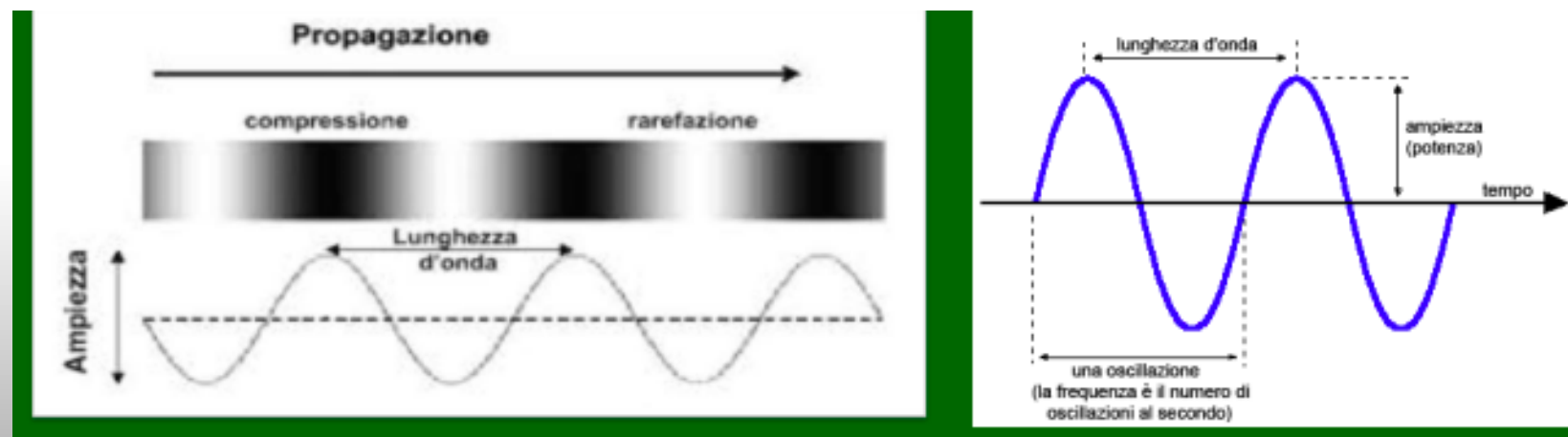
Effetti sulla Sicurezza

Può disturbare le comunicazioni verbali e la percezione dei segnali acustici di sicurezza, con aumento di probabilità di infortuni sul lavoro

Cenni di fisica

Rumore

Onda meccanica dovuta all'oscillazione di compressione e rarefazione dell'aria generata da un corpo vibrante trasmessa ad un mezzo elastico (gas, liquido, solido) secondo un fronte d'urto atmosferico che è in grado di eccitare il senso dell'udito.



Grandezze fisiche che caratterizzano il rumore

Frequenza (ν): numero di oscillazioni o vibrazioni complete nell'unità di tempo (1 s). Unità di misura: hertz (Hz).

→ È responsabile delle tonalità del suono, acuto o grave (frequenza alta o bassa). L'orecchio umano è in grado di percepire suoni con frequenza compresi tra 20 e 20000 Hz.

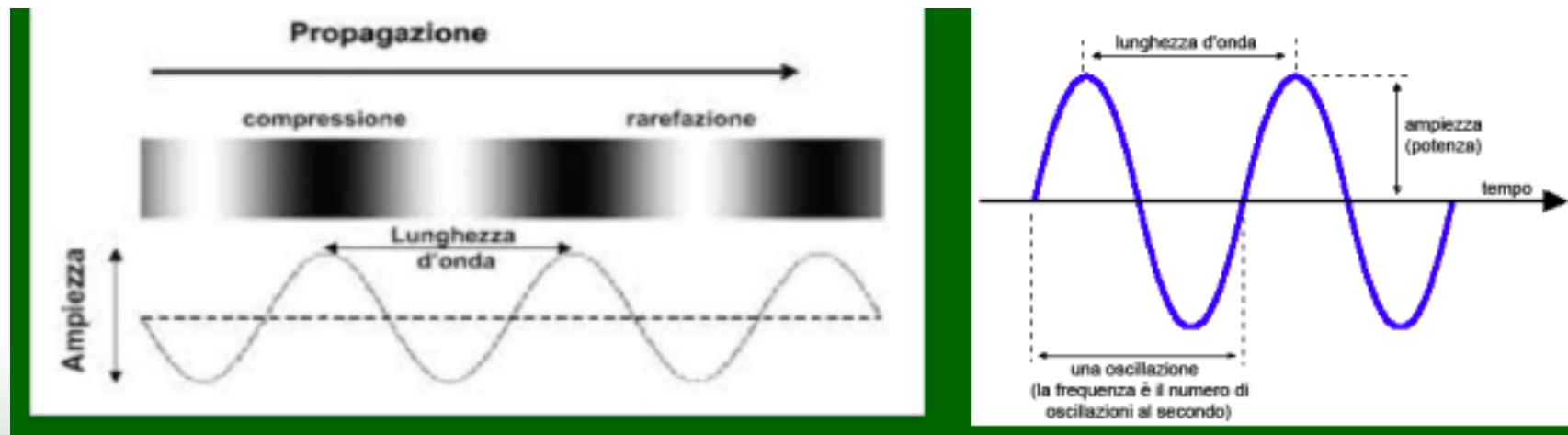
Periodo (T): tempo impiegato per un'oscillazione completa → correlato alla frequenza dall'equazione $T=1/\nu$

Lunghezza d'onda (λ): intervallo tra 2 punte massime di due onde successive, viene espressa in metri; è inversamente proporzionale alla frequenza ($\lambda=1/\nu$) → tanto maggiore è λ tanto minore sarà ν

Velocità di propagazione del suono: dipende dal mezzo elastico → all'aumentare della densità del mezzo, aumenta la velocità di propagazione



Cenni di fisica



Ampiezza (A): massima oscillazione dell'onda. Può essere valutata come **intensità** (Watt/cm^2) o come **pressione** (Pascal). Poiché si avrebbe a che fare con una gamma di valori molto piccoli, si utilizza una trasformazione logaritmica → alla soglia del dolore la pressione è 10^7 > di quella della soglia di udibilità

*Livello sonoro (L) o l'Intensità di un suono viene misurato in **dB.***

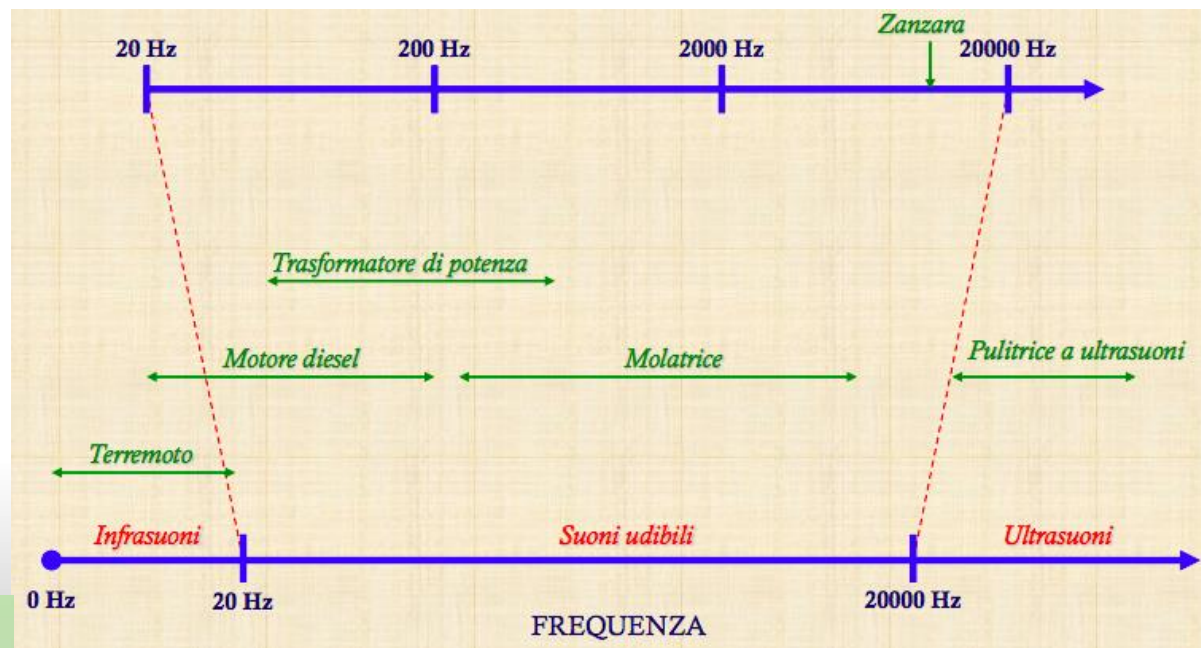
forza o pressione esercitata sul nostro apparato uditivo, ed è descritta in termini di volume. La scala dei decibel non è lineare, e si ricorre ai logaritmi:

$$L(\text{dB}) = 10 \log (I/I_0) \text{ o } L(\text{dB}) = 20 \log (P/P_0)$$

- I=intensità del suono in esame
- I_0 =minima intensità sonora percepibile a 1000 Hz
- P=pressione sonora misurata
- P_0 =minima pressione sonora percepibile a 1000 Hz

Il suono/rumore viene percepito dall'orecchio in termini..

di **frequenza** di vibrazione dell'onda misurata in **Hz**.

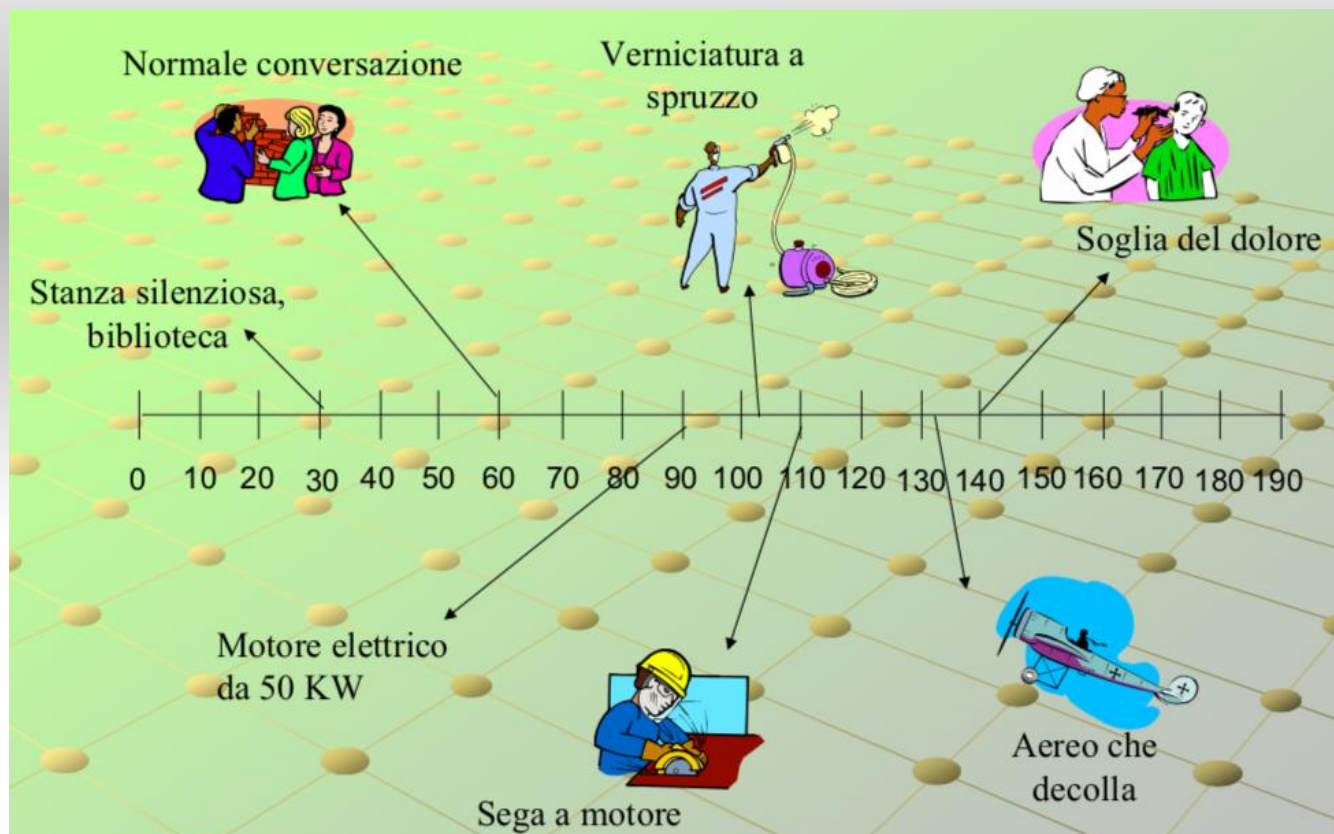


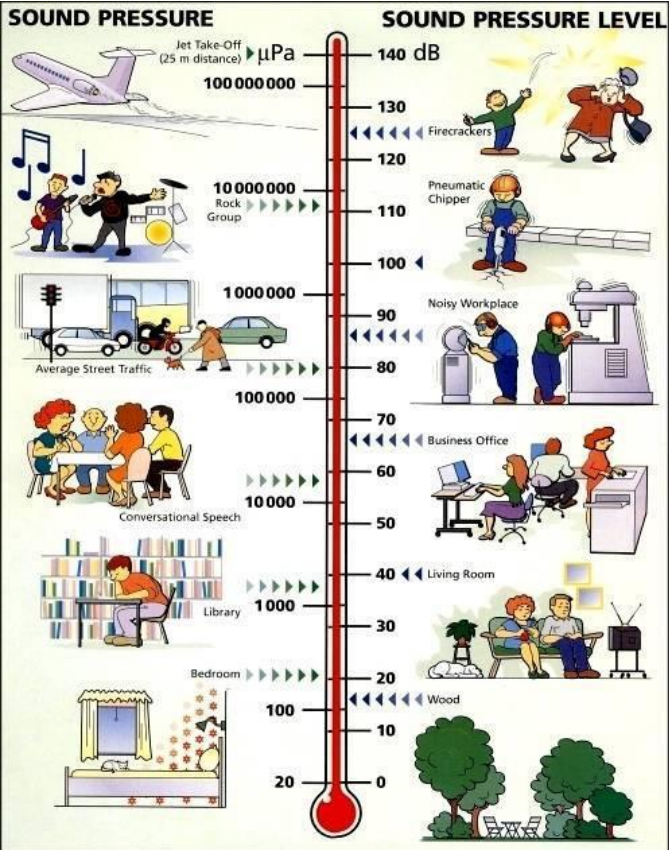
Le frequenze che siamo in grado di percepire vanno dai 20 Hz fino ai 20.000 Hz



di **intensità** misurata in **dB**

Il range dell'udibile nell'uomo va da 0 dB a 140 dB soglia di dolore





Attenzione...

dB → forza o pressione esercitata sul nostro apparato uditivo, descritta in termini di volume.

La scala dei decibel *non è lineare*, per cui non si possono sommare i livelli sonori in modo aritmetico ma si ricorre ai logaritmi.

Su scala logaritmica il raddoppio dell'intensità del suono si traduce in un incremento di 3 dB

Es.

Il livello sonoro complessivo di due sorgenti con livelli sonori uguali è di soli 3 dB superiore ad uno dei due livelli sonori

$$80 \text{ dB} + 80 \text{ dB} = 83 \text{ dB}$$

Se si aggiungono altre due sorgenti che producono entrambe una rumorosità di 80 dB si avranno 86 dB

L'intensità sonora decresce con il quadrato della distanza. La distanza dalla sorgente attenua l'intensità acustica.

Classificazione del rumore

Continuo

costante nel tempo con variazioni di intensità inferiori a 3 dB

Fluttuante

aumenta e si riduce con variazioni maggiori di 3 dB

Intermittente

interrotto da momenti di quiete > 1 secondo, e può essere da impatto o esplosivo

Impulsivo

caratterizzato da variazioni del livello di fondo ad un livello sonoro in meno di 1 secondo (percussioni isolate, presse, ecc)

Valutazione dell'esposizione al rumore

Livello equivalente (Leq): valore energetico medio, cioè l'integrale nel tempo (8h lavorative) dell'energia sonora presente in un certo ambiente. Ovvero *il valore in dB dell'energia sonora media presente nell'ambiente di lavoro per 8 ore.*



Esposizione professionale

≠

dal rumore esistente in un ambiente di ambiente di lavoro in quanto *dipende anche dal tempo di esposizione ed è valutato come LEPd (livello di esposizione personale quotidiano).*

Leq 90 dB con esposizione lavorativa 8 h



LEPd 90 dB → l'esposizione del lavoratore sarà identica al rumore presente in azienda/ attività lavorativa

Leq 90 dB con esposizione lavorativa 4 h



LEPd 87 dB

Leq 90 dB con esposizione lavorativa 2 h



LEPd 84 dB

Il D Lgs 81/08 fissa tre soglie per $L_{EX,8h}$: **valore inferiore d'azione pari a 80 dB(A), valore superiore d'azione pari a 85 dB(A), e valore limite pari a 87 dB(A).**



RIEPILOGO PRINCIPALI ADEMPIMENTI

Liv.Espo.	Adempimento richiesto	Art. rif.
80 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> -Obbligo di formazione ed informazione per i lavoratori -Controllo sanitario su richiesta del lavoratore -Obbligo di fornire i mezzi di protezione 	189
85 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> -Obbligo di usare i D.P.I -Sorveglianza sanitaria ogni 2 anni 	189
87 dB(A)	<ul style="list-style-type: none"> -Misure adeguate per ridurre l'esposizione -Individuare le cause dell'esposizione eccessiva -Modifica delle misure di protezione 	189



Il livello di esposizione giornaliera al rumore $L_{EX,8h}$ (o $LEPd$) [dB(A)], (equivalente energetico dei livelli a cui il lavoratore viene sottoposto durante la sua giornata lavorativa, normalizzato ad una giornata lavorativa standard di 8 ore) è il **principale descrittore del rischio da esposizione al rumore definito dal D.Lgs. 81/08.**

È vietato superare il valore limite, mentre i valori d'azione rappresentano soglie di riferimento che obbligano il datore di lavoro a determinati adempimenti per la riduzione e il controllo dell'esposizione.



Sorveglianza sanitaria..



- ❖ Lo stato di salute dei lavoratori deve essere accertato dal MC a cura e spese del DL.
- ❖ Il MC per ogni lavoratore, esprime un giudizio di idoneità specifica alla mansione, ed istituisce ed aggiorna una cartella sanitaria.
- ❖ I lavoratori, la cui esposizione quotidiana al rumore personale supera gli 85 dB(A) indipendentemente dall'uso dei DPI devono essere obbligatoriamente sottoposti ad un idoneo controllo sanitario comprendente:
 - visita preventiva, con esame della funzione uditiva, per valutare controindicazioni alla specifica mansione al fine della valutazione dell'idoneità;
 - Visita periodica, con esame della funzione uditiva, per valutare il mantenimento dello stato di salute, e conseguente giudizio di idoneità alla mansione.
 - I risultati devono essere portati a conoscenza dei lavoratori interessati.

Obblighi comportamentali



DL

Oltre a quelli di ordine generale mirati all'abbattimento del rumore negli ambienti di lavoro deve:

1. informare i lavoratori sui risultati dell'indagine fonometrica;
2. fornire ai lavoratori interessati i necessari D.P.I., integrati da una idonea formazione;
3. esigere l'osservanza delle disposizioni in materia di protezione.

Lavoratori

I lavoratori per la loro salvaguardia devono:

1. osservare tutte le disposizioni impartite dal DL
2. utilizzare con cura i DPI messi a disposizione, non manomettere ciò che può compromettere la sicurezza;
3. evitare di sostare in aree rumorose se non strettamente necessario.

Cenni di anatomia e fisiologia dell'apparato uditivo

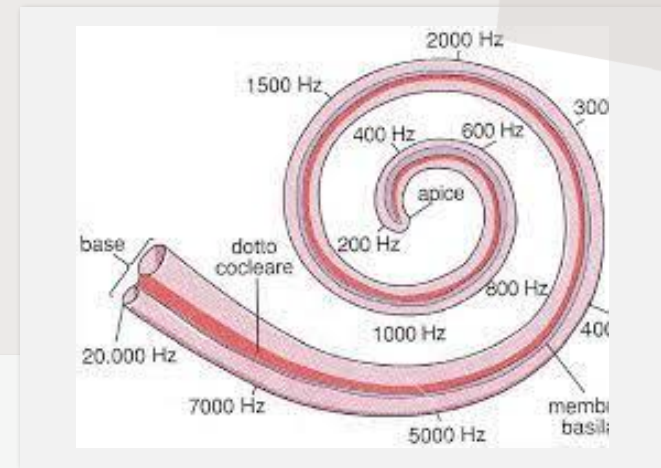
L'apparato uditivo trasforma l'energia meccanica delle onde sonore in, segnali elettrici che, attraverso il nervo acustico, vengono veicolati al cervello dove danno luogo alla sensazione sonora

orecchio esterno: padiglione auricolare e condotto uditivo esterno che veicolano i suoni fino all'orecchio medio .

Le onde sonore vengono captate dal padiglione auricolare e inviate, attraverso il canale auricolare, alla membrana timpanica dell'orecchio medio, facendola vibrare. Le vibrazioni della membrana del timpano vengono trasmesse all'orecchio medio.

orecchio medio: membrana timpanica e tre delicati ossicini: martello, incudine e staffa.

Le vibrazioni della membrana del timpano vengono trasmesse all'orecchio interno tramite questi tre ossicini, i quali concentrano tutta l'energia sonora sulla finestra ovale (diminuiscono l'intensità del suono. La riduzione di intensità è necessaria poiché le parti dell'orecchio diventano più delicate man mano che si va verso l'interno).



L'orecchio umano è formato da tre parti principali:



Cenni di anatomia e fisiologia dell'apparato uditivo

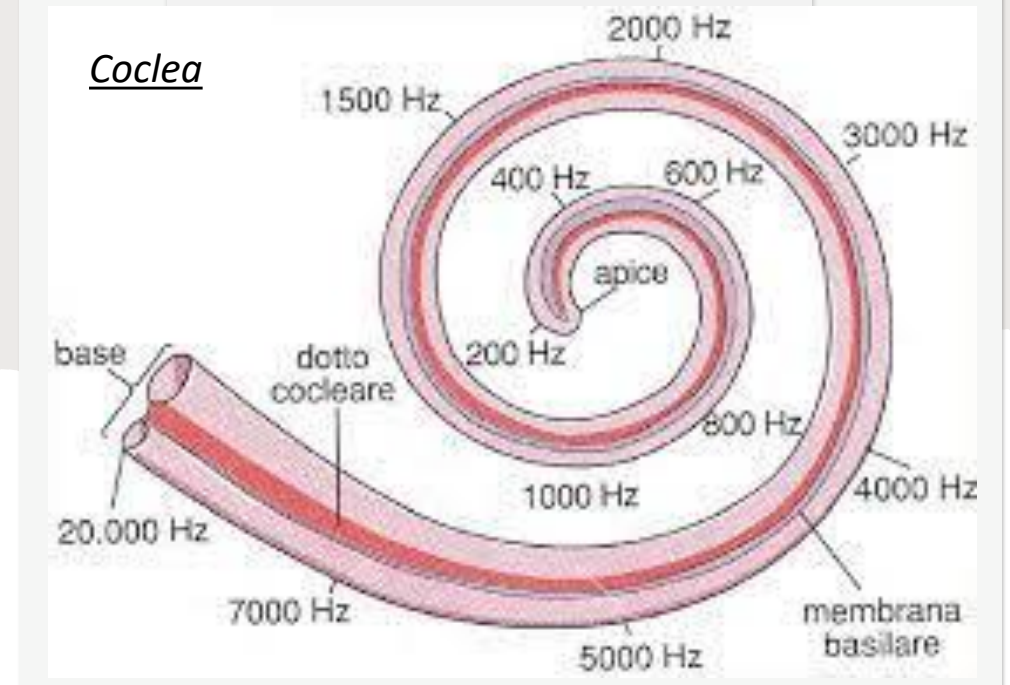
orecchio interno: vestibolo (organo dell'equilibrio) e la coclea o organo dell'udito (da un canale semicircolare e dalla coclea che contiene migliaia di cellule ciliate).

