## Rischi da Campi Elettromagnetici

#### I CAMPI ELETTROMAGNETICI

Corso Ambiente e Salute

**Dr. Ugo Tentolini**Dottore di Ricerca in Chimica
Esperto Qualificato II Grado



#### RISCHI FISICI

**RUMORE** 

**CARPENTERIA** 

SALA PROVE MOTORI

**MICROCLIMA** 

TEMPERATURA UMIDITA' VENTILAZIONE

**ILLUMINAZIONE** 

**ABBAGLIAMENTO** 

LUCE SCARSA

RADIAZIONI IONIZZANTI E NON IONIZZANTI

RAGGI X

LASER

**CAMPI ELETTROMAGNETICI** 

**SORGENTI RADIOATTIVE** 

**VIBRAZIONI** 

UTENSILI ARIA COMPRESSA

BATTITURA PAVIMENTAZIONI

### Onde Elettromagnetiche

#### **Premessa**

Le onde elettromagnetiche (c.em.) sono delle perturbazioni che si propagano nello spazio e che trasportano energia.

Sulla Terra è da sempre presente un fondo elettromagnetico naturale (considerato uguale a 50 µT alla nostra latitudine) le cui sorgenti principali sono la terra stessa, l'atmosfera ed il sole, che emette radiazioni ionizzanti, luce visibile e radiazioni UV



#### ....continua.....

Al naturale livello di fondo si sono però aggiunti, al passo con il progresso tecnologico, i campi prodotti dalle sorgenti legate all'attività dell'uomo, innalzando così il fondo naturale di migliaia di volte.

Imputati sono innanzi tutto i grandi conduttori d'energia elettrica (elettrodotti ad alta, media e bassa tensione), gli impianti radar e d'emittenza radio televisiva, ponti radio televisivi e per telefonia mobile (stazione radio base), nonché, anche se in misura minore, gli elettrodomestici ed i telefoni cellulari.

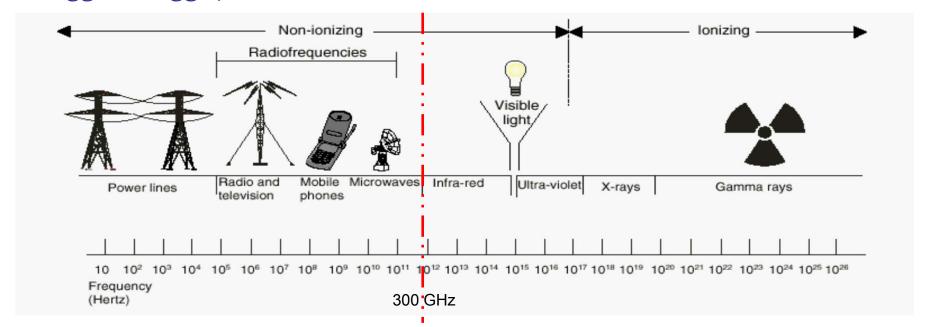
| LINEE ALTA TENSIONE   |
|---|
| CENTRALI DI PRODUZIONE E TRASFORMAZIONE DI CORRENTE   |
| CABINE DI SERVIZIO IN USO ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE  |
| IMPIANTI DI DISTRIBUZIONE CORRENTE ELETTRICA CIVILE ED INDUSTRIALE  |
| ELETTRODOMESTICI (TV, COMPUTER, IMPIANTI STEREO, FRIGORIFERI, FORNI MICROONDE, ASCIUGACAPELLI, RASOI ELETTRICI, RADIOSVEGLIE, ECC.) |
| MACCHINE INDUSTRIALI  |
| IMPIANTI RADAR  |
| IMPIANTI DI TELECOMUNICAZIONE RADIO-TELEVISIVA  |
| IMPIANTI PER TELEFONIA MOBILE   |
| TELEFONI CELLULARI E CORDLESS   |
| VARCHI MAGNETICI IN USO PRESSO SUPERMERCATI E NEGOZI  |
| SISTEMI ANTIFURTO E TELEPASS  |

#### Spettro Elettromagnetico Radiazioni Non Ionizzanti

Rappresentando i campi elettromagnetici in base alla frequenza si ottiene lo spettro elettromagnetico

Si distinguono Radiazioni Ionizzanti e Radiazioni Non Ionizzanti (NIR, Non Ionizing Radiation) in base all'energia

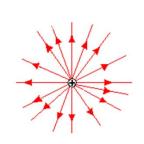
- NIR: frequenze ELF, radiofrequenza, infrarosso, luce visibile, parte dell'ultravioletto
- · IR: parte della luce ultravioletta, radiazioni ad alta energia come raggi x i raggi γ

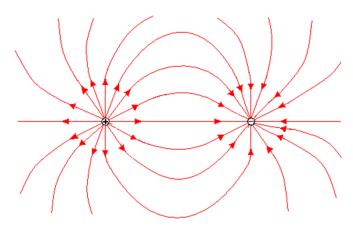


### Accennando alla fisica....

#### CAMPO ELETTRICO

Il CAMPO ELETTRICO (E) può essere definito come una regione di spazio estesa intorno ad un oggetto dotato di carica elettrica (sorgente di campo) nella quale si manifestano forze su altri oggetti dotati di cariche elettriche.





L'intensità del campo elettrico si misura in Volt al metro (V/m). Essa è massima vicino al dispositivo che lo produce e diminuisce con la distanza

Molti materiali comuni, come il legno ed i metalli <u>costituiscono uno schermo</u> <u>per questi campi</u>

#### **CAMPO MAGNETICO**

Il CAMPO MAGNETICO è una regione di spazio estesa intorno ad un oggetto percorso da corrente elettrica (sorgente di campo), nella quale si manifestano forze su altri oggetti percorsi da corrente elettrica.

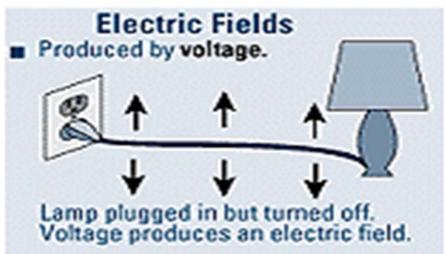
I campi magnetici sono massimi vicino alla sorgente e diminuiscono con la distanza.

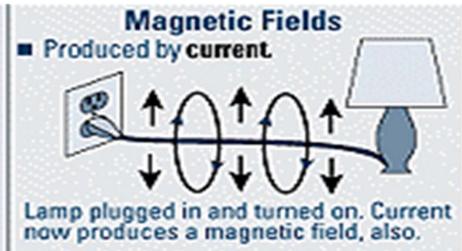
Essi non vengono schermati dalla maggior parte dei materiali di uso comune, e li attraversano facilmente.

Il campo magnetico (H) si misura in Ampere al metro (A/m) L'intensità dell'induzione magnetica si misura in Tesla (T)

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$
  $\mu$  è la permeabilità magnetica del mezzo  $\mu$  nel vuoto vale  $\mu = \mu_0 = 4\pi$  10<sup>-7</sup> Henry/m

#### CAMPO ELETTRICO E MAGNETICO





il campo elettrico è prodotto dalle cariche elettriche e deriva dai conduttori inseriti nelle prese, quindi è comunque presente anche quando un apparecchio elettrico è spento ma collegato alla rete

(dipende dalla tensione)

il campo magnetico si produce quando l'apparecchio elettrico viene messo in funzione e in esso circola quindi corrente

(dipende dalla intensità di corrente)

#### CAMPO ELETTROMAGNETICO

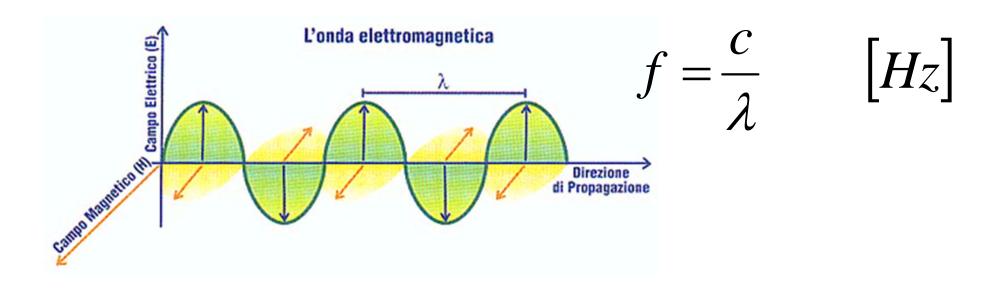
Un campo elettrico variabile nel tempo genera un campo magnetico, pure variabile (e viceversa): quando questi due campi si diffondono nello spazio come un'unica entità, si parla di campo elettromagnetico

Il campo elettromagnetico non ha una sua specifica unità di misura, ma ad esso è associato un flusso di energia per unità di tempo e di superficie.

Questa energia è detta anche densità di potenza (S) ed è espressa in  $Watt/m^2$  (W/m²)

 $S = H \times E$ 

#### ONDA ELETTROMAGNETICA



 $\lambda$  = lunghezza d'onda

f = frequenza (numero di oscillazioni nell'unità di tempo)

c = velocità della luce 3 x 10<sup>8</sup> m/s

#### Spettro Elettromagnetico Attribuzione dello Spettro

• Lo spettro elettromagnetico è assegnato secondo regolamenti nazionali (piano di assegnazione delle frequenze) con il quale l'autorità competente (Ministero delle Comunicazioni) ripartisce le frequenze a seconda del Servizio, del Gestore, e dell'Utilizzazione

(<a href="http://www.comunicazioni.it/aree\_interesse/televisione/piano">http://www.comunicazioni.it/aree\_interesse/televisione/piano</a> \_\_nazionale\_ripartizione\_frequenze/)

 Alcune bande di frequenze non sono sottoposte a diretta autorizzazione ministeriale ma sono riservate ad attività ISM (Industrial Scientific and Medical) Applicazioni Industriali Scientifiche e Medicali.