La **coclea** è una struttura ossea a forma di chiocciolina, ripiena di perilinfa, che ospita circa 150000 cellule ciliate in grado di trasformare l'energia vibrante in impulso nervoso, poi raccolto dalle fibre del nervo acustico e trasportato alla corteccia temporale dove si genera la sensazione uditiva.

Le vibrazioni ricevute dalla catena di ossicini provocano una pressione sul liquido contenuto nella coclea che, agendo sulle cellule, stimola il nervo acustico.

Il nervo acustico trasmette gli impulsi nervosi al cervello che, elaborandoli, permette così di udire i suoni.

Le cellule acustiche situate alla base della coclea sono in grado di percepire le frequenze più alte, quelle verso l'apice le più basse.



Effetti del rumore sulla salute

Patologie correlate

Il danno da rumore meglio conosciuto è quello a carico dell'udito

L'esposizione a *rumori intensi* e di *lunga durata* provoca alterazioni della struttura dell'orecchio fino alla distruzione delle cellule ciliate in maniera lenta ma irreversibile, per cui *l'orecchio non è più in grado di trasformare le onde sonore in impulsi nervosi e di conseguenza si perde la capacità di udire*

IPOACUSIA

deficit più o meno marcato della
funzione uditiva



Trasmissiva: quando il tracciato audiometrico per via ossea è su valori normali, mentre quello per via aerea indica perdita di udito;

Percettiva o neurosensoriale: i tracciati della via aerea e ossea indicano valori patologici e sono sovrapponibili;

Mista: la soglia per via aerea è peggiore di quella per via ossea, ma anche questa è su valori patologici.

Dopo i 40 anni si verifica una riduzione dell'udito (presbiacusia) maggiore per gli 8000 Hz che per i 6000 e i 4000 Hz.



Il rumore è causa di danno (*ipoacusia*) e comporta la malattia professionale statisticamente più significativa.

L'azione lesiva di un rumore dipende dalla frequenza del suono (le frequenze alte sono più lesive di quelle basse), dall'intensità sonora (dB), dal tempo di esposizione, dal tipo di rumore (quello impulsivo è più pericoloso), dalla suscettibilità individuale.

Il rischio di IPOACUSIA insorge in seguito ad una *esposizione prolungata a livello di rumore pari o superiore a 80 dB per 8 ore giornaliere*.

Il danno provocato dal rumore a carico dell'apparato uditivo può essere di tipo acuto quando si realizza in un tempo breve a seguito di una stimolazione particolarmente intensa (scoppio, esplosione ecc.) e di tipo cronico quando evolve nel corso degli anni a seguito di un'esposizione prolungata ad elevati livelli di rumore.

Quali sono le possibili conseguenze di un'esposizione eccessiva a rumore..?

Spostamento temporaneo della soglia uditiva (STS) o fatica uditiva → innalzamento della soglia uditiva rispetto a quella a riposo, seguita da recupero della percezione uditiva dopo 16 h dalla cessata esposizione. *Condizione reversibile, si manifesta con acufeni e sensazione di «cotone alle orecchie».*



Ipoacusia da trauma acustico cronico → provocata da *esposizione professionale prolungata a livelli superiori a 85 dB per 8 h al giorno per 5 gg lavorativi a settimana*. Sede del danno: organo del Corti, dove rumori a bassa frequenza determinano lesioni delle cellule acustiche apicali, mentre quelle ad alta frequenza colpiscono le basali. Sintomatologia soggettiva e tipica alterazione del tracciato audiometrico, in cui è possibile distinguere 4 fasi del danno

I stadio

Comparsa di acufeni, sensazione di orecchio pieno, cefalea e senso di intontimento alla fine del turno di lavoro per circa 2-3 settimane → esame audiometrico può non mostrare modificazione o presentare innalzamento temporaneo della soglia uditiva a fine lavoro >25dB (30 -40 dB) sui 4000Hz, reversibile con allontanamento dalla lavorazione a rischio, e recupero sugli 8000 Hz.

II stadio

Assenza di sintomi, ad eccezione di qualche acufene → esame audiometrico evidenzia innalzamento permanente della soglia uditiva >25 dB sui 4000Hz, irreversibile con recupero sugli 8000Hz.

III stadio

Difficoltà a sentire ticchettio dell'orologio e necessità di alzare il volume del televisore → Il deficit audiometrico sui 4000 Hz è più importante (45-60 dB) con interessamento de 2000 Hz e a volte degli 8000 Hz.

IV stadio

Sordità da rumore che, perdurando l'esposizione a rumore sopraggiunge a distanza di anni dal precedente. Il lavoratore ha difficoltà a udire la voce dell'interlocutore e percepisce i suoni in maniera distorta. → l'esame audiometrico evidenzia innalzamento permanente della soglia uditiva.

Il deficit da trauma cronico è di tipo percettivo, bilaterale, quasi sempre simmetrico, irreversibile non progressivo, con presenza del fenomeno del recruitment.



Ipoacusia da trauma acustico acuto → causata da rumore improvviso di elevata intensità (es. scoppio) che causa quasi sempre una lesione monolaterale per l'orecchio rivolto verso l'evento lesivo. Il soggetto avverte violento dolore, ipoacusia con acufeni, vertigini ed otorragia in caso di rottura della membrana timpanica.

Nel caso di pressione sonora meno intensa, la membrana timpanica rimarrà integra e l'onda sonora sarà trasmessa all'orecchio interno con danni degenerativo per le cellule del Corti → Deficit percettivo misto, che interessa per lo più le alte frequenze, monolaterale, in parte reversibile (la membrana timpanica si può rimarginare), con presenza di recruitment.

La guarigione completa è possibile solo per traumi di modesta entità;
frequentemente residuano danni permanenti per le alte frequenze.

Effetti extra-uditivi su altri organi

Effetti del rumore su organi e apparati controllati dal Sistema nervoso autonomo e differiscono a seconda che la stimolazione sia prodotta da rumore intenso e improvviso o da rumore intenso, ma prolungato nel tempo.

Rientrano nella cosiddetta «**Sindrome generale di adattamento**»: incremento di vigilanza, attivazione del sistema nervoso simpatico e attivazione dell'asse ipotalamo ipofisi-surrene

Rumore di elevata intensità può determinare:

❖ **Risposta neurovegetativa rapida a uno stimolo sonoro intenso, di breve durata ed inaspettato**

→ aumento della frequenza cardiaca, respiratoria, pressione arteriosa, vasocostrizione periferica, vasodilatazione del circolo cerebrale, sudorazione, contrazione della muscolatura scheletrica, secrezione di adrenalina e noradrenalina, per consentire all'organismo di porre in atto la reazione di difesa (d'allarme)

❖ **Risposta neurovegetativa lenta, segue la fase di allarme ed è proporzionale all'intensità dello stimolo**

→ incremento del tono vasale con ipertensione arteriosa, aumento della secrezione gastrica e motilità intestinale, effetti neuropsichici determinati da prolungata eccitazione della sostanza reticolare con aumentata vigilanza, insonnia, ansia, irritabilità.

Gli effetti extra-uditivi del rumore si manifestano per livelli sonori >70 dB, ma la loro aspecificità rende difficile un inquadramento eziopatologico.




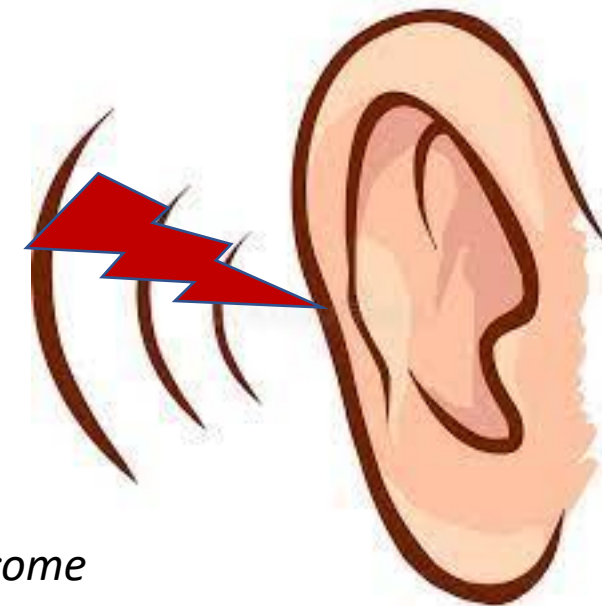
Effetti sulla Sicurezza

Aumento di probabilità di infortuni sul lavoro poiché:

- Rende meno udibili e comprensibili comunicazioni verbali segnali acustici di sicurezza
- Può coprire il suono di pericoli in avvicinamento o segnali di allarme
- Distrae i lavoratori
- Contribuisce a innalzare lo stress sul lavoro, che aumenta il carico cognitivo e la probabilità di errori

Agenti ototossici

Il rumore è il fattore professionale più nocivo per l'udito, tuttavia esistono *agenti in grado di potenziare l'effetto del rumore* o di causare direttamente sordità.



Sostanze di origine professionale (*solventi aromatici o clorurati, asfissianti come monossido di carbonio e acido cianitrico, metalli come piombo, mercurio e manganese*)
Sostanze extra-professionali (antibiotici (aminoglicosidi), FANS, antineoplastici)

Studi hanno dimostrato l'ototossicità di composti organici volatili usati come solventi (toluene, xileni, etilbenzene, n-esano) e lo stirene (per fabbricazione resine).

Si ritiene che il loro effetto agisca in sinergia con quello del rumore.

Prevenzione e Protezione

Prevenzione Primaria allo scopo di ridurre l'esposizione al rumore attraverso interventi tecnici sui macchinari (razionale collocazione macchine, insonorizzazione reparti rumorosi, ..) per ridurre l'emissione sonora, ma anche riduzione del tempo di esposizione, ma anche utilizzo di DPI (inserti auricolari in plastica, gomma, resina o silicone oppure cuffie).

Prevenzione Secondaria

Sorveglianza sanitaria comprensiva di visita medica e integrata con esame audiometrico.

È ritenuto adeguato sottoporre a controllo audiometrico i lavoratori esposti al solo agente chimico (toluene, xilene, stirene, etilbenzene, piombo, mercurio, manganese, monossido di carbonio) per livelli di esposizione > 50% del valore limite di esposizione.

Livello di esposizione giornaliera (per 8 ore) e rispettive misure di tutela

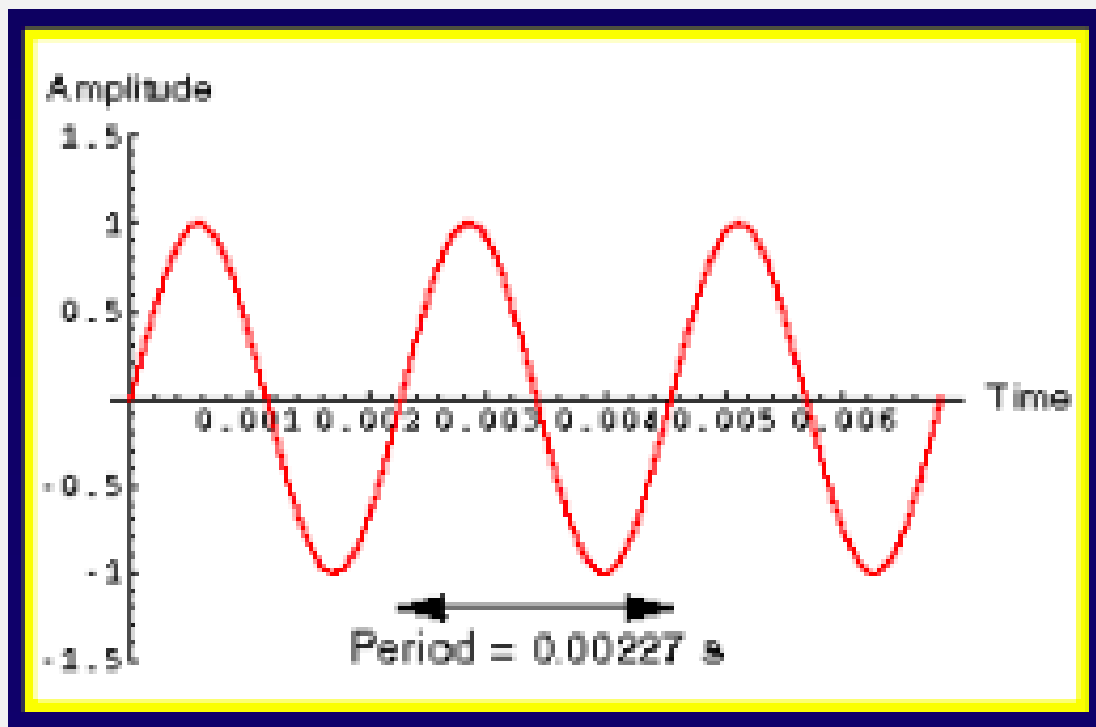
Lex_{8h}	Misure di tutela
$80 \leq \text{dB (A)} < 85$	Informazione e formazione dei lavoratori controlli sanitari e fornitura di DPI a richiesta
$85 \leq \text{dB (A)} < 87$	Obbligo di Sorveglianza Sanitaria e uso di DPI, segnalazione e perimetrazione della zona
$\text{dB(A)} \geq 87$	Obbligo di applicare misure immediate al fine di ridurre il livello di esposizione



Vibrazioni meccaniche

Prodotte dal ripetitivo movimento oscillatorio di un corpo solido attorno alla sua posizione di riferimento, generato da onde di pressione che si trasmettono attraverso corpi solidi (materia).

Tale movimento può essere raffigurabile come una curva sinusoidale, le cui caratteristiche sono date da:



Grandezze fisiche che caratterizzano le vibrazioni

Oscillazione: movimento che un punto mobile compie per tornare alla posizione di partenza.

Periodo: tempo che il punto mobile impiega per coprire la distanza da un estremo all'altro e ritornare all'estremo iniziale.

Frequenza: numero di oscillazioni nell'unità di tempo misurata in Hertz (Hz)

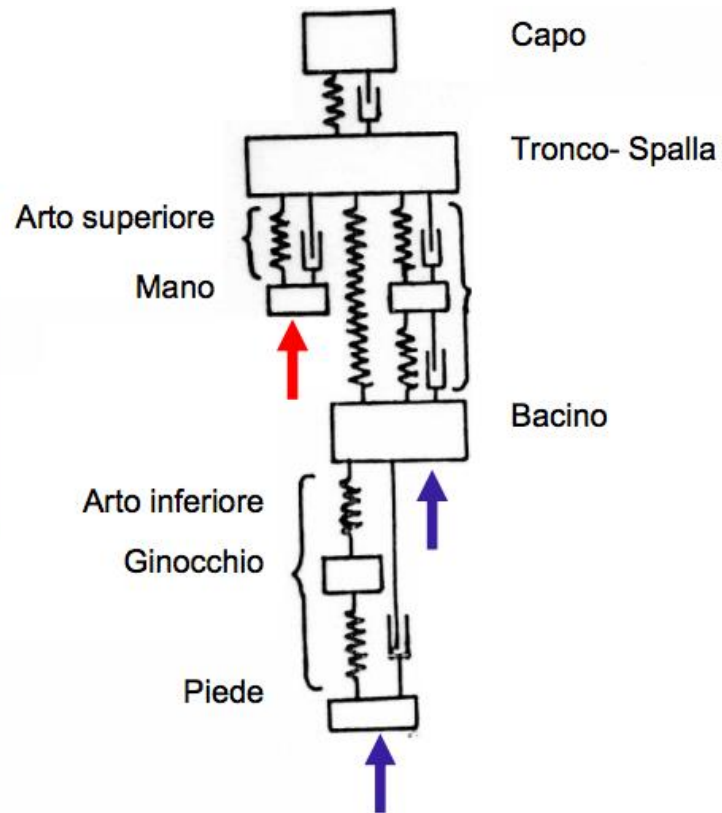
Lunghezza d'onda: distanza tra due massimi o due minimi contigui.

Ampiezza d'onda: altezza massima dell'onda

Velocità (cm/sec)

Accelerazione (m/sec²) → importante per la valutazione della risposta corporea

Il nostro corpo può essere considerato come un insieme di masse (muscoli e ossa), collegate tra loro da strutture elastiche e dissipative (articolazioni), le quali tendono ad assorbire l'energia vibratoria.



Parametri per la valutazione degli effetti della vibrazione sull'uomo

- entità vettoriale (grandezza e direzione rispetto a un asse anatomico: X –schiena,petto – Y – fianco destro e sinistro– Z- direzione piedi testa)
- la frequenza (Hz)
- accelerazione (m/sec^2)
- durata e modalità di esposizione (se continua o intermittente)
- area di contatto con la vibrazione
- forza di contatto
- la risonanza e/o frequenza naturale dei tessuti con i quali la vibrazione entra in contatto
- fattori ergonomici
- fattori ambientali

Direzione

Le vibrazioni possono attraversare il corpo con direzioni diverse rispetto all'asse anatomico:

Vibrazioni verticali → smorzate da arti inferiori;

Vibrazioni orizzontali → entrano prevalentemente attraverso le mani e vengono smorzate dalle mani stesse, dai gomiti e dalle spalle.

Effetti sull'uomo in base a tre principali bande di frequenza

- ❖ **≤ 2 Hz : Vibrazioni a bassa frequenza** generate da mezzi di trasporto (navi, treni, aerei)
→ *Cinetosi*
- ❖ **2 - 20 Hz : Vibrazioni a media frequenza** generate da macchine e impianti industriali (ruspe, trattori, frantoi, gru), mezzi di trasporto (autobus, metro)
→ *Vibrazioni a livello del corpo intero, soprattutto al rachide dorso-lombare*
- ❖ **> 20 Hz : Vibrazioni ad alta frequenza** generate da un'ampia gamma di dispositivi industriali: strumenti vibranti portatili a percussione (scalpello), a rotazione (perforatore, fresa) e misti (martello pneumatico)
→ *Patologie dell'arto superiore (spalla, braccio, mano) di tipo vascolare, osteo-articolare, neurologico e muscolare.*

Vibrazioni trasmesse al corpo intero



Le vibrazioni trasmesse al corpo umano, a seconda delle parti del corpo coinvolte, si distinguono in



Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio

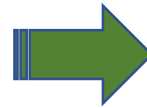


Vibrazioni trasmesse all'intero corpo (Whole Body Vibrations - WBV)

Vibrazioni meccaniche che comportano rischi per la salute e la sicurezza per numerose categorie di lavoratori, a causa di vibrazioni che si presentano sull'asse verticale a basse e medie frequenze (3-10 Hz), con **effetti sul rachide**, per la risonanza che genera un danno ai corpi vertebrali e cartilaginei (disco intervertebrale).

La zona più colpita è quella lombare, seguita poi dalla regione dorsale e cervicale.

A causa dell'intenso stimolo vibratorio ne consegue inoltre un'eccessiva risposta contrattile dei muscoli paravertebrali, con conseguenti **fenomeni di tensione (strain) e affaticamento muscolare.**



Sorgenti di rischio di esposizione a vibrazioni del corpo intero

MACCHINARIO	PRINCIPALI SETTORI DI IMPIEGO
Ruspe, pale meccaniche, escavatori	Edilizia, lapidei, agricoltura, cave, movimentazione portuale etc.
Perforatori	Lapidei, cantieristica
Trattori, Mietitrebbiatrici	Agricoltura
Carrelli elevatori	Cantieristica, movimentazione industriale, portuale etc.
Trattori a ralla	Cantieristica, movimentazione industriale, portuale etc.
Camion, autobus	Trasporti, servizi spedizioni etc.
Motoscafi, gommoni, imbarcazioni	Trasporti, marittimo
Trasporti su rotaia	Trasporti, movimentazione industriale
Elicotteri	Protez.civile, Pubblica sicurezza etc.
Motociclette, ciclomotori	Pubblica sicurezza, servizi postali, servizi spedizioni e consegne etc.
Autogru, gru	Cantieristica, movimentazione industriale, portuale etc.
Piattaforme vibranti	Vibrati in cemento, varie industriali
Autoambulanze	Sanità

Fattori che contribuiscono al danno

- Aumento del livello di vibrazione
- Forza esercitata dall'operatore su macchinario/ utensile
- Periodi di lavoro troppo lunghi
- Condizioni climatiche sfavorevoli (freddo-umido)

+

Fattori
biomeccanci

- Mantenimento posture fisse e prolungate
- Movimentazione manuale dei carichi (> 30 Kg negli uomini, >20 Kg nelle donne)
- Scarsa visibilità che costringe a movimenti di torsione ed estensione del rachide
- Cattive condizioni del sedile
- Guida troppo veloce su fondo stradale dissestato

+

Caratteristiche
individuali

- Età
- BMI
- Abitudine al fumo di tabacco
- Aspetti costituzionali
- Fattori psicosociali
- Pregressi traumatismi alla schiena

Manifestazioni cliniche



Disturbi muscolo-scheletrici

lombalgie e traumi del rachide, discopatie ed ernie discali del tratto lombare

Altre manifestazioni cliniche riguardano..

- ***Sistema venoso periferico***
- ***Sistema cocleo-vestibolare***
- ***Sistema oculo-visivo, per fenomeni di risonanza del bulbo oculare con disturbi dell'accomodazione***
- ***Apparato gastro-enterico, e conseguente aumento dell'attività gastrointestinale***
- ***Apparato urinario, con microematuria, aumento della permeabilità e proteinuria.***



Si tratta di studi sperimentali che presentano diversi fattori di confondimento, per cui la patogenesi non è ancora stata chiarita



Vibrazioni trasmesse sistema mano – braccio (Hand Arm Vibration – HAV)

Art.200 D Lgs 81/08

«vibrazioni meccaniche che se trasmesse al sistema mano-braccio nell'uomo comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, neurologici e muscolo-scheletrici»

Nella *patogenesi* le 2 principali variabili sono ampiezza e frequenza dell'oscillazione



Si distinguono attrezzi a bassa frequenza ed elevata ampiezza (*strumenti a percussione*) ed attrezzature ad elevata frequenza e bassa ampiezza (*strumenti a moto rotatorio*)



Sorgenti di rischio di esposizione a vibrazioni del sistema mano-braccio

TIPOLOGIA DI UTENSILE	PRINCIPALI LAVORAZIONI
Utensili di tipo percussorio	
Scalpellatori e Scrostatori - Martelli rivettatori	Scalpellatura lapidei, sbavatura di fusioni, rimozioni di ruggini e vernici. Rivettatura.
Martelli Perforatori , Demolitori picconatori elettrici, idraulici, pneumatici	Edilizia - lavorazioni lapidei
Trapani a percussione	Metalmeccanica
Avvitatori ad impulso	Metalmeccanica, Autocarrozzerie
Martelli Sabbiatori	Fonderie - metalmeccanica
Cesoie e Roditrici per metalli	Metalmeccanica
Utensili di tipo rotativo	
Levigatrici orbitali e roto-orbitali	Metalmeccanica - Lapidei - Legno
Seghe circolari e segchetti alternativi	Metalmeccanica - Lapidei - Legno
Smerigliatrici Angolari e Assiali	Metalmeccanica - Lapidei - Legno
Smerigliatrici Diritte per lavori leggeri	Metalmeccanica - Lapidei - Legno
Motoseghe	Lavorazioni agricolo-forestali
Decespugliatori	Manutenzione aree verdi
Altri macchinari	
Tagliaerba	Manutenzione aree verdi
Motocoltivatori	Lavorazioni agricolo-forestali
Chiodatrici	Palletts, legno
Compattatori vibro-cemento	Produzione vibrati in cemento
Limatrici rotative ad asse flessibile	Metalmeccanica - Lapidei: Sbavatura - finitura
Manubri di motociclette e motocicli	Trasporti, Pubblica sicurezza
Cubettatrici	Lavorazioni lapidei (porfido)
Ribattitrici	Calzaturifici
Trapani da dentista, seghe per gessi e ossa	Sanità: Odontoiatria, Chirurgia toracica e ortopedica, Anatomia patologica

Fattori che contribuiscono alla patogenesi

- Caratteristiche della vibrazione (frequenza, ampiezza, direzione dominante)
- Ergonomia, peso (< peso, > quantità di energia trasmessa alla mano), stato di manutenzione utensile
- Esposizione in tempo (ore/die), durata (anni/ore totali), intermittenza (lavoro/pause)
- Efficacia dei DPI (guanti)

+

Fattori biodinamici

postura, accoppiamento mano-strumento vibrante,
forza di pressione

+

Fattori ambientali

microclima, rumore, agenti chimici angiotossici

+

Fattori individuali

età, metodo e abilità di lavoro, fumo, farmaci, familiarità,
malattie vascolari preesistenti, traumi

Manifestazioni cliniche

«Sindrome da vibrazioni mano-braccio» Hand-Harm Vibration Syndrome -HAVS

Disturbi di natura neurologica, vascolare e neuro-muscolare



❖ Disturbi neurologici

- *Disturbi neurosensitivi periferici (mano, avambraccio, braccio) con alterazioni della sensibilità tattile e termica*
- *Alterazioni a carico di fibre mieliniche e amieliniche e dei recettori*
- *Iperstimolazione e successiva depressione dell'eccitabilità di meccanocettori cutanei: Slow adapting (dischi di Merkel, terminazioni di Ruffini) e Fast adapting (corpuscoli di Meisner, corpuscoli di Pacini e Golgi), in rapporto a rapidità e modalità di risposta allo stimolo meccanico*

L'esposizione prolungata a livelli elevati di vibrazioni può determinare

- Parestesie, disturbi della sensibilità tattile e termica e delle funzioni sensitivo-motorie con riduzione e perdita della destrezza manuale.

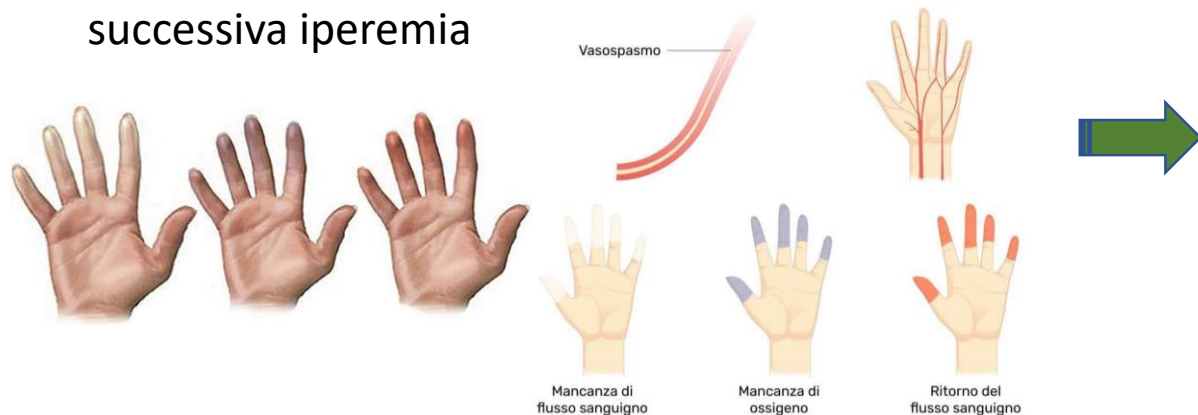
❖ Disturbi vascolari

L'*angiopatia* da strumenti vibranti si manifesta frequentemente nel 50% dei casi dopo almeno 2 anni di esposizione. La vibrazione altera la circolazione digitale, rendendola più sensibile all'azione vasocostrittrice delle basse temperature.

Esordio con segni aspecifici: edema, affaticamento, arrossamento delle dita → **fenomeno del «dito morto»**, con perdita transitoria della sensibilità superficiale e/o delle dita delle mani → **acroparestesie notturne:** sensazione di formicolio, puntura di spillo, scariche elettriche ai polpastrelli delle dita, ridotta sensibilità tattile ai polpastrelli, difficoltà nei movimenti.

Nei soggetti esposti a strumenti vibranti si manifesta

- **Sindrome di Raynaud** (limitata alla fase di pallore digitale)
- (~20%) **Fenomeno di Raynaud** secondario: angioneurosi periferica con improvvisi episodi di pallore digitale ad una o più dita, e cianosi con successiva iperemia



Classificazione sintomatologica del Fenomeno di Raynaud (Stockholm Workshop-1986)

Stadio	Grado	Sintomi
0		non sintomi vasospastici digitali
1	lieve	occasionali episodi di pallore alle estremità di almeno un dito
2	moderato	moderato occasionali episodi di pallore a carico delle falangi distale e intermedia di almeno un dito
3	severo	frequenti episodi di pallore a carico di tutte le falangi della maggior parte delle dita
4	Molto severo	stadio 3 con associati disturbi trofici cutanei delle estremità delle dita

❖ Disturbi muscolo-scheletrici



- **Osteoartropatia:** patologia degenerativa caratterizzata da sovraccarico funzionale da contatto delle mani con l'impugnatura di utensili e macchinari → *Lesioni di tipo necrotico degenerativo a livello osseo-cartilagineo* → Da esposizione a vibrazioni ad elevate ampiezze e bassa frequenza (30-50 Hz).

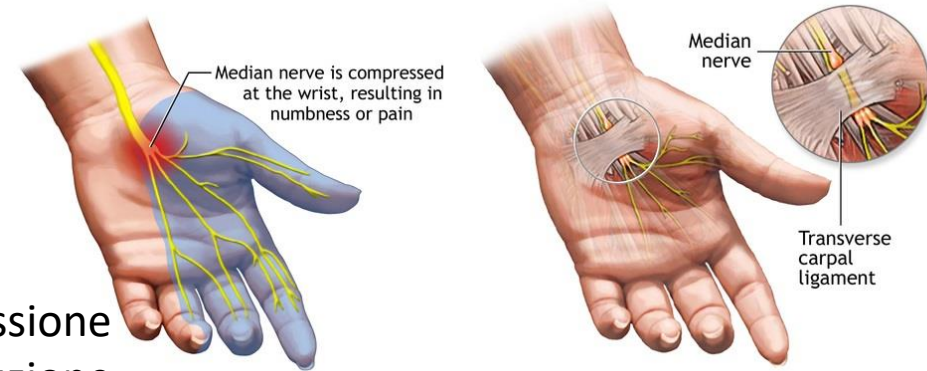
Trauma iterativo con elevata frequenza di alterazioni cronico-degenerative a carico delle articolazioni e degli elementi muscolari, dei tendini e delle relative guaine, con processi infiammatori ischemici e degenerativi che coinvolgono l'arto superiore e la spalla:

- **Tendinopatie infiammatorie e/o degenerative:** tendiniti, tenosinoviti, peritendiniti, tendinosi della spalla, gomito, polso e mano.
- **Sindromi da compressione dei nervi periferici:** s. del tunnel carpale, s. del canale di Guyon, s. del pronatore, s. dello stretto toracico.
- **Osteoartropatie croniche degenerative:** artrosi radio-carpica, rizoartrosi trapezio meta-carpale.
- **Morbo di Dupuytren, dito stretto, cisti tendinee, borsiti.**
- **Malattia di De Quervain,** caratterizzata da infiammazione della guaina che riveste l'estensore breve e l'abducente del pollice → Sintomi principali: dolore al margine del polso, lungo il dorso del pollice e all'avambraccio; rigonfiamento e indurimento della guaina; formicolio al dorso del pollice. Caratteristico segno di Finkelstein: intenso dolore stringendo il pollice all'interno delle altre dita a pugno e contemporaneamente inclinando il polso nella direzione opposta al pollice.
- **Artrosi ed iperostosi del gomito «gomito del tennista»**

Sindromi da compressione dei nervi periferici: s. del tunnel carpale

S. Del tunnel carpale: intrappolamento del nervo mediano, da compressione del canale carpale, demielinizzazione ed alterazioni della conduzione sensitiva e motoria.

Sintomi: parestesie notturne, parestesie anche diurne, dolore, ipoestesia, disturbi motori; disturbi sensibilità, ipotrofia muscolare (tenar).



50% casi di s. tunnel carpale (STC) per cause lavorative

Classificazione disturbi neurosensitivi (Stockolm Workshop 1986)

Stadio	Sintomi
0	Non sintomi in esposto a vibrazioni mano-braccio
1	Torpore intermittente alle dita, con o senza parestesie
2	Torpore intermittente o persistente, ridotta sensibilità tattile, termica e dolorifica
3	Torpore intermittente o persistente, ridotta discriminazione tattile e/o diminuita destrezza manuale (manipolazione fine)

Valutazione dell'esposizione

L'esposizione a vibrazioni è misurata in base a disposizioni presenti nell'Allegato XXXV Parte A – Sistema mano-braccio; Parte B – corpo intero.

Si fa riferimento a linee guida standard internazionali UNI EN ISO 2631 (corpo intero) e ISO 5349 (sistema mano-braccio), aventi come obiettivo il mantenimento dell'efficienza lavorativa e dello stato di salute.

I parametri dell'esposizione a vibrazione sono numerosi, i più importanti dei quali sono *frequenza* (compresa tra 1 e 80 Hz), *l'intensità della vibrazione* lungo la componente assiale dominante ed il *parametro A*, ovvero l'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro e espressa in m/sec^2



Valori limite di esposizione e di azione normalizzati per 8 ore lavorative (parametro A.)

Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio	Vibrazioni trasmesse al corpo intero
Valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un pericolo di riferimento di 8 ore: $5 m/sec^2$ (per periodi brevi è pari a $20 m/sec^2$).	Valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato a un pericolo di riferimento di 8 ore: $1.0 m/sec^2$ (per periodi brevi è pari a $1-5 m/sec^2$).
Valore d'azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore: $2.5 m/s^2$	Valore d'azione giornaliero, normalizzato a un periodo di riferimento di 8 ore: $0.5 m/s^2$



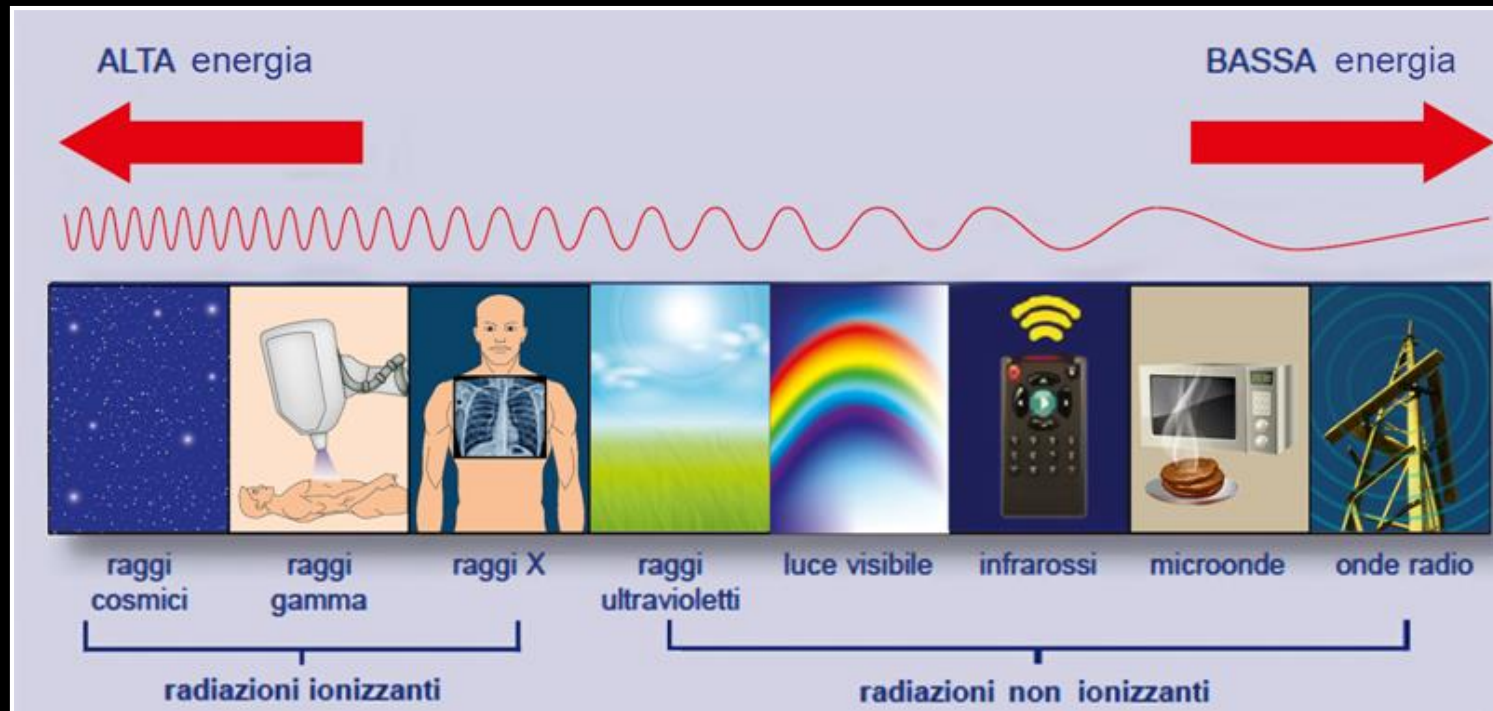
Sorveglianza Sanitaria

È previsto controllo sanitario preventivo e periodico a cadenza annuale per i lavoratori esposti a vibrazioni.

Può essere stabilita periodicità diversa secondo quanto riportato nel documento di VdR.

Radiazioni

Radiazione: trasporto di energia associato alla propagazione di un'onda.

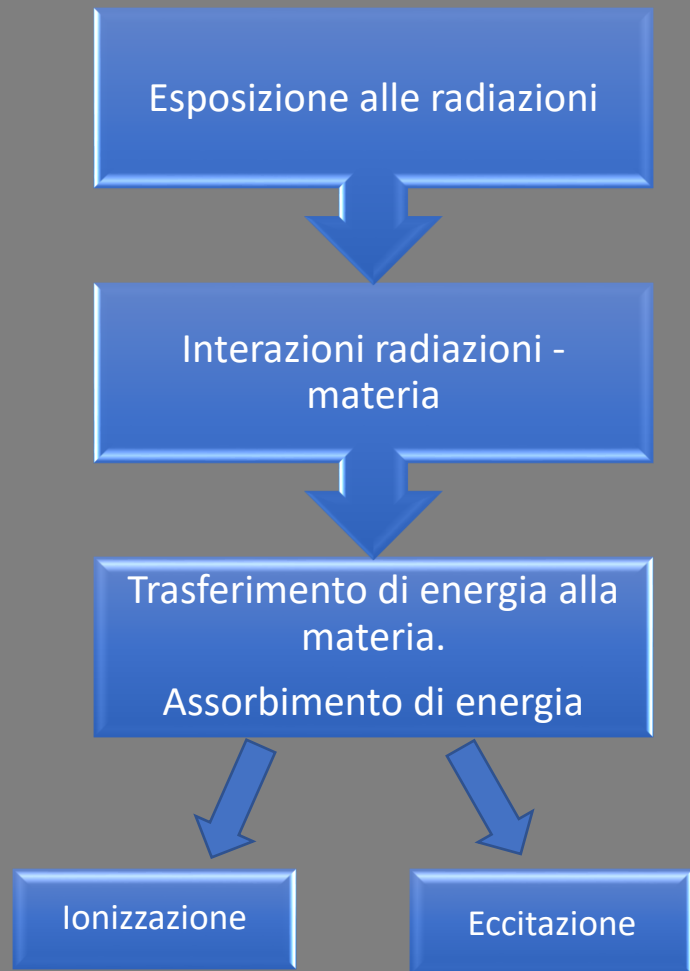


RADIAZIONI IONIZZANTI (IR = Ionizing Radiations)

coprono la parte dello spettro dalla luce ultravioletta ai raggi gamma.

RADIAZIONI NON IONIZZANTI (NIR = Non Ionizing Radiations)

comprendono le radiazioni fino alla luce visibile.



- Quando una radiazione è “capace” di produrre la ionizzazione degli atomi è definita radiazione ionizzante.
 - Se può produrre soltanto eccitazione degli atomi allora è definita radiazione non ionizzante
 - L’energia delle radiazioni si misura in eV: energia che una particella elementare acquista nell’attraversare una differenza di potenziale di 1 V.
-
- ❖ Le R con energia > 10 eV inducono reazioni di ionizzazione o eccitazione e sono definite IR.
 - ❖ Le R con energia < 10 eV non riescono a produrre ionizzazione e sono dette NIR.

IR

Radiazioni elettromagnetiche o corpuscolari dotate di sufficiente energia per “ionizzare” la materia che attraversano, ovvero strappare elettroni ad atomi o molecole. L'effetto di questa ionizzazione è di rompere i legami atomici e molecolari, degradando le macromolecole che costituiscono la base dell'organismo umano.

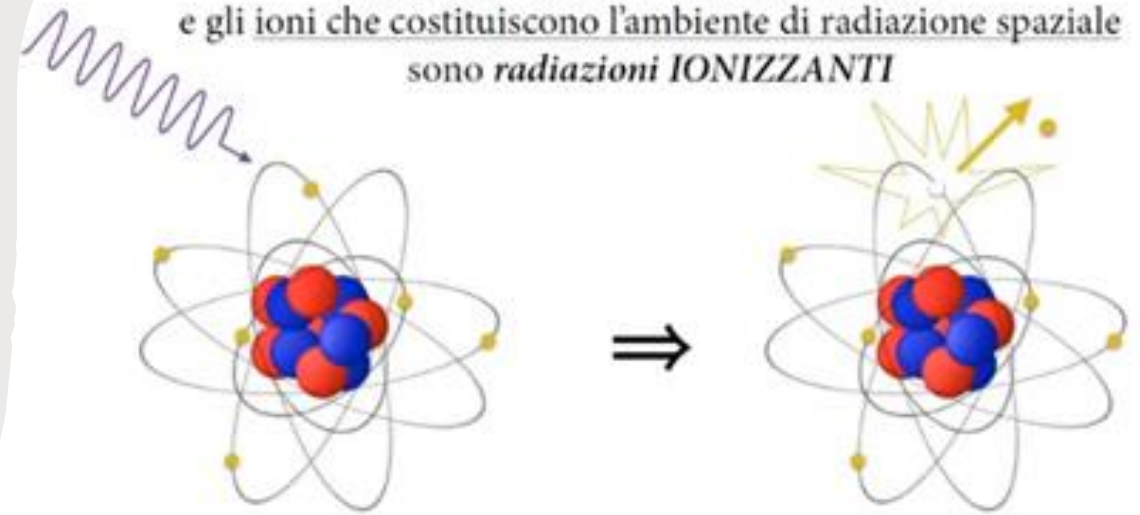
- R direttamente ionizzanti (particelle α , protoni H^+ e ioni) ed elettroni (particelle β)
- R indirettamente ionizzanti (neutroni, raggi X, raggi γ)

Numerosi elementi esistenti in natura, o prodotti in laboratorio mediante reazioni nucleari, sono costituiti da atomi i cui nuclei sono energeticamente instabili, e tendono a mutare la propria natura trasformandosi in specie atomiche energeticamente stabili.



Radiazioni ionizzanti

La radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (raggi X e raggi γ), i prodotti dei decadimenti radioattivi, e gli ioni che costituiscono l'ambiente di radiazione spaziale sono **radiazioni IONIZZANTI**



Decadimento radioattivo

Insieme di processi tramite i quali nuclei atomici instabili (nuclidi) emettono particelle subatomiche per raggiungere uno stato più stabile. Si accompagna all'emissione di radiazione e ciascun radionuclide si caratterizza per il tipo di radiazioni emesse (α , β , γ , neutroni), l'energia delle radiazioni emesse e il tempo di dimezzamento.

Meccanismi di interazione diversi: tipo di radiazione, energia, caratteristiche del materiale attraversato

Le radiazioni ionizzanti propagandosi nello spazio possono incontrare materia vivente e non, con la quale interagiscono. I meccanismi di interazione sono diversi a seconda del tipo di radiazione, della sua energia e delle caratteristiche del materiale attraversato.