#### Spettro Elettromagnetico

| Denominazione                |  | Sigla                            | Frequenza          | Lunghezza d'onda |
|------------------------------|--|----------------------------------|--------------------|------------------|
| frequenze estremamente basse |  | ELF<br>(extremely low frequency) | 0 - 3 kHz          | ∞ - 100 km       |
| frequenze bassissime         |  | VLF<br>(very low frequency)      | 3 - 30 kHz         | 100 - 10 km      |
| radiofrequenze (RF)          | frequenze basse<br>(onde lunghe)       | LF<br>(low frequency)            | 30 - 300 kHz       | 10 - 1 km        |
|                              | medie frequenze<br>(onde medie)        | MF<br>(medium frequency)         | 300 kHz - 3 MHz    | 1 km - 100 m     |
|                              | alte frequenze                         | HF<br>(high frequency)           | 3 - 30 MHz         | 100 - 10 m       |
|                              | frequenze altissime<br>(onde metriche) | VHF<br>(very high frequency)     | 30 - 300 MHz       | 10 - 1 m         |
| microonde<br>(MO)            | onde decimetriche                      | UHF<br>(ultra high frequency)    | 300 MHz - 3<br>GHz | 1 m - 10 cm      |
|                              | onde centimetriche                     | SHF<br>(super high frequency)    | 3 - 30 GHz         | 10 - 1 cm        |
|                              | onde millimetriche                     | EHF (extremely high frequency)   | 30 - 300 GHz       | 1 cm - 1 mm      |
| infrarosso                   |  | IR<br>(infra red)                | 0,3 - 385 THz      | 1000 - 0,78 mm   |
| luce visibile                |  | nank a og navetnere              | 385 - 750 THz      | 780 - 400 nm     |
| ultravioletto                |  | UV<br>(ultra violet)             | 750 - 3000 THz     | 400 - 100 nm     |
| radiazioni ionizzanti        |  | (X, gamma)                       | > 3000 THz         | < 100 nm         |

#### Sorgenti di Campo Elettromagnetico

- Sorgenti irradianti intenzionali
  - Apparati che hanno come scopo l'emissione di onde elettromagnetiche
  - Caratteristiche note in termini di emissione della potenza, polarizzazione, stabilità della frequenza, ed emissione di armoniche
  - Esempi sono gli apparati per le telecomunicazioni
- Sorgenti irradianti non intenzionali.
  - Apparati che emettono onde elettromagnetiche come effetto secondario rispetto allo scopo per cui sono progettati
  - Non sempre sono note le caratteristiche della radiazione
  - Esempi: Riscaldamento ad induzione e a radiofrequenza, Forni a microonde (processo primario non orientato ad irradiare energia nell'ambiente esterno)
  - Equipaggiamenti elettrici ed elettronici a causa di problemi come inefficiente schermatura, disaccoppiamenti
  - Oggetti riflettenti che agiscono come sorgenti secondarie

# Sorgenti di campo elettromagnetico

- Bassa frequenza: tutto ciò che è connesso alla rete elettrica ed in particolare le linee elettriche.
- Alta frequenza: Impianti Radio, Televisivi, Telefonia senza fili, Trasmissione dati wireless, Radar, Microonde

### Sorgenti a Bassa Frequenza

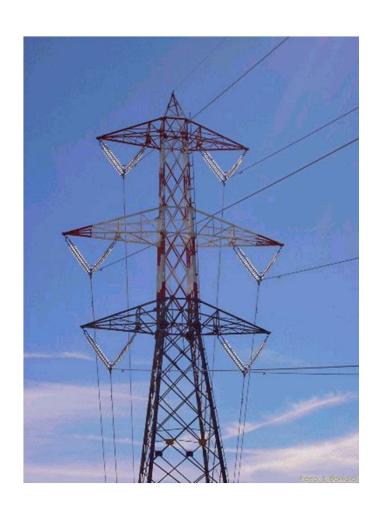
Sistemi di trasporto e distribuzione dell'energia elettrica (Elettrodotti e cabine di trasformazione)

- ❖ L'energia elettrica viene trasportata con diversi tipi di conduttori, percorsi da una corrente alternata alla frequenza di **50** *Hz*
- ❖ Il campo elettrico dipende dalla tensione di esercizio (132-380 KV) che in genere è costante
- ❖ Il Campo Magnetico dipende dalla corrente di linea che varia in funzione del carico d'utenza ovvero dall'assorbimento da parte degli utenti

#### Elettrodotto

AAT=380 e 220KV - trasporto

AT=150, 132 e 60KV - distribuzione

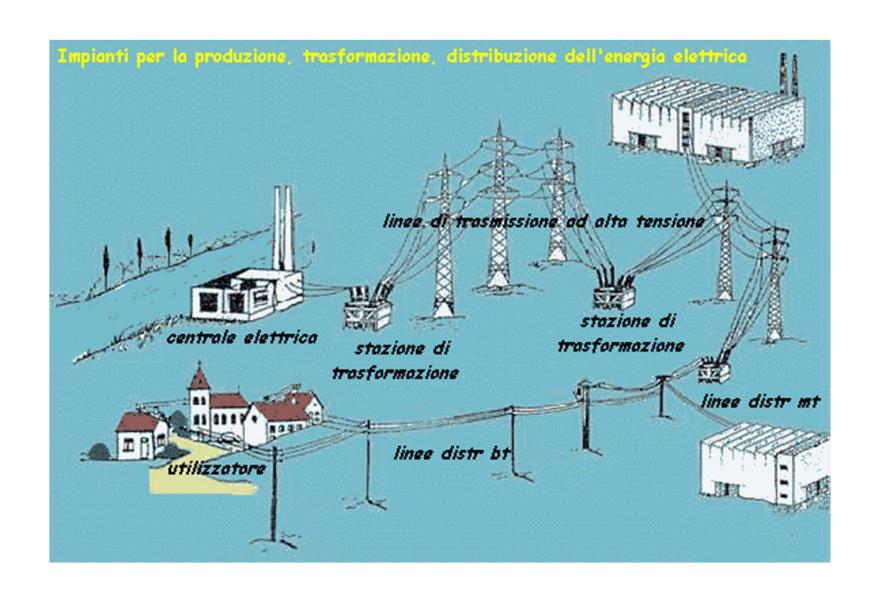


Cabina di trasformazione AT/MT (primaria)

Cabina di trasformazione MT/BT (secondaria)



## Struttura di un Elettrodotto dalla Centrale all'Utenza



## Sorgenti in Alta Frequenza Servizi in ambito TLC

- Diffusione Radio Televisiva
- Telefonia Mobile (GSM, DCS, UMTS, Cellulari)
- Trasmissione dati (Wi-Fi, Wi-Max, Bluetooth)
- Ponti radio
- Radar
- Trasmissione satellitare

#### Sistemi per la diffusione radiofonica in FM



# Sistemi per la diffusione televisiva

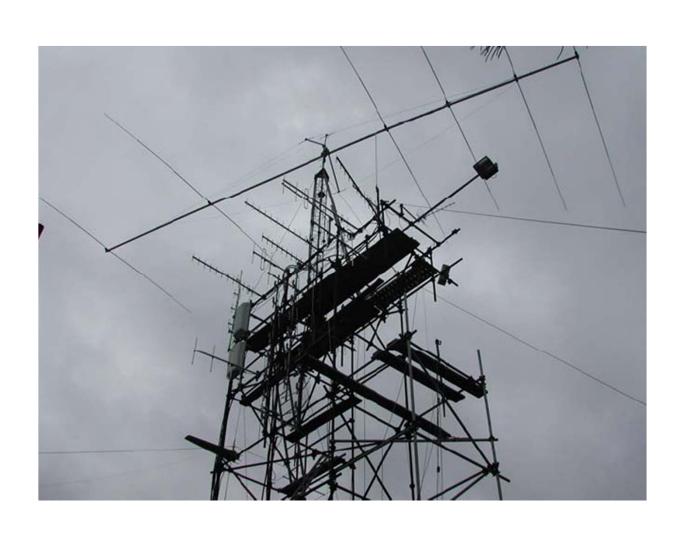






Sistemi radianti per la diffusione radiofonica in onda corta ed in onda media

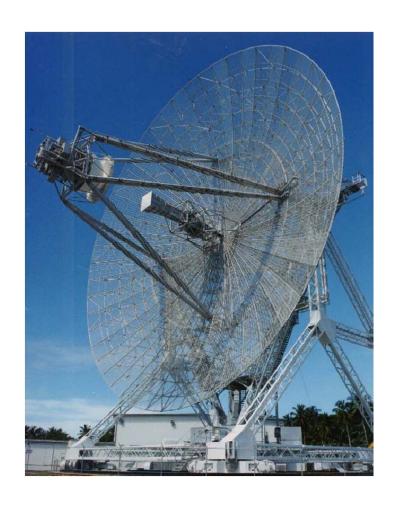
## Impianto radioamatoriale



## Ponti radio



### **RADAR**





# Stazione radio base per la telefonia mobile



# Stazione radio base per la telefonia mobile





# Stazione radio base per la telefonia mobile



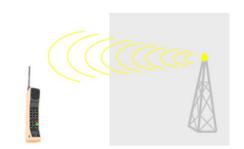


### Stazioni radio base



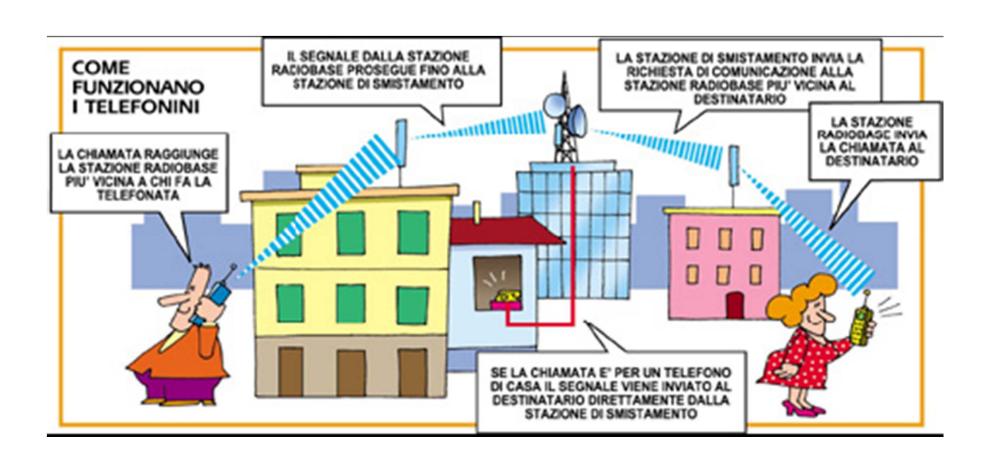
#### Telefonia Radio Mobile

- **❖** Bidirezionalità
  - ❖Stazioni Radio Base (SRB)
  - ❖Terminali Mobili (Cellulare)



- ❖Servizio GSM 900MHz, DCS 1800MHz
- Servizio UMTS 2100 MHz
- ❖Potenze: qualche decina di Watt