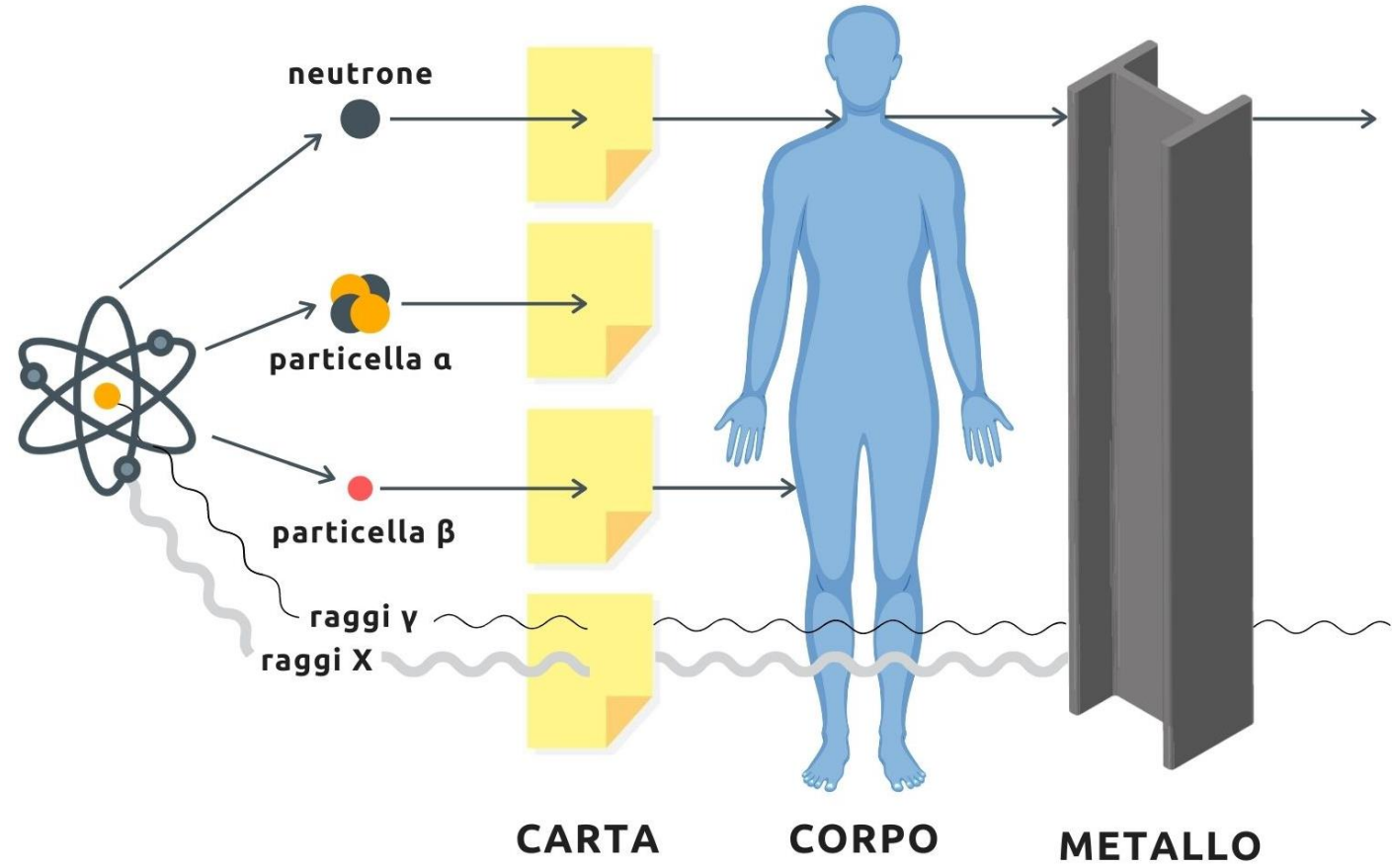
Le particelle α . Particelle emesse (con carica +2) dal decadimento radioattivo di elementi pesanti. Poco penetranti (millesimi di cm) e facilmente schermabili (da foglio di carta, vestiti e pochi cm d'aria). Collidendo con la materia strappano due elettroni e si trasformano in atomi di elio. Non molto pericolose se la sorgente resta al di fuori dell'organismo umano (irradiazione esterna). Diventano estremamente pericolose, una volta se emesse all'interno del corpo (irradiazione interna), tipicamente per inalazione o ingestione e tutta la loro energia viene ceduta a organi e tessuti interni del corpo umano.

Le particelle β . Si formano quando, all'interno di un nucleo atomico instabile, un neutrone decade a dare un protone e un elettrone. Più veloci e leggere delle α , modesta capacità di penetrazione, fino a 3 cm nella materia organica e in acqua. Solo particelle con energie maggiori di 70 keV riescono a raggiungere lo strato germinativo della cute.

Raggi gamma. Onde elettromagnetiche ad alta frequenza emesse da un nucleo instabile che ritorna ad uno stadio di equilibrio. Altamente penetranti, attraversano anche il cemento e possono essere fermati da spessi schermi di piombo.

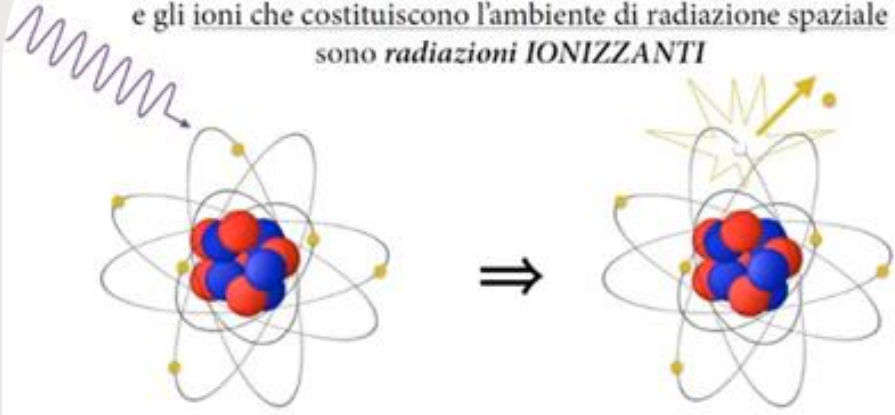
Raggi X. Stessa natura delle radiazioni gamma ma sono meno energetici, e per questo meno pericolosi, e a differenza di quest'ultimi emettono energia da un atomo piuttosto che da un nucleo.

Diversa capacità di penetrazione dei vari tipi di radiazioni nei vari materiali



Radiazioni ionizzanti

La radiazione elettromagnetica ad alta frequenza (raggi X e raggi γ),
i prodotti dei decadimenti radioattivi,
e gli ioni che costituiscono l'ambiente di radiazione spaziale
sono **radiazioni IONIZZANTI**



**RADIAZIONI
IONIZZANTI DA
SORGENTI NATURALI**

L'attività radioattiva -numero di disintegrazioni nell'unità di tempo in una data quantità di materiale radioattivo- si misura in Becquerel (Bq)

1 Bq=1 disintegrazione al secondo.

contaminazione

-su una superficie: Bq/cm²

- Su un volume: Bq/cm³

- di matrici (per es. alimenti, suolo, etc.): Bq/kg

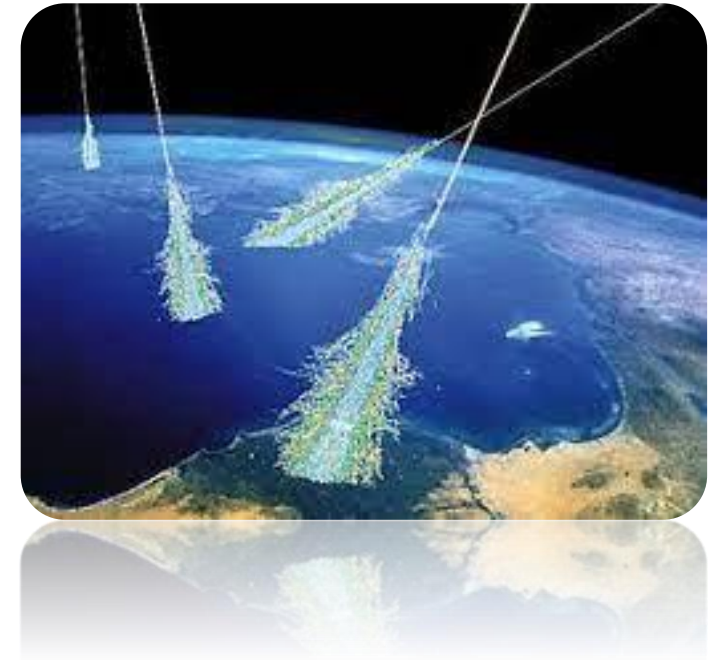
**RADIAZIONI IONIZZANTI
DA SORGENTI
ARTIFICIALI**

RADIAZIONI IONIZZANTI DA SORGENTI NATURALI

L'esposizione degli esseri umani alle IR da fonti naturali è un aspetto connaturato alla vita sulla terra.

Due le principali sorgenti di esposizione alle radiazioni naturali:

Raggi cosmici, costituiti da particelle e da fotoni d alta energia, che determinano radiazioni nell'atmosfera terrestre



Radionuclidi

presenti nella crosta terrestre fin dall'origine della Terra, detti per questo radionuclidi naturali o primordiali, i quali decadono spontaneamente emettendo radiazioni ionizzanti.



presenti in traccia ovunque (rocce, terreno, aria, acqua e corpo umano)

Radon nei luoghi di lavoro

- Ubiquitariamente diffuso
- Prodotto del decadimento nucleare del Radio all'interno della catena di decadimento dell'uranio.
- L' isotopo più stabile è il ^{222}Rn che decade emettendo radiazioni ionizzanti di tipo α e formando prodotti di decadimento o "figli", ^{218}Po e ^{214}Po che emettono anch'essi radiazioni α .

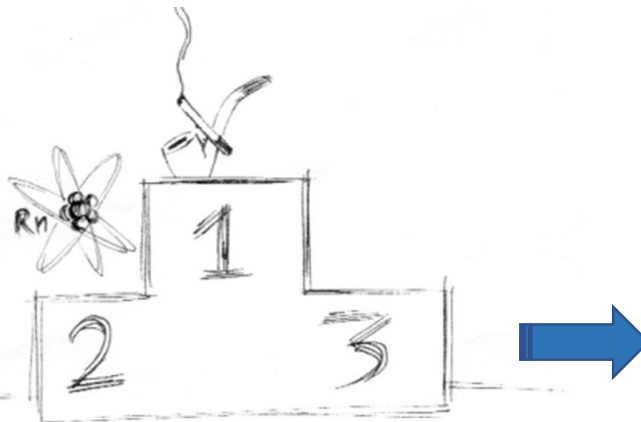
Radon outdoor → concentrazioni molto basse, pochi Bq/m³.

Radon indoor → presente negli ambienti di vita, **di lavoro**, negli edifici pubblici (scuole, ospedali, ecc.), in quelli ricreativi (cinema, palestre, ecc.) in concentrazioni elevate → **fattore di rischio tipico degli ambienti confinati**.

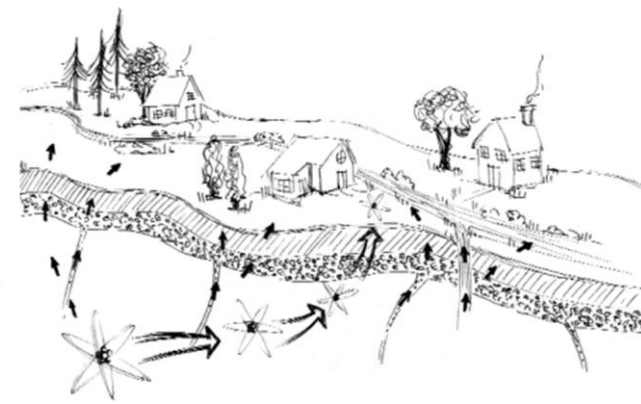
Radon agente cancerogeno appartenenti al Gruppo 1 (IARC-WHO)



Principale *fattore di rischio di cancro polmonare* per i non fumatori. La percentuale di tutti i tumori polmonari attribuibili al radon è stimata tra il 3% e il 14%.

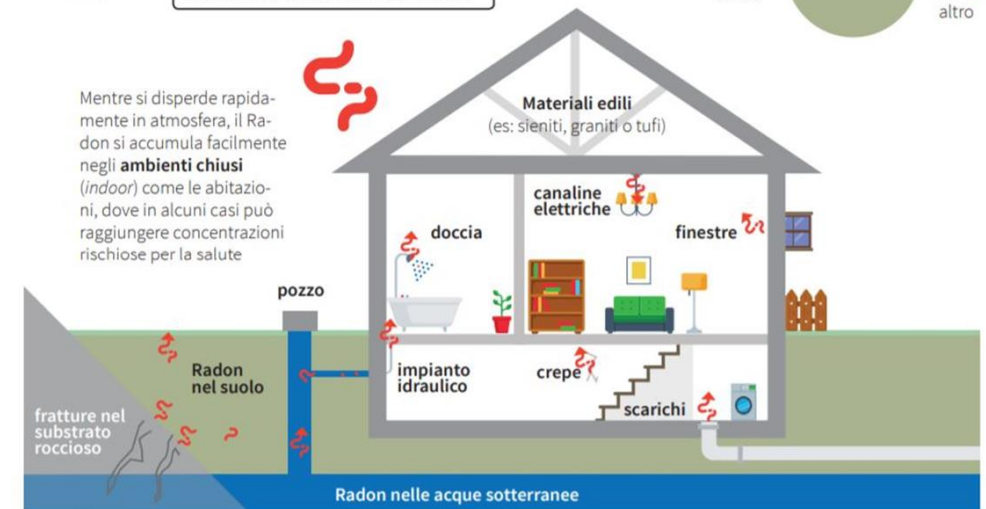


Radon Indoor Approfondimento



Il Radon è un gas radioattivo naturale incolore e inodore emesso dal decadimento del radio, generato a sua volta dal decadimento dell'uranio presente in rocce, suolo e materiali da costruzione.

Le **fonti** del Radon presente in atmosfera:



No "valore di concentrazione-soglia"

Basse concentrazioni di radon possono causare ↑ rischio di cancro ai polmoni: è necessario pertanto far sì che le concentrazioni di radon indoor siano le più basse possibili.

Normativa italiana

~~D.Lgs 230/95 - protezione dei lavoratori dall'esposizione a radon nei luoghi di lavoro~~

~~Livello di azione⁽²⁾ pari a 100 Bq/m³, come concentrazione media annua di attività di radon in aria. L'esposizione per un arco di tempo pari a 2000 h/anno (anno lavorativo) a tale concentrazione determina una corrispondente dose efficace pari a 3 mSv/anno.~~

Nei casi in cui le misure correttive non siano sufficienti ad \downarrow la concentrazione media annua di radon indoor, si prevede una valutazione dell'esposizione o della dose efficace dei lavoratori, e qualora risulti superiore al valore di 6 mSv/anno si ha situazione di esposizione pianificata.

Adempimenti vanno inquadrati nell'ambito degli obblighi previsti dal D.Lgs 81/08 e s.m.i, le relazioni delle misurazioni di radon vanno a corredo del documento di VdR.

27 agosto 2020



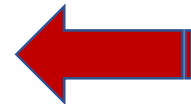
Direttiva 2013/59/Euratom - recepita in Italia dal D.Lgs 101/2020

Nuove disposizioni relative al **controllo del radon nei luoghi di lavoro** a partire dall'introduzione di un nuovo *livello di riferimento*⁽³⁾ pari a 300 Bq/m³, come concentrazione media annua di attività di radon in aria nei luoghi di lavoro e nelle abitazioni costruite prima del 31/12/2024. Per le abitazioni costruite dopo tale data il livello di riferimento è posto a 200 Bq/m³



Si applica a attività lavorative:

- in ambienti sotterranei,
- negli stabilimenti termali,
- nei luoghi di lavoro seminterrati
- al piano terra se ubicati in aree prioritarie (opportunamente definite nell'art.11 del D.lgs 101/2020)
- "specifici luoghi di lavoro" da individuare nell'ambito di quanto previsto dal Piano di Azione Nazionale Radon.



Radiazioni Ionizzanti Artificiali



Sostanze radioattive (radioisotopi artificiali), prodotte artificialmente mediante l'impiego di reattori nucleari o di acceleratori di particelle, partendo da isotopi già presenti in natura. Esse **danno luogo ad irradiazione con continuità fino al loro completo decadimento**.



Sorgente sigillata: sorgente formata da materie radioattive solidamente incorporate in materie solide e di fatto inattive, o sigillate in un involucro inattivo che presenti una resistenza sufficiente per evitare, in condizioni normali di impiego, dispersione di materie radioattive superiore ai valori stabiliti dalle norme di buona tecnica applicabili.



Sorgente non sigillata: qualsiasi sorgente che non corrisponde alle caratteristiche o ai requisiti della sorgente sigillata.

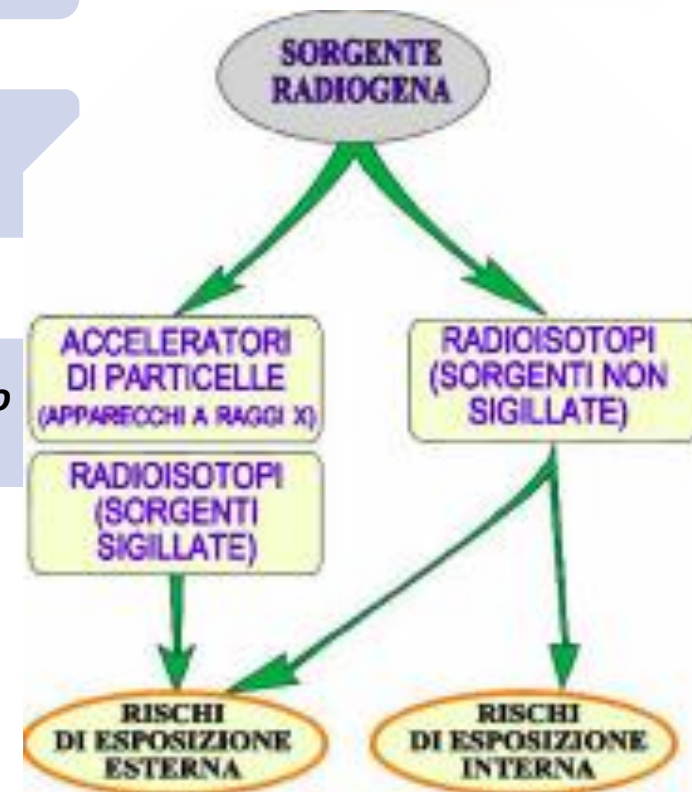


Macchine radiogene (apparecchi generatori) di fasci di particelle cariche e/o di raggi X. Esse **danno luogo a irradiazione solo durante il loro funzionamento (se spente non emettono radiazioni)**.

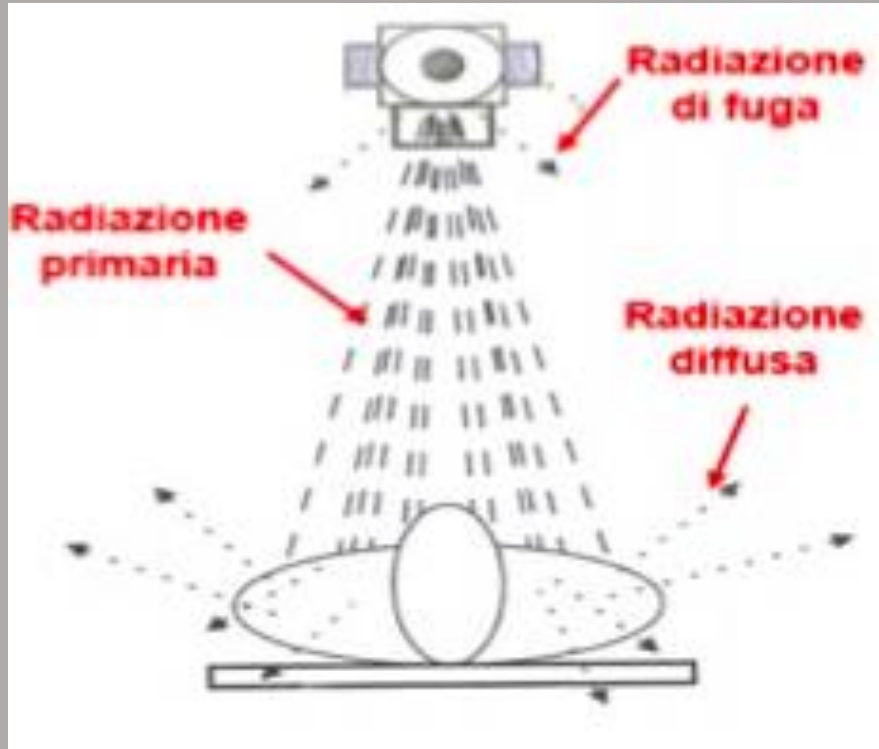
Causano:

Irradiazione esterna: quando la sorgente di radiazioni ionizzanti resta all'esterno del corpo umano (macchine radiogene e sostanze radioattive in forma sigillata);

Irradiazione interna (contaminazione): può aversi quando si manipolano sostanze radioattive in forma non sigillata.



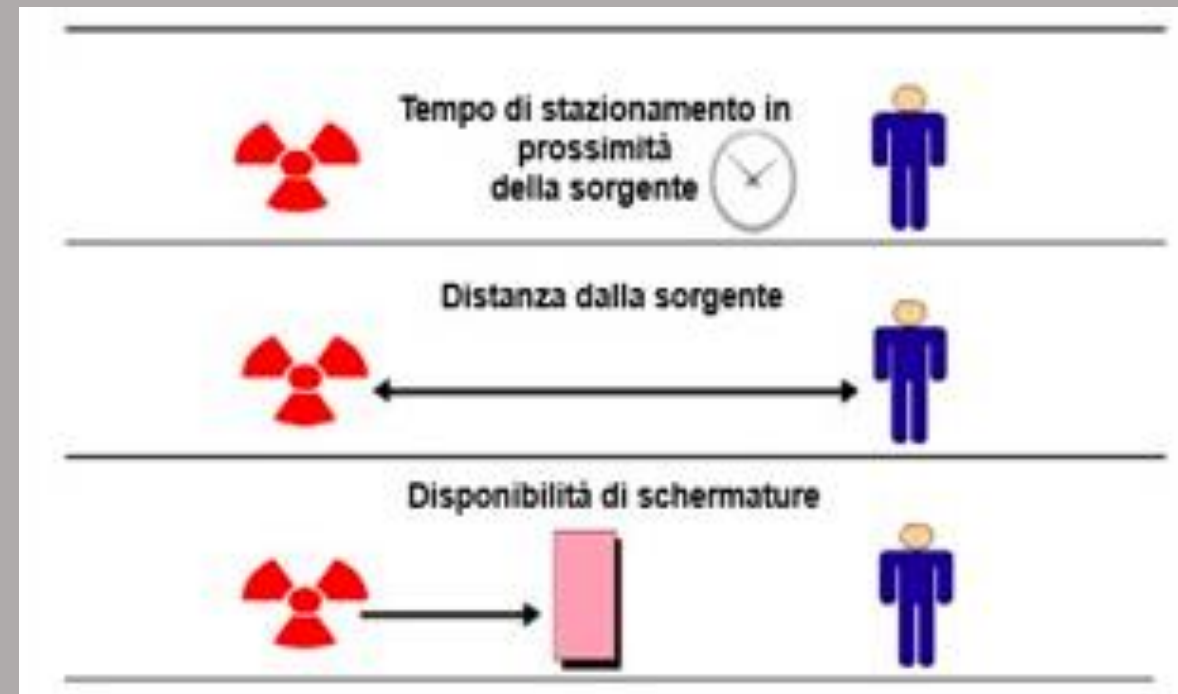
Apparecchiature radiogene:
Tubi a raggi X utilizzati nella radiologia medica



L'impiego di sorgenti artificiali di raggi X comporta un rischio di **esposizione esterna** per irraggiamento.

Fonti di rischio sono:

- radiazione primaria emessa direttamente dal tubo RX e utilizzata a fini diagnostici;
- radiazione diffusa dal paziente;
- radiazione di fuga emergente durante il funzionamento del tubo radiogeno dalla cuffia schermante che lo avvolge;



Per ridurre l'esposizione e le dosi ricevute dall'operatore, è necessario agire su tre parametri:

1. Tempo di stazionamento in prossimità della sorgente;
2. Distanza tra sorgente e persona esposta;
3. Schermature.



Tempo di stazionamento in
prossimità
della sorgente



Distanza dalla sorgente



Disponibilità di schermature



L'effetto delle radiazioni sul corpo è di tipo cumulativo: più tempo si rimane esposti e più \uparrow le probabilità che le conseguenze siano dannose. La dose assorbita e di conseguenza, il rischio radiologico \uparrow con il tempo di esposizione.

Distanza è molto efficace nell'attenuare l'effetto delle radiazioni ionizzanti emesse da una sorgente di raggi X. La dose assorbita dipenderà dall'inverso del quadrato della distanza r dall'origine della radiazione.

Esposizione medica

Le radiazioni ionizzanti sono impiegate in medicina in tre aree:

- ❖ in **radiologia diagnostica**, per eseguire indagini diagnostiche utilizzando strumentazioni che sfruttano i raggi X per ottenere immagini del paziente;
- ❖ in **radioterapia**, sfruttando le proprietà delle radiazioni per colpire e uccidere le cellule tumorali;
- ❖ in **medicina nucleare**, introducendo sostanze radioattive nel paziente per la diagnosi (per esempio di tumori o malattie neurologiche) o il trattamento (per esempio per l'ipertiroidismo e alcuni tipi di cancro).



Radiologia diagnostica

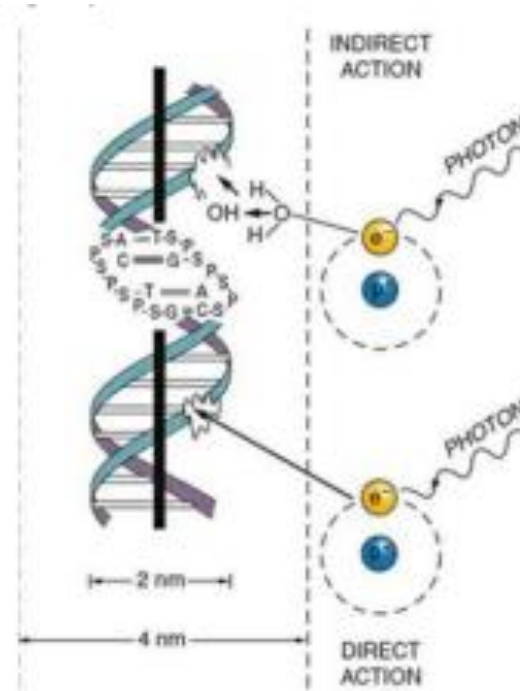
Negli ultimi decenni, la diffusione di indagini diagnostiche che necessitano di utilizzare elevate dosi di radiazioni ionizzanti (in particolare la TC) è cresciuta notevolmente. Ciò ha consentito di giungere a diagnosi più affidabili e spesso precoci, aumentando le probabilità di guarigione. Tuttavia ha anche posto il problema degli **effetti dell'esposizione ripetuta** alle radiazioni ionizzanti.

Danno biologico da IR

L'esposizione a IR è causa di danno biologico a livello cellulare e tissutale che si verifica attraverso duplice meccanismo:

Diretto

Le macromolecole bersaglio delle radiazioni, ne subiscono gli effetti ionizzanti ed eccitanti



Indiretto

Le alterazioni a carico delle macromolecole sono dovute ai radicali liberi prodotti dall'azione delle radiazioni sull'acqua

Figura 1: Azione della radiazione ionizzante sul DNA

Radiosensibilità di un tessuto direttamente proporzionale alla sua attività mitotica

SN, muscoli, reni, fegato

«**Radioresistenti**» ma vanno ugualmente incontro a manifestazioni radiopatologiche, soprattutto tardive, per dosi di ordine terapeutico oncologico.

Tessuti emopoietico, linfoide, epitelioide e riproduttivo (con elevato indice mitotico)
più Radiosensibili

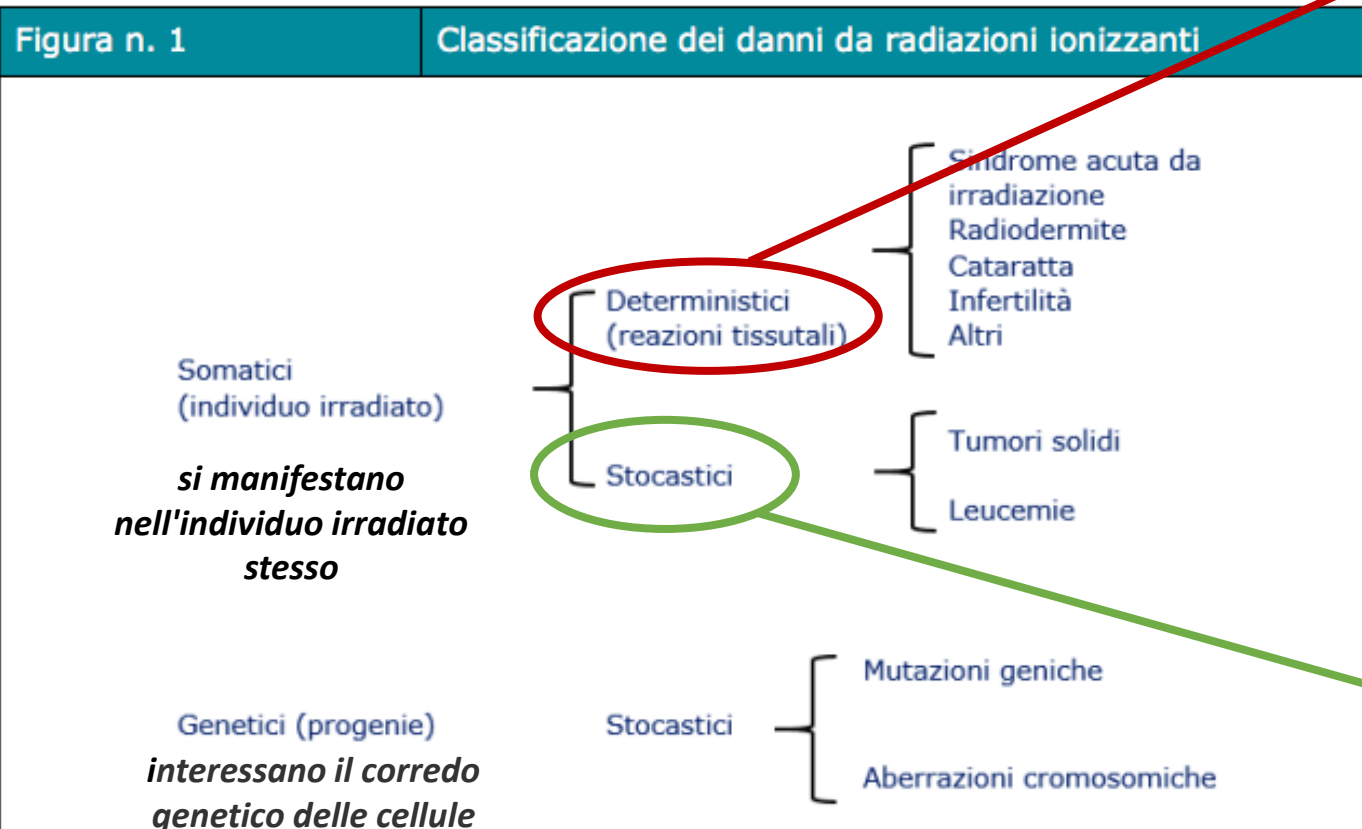
Le radiazioni ionizzanti quando interagiscono con la materia vivente possono trasferire energia alle molecole delle strutture cellulari, danneggiando in maniera temporanea o permanente le funzioni delle cellule stesse.

Gli **effetti** delle radiazioni sull'uomo vengono solitamente classificati in effetti **somatici** e **genetici**.

Relazione dose/effetto direttamente proporzionale
Dose-soglia

**RI sono classificate
nel GRUPPO 1 -
Cancerogeni certi
per l'uomo - dallo
IARC**

Carattere probabilistico
Entità danno indipendente da dose ricevuta



a) Danni deterministici:

- **frequenza e entità/gravità** variano con la dose;
- si manifestano al superamento di una **dose soglia**;
- si manifestano in tutti gli individui irradiati, dopo un **breve periodo di latenza** (Es.: radiodermite, sterilità, cataratta, sindrome acuta da raggi, ecc.). Solo in alcuni casi l'insorgenza è tardiva (cataratta può avere periodi di latenza di anni);



«**reazioni tissutali**»

International commission on radiological protection- ICRP

“**tardive**”

- “*generiche*”, risultato di un danno diretto sul tessuto,
- “*consequenziali*”, esito di reazioni precoci gravi.



“**precoci**”

- da alcune ore a poche settimane;
- di tipo infiammatorio o da “perdita di cellule”

- sono generalmente attribuibili direttamente all'irraggiamento (*relazione diretta causa - effetto*);
- I danni deterministici sono effetti conseguenti a esposizioni a dosi elevate.

Soglia di sensibilità dell'organismo "in toto" è, per irraggiamento acuto, dell'ordine di 0,25 Gy con il manifestarsi delle prime alterazioni ematologiche (modesto, precoce e transitorio calo linfocitario); mentre la comparsa di qualche aberrazione cromosomica si verifica già per assorbimento di una dose di un fattore 2-3 volte inferiore.

Il valore della dose-soglia dipende oltre che dal tipo di tessuto e di effetto, anche dal tipo di radiazione e dalla distribuzione temporale dell'esposizione



Gli effetti deterministici si verificano in condizioni di dose elevata in genere a seguito di incidenti o infortuni.

Le sindromi che si manifestano dopo irradiazione acuta variano a seconda della *dose* e della maggiore *radiosensibilità* di alcuni tessuti



Sindrome del SNC: si manifesta a dosi altissime (oltre 10Gy).

Danno dovuto a alterazione permeabilità vasi encefalici con conseguente edema cerebrale e ipertensione endocranica.

Con dosi > 10 Gy → danno diretto sui neuroni. Iniziale periodo di iperattività e convulsioni, cui seguono apatia e coma; morte entro 48 h.



Sindrome emopoietica: si manifesta per dosi di 2-6 Gy.

Elevata radiosensibilità del midollo osseo → a livello midollare dosi di 2-3 Sv (rilasciate al corpo intero) possono determinare morte di linfociti maturi e precursori midollari con conseguente linfopenia severa con un picco di ~48 h. → depressione conta granulocitaria e piastrine ~35 settimane.

Dosi > 3-5 Sv possono determinare, in esposizione acuta, infezioni fatali e/o emorragie.

DL 50/30 (dose letale 50% soggetti in 30 gg) dell'uomo è ~**3 Gy**



Sindrome gastrointestinale: irradiazione acuta (6-10 Gy)

Disepitelizzazione dell'intestino con conseguente perdita di liquidi e elettroliti, e danno nutrizionale. La perdita della barriera epiteliale facilita insorgenza di infezioni, dovuti anche a carenza di leucociti per insorgere contemporaneo della sindrome emopoietica. Morte entro 3-5 gg da irradiazione.

Effetti sulle gonadi:

Testicoli → esposizione acuta a dosi di ~ 0.1 Gy → oligospermia per 12 mesi.

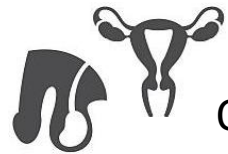
→ ~ 2.5 Gy → sterilità per 2-3 anni

→ $\sim 4-6$ Gy → sterilità

Ovaie → dosi di 0.5 Sv → sterilità temporanea

→ 2-3 Sv → sterilità per 1-3 anni

→ > 4 Gy → sterilità permanente



Effetti sulla cute:

Sede principale del danno: strato germinale dell'epidermide.

Prima manifestazione cutanea: eritema temporaneo dovuto a dilatazione capillari. Da qualche minuto a qualche ora dopo l'esposizione a seconda di entità dose, energia e ampiezza dell'area irradiata.

Dopo 2-3 settimane: ricomparsa eritema per danno a capillari e flittene con necrosi per deficit proliferativo strato germinale.



Effetti su embrione e feto:

- cellule con elevato indice mitotico
- gli effetti variano a seconda del periodo della vita intrauterina in cui è avvenuta l'esposizione

Periodo vita intrauterina	Effetti
sino a 9° giorno fecondazione	«tutto o nulla»
Periodo di morfogenesi (da 9°g a fine 2° mese)	Malformazioni anche per dosi relativamente basse
Vita fetale (3° mese in poi)	↓ frequenza e gravità malformazioni ↑ possibilità di tumori infantili e frequenza incidenza ritardo mentale



Gli effetti dell'esposizione durante l'organogenesi sono il risultato di studi sugli animali.



Stimata cautelativamente una soglia di 0.1 Sv



La prognosi e le manifestazioni dipendono dalla dose assorbita:

- ◆ > 5-6 Gy: sopravvivenza impossibile (6-10 Gy sindrome intestinale, > 10 Gy sindrome neurologica)
- ◆ 2 e 5 Gy: sopravvivenza possibile
- ◆ Tra 1 e 2 Gy: sopravvivenza probabile (soglia della sindrome ematologica)
- ◆ < 1 Gy: sopravvivenza virtualmente certa

b) Danni/effetti stocastici:

- La **probabilità di accadimento** (ma non l'entità) è proporzionale alla dose;
- Si manifestano in modo casuale tra gli individui dopo **anni di latenza** (leucemie, tumori solidi)
- Cautelativamente è esclusa l'esistenza di una dose soglia;



Effetti somatici

interessano l'individuo esposto



Effetti genetici

malattie ereditarie nella progenie degli esposti

Danni somatici stocastici

leucemie e i tumori solidi, su tessuti o organi

- indistinguibili dai tumori indotti da altri cancerogeni;
- non richiedono il superamento di un valore-soglia di dose per la loro comparsa (ipotesi cautelativa ammessa per gli scopi preventivi della radioprotezione);
- carattere probabilistico;
- distribuiti casualmente nella popolazione esposta;
- dimostrati dalla sperimentazione radiobiologica e dall'evidenza epidemiologica (associazione causale statistica);
- frequenza di comparsa proporzionale alla dose equivalente assorbita (espressa in Sv);
- si manifestano dopo anni, talora decenni, dall'irradiazione;
- non mostrano gradualità di manifestazione con la dose ricevuta, quale che sia la dose.

Radioprotezione

In via cautelativa, come principio di prudenza, è ammessa **una relazione dose-effetto di tipo lineare** con estrapolazione passante per l'origine delle coordinate (ipotesi dell'extrapolazione lineare senza soglia, **modello LNT – linear-no-threshold**).



Danni genetici

Manifestazioni patologiche nella discendenza a seguito di danno indotto da IR sulle cellule della linea germinale dei genitori → **malformazioni sull'embrione e sul feto e malattie ereditarie.**

- Gli effetti genetici radioindotti non hanno una specificità

- L'induzione da parte delle IR di effetti genetici nella discendenza non è stata dimostrata epidemiologicamente → studi riportano associazioni negative tra esposizione a IR e danni genetici nella progenie, in discendenti di popolazioni esposte all'incidente di Chernobyl, e nei discendenti dei sopravvissuti di Hiroshima e Nagasaki.
- Studi sperimentali su animali da laboratorio → prove certe di danni genetici sulla progenie di esposti a radiazioni ionizzanti

Radioprotezione

In via cautelativa a fini radio-protezionistici, vengono considerati rischi sulla specie umana per estrapolazione dalle sperimentazioni su animali.

Meccanismo di induzione analogo a quello degli effetti stocastici somatici, tuttavia aberrazioni cromosomiche o mutazioni genetiche riguardano le cellule riproduttive.



Dosimetria –Unità di misura

- **Dose di radiazione assorbita** è espressa in RAD (Radiation absorbed dose) o **Gray (Gy)** → ($1\text{Gy} = 100\text{ RAD}$). La dose assorbita (D) può essere definita come l'energia assorbita da un certo volume di materia in rapporto alla massa in esso contenuta. Un Gy corrisponde infatti all'assorbimento di un joule in un kg di materia ($1\text{Gy} = 1\text{ J/kg}$).
- **Dose equivalente (H)** tiene conto anche della pericolosità della radiazione (ovvero severità dell'effetto a parità di dose fisica assorbita in un organo o un tessuto) ed è espressa in REM (Roetgen Equivalent in Man) o **Sievert** ($1\text{ Sv}=100\text{ REM}$).

L'esposizione alle radiazioni dei diversi organi e tessuti dell'organismo determina differenti probabilità di danno e diversi livelli di gravità. La Commissione ICRP indica con il termine

"detrimento": combinazione della probabilità e della gravità del danno. Secondo la Commissione ICRP.

Per esprimere il detrimento, la dose equivalente in ogni organo e tessuto è moltiplicata per un fattore di ponderazione tissutale, i risultati sono sommati sull'intero corpo.

- **Dose efficace (E)** che tiene conto della diversa radiosensibilità dei tessuti ed organi.

L'unità di misura della dose efficace è il **Sievert (Sv)**.

I fattori di ponderazione tissutali (WT) nelle Raccomandazioni 2007 son quelli raccomandati dall'ICRP

La ICRP intende la dose efficace come una grandezza di protezione per la definizione degli indirizzi di radioprotezione.

Esposizione a radiazioni ionizzanti

La dose media proveniente da **IR di origine naturale**, a livello mondiale raggiunge annualmente l'80% della quota complessiva

Valori di esposizione della popolazione mondiale a sorgenti di radioattività naturale

Sorgente	Dose efficace annuale media della popolazione (mSv)	Range tipico (mSv)
Esposizione esterna		
Raggi cosmici	0.4	0.3-1.0 ^a
Radiazione gamma terrestre	0.5	0.3-0.6 ^b
Esposizione interna		
Inalazione (principale radon)	1.2	0.2-10 ^c
Ingestione	0.3	0.2-0.8 ^d
Totale	2.4	1-10

^a range tipico del livello del mare fino ad alta quota

^b in funzione della composizione in radionuclidi del suolo e dei materiali di costruzione

^c in funzione dell'accumulo indoor di radon

^d in funzione della composizione in radionuclidi del di cibi e acqua potabile

Esposizione a radiazioni ionizzanti

L'esposizione derivante da **radiazioni di origine medica** costituisce il 20% della dose media annuale, soprattutto per anziani e malati. *Considerando la dose annuale media della popolazione, a causa del fondo naturale è di circa 1 mSv si ritiene attualmente che la dose aggiuntiva, di origine artificiale di 1 mSv non alteri l'equilibrio dell'organismo: ciò porta a stabilire il limite internazionale di 30 mSv in 30 anni per la popolazione normale.*

Dose media assorbita durante un esame radiologico (mGy)

Esame radiologico	Midollo osseo	Gonadi maschili	Gonadi femminili	Corpo intero
Addome	1.0	1.9	1.9	10
Urografia venosa	4.3	6.0	6.0	30
Colonna lombare	2.2	4.0	4.0	20
Esame radiologico	Midollo osseo	Gonadi maschili	Gonadi femminili	Corpo intero
RX torace	0.7	0.004	0.01	7
Radioscopia (per minuto)	10	0.4	0.1	100
TC cerebrale (testa)	70-140			



Lavoratori che usano strumenti che emettono radiazioni o materiali radioattivi hanno *esposizioni variabili*

- **tipo di lavoro**
- **condizioni operative**

In ambito sanitario

- **radiazioni β e γ** generate dall'impiego di radionuclidi quali il Tc e lo ^{131}I per procedure diagnostiche e terapeutiche.

Comportano il rischio di esposizione esterna o di contaminazione interna legata quest'ultima all'assorbimento ed incorporamento di radionuclidi.

- **raggi X**



Personale sanitario esposto a IR

Attività nei reparti di: radiologia e radioterapia, medicina nucleare, emodinamica cardiovascolare, ortopedia (sala gessi e sala operatoria), endoscopia digestiva, endoscopia urologica, anestesia.

Può essere occasionalmente esposto il personale sanitario che presta assistenza a pazienti sottoposti ad accertamenti diagnostici e/o terapeutici che prevedono l'impiego di IR.

Altri ambiti con esposizione professionale a IR sono:

assistenti e dentisti; costruttori di tubi a raggi catodici; lavoratori di industrie di Th, Rn, U; lavoratori dei pozzi petroliferi; lavoratori delle raffinerie di petrolio; lavoratori di reattori nucleari; lavoratori di sottomarini nucleari; minatori; operatori industriali di fluoroscopia, radiografia; piloti di aereo, personale di bordo; produttori ed utilizzatori di microscopi elettronici; saldatori di condutture ed operai di manutenzione oleodotti; tecnici di diffrattometria a raggi X.





Radioprotezione

D. Lgs. 230/95 e s.m.i. (incluso il recente D Lgs 101/2020)

Definisce ***lavoratore esposto*** chiunque sia suscettibile, durante l'attività lavorativa, di esposizione a IR superiore al limite fissato per la popolazione generale (< 1 mSv/anno).

I lavoratori esposti sono classificati in categoria **A** e **B**.

Esposizioni comprese tra 6 – 20 mSv

Esposizioni annue comprese tra 1 e 6 mSv

Sono classificati lavoratori esposti, i soggetti che in ragione dell'attività lavorativa sono suscettibili di superare in un anno solare uno o più dei seguenti valori:

- 1 mSv di dose efficace;
- 15 mSv di dose equivalente per il cristallino;
- 150 mSv di dose equivalente per la pelle (calcolato in media su 1 cm² di pelle) per la pelle e le estremità. (dose equivalente);
- 50 mSv di dose equivalente per le estremità

Sono classificati in **categoria A** i lavoratori esposti, sulla base degli accertamenti compiuti dall'esperto di radioprotezione, sono suscettibili di un'esposizione superiore, in un anno solare, ad uno o più dei seguenti valori:

- 6 mSv di dose efficace;
- 15 mSv di dose equivalente per il cristallino;
- 150 mSv di dose equivalente per la pelle, mani, avambracci, piedi e caviglie



Sorveglianza sanitaria

- ❖ La SS di lavoratori esposti, apprendisti e studenti è affidata esclusivamente ai medici autorizzati iscritti in elenchi nominativi presso l'Ispettorato Medico Centrale del Lavoro, come indicato dal recente D. Lgs.101 del 31 luglio 2020.
- ❖ La periodicità delle visite mediche prevista dal D.Lgs. 101/2020 è semestrale per lavoratori esposti di categoria A e annuale per i lavoratori esposti di categoria B.
- ❖ La sorveglianza medica è costituita da visita medica, esami di laboratorio e strumentali finalizzati ad intercettare eventuali elementi patologici correlabili alla radioesposizione.

Ambiente di Lavoro

Zona classificata: ambiente di lavoro sottoposto a regolamentazione per motivi di protezione contro le IR.

Zona controllata: area di lavoro ove sussista per i lavoratori il rischio di superamento dei valori soglia

Zona sorvegliata: ambiente di lavoro in cui può essere superato, in un anno solare, uno dei pertinenti limiti fissati per persone del pubblico e che non è zona controllata.