## Funzionamento della Telefonia Radio Mobile



## Effetti dei campi elettromagnetici sulla salute

Gli effetti dei CEM sul corpo umano dipendono dalla frequenza

Aumentando **f** tendono a manifestarsi fenomeni esclusivamente superficiali

- Effetti a breve termine
  - Limiti di Esposizione (tutelano da effetti acuti)
- •Eventuali effetti a lungo termine
  - Valori di Attenzione

I numerosi studi su eventuali effetti a lungo termine per valori inferiori ai limite di esposizione non hanno evidenziato effetti nocivi sulla salute

#### Valori Limite basse frequenze

Limite campo elettrico: 5000 V/m

Limite campo magnetico: 100 µT Valore istantaneo

10 µT mediana su 24 h

## Valori Limite alte frequenze

|                       | Intensità di campo<br>elettrico E (V/m) | Intensità di campo<br>magnetico H (A/m) | Densità di potenza<br>D (W/m²) |
|-----------------------|---|---|--------------------------------|
| Limiti di esposizione |   |   |                                |
| 0.1 < f ≤ 3 MHz       | 60                                      | 0.2                                     |                                |
| 3 < f ≤ 3000 MHz      | 20                                      | 0.05                                    | 1                              |
| 3 < f ≤ 300 GHz       | 40                                      | 0.1                                     | 4                              |
| Valori di attenzione  |   |   |                                |
| 0.1 MHz < f ≤ 300 GHz | 6                                       | 0.016                                   | 0.10<br>(3 MHz – 300 GHz)      |
| Obiettivi di qualità  |   |   |                                |
| 0.1 MHz < f ≤ 300 GHz | 6                                       | 0.016                                   | 0.10<br>(3 MHz – 300 GHz)      |

## Meccanismi di accoppiamento con il corpo umano

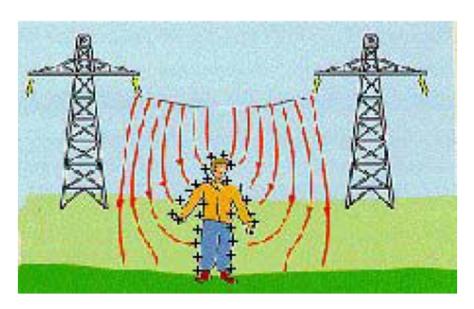
- accoppiamento con i campi elettrici a bassa frequenza;
- accoppiamento con i campi magnetici a bassa frequenza;
- \* assorbimento di energia elettromagnetica

## Accoppiamento dei campi magnetici a bassa frequenza



I campi magnetici a bassa frequenza provocano la circolazione di correnti all'interno del corpo. L'intensità di queste correnti dipende dall'intensità del campo magnetico esterno. Se sufficientemente elevate, queste correnti possono provocare la stimolazione di nervi e muscoli o influenzare altri processi biologici.

## Accoppiamento dei campi elettrici a bassa frequenza



Campi elettrici a bassa frequenza agiscono sul corpo umano, esattamente come agiscono su qualunque altro mezzo composto di particelle cariche. Quando i campi elettrici agiscono su materiali conduttori, influenzano la distribuzione delle cariche elettriche sulla loro superficie e provocano un flusso di corrente attraverso il corpo, verso la terra

#### Principali effetti biologici in relazione all'induzione di corrente nell'intervallo di frequenza 1-300 Hz

| Densità di corrente<br>(mA/m²) | Effetti  |
|--------------------------------|--|
| > 1000                         | Extrasistole e fibrillazione<br>ventricolare:rischi per la salute<br>ben determinati |
| 100-1000                       | Stimolazione dei tessuti<br>eccitabili:possibili rischi per la<br>salute             |
| 10-100                         | Possibili effetti sul sistema nervoso  |
| 1-10                           | Effetti biologici minori   |

# Assorbimento di energia elettromagnetica

l'esposizione a campi elettromagnetici di frequenza superiore a circa 100 kHz può portare a significativi assorbimenti di energia e aumenti di temperatura

man mano che la frequenza cresce la capacità di penetrazione attraverso i tessuti diminuisce e per frequenze superiori a circa 10 GHz, l'assorbimento di energia ha luogo soprattutto sulla superficie del corpo

# Effetti dei campi elettrici magnetici ed elettromagnetici

#### **Effetti acuti**

Osservabili solo oltre una certa soglia di intensità

#### **OBIETTIVI DELLA PROTEZIONE**

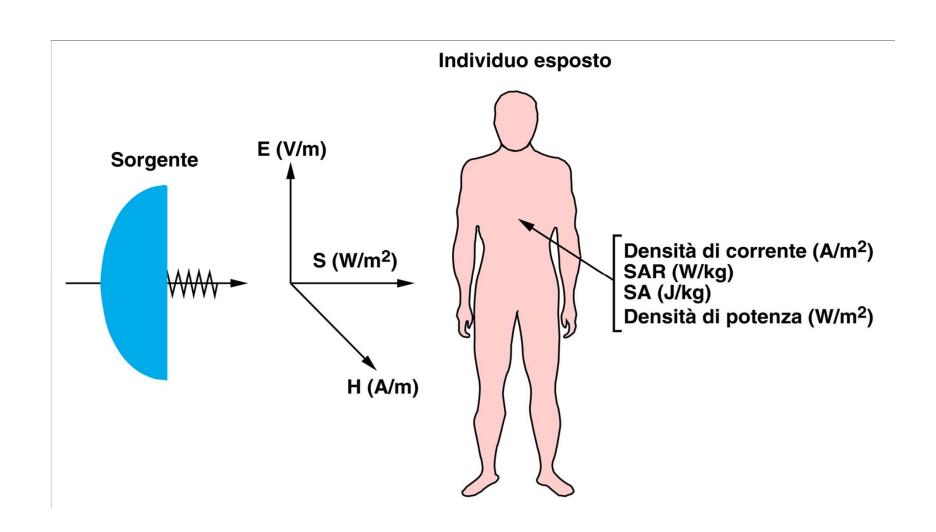
Prevenire gli effetti acuti

### LO SCHEMA DI PROTEZIONE

La prevenzione degli effetti acuti si realizza attraverso limiti di esposizione, la cui definizione prevede due fasi distinte:

- I limiti di base, che sono gli unici veri limiti, espressi mediante grandezze fisiche (grandezze dosimetriche) strettamente correlate agli effetti sanitari accertati. Il loro valore numerico viene determinato in base ai valori di soglia relativi alle risposte acute (stress indotto dall'aumento della temperatura corporea, effetti comportamentali, stimolazione di strutture e tessuti eccitabili) e dai **fattori di sicurezza** che, rispetto ai valori di soglia, le varie norme adottano
- I livelli di riferimento, definiti mediante grandezze radiometriche che caratterizzano l'ambiente in cui avviene l'esposizione in assenza del soggetto esposto. Si tratta di grandezze facilmente misurabili con una strumentazione relativamente poco costosa e largamente diffusa sul mercato

## Radiometria e Dosimetria



## Criteri generali per la definizione dei limiti di esposizione

- ❖ Gli effetti sanitari acuti connessi all'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici sono fenomeni a soglia e cioè esistono dei valori minimi che le grandezze dosimetriche devono superare affinchè si verifichi l'effetto
- Ne consegue che è possibile stabilire, a partire dai valori soglia e introducendo opportuni fattori di sicurezza, dei limiti di esposizione (limiti di base) espressi in funzione di grandezze dosimetriche il cui rispetto garantisce l'assenza di effetti sanitari da esposizione acuta

## Criteri generali per la definizione dei limiti di esposizione

Poiché i limiti di base sono di difficile determinazione, vengono fornite anche delle grandezze che definiscono il campo elettromagnetico esterno (campo elettrico, campo magnetico, densità di potenza) e che costituiscono i limiti di riferimento, i quali sono espressi in termini di grandezze radiometriche

La correlazione tra limiti di base e limiti di riferimento è stata ottenuta per mezzo di modelli matematici e misure su fantocci (Modelli e simulazioni Monte Carlo)

# Restrizioni fondamentali sulle grandezze di base

- densità di corrente (J) (A/m²) nella testa e nel tronco
  - dipendente dalla frequenza
  - base temporale istantanea
- assorbimento di energia (SAR) (W/kg) mediato sul corpo intero e locale (testa e tronco, arti)
  - indipendente dalla frequenza
  - mediato su intervalli di 6 minuti

ampi **fattori di riduzione** tra le soglie di rischio e le restrizioni adottate

### Livelli derivati di riferimento

insieme di restrizioni sulle grandezze monitorabili nell'ambiente

- ❖ campo elettrico (V/m)
- ❖campo magnetico (A/m)
- **❖induzione** magnetica (µT)
- ❖densità di potenza (W/m₂)

#### Sorgenti intenzionali

- Apparati che hanno come scopo l'emissione di onde elettromagnetiche
- Caratteristiche note in termini di emissione della potenza, polarizzazione, stabilità della frequenza, ed emissione di armoniche
- Esempi sono gli apparati per le telecomunicazioni

#### Sorgenti non intenzionali

- Apparati che emettono onde elettromagnetiche come effetto secondario rispetto allo scopo per cui sono progettati
- Non sempre sono note le caratteristiche della radiazione
- Esempi: Riscaldamento ad induzione e a radiofrequenza, Forni a microonde (processo primario non orientato ad irradiare energia nell'ambiente esterno)
- Equipaggiamenti elettrici ed elettronici a causa di problemi come inefficiente schermatura
- Oggetti riflettenti che agiscono come sorgenti secondarie

#### Sorgenti INDUSTRIALI

- In ambito industriale, numerosi processi produttivi si avvalgono del riscaldamento, rapido ed efficiente, indotto mediante c.e.m. vi sono tre tecnologie fondamentali:
- il riscaldamento ad induzione magnetica a bassa frequenza (impiegato per la tempra ed altre lavorazioni sui metalli)
- il riscaldamento a perdite dielettriche ad onde corte (che trova applicazione nella saldatura di materiali plastici e nell'incollaggio del legno)
- il riscaldamento a microonde (utilizzato per esempio per la disinfestazione di prodotti alimentari o di manufatti artistici, per la cottura d'alimenti e per l'essiccazione di materiale ceramico)

#### Sorgenti in AMBITO SANITARIO

- sorgenti di radiazioni laser (laser chirurgici e per fisioterapia, sistemi di puntamento in radiodiagnostica e radioterapia);
- sorgenti di radiazioni ultraviolette (lampade per la sterilizzazione d'ambienti o colture cellulari, lampade polimerizzanti in odontoiatria);
- apparecchiature emittenti campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (Marconi e Radarterapia, Ipertermia, Magnetoterapia, Elettrobisturi tradizionali ed a radiofrequenza, Tomografia a Risonanza Magnetica Nucleare, Forni a microonde);
- apparecchiature emittenti ultrasuoni (per fisioterapia, per ablazione, litotritori, sterilizzatrici/pulitrici, ecografi).

La più alta esposizione d'individui della popolazione si verifica nel caso dei pazienti sottoposti ad esame diagnostico mediante risonanza nucleare magnetica. Nelle procedure di formazione delle immagini, l'induzione magnetica varia tra 0,15 e 2 T e l'esposizione dura in genere meno di mezz'ora.

#### Sorgenti in AMBITI DOMESTICI E DI UFFICIO

In ambiente ufficio sono assai diffuse le sorgenti di campi elettrici e magnetici a frequenza industriale (impianto elettrico, elettrodomestici, macchine da ufficio, videoterminale) e non mancano alcune tipologie di sorgenti a radiofrequenza (telefoni cordless, sistemi antifurto).

**In ambiente domestico**, prevale nettamente il contributo fornito dalle frequenze di rete, ossia 50 Hz in Europa e 60 Hz nel Nord America (frequenze estremamente basse o ELF).

Un contributo minore è fornito dalle radiofrequenze e dalle microonde, emesse in uno spettro piuttosto vasto di frequenze da antenne radiotelevisive, radar e antenne radio-base per telefonia cellulare. Tra le fonti di microonde interne all'ambiente domestico sono annoverabili gli omonimi forni (per quanto in condizioni normali di funzionamento, l'emissione sia completamente confinata).

#### Criticità...

Per quanto riguarda gli utilizzatori elettrici, è noto che i livelli di campo (soprattutto campo magnetico) tendono a decrescere rapidamente con la distanza (spesso in ragione della seconda potenza), ma possono raggiungere livelli relativamente elevati in prossimità dell'utilizzatore medesimo, specie se questo è destinato ad un uso che lo porta quasi a contatto con la superficie del corpo (es. rasoi, asciugacapelli, etc.)

| ELETTRODOMESTICI (50 HZ) | CAMPO MAGNETICO (µT) ALLA DISTANZA DI |           |            |
|--------------------------|---------------------------------------|-----------|------------|
|                          | 3 cm                                  | 30 cm     | 100 cm     |
| Apriscatole              | 1000-2000                             | 3,5-30    | 0,07-1     |
| Asciugabiancheria        | 0,3-8                                 | 0,08-0,3  | 0,02-0,06  |
| Lavatrice                | 0,8-50                                | 0,15-3    | 0,01-0,15  |
| Lavastoviglie            | 3,5-20                                | 0,6-3     | 0,07-0,3   |
| Trapano                  | 400-800                               | 2-3,5     | 0,08-0,2   |
| Lampada da tavolo        | 40-400                                | 0,5-2     | 0,05-0,25  |
| Robot da cucina          | 60-700                                | 0,6-10    | 0,02-0,25  |
| Asciugacapelli           | 6-2000                                | <0,01-1   | <0,01-0,3  |
| Ferro da stiro           | 8-30                                  | 0,12-0,3  | 0,01-0,025 |
| Forno a microonde        | 75-200                                | 4,8       | 0,25-0,6   |
| Forno elettrico          | 1-50                                  | 0,15-0,5  | 0,04-0,091 |
| Termosifone              | 10-180                                | 0,15-5    | 0,01-0,25  |
| Frigorifero              | 0,5-1,7                               | 0.01-0,25 | <0,01      |
| Rasolo elettrico         | 15-1500                               | 0,08-7    | <0,01-0,3  |
| Televisore               | 25-50                                 | 0,04-2    | <0,01-0,15 |
| Aspirapolvere            | 200-800                               | 2,20      | 0,13-2     |
| Coperta elettrica        | 2-3                                   | 0,1-0,2   | <0,05      |

#### Sorgenti in AMBIENTI ESTERNI

**Nell'ambiente esterno**, infine, troviamo numerosissime classi di sorgenti operanti a varie frequenze:

- elettrodotti e stazioni elettriche
- stazioni radio base per la telefonia cellulare
- impianti per la diffusione radiofonica e televisiva
- apparati per supporto e controllo del traffico aereo
- ponti radio e reti di telecomunicazioni specializzate

#### Possibili effetti sulla salute

Negli ultimi decenni la comunità scientifica ha cominciato a studiare i possibili effetti nocivi dei campi elettromagnetici, distinguendoli **tra effetti sanitari acuti**, o di breve periodo, **ed effetti cronici**, o di lungo periodo.

Gli effetti acuti possono manifestarsi come diretta conseguenza di esposizioni al di sopra di una certa soglia, esposizioni che si possono verificare solo in particolari situazioni lavorative.

I limiti di esposizione ai CEM proposti dagli organismi internazionali e recepiti anche dalla normativa italiana garantiscono con sufficiente margine di sicurezza la protezione da tali effetti.

#### Possibili effetti sulla salute

Come effetti sulla salute dell'uomo, per esposizione a **alte frequenze** sono stati segnalati:

- opacizzazione del cristallino,
- anomalie alla cornea;
- ridotta produzione di sperma;
- alterazioni delle funzioni neurali e neuromuscolari;
- alterazioni del sistema muscolare.

#### Possibili effetti sulla salute

Per esposizione a **basse frequenze -frequenza 50 Hz-** sono stati segnalati come effetti sulla salute:

- effetti sul sistema visivo
- effetti sul sistema nervoso centrale;
- stimolazione di tessuti eccitabili;
- extrasistole e fibrillazione ventricolare.

#### Possibili effetti sulla salute

Sono stati inoltre riscontrati sintomi quali cefalea, insonnia e affaticamento, in presenza di campi al di sotto dei limiti raccomandati (ipersensibilità elettromagnetica).

In questi casi risulta difficile separare gli effetti dovuti all'esposizione da quelli di tipo psicosomatico per fenomeni di autosuggestione.

#### Possibili effetti sulla salute

- Gli **effetti cronici** possono manifestarsi, anche dopo lunghi periodi di latenza, come conseguenza di esposizioni a livelli bassi di campo elettromagnetico per periodi prolungati (situazione caratteristica degli ambienti di vita). Questi effetti hanno una natura probabilistica, cioè con l'aumento dell'esposizione, aumenta la possibilità di contrarre un danno, ma rimane invariata la gravità di tale danno.
- Gli effetti cronici sono stati analizzati attraverso numerose indagini epidemiologiche. Attualmente mancano studi universalmente accettati dalla comunità scientifica; tuttavia i maggiori organismi scientifici nazionali ed internazionali concordano nel ritenere che, allo stato attuale delle conoscenze, possa esistere una debole correlazione tra l'esposizione a campi elettromagnetici e cancro, limitatamente alle frequenze estremamente basse (ELF).

#### Possibili effetti sulla salute

- L'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) sostiene che i dati scientifici disponibili, non forniscono alcuna prova diretta che l'esposizione alle alte frequenze (RF) induca o favorisca il cancro, ne che abbrevi la durata della vita.
- Altri studi ipotizzano, che l'**esposizione a basse frequenze (ELF)**, provochi un aumento del rischio di leucemia infantile, indicano il valore di 0.4µT per il campo magnetico come soglia per la manifestazione dell'effetto.
- L'Istituto Superiore della Sanità stima che in Italia, assumendo un nesso di causalità tra esposizione a campi elettromagnetici a frequenza estremamente bassa e rischio di leucemia, un caso ogni 400 di leucemia infantile potrebbe essere imputato all'esposizione ai campi magnetici prodotti dalle linee elettriche.

#### Possibili effetti sulla salute

• Il National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS - USA) ha valutato i campi ELF come "possibili cancerogeni per l'uomo" (classe III), in base alla 5 categorie indicate dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) che ha classificato gli agenti potenzialmente cancerogeni.

Le 5 categorie IARC sono:

- Probabilmente non cancerogeno (classe V )
- Non classificabile come cancerogeno (classe IV )
- Possibile cancerogeno (classe III )
- Probabile cancerogeno (classe II )
- Cancerogeno (classe I )

#### **Categorizzazione IARC**

Lo IARC ha condotto uno studio monografico (IARC, 2002) volto a valutare la cancerogenicità dei campi elettrici e magnetici statici e a frequenza estremamente bassa ELF ed ha concluso che "I campi magnetici ELF sono possibilmente cancerogeni per l'uomo, sulla base di una coerente associazione statistica tra elevati livelli residenziali e un raddoppio del rischio di leucemia infantile. Non si è trovata nessun'evidenza coerente che l'esposizione residenziale o professionale degli adulti a campi ELF aumenti il rischio di alcun tipo di cancro".

| CLASSIFICAZIONE  | AGENTE  |
|--|---|
| Cancerogeno per l'uomo (normalmente in base ad una forte evidenza di cancerogenicità nell'uomo)  | Asbesto     Iprite     Tabacco     Radiazioni gamma   |
| Probabilmente cancerogeno per l'uomo (normalmente in base ad una forte evidenza di cancerogenicità negli animali)  | Gas di scarico dei motori diesel     Lampade solari     Radiazioni UV     Formaldeide       |
| Possibilmente cancerogeno per l'uomo (normalmente sulla base di un'evidenza nell'uomo che è considerata credibile, ma per la quale non si possono escludere altre cause) | Caffè     Gas di scarico dei motori a benzina     Fumi di saldatura     Campi magnetici ELF |

#### Possibili effetti sulla salute

L'Organizzazione Mondiale per la Sanità raccomanda, tuttavia, di applicare, per la prevenzione dai possibili effetti di lungo periodo, "il principio cautelativo", ossia di adottare misure di tutela della popolazione fino a quando non ci sarà certezza scientifica degli effetti sulla salute causati dai CEM. Queste misure preventive dovrebbero essere semplici, facilmente perseguibili e di basso costo, e perciò adottabili per le nuove installazioni.

Tutele in Ambito Lavorativo

## Sorgenti in Ambito Lavorativo

Le classi dei lavoratori a rischio sono evidenziabili ovunque siano presenti fonti d'emissione elettromagnetica. Più in particolare, si possono individuare due classi di rischio:

- rischio generico: per tutti i lavoratori che utilizzano qualsiasi elettrodomestico che funziona a corrente elettrica o lavorano davanti a videoterminali o in luoghi di lavoro situati in prossimità d'antenne radiobase o elettrodotti;
- **2) rischio specifico**: per quei lavoratori che utilizzano giornalmente fonti d'emissione di campi elettromagnetici.