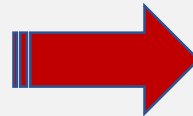


RADIAZIONI NON IONIZZANTI (NIR)

Onde elettromagnetiche di energia inferiore a 10 eV (energia necessaria a spostare un elettrone dall'orbita periferica)



- ❖ Radiazioni ultraviolette
- ❖ Radiazioni del campo visibile
- ❖ Radiazioni infrarosse
- ❖ Radiazioni prodotte dai LASER



Sezione ottica ($100\text{nm} < \lambda < 1\text{mm}$)

Sezione non ottica



- ❖ Microonde
- ❖ Radiofrequenze
- ❖ ELF

- ❖ **Radiazioni ultraviolette**
- ❖ Radiazioni del campo visibile
- ❖ Radiazioni infrarosse
- ❖ Radiazioni prodotte dai LASER

Radiazioni Ottiche

RADIAZIONE ULTRAVIOLETTA

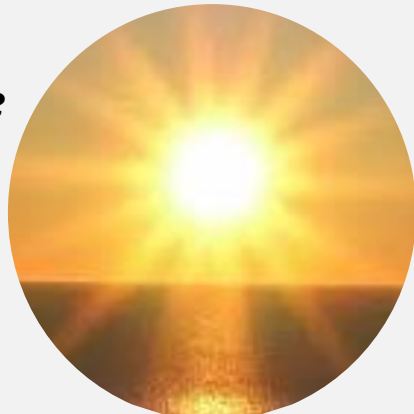
Parte dello spettro elettromagnetico che si trova tra il visibile e i raggi X ($400\text{nm} < \lambda < 100\text{nm}$)

In base all'azione sui sistemi biologici si dividono in

		nm	
U.V.-A	λ	315-400	regione luce nera (retina)
U.V.-B	λ	280-315	regione eritema (cristallino)
U.V.-C	λ	100-280	Regione germicida (cornea)



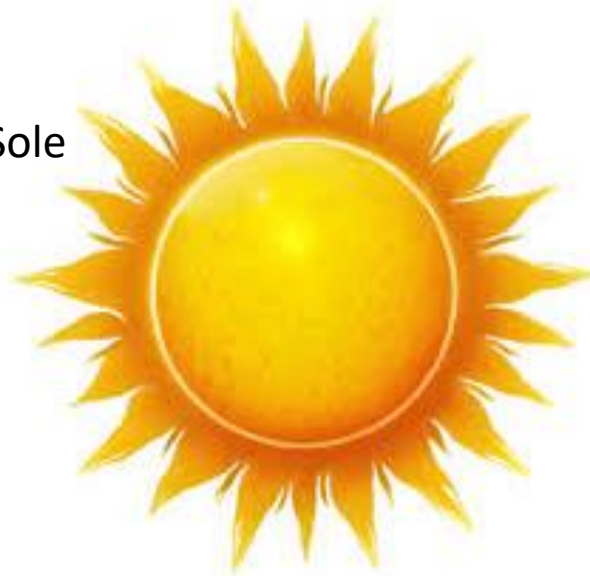
La principale sorgente è il **Sole**



FONTI NON SOLARI DI RADIAZIONI U.V.

1. Saldatura ad arco; 2. Forni ad arco termico;
3. Saldatura e taglio di metalli con torce al plasma;
4. Impiego di bulbi a fluorescenza; 5. Impiego di lampade germicide.

La principale sorgente è il Sole



Le organizzazioni internazionali (**ICNIRP, ILO, WHO**) e nazionali (**Istituto Superiore di Sanità**) preposte alla tutela della salute e della sicurezza e gli studi epidemiologici condotti in ambito internazionale concordano nel considerare la **radiazione ultravioletta solare un rischio di natura professionale per tutti i lavoratori che lavorano all'aperto (lavoratori outdoor)**

Elenco delle attività che possono comportare elevato rischio di esposizione a radiazione UV solare

Lavorazioni agricolo/forestali	Floricoltura - Giardinaggio	Bagnini	Istruttori di sport all'aperto
Edilizia e Cantieristica stradale/ferroviaria/navale	Lavorazioni in cave e miniere a cielo aperto	Pesca e Lavori a bordo di imbarcazioni, ormeggiatori, attività portuali	Addetti alle attività di ricerca e stoccaggio idrocarburi liquidi e gassosi nel territorio, nel mare e nelle piattaforme continentali

Elenco delle attività che possono comportare rischio di esposizione a radiazione UV solare

Parcheggiatori	Operatori ecologici/netturbini	Addetti a lavorazioni all'aperto o in piazzali	Manutenzioni linee elettriche ed idrauliche esterne
Rifornimento carburante: stradale/aeroportuale	Portalettere/ recapito spedizioni	Polizia municipale / Forze ordine/militari	Manutenzioni piscine

- ❖ Radiazioni ultraviolette
- ❖ Radiazioni del campo visibile
- ❖ Radiazioni infrarosse
- ❖ Radiazioni prodotte dai LASER

RADIAZIONI DEL CAMPO VISIBILE

Radiazioni con $400 \text{ nm} < \lambda < 760 \text{ nm}$.

RADIAZIONI INFRAROSSE

Radiazioni con $780 \text{ nm} < \lambda < 1 \text{ mm}$

IRA ($780 \text{ nm} < \lambda < 1400 \text{ nm}$)

IRB ($1400 \text{ nm} < \lambda < 3000 \text{ nm}$)

IRC ($3000 \text{ nm} < \lambda < 1 \text{ mm}$)

LASER

light amplification by stimulated emission of radiation

Sistema di amplificazione straordinaria della luce che sfrutta il fenomeno dell'emissione stimolata di radiazioni nella regione dall'IR all'UV.

Radiazione emessa → onda monocromatica collimata (componenti parallele) e coerente, con la caratteristica di concentrare su di una superficie puntiforme una enorme energia ($> 100 \text{ MW/cm}^2$)

FONTI DI RADIAZIONI IR:

1. Fusione e soffiatura del vetro
2. Fusione dei metalli
3. Conduzione di forni
4. Strumenti IR

Laser ?

Apparecchiatura composta da:

1. materiale attivo, medium, che può essere solido (YAG: yttrio, alluminio e quarzo per radiazioni che emettono nell'IR-1064 nm), liquido o gassoso (argon, krypton, CO2 per radiazioni nella zona blu-verde e rossa dello spettro);
2. sistema che fornisce energia necessaria al materiale attivo per iniziare il processo di emissione di radiazioni forzate;
3. camera di risonanza che assicuri il perpetrarsi dell'emissione radiante amplificata per ripetuti passaggi attraverso il materiale attivo.

Rischi dipendono dalla λ della radiazione emessa



- Le radiazioni emesse nello spettro visibile sono elettivamente assorbite dall'epitelio pigmentato retinico
- Le radiazioni emesse nell'UV o nell'IR sono assorbite dagli annessi, dalla cornea, dal cristallino e dal corpo vitreo.



Applicazione industriale dei LASER:

1. Taglio e saldatura metalli
2. Microelettronica
3. Campo sanitario



CLASSIFICAZIONE DEI LASER

Norma tecnica CEI EN 60825-1, riguardante la sicurezza degli apparecchi laser

- Nuova classificazione
- classificazione delle sorgenti laser deve essere effettuata dal costruttore

Aggiornata



soglia di danneggiamento per l'occhio e la cute
lunghezza d'onda e della durata dell'esposizione

La classificazione dei Laser indica in ordine crescente il loro grado di pericolosità, e le opportune misure preventive e protettive.

LEA - Accessible Emission Limit → **livello di radiazione massimo di una sorgente cui può accedere un operatore** che consente la collocazione in un'opportuna classe di rischio

Classe	Descrizione e avvertenza	Lunghezza d'onda
1	Radiazione laser accessibile non è pericolosa. Laser con emissioni > alla MEP sono di classe 1 se chiusi in un alloggiamento non accessibile.	Da 180 nm a 1mm
1M	La radiazione laser accessibile è innocua nelle normali condizioni d'uso fino a quando non vi sono strumenti ottici come lenti d'ingrandimento che possono concentrare l'energia sulla cornea. Non guardare il fascio direttamente con strumenti ottici.	Da 302,5 nm a 4000 nm
2	La radiazione laser accessibile nello spettro visibile. È innocua per l'occhio considerando che la protezione è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale (0,25 s) anche se si utilizzano dispositivi ottici di osservazione.	Da 400 nm a 700 nm
2M	La visione del fascio può essere più pericolosa se l'operatore impiega ottiche di osservazione all'interno del fascio. Non fissare il fascio o guardarlo direttamente con strumenti ottici.	Da 400 nm a 700 nm
3R	La radiazione laser accessibile è potenzialmente pericolosa; il LEA è inferiore a cinque volte il LEA di Classe 2 nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm, e inferiore a cinque volte il LEA di Classe 1 per le altre lunghezze d'onda. Evitare la diretta esposizione degli occhi.	Da 180 nm a 1 nm
3B	La radiazione laser accessibile è normalmente pericolosa per gli occhi se direttamente esposti a distanza inferiore alla DNRO e in casi particolari anche per la pelle. L'esposizione a luce diffusa o dispersa da riflessioni è di solito sicura. Evitare l'esposizione al fascio.	Da 180 nm a 1 nm
4	La radiazione laser accessibile è molto pericolosa per gli occhi e pericolosa per la pelle, inclusa la radiazione diffusa. Quando si utilizza questo raggio laser si possono provocare incendi o esplosioni. Evitare di esporre occhi o pelle alla radiazione diretta o diffusa.	Da 180 nm a 1 nm

- ❖ Radiazioni ultraviolette
- ❖ Radiazioni del campo visibile
- ❖ Radiazioni infrarosse
- ❖ Radiazioni prodotte dai LASER

Esempi di sorgenti di radiazioni ottiche artificiali che possono comportare rischio per occhi e/o cute dei soggetti esposti sono di seguito elencate

SORGENTE	POSSIBILITA' DI SOVRAESPOSIZIONE	NOTE
Arco elettrico (saldatura elettrica)	Molto elevata	Le saldature ad arco elettrico (tranne quelle a gas) a prescindere dal metallo, possono superare i valori limite previsti per la radiazione UV per tempi di esposizione dell'ordine delle decine di secondi a distanza di un metro dall'arco. I lavoratori, le persone presenti e di passaggio possono essere sovraesposti in assenza di adeguati precauzioni tecnico-organizzative
Lampade germicide per sterilizzazione e disinfezione	Elevata	Gli UVC emessi dalle lampade sono utilizzati per sterilizzare aree di lavoro e locali in ospedali, industrie alimentari e laboratori
Lampade per fotoindurimento di polimeri, fotoincisione, "curing"	Media	Le sorgenti UV sono usualmente posizionate all'interno di apparecchiature, ma l'eventuale radiazione che può fuoriuscire attraverso aperture o fessure è in grado di superare i limiti in poche decine di secondi
"Luce Nera" usata nei dispositivi di test e controllo non distruttivi (eccetto lampade classificate nel gruppo "Esente" secondo CEI EN 62471:2009)	Bassa - Media o Elevata in relazione all'applicazione	Il rischio è riconducibile all'emissione di UVA associata alla radiazione visibile. Lampade UVA sono utilizzate in dispositivi quali quelli dedicati al controllo e all'ispezione dei materiali o per il controllo delle banconote; analoghe sorgenti sono usate nei locali per intrattenimento quali discoteche, pub e nei concerti. I sistemi impiegati in metallurgia superano il limite per l'esposizione a UVA per tempi dell'ordine di 1 - 2 ore, rispetto ad attività che possono essere protratte per tutto il turno lavorativo.
Lampade/sistemi LED per fototerapia	Elevata	La radiazione UV utilizzata per le terapie in dermatologia e la "luce blu" utilizzata nell'ambito di attività sanitarie (fototerapia dell'ittero neonatale, chirurgia refrattiva, ecc...).
Lampade ad alogenuri metallici	Bassa (Elevata se visione diretta)	Sono utilizzate nei teatri, in ambienti vasti (es.: supermercati) e aperti per l'illuminazione esterna e possono superare sia i limiti per gli UV che per la radiazione visibile e in particolare per la "luce blu" per visione diretta della sorgente
Fari di veicoli	Bassa (Elevata se visione diretta)	Possibile sovraesposizione da luce blu per visione diretta protratta per più di 5-10 minuti: potenzialmente esposti i lavoratori delle officine di riparazione auto
Lampade scialitiche da sala operatoria	Bassa (Elevata se visione diretta)	Per talune lampade i valori limite di esposizione per luce blu possono essere superati in 10 minuti in condizioni di visione diretta della sorgente
Lampade ad alogenuri metallici	Media-Elevata	Sono utilizzate nei teatri, in ambienti vasti (es.: supermercati), e aperti per l'illuminazione esterna e possono superare sia i limiti per gli UV che per la radiazione visibile e in particolare per la "luce blu"
Lampade abbronzanti	Media - Elevata	Le sorgenti utilizzate in ambito estetico per l'abbronzatura possono emettere sia UVA che UVB, i cui contributi relativi variano a seconda della loro tipologia. Queste sorgenti superano i limiti per i lavoratori per esposizioni dell'ordine dei minuti.
Lampade per usi particolari eccetto lampade classificate nel gruppo "Esente"	Media - Elevata	Si tratta di lampade fluorescenti non per illuminazione generale quali quelle utilizzate in acquari e terrari. Queste lampade presentano elevate irradiazioni UVB che possono portare a sovraesposizioni in pochi minuti, soprattutto a distanze ravvicinate.
Lampade per uso generale e lampade speciali classificate nei gruppi 1,2,3 ai sensi della norma CEI EN 62471:2009	Bassa-Media-Elevata in relazione alla classificazione	Inclusi sistemi LED. Necessari accorgimenti pe installazione ed uso sicuro se la classe è superiore alla prima.
Corpi incandescenti quali metallo o vetro fuso, ad esempio nei crogiuoli dei forni di fusione con corpo incandescente a vista e loro lavorazione	Elevata-Molto elevata	Nel corso della colata e in prossimità dei crogiuoli le esposizioni a IRB-IRC possono superare i valori limite per tempi di esposizione dell'ordine di pochi secondi.
Riscaldatori radiativi a lampade	Medio-Elevata	Emissioni di radiazioni infrarosse superiori ai valori limite possono essere riscontrate fino a 2 metri di distanza da taluni riscaldatori radiativi: necessari accorgimenti per installazione ed impiego sicuro
Apparecchiature con sorgenti IPL per uso medico o estetico	Elevata-Molto elevata	Emissioni di radiazioni ottiche potenzialmente molto superiori ai valori limite anche per pochi secondi. Necessarie precauzioni per installazione/impiego sicuro
Laser	Molto Elevata/Elevata: laser in classe 4/3B; Media: Laser in classe 2-3. Innocui: Laser in Classe 1	i tutela e specifici requisiti di installazione ai fini della sicurezza per i Laser in classe 3B e 4 sono obbligatorie specifiche misure d

Principali effetti dannosi della radiazione ottica sull'occhio e la pelle

Tipologia di effetti → λ radiazione

Possibilità che gli effetti si verifichino e Gravità → intensità della radiazione

Danno a livello oculare e cutaneo causato dalle diverse tipologie di NIR

Lunghezza d'onda (nm)	Tipo	Occhio	Pelle	
100 - 280	UV C	fotocheratite	Eritema	Tumori cutanei
280 - 315	UV B	foto congiuntivite	(scottatura della pelle)	Processo accelerato di invecchiamento della pelle
315 - 400	UV A	cataratta fotochimica	Reazione di foto sensibilità	Bruciatura della pelle
400 - 780	Visibile	lesione fotochimica e termica della retina	<p><i>Effetti a breve termine o da esposizione acuta</i></p> <p><i>Effetti a lungo termine o da esposizione cronica</i></p>	
780 - 1400	IR A	cataratta bruciatura della retina		
1400 - 3000	IR B	cataratta, bruciatura della cornea		
3000 - 10 ⁶	IR C	bruciatura della cornea		



Rischi per la salute dovuti a esposizione indiretta alle RAO

- Sovraesposizione a luce visibile
↓
disturbi temporanei visivi (abbagliamento, accecamento temporaneo);
- Rischi di incendio e di esplosione innescati dalle sorgenti stesse e/o dal fascio di radiazione;
- Rischi associati a apparecchiature/lavorazioni che utilizzano ROA (stress termico, contatti con superfici calde, rischi di natura elettrica, esplosioni o incendi, etc).

Rischi per la salute dovuti a esposizione diretta alle RAO



- 1. Transitori** (si sviluppano entro 6-12 ore con congiuntivite e cheratite; scompaiono entro 24-48 ore)

Foto-cherato-congiuntivite (180÷330 nm)

Lesioni superficiali che interessano congiuntiva cornea, dovute a morte e progressiva perdita di cellule epiteliali con conseguente messa a nudo di numerose terminazioni nervose superficiali che vengono in contatto con il velo lacrimale. → *Stato infiammatorio a carattere transitorio e reversibile accompagnato da dolore acuto, fotofobia e una fastidiosa "sensazione di sabbia" negli occhi.*

Prevenzione: uso di occhiali idonei (lenti assorbenti UV) o maschere con visiera provvista di filtro (es. saldatori).

- 3.**
danno retinico di natura fotochimica negli individui afachici (300÷550nm).

- 2.**
Permanenti. Per λ comprese tra 295 e 340 nm (regione spettrale UV-B) vi è il rischio di insorgenza della cataratta.

danni al cristallino che possono accelerare l'insorgenza della cataratta (290÷340 nm);

Stato patologico caratterizzato da opacità del cristallino, a cui corrisponde una diminuita trasmissione della luce verso la retina ed un aumento della componente diffusa. Patologia multifattoriale dell'età avanzata, legata a processi di invecchiamento molecolare e cellulare. La *Radiazione UV* è in grado di accelerare detti processi e quindi deve essere considerata un fattore causale specifico.

Effetti di natura fotochimica, dipendono da dose di UV assorbita dal cristallino che, anche a causa dei processi di riparazione molto lenti, si accumulano nel tempo.

Luce visibile o Infrarosso A (IR- A) → *Cataratta* associata ad assorbimento della radiazione nell'iride: l'energia termica viene trasferita per conduzione diretta al tessuto epiteliale del cristallino.

Radiazione Infrarossa (IR-B, IR-C) → *Cataratta* associata ad assorbimento radiazione dalla cornea: l'energia termica si propaga al cristallino mediante conduzione termica attraverso i tessuti oculari adiacenti (cornea-umor acqueo).

Cataratta (causata dall'effetto termico) da IR ha lenta evoluzione



Frequente nei lavoratori del vetro o in altiforni o in lavoratori che maneggiano materiali fusi.

La cataratta dei vetrai dovrebbe essere associata essenzialmente all'esposizione ad IR-B o IR-C.



Radiazione visibile e IR sono ambedue in grado di indurre *cataratta*, producendo entrambe, sia pure con meccanismi diversi, un riscaldamento del cristallino.

Le 2 facce della
medaglia..
Luce visibile..



**Scarsa quantità di luce o
cattiva illuminazione
hanno effetti negativi
sulle performance**

**↑ del rischio
infortuni**

**Eccessiva luminosità
(abbaglio)**

L' eccessiva luminosità può ridurre la percezione visiva, con affaticamento fino, nelle forme gravi, ad irite e blefarospasmo.

Patologie retiniche da luce blu sono: degenerazione maculare età-correlata, edema maculare cistoide, retinopatia solare.

Eccesso di esposizione a «luce blu» si può verificare per visione diretta prolungata di lampade ad alogenuri metallici (usate in teatri, supermercati, ambienti esterni) o fari di veicoli / es lavoratori officine), o di lampade scialitiche da sala operatoria

**Adeguare la luce degli
ambienti di lavoro alle
attività!!!**

Esposizione a RUV

Effetti sulla cute

Effetti da esposizione acuta e/o cronica a RUV:

- a) fotoelastosi, effetto associato con il fotoinvecchiamento della pelle (220÷440 nm);
- b) fotocancerogenesi cutanea (270÷400 nm);
- c) eritema (200÷400 nm);
- d) reazioni fototossiche e fotoallergiche (280÷400 nm);
- e) immunosoppressione da RUV (250÷400 nm);
- f) vera pigmentazione adattativa (abbronzatura) (200÷400 nm).

L'eritema

Arrossamento della pelle, indice di vasodilatazione periferica (raggiunge il massimo dopo 12-14 ore, si risolve in 3-4 giorni).



*notevole
importanza*

- Effetto che più di ogni altro corrisponde alla definizione di effetto deterministico;
- fenomeno macroscopico più rappresentativo della fotosensibilità cutanea individuale (sia in termini di spettro d'azione sia di dose-risposta)



Fotoinvecchiamento cutaneo

Fenomeno complesso e multifattoriale risultato di invecchiamento cronologico e del fotoinvecchiamento provocato dall'esposizione complessiva alla RUV.

- *Si manifesta nelle aree maggiormente fotoesposte: braccia, viso, collo.*
- *Caratterizzato da secchezza cutanea, epidermide generalmente ispessita, rugosità, perdita di elasticità, pigmentazione irregolare.*

Tumori della pelle

Possibili danni prodotti da RUV sul DNA (*mutazioni geniche, scambi cromatidici, aneuploidia, etc.*) che possono essere connessi con la *cancerogenesi*

Tra gli effetti sanitari a lungo termine, l'induzione di **tumori cutanei** è di grande rilevanza per numero e gravità.

RUV → uno dei fattori causali maggiori per i *carcinomi della pelle* (carcinoma spinocellulare e carcinoma basocellulare) e per *il melanoma cutaneo*

RUV solare e le lampade abbronzanti classificate dallo IARC come "cancerogeni per l'uomo" (Gruppo 1 A)





Effetti sul sistema immunitario

Alterazione della risposta immunitaria a livello locale e sistemico

(calo risposta umorale mediata dai linfociti B e cellulare mediata dai linfociti T)

Es. lesioni sulle labbra tipiche provocate dal virus dell'herpes simplex → Si ritiene che l'esposizione alla RUV deprima temporaneamente il sistema immunitario permettendo al virus, presente in forma latente, di moltiplicarsi.

L'esposizione alla RUV e la contemporanea assunzione di alcuni composti chimici può provocare, in alcuni individui, delle reazioni di fotosensibilizzazione che si manifestano con tipiche reazioni cutanee. Le reazioni cutanee da fotosensibilizzazione sono prodotte da:

- ***effetti fotoallergici***
- ***effetti fototossici***



UV-A perché penetra più in profondità e quindi è in grado di interagire più facilmente con molecole fotoattive (cromofori) assunte per via sistemica e presenti nel microcircolo periferico



Effetti fototossici e fotoallergici

Riassumendo..



- ▶ **Cute**: lesioni di tipo eritematoso a carico delle parti scoperte.
- ▶ Una *amplificazione della risposta cutanea* è causata da agenti fotosensibilizzanti presenti in essenze vegetali e da agenti fotoallergizzanti.
- ▶ Gli **effetti cronici** sono causati da aumento delle fibre elastiche con diminuzione del collagene e atrofia dell'epidermide, cui si associano metaplasia cellulare con possibili esiti in neoplasia.

Prevenzione

- ❖ Esposizione controllata → evitare le ore centrali della giornata (10-14).
- ❖ Indossare indumenti coprenti e cappelli a tesa ampia
- ❖ Uso di filtri solari (sebbene non proteggano completamente da effetti di fotoinvecchiamento cronico da UV-A)
- Contenimento sorgenti all'interno di idonei alloggiamenti schermanti (UV → finestre di vetro; visibile → materiali plastici)
- Schermi ciechi a ridosso delle sorgenti (schermi per postazioni di saldatura)
- Separazione fisica degli ambienti
- Impiego di automatismi per disattivare sorgenti ROA potenzialmente nocive (lampade germicide a raggi UV)
- Zone ad accesso limitato contrassegnate da idonea segnaletica



Legislazione e normativa di riferimento

D. Lgs. 81/08
Titolo VIII Capo V

***Protezione dei lavoratori da rischi fisici
associati a esposizione a ROA***

- Esclusione radiazioni ottiche naturali
- art. 216 → nell'ambito della VdR (di cui all'art.181) il DL valuta e quando necessario misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori

In situazioni di esposizione che esulano dalle suddette norme e raccomandazioni, il DL adotta «buone prassi», oppure dati dal fabbricante.

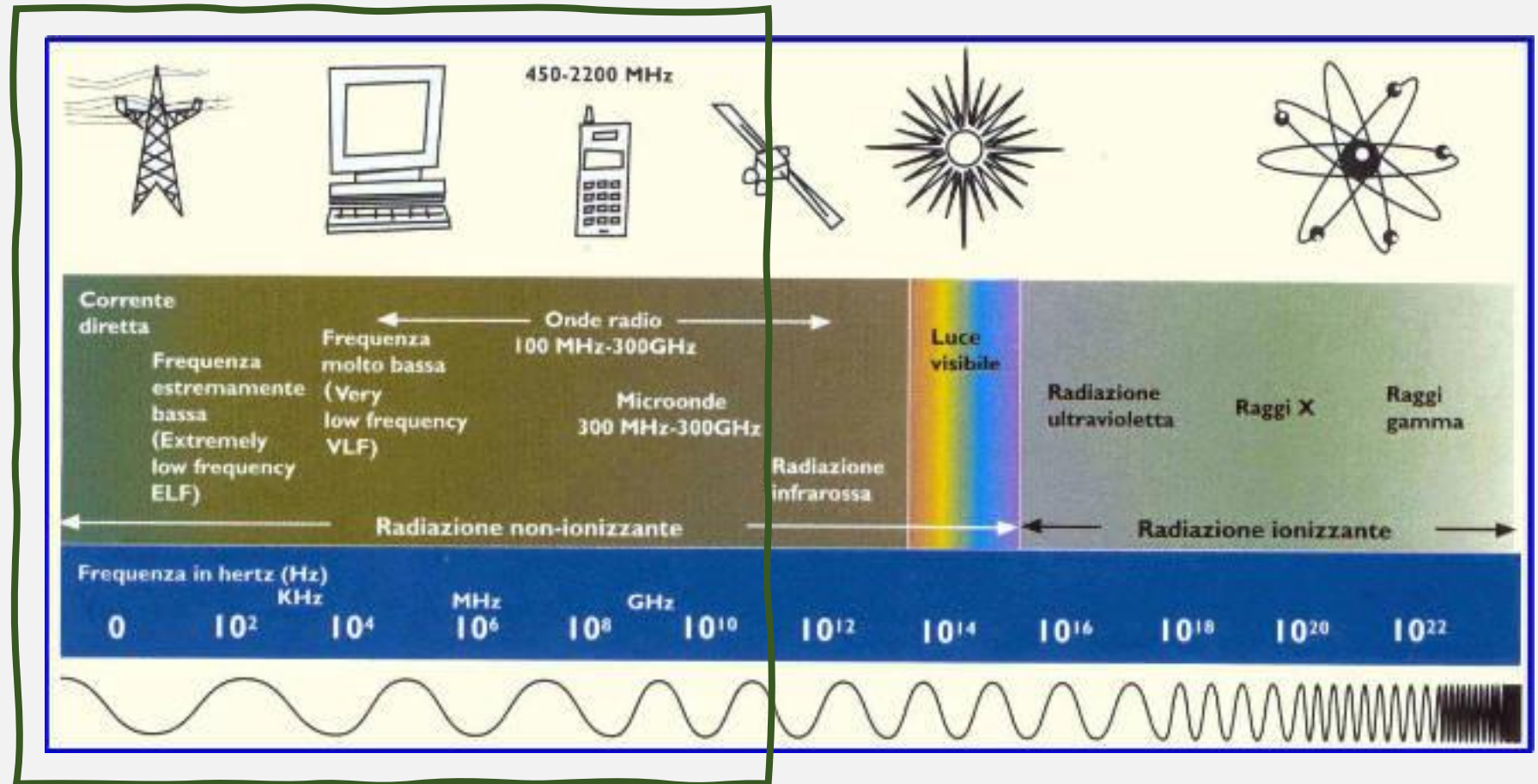
I valori limite di esposizione (VLE) alle radiazioni ottiche sono correlati direttamente agli effetti sulla salute accertati



VLE per radiazioni non coerenti emessi da sorgenti artificiali → All. XXXVII parte I
VLE radiazioni laser → All. XXXVII parte II

Sezione non ottica

- ❖ Microonde
- ❖ Radiofrequenze
- ❖ ELF (Extremely Low Frequency)
- ❖ Campi magnetici statici

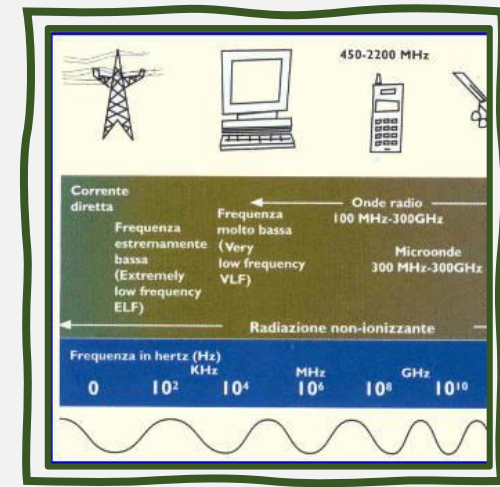


❖ Microonde

Onde elettromagnetiche con frequenza tra 300 MHz e 300 GHz e $1 \text{ mm} < \lambda < 1 \text{ m}$.

Possibili impieghi:

- campo sanitario (radarterapia)
- campo industriale (saldatura di materiali plastici, incollaggio del legno, preriscaldamento di resine termoindurenti)
- settore domestico (forni a microonde).



❖ Radiofrequenze

Onde elettromagnetiche con frequenza compresa tra 100 kHz e 300 MHz e $1 \text{ m} < \lambda < 10 \text{ km}$.

Possibili impieghi:

- settore delle telecomunicazioni e radiolocalizzazioni in campo militare
- processi produttivi industriali e artigianali
- attività domestiche
- applicazioni mediche

Fonti occupazionali di esposizione a RF e MW

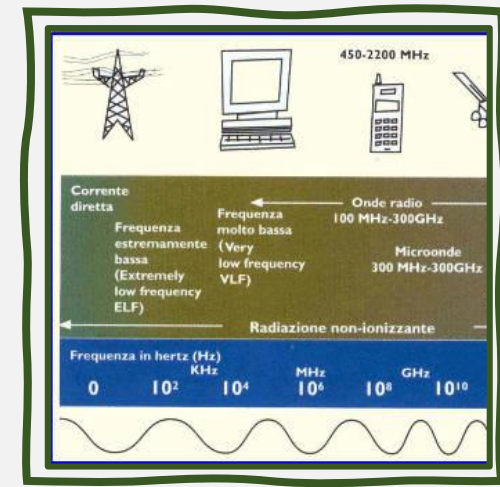
Applicazione	Fonte	Frequenza
Sistemi di telecomunicazioni radiotelevisivi	Radionavigazione, telecomunicazioni	600 KHz – 3 MHz
	Emissioni radio a medie frequenze e TV, radar per traffico aereo, radar meteorologici, telemetria, telefoni cellulari	30 MHz – 3 GHz
	Radar per navigazione marittima e aerea, comunicazioni via satellite, ponti radio a microonde, altimetria	3 GHz – 30 GHz
Settore industriale	Saldatura, tempera, fusione, sterilizzazione	100 KHz – 3 MHz
	Essiccamento, polimerizzazione, riscaldamento, incollaggio	3 MHz – 300 MHz

❖ ELF

Campi elettromagnetici sinusoidali (corrente alternata) con frequenze da 30 a 300 Hz – OMS e IRPA

Possono essere generati da fonti:

1. Trasporto e distribuzione dell'energia elettrica (elettrodotti e sottostazioni elettriche)
2. Utilizzo di apparecchiature elettriche



Fonti occupazionali di esposizione a ELF

Sorgente	Frequenza	Livelli di esposizione	Note
Altoforni e fonderie	50/60 Hz	100 μ T – 10 mT	Per tutto il ciclo lavorativo
Saldatrici elettriche	10 KHz	100 μ T – 2 mT	A 50 cm di distanza
Apparecchi per riscaldamento ad induzione	2 – 25 KHz	10 μ T – 1 mT	A 0,1 – 1 m di distanza



❖ Campi magnetici statici

Campi magnetici generati da correnti elettriche continue e da magneti permanenti

Un campo magnetico può essere rappresentato come vettore e può essere espresso in 2 modi: come *induzione magnetica* B (in tesla –**T**) o come *intensità di campo magnetica* H (in amper al m –**A/m**).

Lavoratori esposti (in media circa $50 \mu\text{T}$ di induzione magnetica:

- Lavoratori addetti a processi di elettrolisi (es. in preparazione alluminio)
- Lavoratori del comparto ferroviario su trasporti alimentati a corrente continua

Elevati livelli di campi magnetici sono poi riscontrabili presso:

- macchinari per la produzione di grandi elettrodi per archi voltaici ($\cong 10\text{mT}$)
- In prossimità dei tomografia Risonanza Magnetica Nucleare (addetti assistenza pazienti durante esami RM possono essere esposti a campi magnetici $>200 \text{ mT}$)



Effetti e Patologie

❖ Microonde e Radiofrequenze

RF e MW essendo costituite da campi elettromagnetici variabili ad alta frequenza, attraversando un materiale producono oscillazione degli ioni, il cui moto causa per attrito riscaldamento del materiale → *diatermia*: effetto sfruttato a scopo terapeutico.

- L'assorbimento delle MW è legato al contenuto di acqua presente nei tessuti → Sono note una serie di relazioni dose-risposta, su cui si basano gli attuali standard protezionistici.
- Sovraesposizione a MW può causare danni in particolare a occhi e testicoli.

Il *cristallino* è la struttura oculare più interessata per la posizione superficiale, il contenuto di acqua e l'assenza di vascolarizzazione.



E' possibile l'insorgenza di cataratta per MW o RF di intensità $>100 \text{ mW/cm}^2$ (il limite è 10).

Uso guanti protettivi, Proibizione di indossare oggetti metallici e formazione del personale dovrebbero essere sufficienti per una ideale corrispondenza coi TLVs (Threshold Limit Values)

Altri possibili effetti su:

- **Gonadi maschili** (disturbi a carico della funzione ormonale e sessuale)
- **Sistema endocrino** (effetti su tiroide, ipofisi e surrene)
- **SNC** (cefalea, affaticamento, irritabilità, insonnia per valori $< 1 \text{ mW/cm}^2$)

.. ma anche su:

- **Sistema emopoietico** (su differenziazione e maturazione di GR, GB e piastrine per valori $< 1 \text{ mW/cm}^2$)
- **stimolatori cardiaci**

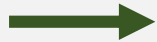


Effetti e Patologie

❖ Campi elettromagnetici ELF e statici

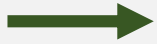
Gli effetti biologici a breve e lungo termine sono correlabili all'induzione di correnti elettriche nell'organismo e in particolare a trasferimento di ioni potassio, sodio e calcio attraverso le membrane cellulari. Queste interazioni possono interessare il sistema nervoso, neuroendocrino e cardiocircolatorio.

■ *effetti certi*



- stimolazione di tessuti muscolari e nervosi a frequenze più basse;
- riscaldamento dei tessuti alle frequenze più alte per esposizione a campi di elevata intensità;

■ *effetti ipotizzati*



esistono solo evidenze non conclusive limitatamente alle frequenze estremamente basse (ELF), circa il rischio di insorgenza di alcune neoplasie (leucemie infantili) correlabili ad esposizione croniche ai campi magnetici a 50 Hz.





Effetti e Patologie

❖ Campi elettromagnetici ELF e statici



Campi magnetici ELF → *Classificati in gruppo 2B (possibile cancerogeno per l'uomo) dalla IARC*

Campi elettrici ELF e campi elettrici e magnetici statici → *Classificati in gruppo 3 (non classificabile in relazione alla cancerogenicità per l'uomo)*

Alcune malattie neurodegenerative (SLA e morbo di Alzheimer) sono state associate agli ELF → *secondo l'OMS, deboli evidenze anche per l'impossibilità di studi epidemiologici validi.*

<p>segnalica di presenza di campi elettromagnetici e di radiazioni elettromagnetiche che possono generare condizioni di esposizione non accettabili previste dal D. lgs. 81/08 e s.m.l.</p>	<p>Presenza di campi magnetici</p>	<p>Presenza di radiazioni elettromagnetiche</p>
<p>segnalica di divieto prevista dalla UNI EN ISO 7010:2017 per lavoratori particolarmente sensibili al rischio da campi elettromagnetici</p>	<p>Vietato l'accesso ai portatori di stimolatori cardiaci</p>	<p>Vietato l'accesso ai portatori di protesi metalliche</p>
<p>altra segnalica di prescrizione prevista dalla UNI EN ISO 7010:2017</p>	<p>Obbligo di indossare calzature antistatiche</p>	<p>Obbligo di leggere le istruzioni</p>
<p>altra segnalica di divieto prevista dalla UNI EN ISO 7010:2017</p>	<p>Vietato entrare con orologi e oggetti metallici (Hazard: Strong magnetic fields)</p>	<p>Divieto di attivare telefoni cellulari (Hazard: electromagnetic fields)</p>

Effetti indiretti

Disturbi elettromagnetici tali da creare problemi alla salute di particolari categorie di persone (portatori di pace-maker o protesi metalliche) o problemi di sicurezza (apparati elettronici preposti a segnalazione di allarme).

Le linee guida ICNIRP 2009 raccomandano di indicare con speciali segnali di avvertimento le aree con induzioni magnetiche > 0.5 mT, valore al di sotto del quale non è verosimile che si manifestino effetti.



Legislazione e normativa di riferimento

D.Lgs. 81/08—Titolo VIII Capo IV – Norme di tutela della salute per lavoratori esposti a campi elettromagnetici

Obbligo di valutare l'esposizione dei lavoratori con riferimento ai livelli d'azione e ai valori limite prescritti da direttiva europea e ripresi da linee guida ICNIRP

Prevenzione **e Protezione**

La Riduzione emissione elettromagnetiche in ambiente lavorativo dipende da *caratteristiche del campo, natura del servizio, ambiente in cui il lavoratore è esposto.*

Schermatura



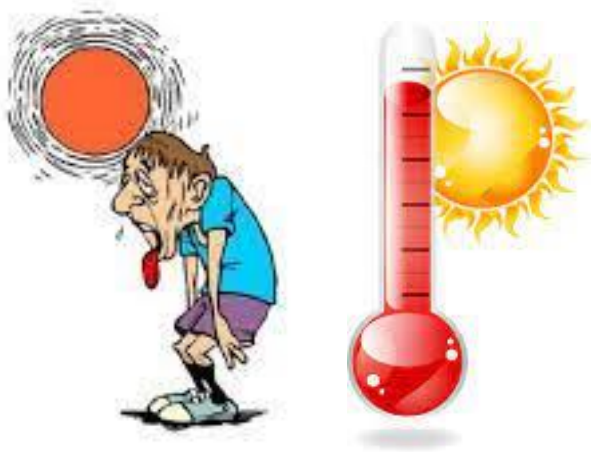
I campi elettrici vengono attenuati da materiali non conduttivi che si interpongono tra le sorgenti e gli individui (es. pareti, edifici)



I campi magnetici non subiscono attenuazioni

- Se l'emissione di un campo elettromagnetico è necessaria per diffondere un segnale, non si può schermare la sorgente.
- Se l'emissione è accidentale (elettrodotti, elettrodomestici, computer,..) e per gli apparati industriali con generazione di un campo intenso in spazio limitato, si può schermare la sorgente con pannelli o contenitori con buona conducibilità elettrica.
- Schermare il campo magnetico statico o a bassa frequenza (50 Hz) è molto difficile -> lastre di acciaio spesse diversi mm.
- Quelli a radiofrequenza (telefonia cellulare) sono facili da schermare con materiali metallici.

***D.Lgs. 81/08—Titolo VIII Capo IV definisce valori di azione (VdA) legati alla frequenza del campo elettromagnetico → All. XXXVI Lett. B tab.2
Valori limite di esposizione (VLE) → limiti basati su effetti accertati e considerazioni biologiche
→ All. XXXVI lett. A, tab.1***



Microclima



Complesso di parametri ambientali che caratterizzano localmente l'ambiente in cui l'individuo vive e lavora e che congiuntamente a parametri individuali quali l'attività metabolica correlata al compito lavorativo, la resistenza termica del vestiario determinata dalle caratteristiche dell'abbigliamento indossato, condizionano gli scambi termici tra soggetto e ambiente circostante.

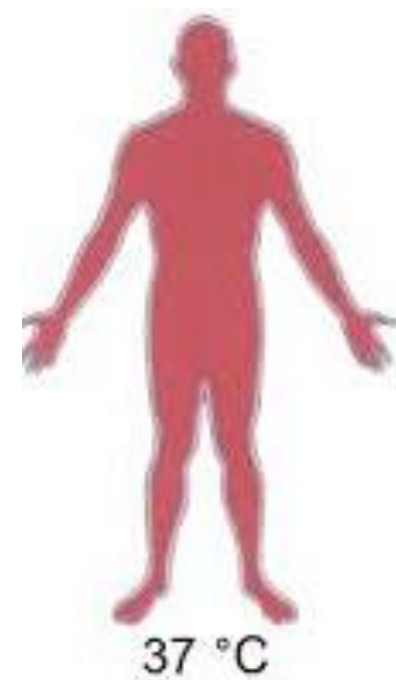
- *Temperatura dell'aria*
- *Velocità relativa dell'aria (aria in movimento \uparrow effetti del trasferimento di calore per convezione e evaporazione)*
- *Temperatura radiante media*
- *Pressione di vapore e umidità relativa*
- *Attività metabolica e consumo energetica*
- *Resistenza termica dell'abbigliamento*



Fattori che contribuiscono..

Fisiologia della Termoregolazione

L'organismo umano è "omeotermo", in grado, cioè, di mantenere costante la propria temperatura centrale in un range ristretto di 37 ± 1 °C nelle più diverse condizioni climatiche, attraverso continui scambi termici con l'ambiente circostante



Convezione

L'aria che circonda il corpo umano riscaldata per conduzione si sposta verso l'alto richiamando aria fredda che a sua volta viene riscaldata

Evaporazione

Passaggio acqua dallo stato liquido a quello gassoso quando la T dell'ambiente raggiunge 35°C.

Irraggiamento

Il corpo umano emana calore, trasferendo energia termica verso corpi freddi (pareti, mobili, ecc..)

Conduzione tramite la superficie cutanea

Corpo cede calore a ciò che è in stretto contatto con esso (indumenti, oggetti, aria)

convezione ed evaporazione attraverso l'attività respiratoria

- ❖ **Temperatura dell'aria**
- ❖ **Velocità relativa dell'aria**
- ❖ **Temperatura radiante media**
- ❖ **Pressione di vapore e umidità relativa**
- ❖ **Attività metabolica e consumo energetica**
- ❖ **Resistenza termica dell'abbigliamento**



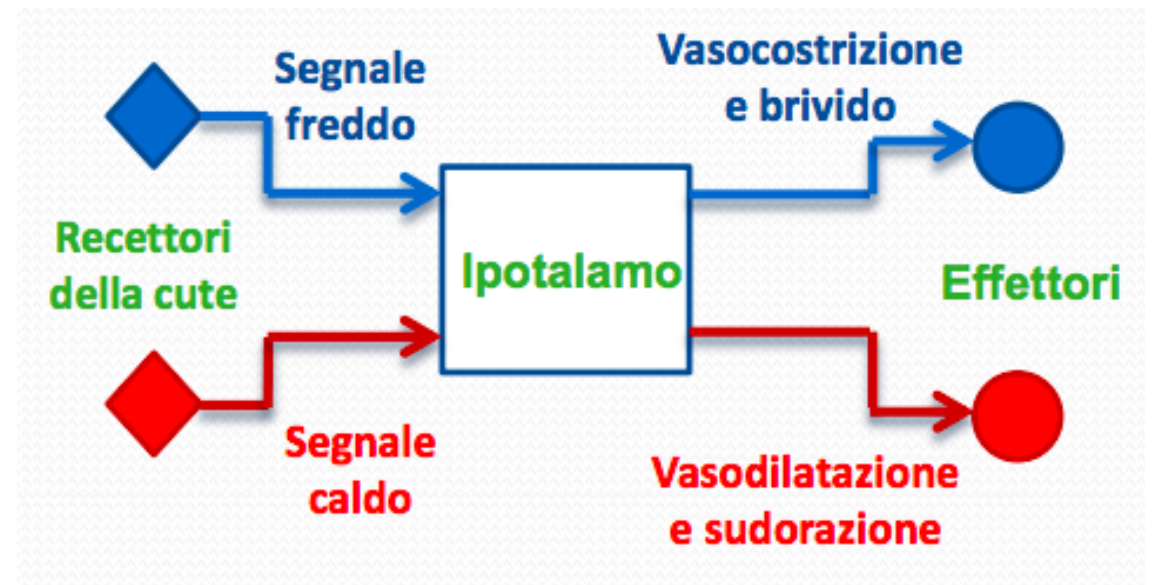
Valutazione del bilancio termico

(S=equazione del bilancio termico)
condizione di equilibrio termico

A proposito di omeotermia..

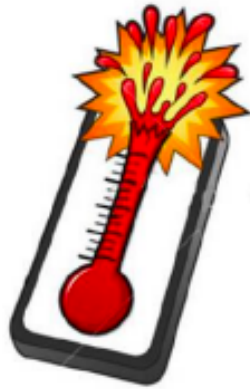
L'organismo umano può essere visto come un sistema in grado di assorbire o rilasciare calore in maniera da mantenere costante la sua temperatura interna (circa 37°C). Quando le condizioni microclimatiche di un ambiente diventano sfavorevoli, il *sistema di termoregolazione* del corpo umano mette in funzione opportuni meccanismi di difesa che ripristinano l'equilibrio: questa capacità viene definita **omeotermia**.

Il ***mantenimento dell'equilibrio termico*** è assicurato da un complesso ***sistema di termoregolazione*** in cui l'*ipotalamo* ha funzione di un vero e proprio termostato sulla base di informazioni provenienti dai termocettori profondi centrali e termocettori periferici sensibili al caldo (corpuscoli di Ruffini) e al freddo (corpuscoli di Krause), con un meccanismo di controllo nervoso a *feed-back* attiva gli effettori periferici modulando la risposta in relazione alla necessità di dissipare il calore o di incrementarne la produzione.