## Sorgenti in Ambito Lavorativo

- Industria
  - Macchine Riscaldatrici
  - Macchine Saldatrici
  - Processi elettrochimici a celle elettrolitiche
- Ambiente Ospedaliero
  - Diatermia (Marconiterapia, Radarterapia)
  - Magnetoterapia
  - Risonanza Magnetica Nucleare
  - Strumentazione Chirurgica
- Sistemi di Rilevamento e Identificazione

## Macchine Riscaldatrici Classificazione

| Tipo                    | Applicazioni Industriali  |
|-------------------------|---|
| Induzione               | ■ Industria siderurgica: tempera superficiale, ricotture, stampaggio a caldo, saldatura di tubi   |
|                         | ■ Industria elettronica: raffinamento semiconduttori, riscaldamento sotto vuoto, produzione di fibre ottiche  |
| Perdite<br>dielettriche | <ul> <li>Industria del legno: incollaggio, laminazione, piegatura a caldo</li> <li>Industria della plastica: saldatura, preriscaldamento, resine termoindurenti da stampaggio</li> <li>Industria tessile: essiccatoi, riscaldamento balle di lana</li> </ul>  |
| Microonde               | <ul> <li>Industria della carta: essiccamento pasta di cellulosa</li> <li>Industria alimentare: cucina, sterilizzazione</li> <li>Industria chimica: essiccamento di laminati o fili plastici dopo trattamento di rivestimento</li> <li>Industria Edile: asciugatura solai, pareti, soffitti</li> </ul> |

## Sistemi di Rilevamento Antitaccheggio

I sistemi EAS (Electronic Article Surveillance) sono costituiti da pannelli, etichette e disattivatori

- I pannelli generano un campo elettromagnetico che se disturbato dalla presenza dell'etichetta (costituita da una striscia metallica o da un circuito LC) fa scattare un allarme
- I disattivatori sono utilizzati alla cassa per interdire l'etichetta (campo magnetico alternato, o magnete)
- f (10Hz-135kHz; 1MHz-20MHz; 0.8GHz-2.5GHz)
- I segnali sono generalmente di tipo impulsivo
- In genere non si hanno superamenti dei limiti di esposizione anche se su alcuni pannelli si possono avere superamenti dei valori d'azione (in prossimità dei pannelli attivi)
- Si consiglia di tenere una distanza minima di 1 m dai pannelli





## Sistemi di Identificazione RFID

#### RFID (Radio Frequency IDentification)

- Sono usati nel campo del riconoscimento digitale (controllo degli accessi, identificazione animali, controllo derrate, pedaggio autostradale, monitoraggio ferroviario, monitoraggio bus)
- Il sistema si basa sulla lettura a distanza delle informazioni contenute in un tag RFID (sistema ricetrasmittente)
- tag attivo (transponder): composto da chip, ricetrasmettitore e antenna. Nel chip è memorizzato un codice unico trasmesso tramite l'antenna all'apparato lettore che controllerà i dati ricevuti
- tag passivo: Il lettore emette un campo elettromagnetico che genera nell'antenna del tag una corrente che alimenta il chip che irradia le sue informazioni
- RFID a etichette, ad adesivi, tessere CC, telepass
- f: [1Hz,500kHz], [2,30] MHz, [850,950] MHz, 2.45 GHz, 5.8 GHz
- All'aumentare di f aumentano le distanze di copertura e diminuiscono i tempi di riconoscimento (LOS per MO)
- Le potenze in gioco sono generalmente limitate ad alcuni W
- Studi segnalati all'ICNIRP hanno evidenziato valori elevati di H nell'immediata prossimità dell'antenna del lettore

## Sistemi di Rilevamento Metal Detector

I Metal Detector (MD) possono essere manuali o a varco.

- Viene trasmesso un campo magnetico variabile e quando un oggetto metallico entra nella zona di rilevamento si inducono su di esso delle correnti che generano un campo di segno opposto rilevato come disturbo
- Sono usati nella sicurezza e per rilevare oggetti sepolti (es. sminamento)
- Varchi: Segnali sinusoidali con  $f \in [630 \text{ Hz}, 7.375 \text{ kHz}]$ , o segnali impulsivi a bassa frequenza  $f \in [89,909] \text{ Hz}$
- Manuali: Segnali sinusoidali  $f \in [13 \text{ kHz}, 1.9 \text{ MHz}]$
- Non danno luogo a esposizioni significative se non i prossimità degli elementi irradianti
- Per quelli manuali si possono avere H intorno ai valori di azione in prossimità dell'impugnatura





# Protezione dei lavoratori ai campi elettromagnetici: riferimenti internazionali ed europei

- Linee guida ICNIRP (International Commission Non-Ionizing Radiation Protection)
- ❖ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers
- CENELEC European Committee for electrotechnical Standardization
- ❖ Direttiva Europea 2004/40/CE (GUCE n. 184 del 24 maggio 2004) Direttiva 2008/46/CE del 23 aprile 2008 (differimento termine recepimento al 2012)
- ❖ Direttiva Unione Europea 2013/35/UE del 26 giugno 2013 che abroga la Direttiva Europea 2004/40/CE

## Protezione dei lavoratori ai campi elettromagnetici: riferimenti internazionali ed europei

le norme sono basate sulla stessa letteratura scientifica considerando solo effetti chiaramente documentati

prevedono ampi margini di sicurezza rispetto ai livelli di soglia per effetti potenzialmente nocivi.

# Protezione dei lavoratori ai campi elettromagnetici: riferimenti internazionali ed europei

- ❖ In Italia, la protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione ai campi elettromagnetici, è disciplinata dal titolo VIII, capo IV del D.Lgs. 81/2008, le cui disposizioni entravano in vigore alla data fissata per il recepimento della direttiva 2004/40/CE.
- ❖Con la nuova Direttiva Europea 2013/35/UE, la vecchia Direttiva 2004/40/CE è stata abrogata e il termine per l'entrata in vigore di quanto disposto dal D.Lgs 81/08, capo IV, titolo VIII è stato posticipato al 1° luglio 2016.

## Cosa cambia con la nuova Direttiva Europea?

- La direttiva 2013/35/UE inserisce alcuni cambiamenti rispetto alla direttiva precedente, rimandando, per quanto riguarda la valutazione del rischio, a successive Guide Pratiche "non vincolanti", che la Commissione metterà a disposizione almeno 6 mesi prima del 1° luglio 2016.
- ❖ Viene mantenuta comunque l'impostazione di fondo della precedente direttiva, secondo la quale il rispetto dei Valori Limite di Esposizione (VLE) deve essere verificato in prima battuta sulla base di informazioni facilmente accessibili; se tali informazioni non permettono di stabilire con certezza il rispetto dei VLE allora la valutazione dovrà essere effettuata sulla base di misurazioni e calcoli.

## D.Lgs. 9 aprile 2008 n. 81

#### testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro

S.O. 108/L - G.U. n. 101 del 30 aprile 2008

Titolo VIII Agenti Fisici

Capo I disposizioni generali

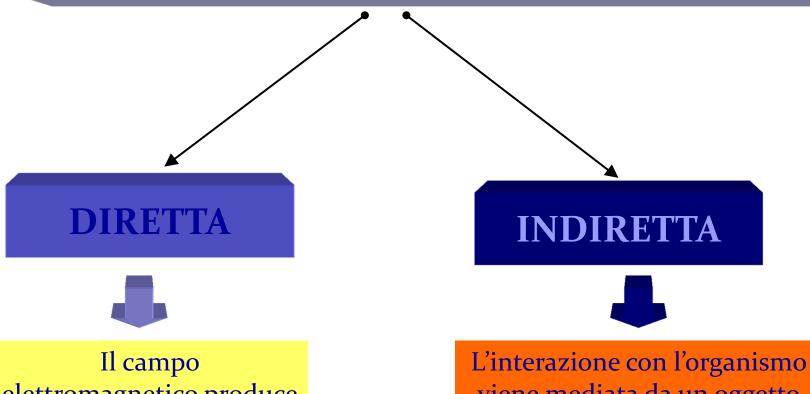
Capo IV - Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici

## Titolo VIII - Agenti Fisici Capo I disposizioni generali

Art. 180 – definizioni e campo di applicazione,

1. Ai fini del presente decreto legislativo per agenti fisici si intendono i ... campi elettromagnetici ... che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori

## INTERAZIONE CAMPO-SOGGETTO ESPOSTO



Il campo elettromagnetico produce direttamente effetti nell'organismo L'interazione con l'organismo viene mediata da un oggetto immerso nel campo

## Titolo VIII - Agenti Fisici

Capo I disposizioni generali

Art. 181, comma 1 – valutazione dei rischi (obblighi del datore di lavoro)

Nell'ambito della valutazione di cui all'articolo 28 (oggetto della valutazione di rischi), il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi.

La valutazione è parte integrante del **Documento di Valutazione dei Rischi**.

# Approccio alla valutazione dei rischi da esposizione ai campi elettromagnetici negli ambienti di lavoro

- 1. Identificazione delle sorgenti di pericolo
- 2. Identificazione dei lavoratori esposti al rischio
- 3. Individuazione dei rischi da esposizione (misure)
- 4. Stima dei rischi di esposizione
- 5. Studio della possibilità di eliminare o ridurre il rischio
- 6. Informazione/Formazione
- 7. Programmazione Sanitaria



#### Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome

#### Decreto Legislativo 81/2008, Titolo VIII, Capo I, II, III e IV sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro

Indicazioni operative

## Titolo VIII - Agenti Fisici Capo I disposizioni generali

Art. 181, comma 2 – valutazione dei rischi (obblighi del datore di lavoro)

La valutazione dei rischi derivanti da esposizioni ad agenti fisici è programmata ed effettuata, con cadenza almeno quadriennale, da personale qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia. La valutazione dei rischi è aggiornata ogni qual volta si verifichino mutamenti che potrebbero renderla obsoleta, ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio

## Titolo VIII - Agenti Fisici Capo I disposizioni generali

Art. 181, comma 3 – valutazione dei rischi (obblighi del datore di lavoro)

Il datore di lavoro nella valutazione dei rischi precisa quali misure di prevenzione e protezione devono essere adottate. La valutazione dei rischi è riportata sul documento di valutazione di cui all'articolo 28, essa può includere una giustificazione del datore di lavoro secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata.