Meccanismi di termoregolazione

Meccanismi di difesa contro il caldo	Meccanismi di difesa contro il freddo
Vasodilatazione cutanea	Vasocostrizione
Traspirazione	Brivido
Sudorazione attiva	
Diminuzione attività motoria	Aumento dell'attività motoria



Un Microclima confortevole suscita situazione di **confort**, ovvero stato di benessere psicofisico nell'ambiente in cui un lavoratore opera.

Disconfort, stato di insoddisfazione rispetto all'ambiente, tanto maggiore quanto più saranno impiegati i meccanismi di termoregolazione.

Benessere termico ($S = 0$)

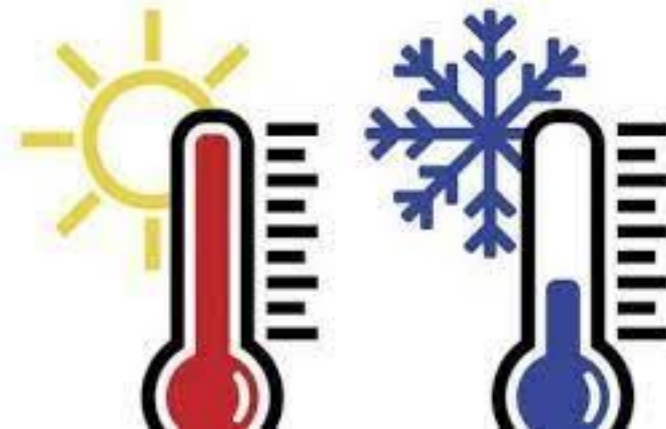
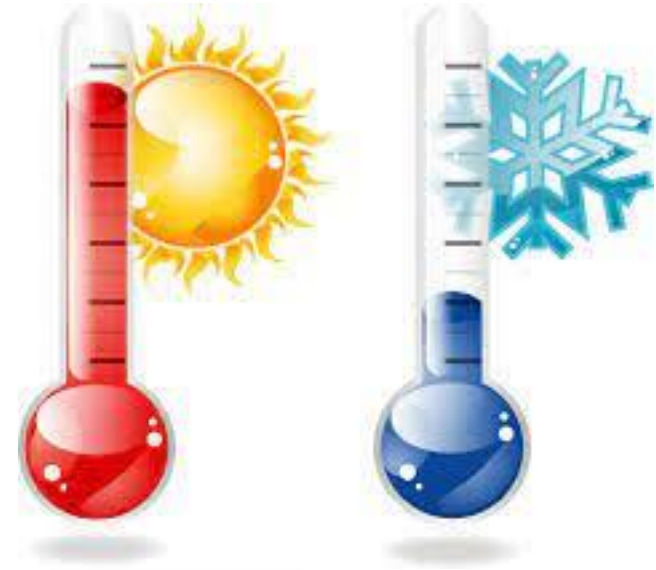
Le condizioni microclimatiche sono tali per cui la persona non è costretta ad attivare i meccanismi di termoregolazione e non percepisce né sensazione di freddo né sensazione di caldo (condizione di soddisfazione della situazione termica).

Discomfort termico ($S < 0$ e $S > 0$)

Le condizioni microclimatiche danno sensazione di caldo o di freddo: l'organismo attiva i meccanismi di termoregolazione. Se le variazioni di temperatura sono graduali, il corpo ha più tempo per attuare tale processo e sono tollerati meglio gli sbalzi di temperatura.

Stress termico ($S \ll 0$ e $S \gg 0$)

Le condizioni microclimatiche sono tali per cui l'organismo non riesce più a mantenere costante la T interna; questa situazione termica può causare effetti negativi per la salute (colpo di calore, esaurimento, congelamento, assideramento).





Con l'emanazione del *D.Lgs. 81/2008* il **microclima** è stato riconosciuto come **agente di rischio fisico**, ai sensi dell'art. 180 che definisce tali agenti e ne individua il campo di applicazione, rendendone obbligatoria la valutazione dei rischi, così come stabilito dall'art. 181.

Fattori di Rischio

All. IV relativamente al microclima:

- **Aerazione luoghi di lavoro chiusi** → tenendo conto dei metodi di lavoro e degli sforzi fisici dei lavoratori, è necessario che dispongano di *aria salubre in quantità sufficiente*, ottenuta con aperture naturali o, ove non sia possibile, con impianti di aerazione.
- **Temperature dei locali** → adeguata all'organismo umano, tenuto conto dei metodi di lavoro applicati e degli sforzi fisici dei lavoratori.
- **Umidità** → in locali chiusi in cui l'aria è soggetta a inumidirsi bisogna mantenere temperatura e umidità nei limiti compatibili con esigenze tecniche.

È necessario fare ricorso a specifiche norme tecniche di settore che consentono di effettuare una valutazione quantitativa del rischio e di adottare le opportune misure di prevenzione e protezione a seconda del tipo di ambiente.

I **Rischi** da microclima si presentano quando si lavora in ambienti *troppo caldi o troppo freddi* o il *tasso di umidità dell'aria è inferiore al 40-60%*.

I fattori di rischio più frequenti sono:

- *Aria troppo secca o troppo umida*
 - *Sbalzi termici*
 - *Correnti d'aria*



Parametri
microclimatici
da rispettare

- Mantenere numero adeguato di ricambi d'aria
- Temperatura interna invernale a 18°C-20°C
- Umidità relativa compresa tra 40 -60 %
- Temperatura interna estiva inferiore all'esterna di non più di 7 °C
- Umidità relativa estiva tra 40-50 %
- Velocità dell'aria inferiore a 0.12 m/s

Indicazioni
preventive

- ✓ Uso di indumenti da lavoro adeguati alle condizioni climatiche
- ✓ Dotazione di sistemi di riscaldamento, ventilazione o condizionamento
- ✓ Effettuazione di verifiche periodiche e regolare manutenzione di impianti
- ✓ Introduzione di organizzazione del lavoro che limiti la durata di permanenza del lavoratore in ambienti troppo caldi o troppo freddi



Gli *ambienti termici* vengono distinti generalmente in **ambienti moderati e severi (caldi o freddi)**.

Ambienti moderati

Raggiungimento di una **condizione di comfort**, con intervento di carattere tecnico, organizzativo o procedurale che possa rendere l'ambiente termico confortevole ai fini dell'espletamento delle attività ivi svolte.

Ambienti severi

È necessaria la salvaguardia della sicurezza e della salute dei lavoratori, il cui sistema di termoregolazione può essere sollecitato in maniera significativa nel tentativo di mantenere la temperatura centrale nei limiti fisiologici.

In condizioni esterne agli intervalli di applicabilità degli **indici PMV/PPD**, sarà necessario tenere conto dei rischi legati all'esposizione di soggetti sensibili con alterata capacità di termoregolazione fisiologica (es. donne in gravidanza, soggetti con patologie preesistenti che possono alterare la percezione termica: patologie dell'apparato cardiocircolatorio o del sistema endocrino, e trattamento con farmacologico)

PMV (*predicted mean vote*): voto medio previsto per sensazione di benessere termico

PPD (*predictade percentage of dissatisfied*): percentuale prevista delle persone insoddisfatte



UNI EN ISO
7730,7243,7933,7726
**Per valutazione benessere
microclimatico**

PATOLOGIE DA AMBIENTI SEVERI

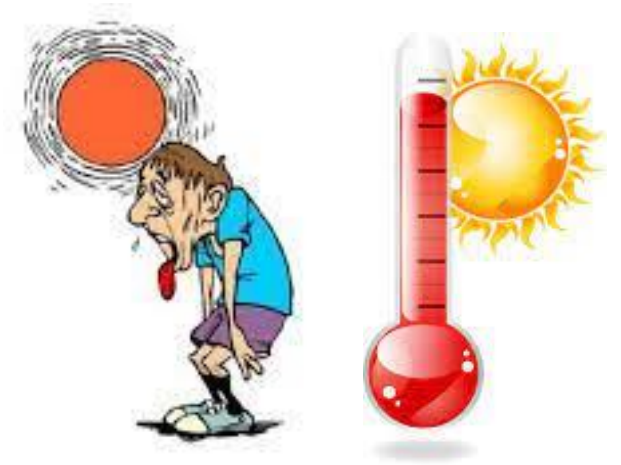
Attivazione intensa e prolungata dei meccanismi di termoregolazione può portare ad un cedimento del sistema di controllo, con insorgenza di manifestazioni patologiche da calore o da freddo anche gravi.

Patologie da Alte Temperature

Il protratto funzionamento dei meccanismi di termoregolazione determinano disordini dovuti a instabilità del sistema cardio-circolatorio, a squilibri idro-elettrolitici e al blocco di tali meccanismi.

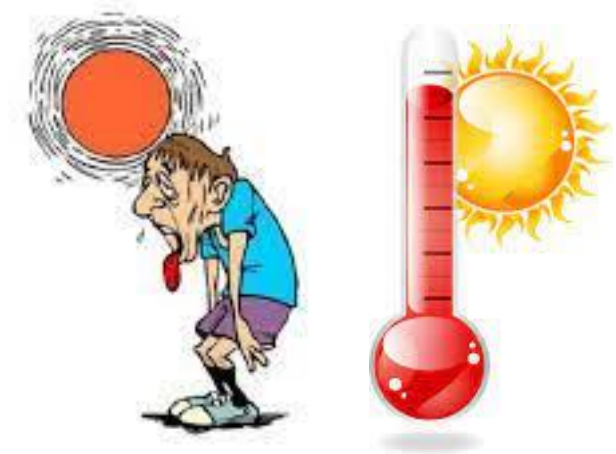
Sincope da calore evento acuto, improvviso, di natura cardiogena → malessere, cardiopalmo, perdita di coscienza preceduta da pallore, stordimento e vertigini. In soggetti che svolgono attività lavorativa in ambienti severi caldi, in particolare se non acclimatati, si accompagna spesso a una ipertermia che può raggiungere i 39 °C.

Colpo da calore, arresto della sudorazione, iperpiressia e gravi disturbi dell'attività cerebrale, con perdita di coscienza, danno renale e epatico, modificazioni ematologiche.



Esaurimento da calore, evento causato da sudorazione protratta con perdita di acqua, elettroliti, deplezione salina, mobilitazione del potassio dalle cellule, aumento del catabolismo protidico → cefalea, nausea, vomito, astenia profonda, crampi muscolari, polso piccolo e frequente, tendenza al collasso.

Crampi da calore → spasmi muscolari dolorosi della durata di 1-3 minuti a carico di polpaccio, addome, colonna vertebrale, causati dallo svolgimento di attività muscolari intense in ambiente caldo-umido. Sono preceduti da astenia ingravescente, cute umida, calda e arrossata, ipotensione. Possono essere prevenuti da un'adeguata assunzione di acqua e soluzioni isotoniche di cloruro di sodio.



Deficit idrico → inadeguato ripristino delle perdite d'acqua conseguenti a sudorazione $\geq 5\%$ del volume d'acqua totale.

Manifestazioni: sete marcata, polso rapido, sudorazione ridotta o abolita, densità urinaria elevata, sodio plasmatico aumentato.

Deficit sodico → inadeguato ripristino del sodio perso con il sudore (dopo almeno 3-5 giorni di esposizione).

Manifestazioni: intensa sensazione di fatica, polso lento, sete discreta, frequenti vertigini, crampi e vomito, emoconcentrazione precoce e pronunciata, marcata diminuzione di sodio e cloro urinari, riduzione del sodio plasmatico.

Lavoratore in ambiente con temperatura $> 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ sarà opportuno:

- Mantenere valore di umidità relativa $< 60\%$
- Limitare la permanenza dei lavoratori in ambienti caldi
- Programmare periodo di progressiva acclimatazione al calore
- Programmare visite periodiche a lavoratori esposti ad ambienti con alte temperature
- Programmare periodi di riposo in ambienti con temperature miti

Patologie da Basse Temperature

Vasocostrizione cutanea, scambio tra arterie e vene, attività muscolare volontaria e riflessa, orripilazione, termogenesi chimica tramite catecolammine e tiroxina
→ meccanismi di difesa dal freddo



Patologie sistemiche

Orticaria da freddo → vasodilatazione prolungata, con formazione di elementi eritemato-pomfoidi dolenti e pruriginosi che possono estendersi a tutto il corpo. Può accompagnarsi a reazione sistemica con tachicardia, ipotensione, vampate al volto e sincope.



Assideramento → sindrome connessa a ↓ della temperatura del nucleo corporeo (Ipotermia acuta o subacuta) causata da esposizione prolungata a freddo senza indumenti protettivi o caduta in acqua fredda. È caratterizzata da progressiva depressione delle funzioni vitali: rallentamento funzioni psichiche, ottundimento dei sensi, ipotensione, bradicardia, caduta della portata cardiaca, turbe della conduzione cardiaca.

Patologie localizzate

Acrocianosi → dermatosi caratterizzata da aspetto cianotico-violaceo, ipotermia ed iperidrosi delle zone distali degli arti, cui si associano ipoestesi e parestesie delle zone interessate, prevalente nel sesso femminile.

Geloni ed eritema pernio → manifestazioni localizzate alle estremità che interessano soggetti predisposti (linfatisma, anemia, distonia neurovegetativa), prevalentemente di sesso femminile, alla cui base vi è alterata regolazione del tono e della permeabilità vascolare con edema localizzato.

Per lavori a temperatura < 18°C :

- Utilizzo di indumenti idonei per la protezione dal freddo
- Devono essere previsti periodi di riposo in locali con temperature miti



Congelamento → raffreddamento intenso che interessa prevalentemente le estremità (mani, piedi, orecchie, naso) ed è caratterizzato da :

FASE “PREIPEREMICA” → parestesie con ipoestesia locale, dolenzia, difficoltà nei movimenti con cute fredda, pallida, edematosa)

FASE DI “CONGELATIO ERITEMATOSA” (1° grado) → aumento di parestesie, insensibilità e dolore con cute rosso-cianotica, tumefatta, screpolata

FASE DI “CONGELATIO BOLLOSA” (2° grado) → iperidrosi spiccata con vescicole e flittene emorragiche

FASE DI “CONGELATIO NECROTICA” (3° grado) → necrosi della cute che si estende progressivamente ai tessuti sottostanti fino alla gangrena, con febbre associata e stato tossico-stuporoso

Valutazione del rischio

Tabella 1.1 - Riferimenti legislativi

Agenti fisici	Riferimenti legislativi
Rumore	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo II)
Vibrazioni	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo III)
Campi elettromagnetici	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo IV)
Radiazioni ottiche artificiali	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I; Titolo VIII, Capo V)
Radiazioni Ionizzanti	d.lgs. 230 del 17 marzo 1995 e s.m.i.
Microclima	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I)
Infrasuoni, Ultrasuoni	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I)
Atmosfere iperbariche	d.lgs. 81/08 e s.m.i. (Titolo VIII, Capo I)



In ambienti moderati

Valutazione dell'ambiente di lavoro in confronto a valutazioni e standard di settore e valutazioni soggettive degli occupanti

Segnalare se esistono locali in cui non viene garantito il controllo della temperatura

→ segnalazione problemi connessi al microclima

Misure adottabili:

- Installare e potenziare gli impianti per la regolazione termo-igrometrica
- Schermare sorgenti radianti
- Dotare i diversi ambienti di regolatori autonomi di parametri termo-igrometrici
- Ridurre la velocità dell'aria

In ambienti severi

Valutazione del rischio eseguita in base a dati oggettivi ottenuti con rilievi strumentali

- Individuazione di modalità di contenimento dei rischi per la salute
- Definizione periodi di recupero
- Esigenza di acclimatamento in avvicinamento o allontanamento dai luoghi termicamente severi
- Caratteristiche di protezione dei DPI (DPI che proteggono da calore e fuoco/ DPI che proteggono da freddo e intemperie)
- Puntualizzazione di procedure di tutela in condizioni estreme

Microclima nel lavoro ad alta quota

L'ambiente di lavoro in **alta quota** presenta fattori di rischio esso correlati:

- Riduzione della pressione barometrica e della pressione d'ossigeno, responsabili della progressiva ipossiemia
- Riduzione della temperatura di circa 1 °C ogni 150 m
- Riduzione dell'umidità assoluta dell'aria



La permanenza e lo svolgimento di attività di **lavoro in alta quota** comportano un necessario e fisiologico **adattamento dell'organismo umano alle mutate condizioni ambientali**.

Il principale problema legato all'altitudine e all'alta quota (altitudini pari o superiori a 3000 m s.l.m.) è la *diminuzione della temperatura atmosferica e della tensione parziale dell'ossigeno*, proporzionale alla riduzione della pressione barometrica.

La ↓ della temperatura atmosferica determina fisiologicamente l'inizio dei meccanismi di omeostasi e patologie da freddo, quali assideramento, congelamento.

La ↓ della pressione parziale di ossigeno determina una serie di meccanismi di *adattamento funzionale*, nel loro complesso detti «**processo di acclimatazione**». → velocità e entità della risposta di adattamento dipendono da altitudine e variabilità della risposta individuale

- Risposte a breve termine: iperventilazione e aumento della frequenza di gittata cardiaca
- Adattamenti a lungo termine, in seguito a cronica ipossia sono variazioni dell'equilibri acido-base, poliglobulia, modificazioni del microcircolo tissutale e di alcuni aspetti del metabolismo cellulare

Principali patologie caratteristiche dell'alta quota:

- ***Mal di montagna acuto***

si presenta dopo rapida ascensione, è caratterizzato da cefalea aggravata da esercizio fisico, sforzi, tosse o piegamenti

- ***Edema cerebrale ad alta quota***

caratterizzato da sintomi neurologici: atassia, allucinazioni, stato confusionale, stato stuporoso

- ***Edema polmonare ad alta quota***

i sintomi iniziano 24-48 h dall'arrivo in quota e sono rappresentati da tosse produttiva, dispnea, tachicardia, tachipnea

- ***Retinopatia ad alta quota***

emorragie pre-retiniche, diminuzione dell'acuità visiva, papilledema, essudati cotonosi, microtrombi



Microclima in ambiente confinato

Spazio confinato: qualunque luogo non progettato perché ci si lavori all'interno, ma abbastanza ampio da permettere, in certe condizioni, a una persona di entrarvi per lavorare e che presenti aperture di accesso e di uscita limitate o ristrette (camere, cisterne, silos, fosse, vasche, fogne, condotte, cunicoli).



Caratteristiche di un ambiente confinato:

Difficoltà di accesso tramite aperture di ingresso/uscita da dimensioni ridotte e dall'ubicazione ergonomicamente disagiata

Condizioni di ventilazione sfavorevoli (ricambi d'aria limitati, insufficienti)

Dimensioni fisiche spesso limitate

Illuminazione scarsa o assente

Microclima sfavorevole

Lavoro isolato o con difficoltà di comunicazione ordinaria e di emergenza



D. Lgs: 81/08 Art. 66

Vieta l'accesso dei lavoratori in pozzi neri, fogne, camini, fosse, gallerie e in generale in ambienti dove sia possibile il rilascio di gas deleteri, **senza che sia prima accertata l'assenza di pericolo per la vita e l'integrità fisica dei lavoratori** o senza previo risanamento dell'atmosfera mediante ventilazione o altri mezzi idonei.

In ambiente di lavoro confinato bisogna:

- Garantire un buon isolamento termico dell'ambiente
- Predisporre un adeguato impianto di condizionamento dell'ambiente
- Ridurre numero e durata delle esposizioni con opportuna organizzazione dei turni, con inserimento di pause, con la rotazione di più lavoratori nello stesso compito
- Fornire DPI adeguati
- Evitare eccessi di superfici vetrate, che in estate, aumentano notevolmente calore e irraggiamento solare
- Predisporre regolazione termostatica dell'impianto di riscaldamento
- Controllare tutti i parametri che influiscono sulla temperatura effettiva corrente (umidità relativa e velocità dell'aria)
- Evitare un'eccessiva concentrazione di macchinari che producono calore in un unico ambiente

Atmosfere Iperbariche

LAVORATORI ESPOSTI AD ATMOSFERE IPERBARICHE: tutti i lavoratori che effettuano la loro attività in condizioni iperbariche, cioè in ambienti in cui la pressione è del 10% superiore alla pressione a livello del mare.



Decreto Legislativo 81/08 - Titolo VIII:

Articolo 180 - Definizioni e campo di applicazione

- 1. Ai fini del presente Decreto Legislativo per agenti fisici si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, di origine artificiale, il microclima e le **atmosfere iperbariche** che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.*

Attività lavorative interessate dalle atmosfere iperbariche sono :

ATTIVITA' IPERBARICHE A SECCO:

CASSONISTI

LAVORI DI ESCAVAZIONE NEI TUNNEL

ATTIVITA' SUBACQUEE:

SOMMOZZATORI IN SERVIZIO LOCALE

SUBACQUEI DI BASSO E ALTO FONDALE

SUBACQUEI ADDETTI AD ATTIVITA' RICREATIVE

SUBACQUEI DEI CORPI DELLO STATO

RICERCATORI SUBACQUEI

PESCATORI SUBACQUEI PROFESSIONALI

ALTRE ATTIVITA' SUBACQUEE

ATTIVITA' IPERBARICA IN AMBITO SANITARIO:

Ossigenoterapia Iperbarica



Effetti sulla salute

L'esposizione ad ambiente iperbarico può causare sia *effetti di tipo **acuto** che di tipo **cronico*** (barotrauma, intossicazione da gas inalati, patologie decompressive), con conseguenze più o meno gravi, che vanno *dall'irritazione cutanea alla morte*.

I sintomi compaiono o durante o a seguito dell'esposizione, nel passaggio dall'ambiente in sovrappressione alla pressione atmosferica di partenza.

EFFETTI DELL'ESPOSIZIONE AD ATMOSFERE IPERBARICHE

L'esposizione ad atmosfere iperbariche fa sì che il gas inerte, presente nella miscela respiratoria che non prende parte agli scambi metabolici, passi nei tessuti del lavoratore. Quando egli torna alla pressione di partenza il gas inerte deve nuovamente tornare all'ambiente → evento potenzialmente rischioso che deve essere reso compatibile con un lento rilascio del gas stesso.

Il rischio da esposizione ad atmosfera iperbarica è sempre da valutare tenendo in considerazione gli altri fattori di rischio lavorativi a cui il soggetto è esposto



Patologie collegate al rischio iperbarico

- 1) Ipossia
- 2) Avvelenamento da CO
- 3) Ipercapnia (CO₂)
- 4) Tossicità dell'ossigeno (O₂)
- 5) Narcosi d'azoto (N₂) (detto anche "effetto Martini")
- 6) Iperventilazione
- 7) Dispnea
- 8) Enfisema
- 9) Pneumotorace
- 10) Sovradistensione gastro-intestinale
- 11) Barotrauma
- 12) Annegamento
- 13) Ipotermia o ipertermia
- 14) Embolia gassosa arteriosa (EGA)
- 15) Patologia da decompressione
- 16) Osteonecrosi iperbarica
- 17) Effetti neurologici
- 18) Effetti sul DNA





Grazie!!!

Alla prossima lezione....