## Quali sono le esposizioni di carattere professionale?

Le esposizioni indebite a sorgenti non correlate con la specifica attività dei lavoratori che non ricadono sotto la gestione del datore di lavoro devono essere contenute, a carico dei gestori, entro i limiti vigenti per la tutela della popolazione. Il datore di lavoro deve ad ogni modo valutare il rischio ed eventualmente verificare il rispetto della normativa vigente da parte dell'esercente della sorgente anche avvalendosi dell'organo di controllo.

## Quali sono le esposizioni di carattere professionale?

Le esposizioni indebite a sorgenti non correlate con la specifica attività dei lavoratori che ricadono sotto la gestione del datore di lavoro, devono essere eliminate o ricondotte entro le restrizioni previste dalla normativa vigente per la tutela della popolazione. La regola generale da seguire in proposito, possibilmente in sede di progettazione dei luoghi di lavoro, è quella di installare gli apparati emettitori di CEM in aree di lavoro adibite ad uso esclusivo degli stessi e comunque ad una distanza adeguata dalle altre aree di lavoro ove il personale stazioni per periodi prolungati

## Art. 181, comma 3 – valutazione dei rischi "Giustificazione" quando ?

Si definisce situazione "giustificabile" una condizione che può avvalersi di questa più semplice modalità di valutazione del rischio nella quale la condizione espositiva non comporta apprezzabili rischi per la salute.

Ai fini di questa definizione si reputano in primo luogo non comportare rischi per la salute le esposizioni inferiori ai livelli di riferimento per la popolazione di cui alla raccomandazione europea 1999/519/CE.

In linea con questa definizione sono condizioni espositive giustificabili quelle elencate nella norma CENELEC EN 50499 (CEI 106-23)

## Norma CENELEC EN 50499 (CEI 106-23)

In Tab.1 sono elencate le attrezzature e situazioni "giustificabili" quelle cioè per le quali la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione più dettagliata.

### CENELEC EN 50499 (CEI 106-23)

Tab. 1 - Attrezzature e situazioni giustificabili. Lista non esaustiva.

| Tipe di ettrograture / citagricae                                      |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|
| Tipo di attrezzatura / situazione                                      | Note   |  |  |  |  |  |
| Tutte le attività che si svolgono unicamente in ambienti privi di      |  |  |  |  |  |  |
| impianti e apparecchiature elettriche e di magneti permanenti          |  |  |  |  |  |  |
| Luoghi di lavoro interessati dalle emissioni di sorgenti CEM           | Il datore di lavoro deve verificare se è in      |  |  |  |  |  |
| autorizzate ai sensi della normativa nazionale per la protezione della | possesso di autorizzazione ex legge 36/2001 e    |  |  |  |  |  |
| popolazione, con esclusione delle operazioni di manutenzione o altre   | relativi decreti attuativi ovvero richiedere     |  |  |  |  |  |
| attività svolte a ridosso o sulle sorgenti                             | all'ente gestore una dichiarazione del rispetto  |  |  |  |  |  |
|  | della legislazione nazionale in materia          |  |  |  |  |  |
| Uso di apparecchiature a bassa potenza (così come definite dalla       | Non sono comprese le attività di manutenzione    |  |  |  |  |  |
| norma EN 50371: con emissione di frequenza 10 MHz ÷ 300 GHz e          | 17   |  |  |  |  |  |
| potenza media trasmessa fino a 20 mW e 20 W di picco), anche se        |  |  |  |  |  |  |
| non marcate CE   |  |  |  |  |  |  |
| Uso di attrezzature marcate CE, valutate secondo gli standard          | Le attrezzature devono essere installate ed      |  |  |  |  |  |
| armonizzati per la protezione dai CEM                                  | utilizzate secondo le indicazioni del            |  |  |  |  |  |
| Lista soggetta a frequenti aggiornamenti:                              | costruttore.                                     |  |  |  |  |  |
| EN 50360: telefoni cellulari;  |  |  |  |  |  |  |
| <ul> <li>EN 50364: sistemi di allarme e antitaccheggio;</li> </ul>     | Non sono comprese le attività di                 |  |  |  |  |  |
| EN 50366: elettrodomestici;  | manutenzione.                                    |  |  |  |  |  |
| • EN 50371: norma generica per gli apparecchi elettrici ed             | March 14 (47 (48) 81 (48) (48) (48) (48)         |  |  |  |  |  |
| elettronici di bassa potenza;  | Il datore di lavoro deve verificare sul libretto |  |  |  |  |  |
| EN 50385: stazioni radio base e stazioni terminali fisse per           | di uso e manutenzione che l'attrezzatura sia     |  |  |  |  |  |
| sistemi di telecomunicazione senza fili;                               | dichiarata conforme al pertinente standard di    |  |  |  |  |  |
| • EN 50401: apparecchiature fisse per trasmissione radio (110          | prodotto   |  |  |  |  |  |
| MHz - 40 GHz) destinate a reti di telecomunicazione senza fili;        |  |  |  |  |  |  |
| • EN 60335-2-25: forni a microonde e forni combinati per uso           |  |  |  |  |  |  |
| domestico e similare;  |  |  |  |  |  |  |
| • EN 60335-2-90: forni a microonde per uso collettivo (uso             |  |  |  |  |  |  |
| domestico e similare)  |  |  |  |  |  |  |
| demestree e simmare)   |  |  |  |  |  |  |

### CENELEC EN 50499 (CEI 106-23)

Tab. 2 – Impianti e situazioni che richiedono ulteriori valutazioni. Lista non esaustiva

| Tipo di impianto  | Note   |
|---|--|
| Elettrolisi industriale                                   | Sia con correnti alternate che continue  |
| Saldature elettriche                                      |  |
| Forni fusori elettrici e a induzione                      |  |
| Riscaldamento a induzione                                 |  |
| Riscaldamento dielettrico a RF e a MW                     |  |
| Saldatura dielettrica                                     |  |
| Magnetizzatori/smagnetizzatori industriali                | Incluso grossi cancellatori di nastri, attivatori<br>disattivatori magnetici di sistemi<br>antitaccheggio        |
| Specifiche lampade attivate a RF                          |  |
| Dispositivi a RF per plasma                               | Incluso dispositivi a vuoto di deposizione per<br>"sputtering"   |
| Apparecchi per diatermia (marconiterapia e radarterapia)  | Tutti gli apparecchi elettromedicali che<br>utilizzano sorgenti RF con potenza media<br>emessa elevata (>100 mW) |
| Sistemi elettrici per la ricerca di difetti nei materiali |  |
| Radar   | Radar per il controllo del traffico aereo,   |
|   | militare del tempo e a lungo raggio.   |
| Trasporti azionati elettricamente: treni e tram           |  |

### CENELEC EN 50499 (CEI 106-23)

| Tutti gli apparecchi elettromedicali per applicazioni intenzionali di |   |
|---|---|
| radiazioni elettromagnetiche o di corrente tra cui:                   |   |
| <ul> <li>Elettrobisturi</li> </ul>                                    |   |
| Stimolatori magnetici transcranici                                    |   |
| <ul> <li>Apparati per magnetoterapia</li> </ul>                       |   |
| <ul> <li>Tomografi RM</li> </ul>                                      |   |
| Essiccatoi e forni industriali a microonde                            |   |
| Antenne delle stazioni radio base                                     | Ulteriori valutazioni sono necessarie solo se i |
|   | lavoratori possono essere più vicini            |
|   | all'antenna rispetto alle distanze di sicurezza |
|   | stabilite per l'esposizione del pubblico        |
| Reti di distribuzione dell'energia elettrica nei luoghi di lavoro che |   |
| non soddisfano i criteri della Tabella 1                              |   |

## Titolo VIII - Agenti Fisici Capo I disposizioni generali

Art. 182, comma 1 – disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi

Tenuto conto del progresso tecnico e della disponibilità di misure per controllare il rischio alla fonte, i rischi derivanti dall'esposizione agli agenti fisici sono eliminati alla fonte e ridotti al minimo.

La riduzione si basa sui principi generali di prevenzione

## Titolo VIII - Agenti Fisici Capo I disposizioni generali

## Art. 182, comma 2 – disposizioni miranti ad eliminare o ridurre i rischi

In nessun caso i lavoratori devono essere esposti a valori superiori ai valori limite di esposizione definiti nel capo IV. Allorchè, nonostante i provvedimenti presi dal datore di lavoro in applicazione del presente capo i valori limite di esposizione risultino superati, il datore di lavoro adotta misure immediate per riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione, individua le cause del superamento e adegua di conseguenza la misure di protezione prevenzione per evitare un nuovo superamento

Il rispetto della norma UNI EN 12198-1 del 2009, che riguarda l'emissione dai macchinari di tutti i tipi di radiazione elettromagnetica non ionizzante (sia i campi elettromagnetici che le radiazioni ottiche), garantisce agli acquirenti che i requisiti del DPR 459/96 e Direttiva Macchine 2006/42/CE sono rispettati.

In funzione del livello di emissione di radiazioni, (valori riportati in appendice B della UNI EN 12198:2009) la norma richiede che il fabbricante assegni alla macchina una categoria di emissione di radiazioni. Sono considerate tre categorie di emissione, per le quali sono previste diverse misure di protezione, informazione, addestramento, secondo la tabella seguente:

| _ | Livelli emissione   | Restrizioni e misure protettive  | Informazione e<br>addestramento                                   |  |
|---|---|--|---|--|
| 0 | < livello di riferimento<br>per la popolazione  | Nessuna  | Nessuna   |  |
| 1 | > livelli di riferimento<br>per la popolazione in<br>base alla<br>Raccomandazione<br>Europea<br>1999/519/CE | Possono rendersi<br>necessarie limitazioni<br>di accesso e misure di<br>protezione | Informazione su pericoli,<br>rischi ed effetti indiretti          |  |
| 2 | > <u>livelli di azione</u><br>posti nel D.Lgl.<br>81/2008 - Titolo VIII -<br>Capo IV                        |  | Come sopra, in aggiunta si<br>rende necessario<br>l'addestramento |  |

Per ridurre al minimo l'esposizione del personale che opera sulle macchine e l'esposizione indebita

#### → *Installazione e layout.*

Gli apparati che emettono campi elettromagnetici devono essere installati in aree di lavoro riservate esclusivemente agli stessi e ad idonea distanza da altre aree di lavoro dove può esserci sosta di personale. Inoltre, onde prevenire effetti indiretti, interferenze ed evitare esposizioni indebite, è di fondamentale importanza evitare che in prossimità delle sorgenti vengano posizionati, se non previa idonea valutazione tecnica, oggetti metallici di qualsiasi tipo ed altre apparecchiature elettriche

#### → *Delimitazione delle aree*

Le aree di lavoro in cui possono verificarsi esposizioni superiori ai livelli di riferimento per la popolazione devono essere delimitate con cartelli di segnalazione opportuni. L'accesso a tali aree verrà consentito solo al personale autorizzato

Per ridurre al minimo l'esposizione del personale che opera sulle macchine e l'esposizione indebita

#### → <u>Addestramento del personale</u>

Ai fini della prevenzione dei rischi per la salute dei soggetti esposti, è fondamentale che il personale sia formato sulle corrette norme comportamentali da adottare nelle operazioni in prossimità del macchinario sorgente di campi elettromagnetici e soprattutto sulla necessità di limitare la permanenza nelle aree a rischio (zona controllata) per il tempo strettamente funzionale ad attività ed operazioni di controllo del macchinario stesso

Le macchine rientranti nelle categorie 1 e 2 devono essere marcate. La marcatura deve comprendere:

- Segnale di sicurezza rappresentante il tipo di emissione di radiazione
- Il numero di categoria (categoria 1 o categoria 2).
- Il riferimento alla norma EN 12198.





## Zonizzazione dei luoghi di lavoro

Lo standard CENELEC 50499 individua in appendice una procedura facoltativa per la zonizzazione dell'azienda

Zona o = zona in cui i livelli di esposizione rispettano i limiti nazionali per la popolazione, oppure in cui tutte le sorgenti sono tra quelle giustificabili a priori.

Zona 1 = zona in cui i livelli di esposizione possono superare i limiti nazionali per la popolazione, ma rispettano il limite occupazionale

Zona 2 = zona in cui i livelli di esposizione possono superare i limiti occupazionali. Se è possibile l'accesso a questa zona, allora dovranno essere messe in atto misure per ridurre l'esposizione o limitare l'accesso.

## Titolo VIII - Agenti Fisici Capo I disposizioni generali

Art. 183 - lavoratori particolarmente sensibili

1. Il datore di lavoro adatta le misure di cui all'art. 182 alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio, incluse le donne in stato di gravidanza e i minori

#### Lavoratori particolarmente a rischio

#### a) soggetti portatori di :

- → schegge o frammenti metallici
- → clips su aneurismi (vasi sanguigni), aorta, cervello
- → valvole cardiache
- → Stents
- → defibrillatori impiantati
- → distrattori della colonna vertebrale
- →pompa di infusione di insulina o altri farmaci
- → pace maker cardiaci
- → corpi metallici nel condotto uditivo o impianti per udito
- → neurostimolatori, elettrodi impiantati nel cervello o subdurali
- →altri tipi di stimolatori o apparecchiature elettriche o elettroniche
- → corpi intrauterini (ad esempio spirale o diaframma)
- → derivazione spinale o ventricolare, cateteri cardiaci
- → protesi metalliche (per pregresse fratture, interventi correttivi articolari
- →viti, chiodi, filo etc.
- →espansori mammari
- → protesi peniene
- →altre protesi (da valutare a cura del medico competente)
- b) stato di gravidanza
- c) soggetti con patologie del snc (in particolare epilettici)
- d) soggetti con infarto recente del miocardio e con patologie del sistema cardiovascolare

### Campi elettromagnetici e pacemaker

Allo scopo di prevenire interferenze dei campi elettrici e magnetici con stimolatori cardiaci è pertinente riportare i livelli di sicurezza previsti dall'ICNIRP per i campi magnetici statici e dall' American Conference of Government Industrial Hygienist (ACGIH) per i campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz (valori efficaci):

```
campi magnetici statici:
```

```
B = 0.5 \text{ mT}
```

campi a 50 Hz:

$$E = 1 \text{ kV/m}$$

$$B = 100 \mu T$$

## Art. 184 - informazione e formazione dei lavoratori

- 1. Il datore di lavoro nell'ambito degli obblighi di cui agli articoli 36 e 37 provvede affinchè i lavoratori esposti a rischi derivanti da agenti fisici sul luogo di lavoro e i loro rappresentanti vengono informati e formati in relazione al risultato della valutazione dei rischi con particolare riguardo:
- a) alle misure adottate in applicazione del presente titolo;
- b) all'entità e al significato dei valori limite di esposizione e dei valori di azione definiti nei Capi II, III, IV e V, nonché ai potenziali rischi associati;
- c) ai risultati della valutazione, misurazione o calcolo dei livelli di esposizione ai singoli agenti fisici;
- d) alle modalità per individuare e segnalare gli effetti negativi dell'esposizione per la salute

## Art. 184 - informazione e formazione dei lavoratori

- e) alle circostanze nelle quali i lavoratori hanno diritto a una sorveglianza sanitaria;
- f) alle procedure di lavoro sicure per ridurre al minimo i rischi derivanti dall'esposizione
- g) all'uso corretto di adeguati dispositivi di protezione individuale e alle relative indicazioni e controindicazioni sanitarie all'uso.

### informazione / formazione?

Si raccomanda di attivare l'informazione / formazione (obbligo già vigente e sanzionabile ai sensi dell'art.184), per quei lavoratori che possono risultare esposti a livelli superiori a quelli raccomandati per il pubblico, e in ogni caso in relazione all'utilizzo di attrezzature potenzialmente in grado di produrre interferenze elettromagnetiche su dispositivi medici impiantati

### Art. 185 – sorveglianza sanitaria

- 1. La sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti agli agenti fisici viene svolta secondo i principi generali di cui all'art. 41 ed è effettuata dal medico competente nelle modalità e nei casi previsti ai rispettivi capi sulla base dei risultati della valutazione del rischio che sono trasmessi dal datore di lavoro per il tramite del SPP
- 2. Nel caso in cui la sorveglianza sanitaria riveli in un lavoratore un'alterazione apprezzabile dello stato di salute correlata ai rischi lavorativi il medico ne informa il lavoratore e il datore di lavoro che provvede a sottoporre a revisione la valutazione dei rischi e le misure predisposte per eliminare e ridurre i rischi

## D.Lgs. 9 aprile 2008 n. 81 Titolo VIII - Capo IV

Art. 206 – campo di applicazione

2. Il presente titolo non disciplina la protezione da eventuali effetti a lungo termine e non riguarda i rischi risultanti dal contatto con i conduttori in tensione

Le disposizioni del presente articolo entrano in vigore alla data fissata dal primo comma dell'art. 13 paragrafo della direttiva 2004/40/CE

## Art. 208 - valori limite di esposizione e valori di azione

1. I valori limite di esposizione sono riportati nell'allegato XXXVI, lettera A, tabella 1.

2. I valori di azione sono riportati nell'allegato XXXVI, lettera B, tabella 2

#### Tabella 2: Valori di azione (art. 208 comma 1)

valori efficaci rms impertubati

| Intervallo di frequenza | Intensità di<br>campo elet-<br>trico E (V/m) | Intensità di<br>campo<br>magnetico H<br>(A/m) | Induzione<br>magnetica B<br>(µT) | Densità di<br>potenza di<br>onda piana<br>equivalente<br>S <sub>eq</sub> (W/m²) | Corrente di<br>contatto, IC<br>(mA) | Corrente<br>indotta attra-<br>verso gli arti<br>I <sub>1</sub> (mA) |
|-------------------------|--|---|----------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| 0 - 1Hz                 | 199  | 1,63x10 <sup>5</sup>                          | 2x10 <sup>5</sup>                | =   | 1,0                                 | 040   |
| 1 - 8 Hz                | 20 000                                       | 1,63x105/f2                                   | 2x105/f2                         |   | 1,0                                 | (42)  |
| 8 - 25 Hz               | 20 000                                       | 2x104f  | 2,5x104/f                        | 29  | 1,0                                 | 121   |
| 0,025 - 0,82kHz         | 500/f  | 20/f  | 25/f                             |   | 1,0                                 | 0.50  |
| 0,82 — 2,5 kHz          | 610  | 24,4  | 30,7                             | 5   | 1,0                                 | 853   |
| 2,5 - 65 kHz            | 610  | 24,4  | 30,7                             | -   | 0,4 f                               | 970   |
| 65 - 100 kHz            | 610  | 1 600/f                                       | 2 000/f                          | 20  | 0,4 f                               | 78  |
| 0,1 - 1 MHz             | 610  | 1,6/f   | 2/f                              | 25  | 40                                  |   |
| 1 - 10 MHz              | 61 0/f                                       | 1,6/f   | 2/f                              | 54  | 40                                  | (25)  |
| 10 — 110 MHz            | 61   | 0,16  | 0,2                              | 10  | 40                                  | 100   |
| 110 - 400 MHz           | 61   | 0,16  | 0,2                              | 10  |                                     | 0+0   |
| 400 — 2 000 MHz         | 3 <b>f</b> %                                 | 0,008f <sup>2</sup>                           | 0,01 f/s                         | f/40  | 27                                  | 927   |
| 2 - 300 GHz             | 137  | 0,36  | 0,45                             | 50  | 2:                                  | (2)   |

#### Note alla Tabella 2

- 1. f e' la frequenza espressa nelle unita' indicate nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
- 2. Per le frequenze comprese fra 100 kHz e 10 GHz, Seq, E, H, B e IL devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 6 minuti.
- 3. Per le frequenze che superano 10 GHz, Seq, E, H e B devono essere calcolati come medie su un qualsiasi periodo di 68/f<sup>1.05</sup>» minuti (f in GHz).

#### Note alla Tabella 2

4. Per le frequenze fino a 100 kHz, i valori di azione di picco per le intensita' di campo possono  $\sqrt{2}$ essere ottenuti moltiplicando il valore efficace rms per Per gli impulsi di durata tp, la frequenza equivalente da applicare per i valori di azione va calcolata come f = 1/(2tp)

Per le frequenze comprese tra 100 kHz e 10 MHz, i valori di azione di picco per le intensita' di campo sono calcolati moltiplicando i pertinenti valori efficaci (rms) per  $10^{\circ}$ a, dove a =  $(0.665 \log (f/10) + 0.176)$ , f in Hz.

Per le frequenze comprese tra 10 MHz e 300 GHz, i valori di azione di picco sono calcolati moltiplicando i valori efficaci (rms) corrispondenti per 32 nel caso delle intensita' di campo e per 1000 nel caso della densita' di potenza di onda piana equivalente.

5. Per quanto riguarda i campi elettromagnetici pulsati o transitori o in generale l'esposizione simultanea a campi di frequenza diversa, e' necessario adottare metodi appropriati di valutazione, misurazione e/o calcolo in grado di analizzare le caratteristiche delle forme d'onda e la natura delle interazioni biologiche, tenendo conto delle norme armonizzate europee elaborate dal CENELEC

#### Note alla Tabella 2

6. Per i valori di picco di campi elettromagnetici pulsati modulati si propone inoltre che, per le frequenze portanti che superano 10 MHz, Seq valutato come media sulla durata dell'impulso non superi di 1000 volte i valori di azione per Seq, o che l'intensita' di campo non superi di 32 volte i valori di azione dell'intensita' di campo alla frequenza portante.

### Titolo VIII - Capo VI

Art. 219 - Sanzioni a carico del datore di lavoro e del dirigente

1. Il datore di lavoro è punito con l'arresto da tre a sei mesi o con l'ammenda da 2.500 a 6.400 euro per la violazione degli articoli 181 comma 2, omissis....

### Titolo VIII - Capo VI

#### Art. 219 - Sanzioni a carico del datore di lavoro e del dirigente

- 2. Il datore di lavoro e il dirigente sono puniti:
- a) con arresto da tre a sei mesi o con l'ammenda da 2.000 a 4.000 euro per la violazione degli articoli **182, comma 2**, 185, omissis...., 210 comma 1
- b) con l'arresto da due a quattro mesi o con l'ammenda da euro 750 a euro 4.000 per la violazione degli **articoli 184**, 210, commi 2 e 3, e 217, commi 2 e 3.

## Titolo VIII - Capo VI

#### Art. 220 - Sanzioni a carico del medico competente

Il medico competente è punito con l'arresto fino tre mesi o con l'ammenda da euro 4000 a euro 1.600 per la violazione degli articoli 185 (sorveglianza sanitaria) e 186 (cartella sanitaria e di rischio).

#### Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e ad alta frequenza

Le sorgenti a **bassa frequenza** sono sostanzialmente rappresentate da tutti quei dispositivi coinvolti nella generazione, trasporto, distribuzione e utilizzo di energia elettrica quali: linee elettriche ad alta e media tensione, stazioni e cabine di trasformazione, impianti elettrici a bassa tensione e apparati utilizzatori.

Le sorgenti ad **alta frequenza** sono le più numerose e disparate e sono utilizzate in vari settori quali l'industriale, il domestico, il medicale e sanitario, le radiotelecomunicazioni, la ricerca.

#### Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e ad alta frequenza

Per ridurre l'esposizione ai campi elettrici e magnetici è necessario in ambedue i casi:

- a) allontanarsi il più possibile dalla sorgente ovvero
- b) attenuare l'entità della sorgente ovvero a parità di intensità
- c) interporre tra la persona o la cosa, un opportuno schermo.

Esaminando in generale le tre alternative, si può osservare quanto segue:

1) nel primo caso, cioè l'allontanamento dalla sorgente, il campo (elettrico e/o magnetico) si attenua con legge inversamente proporzionale alla distanza "R" dalla sorgente ma non è sempre detto che ciò sia possibile ovvero questa scelta potrebbe risultare molto onerosa, si pensi ad esempio ad una fascia di rispetto attorno ad un elettrodotto ed al corrispondente vincolo di utilizzo del territorio circostante. Pertanto, questa tecnica è utilizzabile esclusivamente per i campi magnetici prodotti dai conduttori all'interno di un fabbricato o alle apparecchiature (utensili od elettrodomestici) presenti nelle abitazioni;

#### Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e ad alta frequenza

- 2) la seconda tecnica è sicuramente più valida ed operativamente è quello che si tende a fare oggi attraverso varie modalità, in particolare, relativamente agli elettrodotti. Per le apparecchiature e/o per gli utensili i costruttori si adeguano ai valori che i vari Paesi impongono;
- 3) infine l'uso di schermi è la strategia vincente e quella più immediata; per i campi elettrostatici l'interposizione di uno schermo è certamente idoneo a ridurre i kV/m cui risulta esposta una persona; per i campi magnetici la schermatura non è altrettanto semplice anche se efficace.

#### Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e ad alta frequenza

Per quanto riguarda l'USO DI ELETTRODOMESTICI, in attesa che le ricerche scientifiche e mediche siano approfondite, facendo così chiarezza sull'argomento, si dovrebbe applicare il principio della cautela, mettendo in atto dei semplici accorgimenti per ridurre al minimo l'esposizione.

A tale scopo si riportano alcuni consigli sul comportamento che si può adottare quotidianamente quando si utilizzano apparecchi elettrici.

#### Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e ad alta frequenza

- Evitare di dormire sotto una termocoperta in funzione (soprattutto dalle donne in stato di gravidanza e dai bambini): *l'ideale sarebbe scaldare il letto e staccare la spina prima di coricarsi*.
- Posizionare radiosveglie ed orologi elettrici ad almeno un metro di distanza dal guanciale.
- Le lampade da comodino ed i loro cavi dovrebbero essere posti ad una distanza dalla testata del letto maggiore di 50 cm.
- Assicurarsi che i bambini stiano seduti ad almeno 1 metro dallo schermo del televisore quando questo è in funzione; si tenga infatti presente che i campi magnetici sono più elevati nella parte posteriore e nella parte laterale dell'apparecchio televisivo

#### Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e ad alta frequenza

- Tenere lontani i bambini da forni elettrici e ferri da stiro in funzione.
- Alternare l'uso del rasoio elettrico con la tradizionale lametta da barba.
- Quando si usa il phon, è bene tenerlo il più possibile lontano dal capo e, quando è possibile, asciugarli naturalmente, per esempio d'estate.
- Utilizzare con cautela apparecchi elettrici quali apriscatole, frullatori, omogeneizzatori, tostapane, macinacaffè, radioregistratori ecc., cercando di ridurre al minimo i tempi di funzionamento e di evitare che, durante l'uso, i bambini sostino nelle immediate vicinanze.
- Posizionare il babyphone ad una distanza di almeno 50 cm dalla testa del piccolo.
- Quando si usa un apparecchio per aerosol sarebbe utile cercare, durante il funzionamento, di rendere massima la distanza tra la sorgente e l'utilizzatore poiché alcuni modelli emettono un campo magnetico abbastanza elevato

#### Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza e ad alta frequenza

- Staccare dalle prese elettriche gli elettrodomestici che non devono essere usati per lungo tempo, in modo da evitare il campo elettrico da essi generato
- Non sostare presso il forno a microonde quando questo è in funzione.
- Evitare di installare elettrodomestici a ridosso della parete adiacente alla stanza da letto

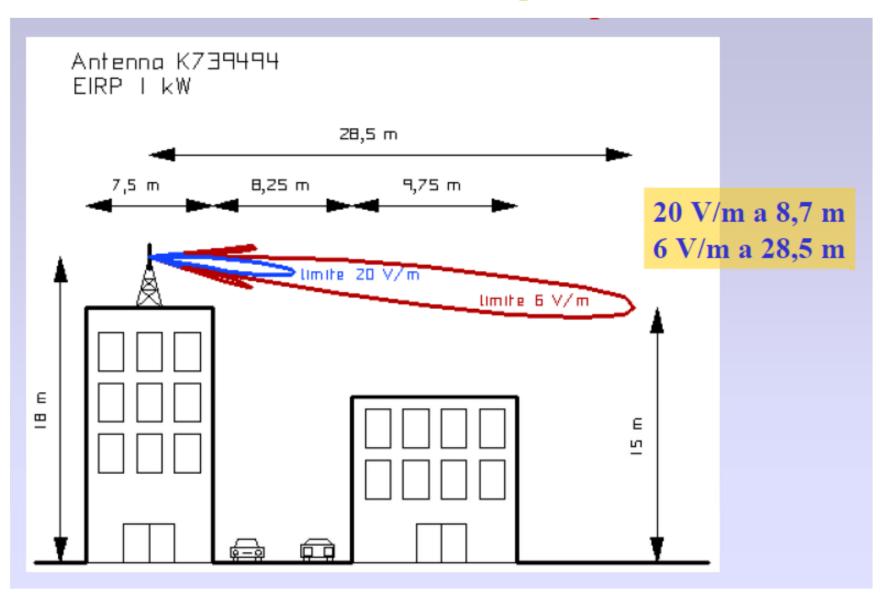
E' buona norma, in ogni caso, insegnare a bambini ed adolescenti ad utilizzare con molta cautela apparecchi che sono fonti di onde elettromagnetiche come videogiochi, telefoni cellulari, ecc...

Al momento dell'acquisto, è necessario accertarsi che le apparecchiature elettriche riportino il marchio CE ed informarsi sui livelli di esposizione prodotti e sulla distanza di utilizzo consigliata.

## Attività ARPA Lazio

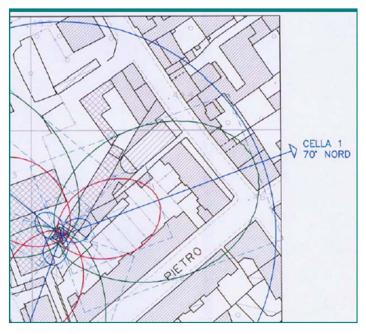
- Pareri Tecnici su Impianti da installare
- Controlli strumentali su impianti esistenti

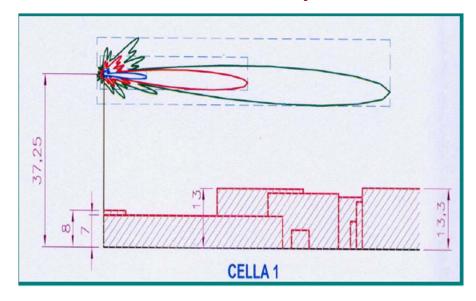
## **Emissione tipica SRB**



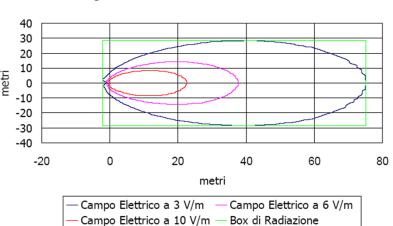
### Controllo preventivo

#### Rappresentazione grafica delle curve di isocampo

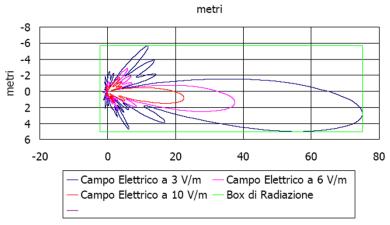




#### Diagramma di Radiazione Orizzontale



#### Diagramma di Radiazione Verticale



## Misure di Campo Elettromagnetico (HF)



Misure su tre altezze:

-1,10 m

-1,50 m

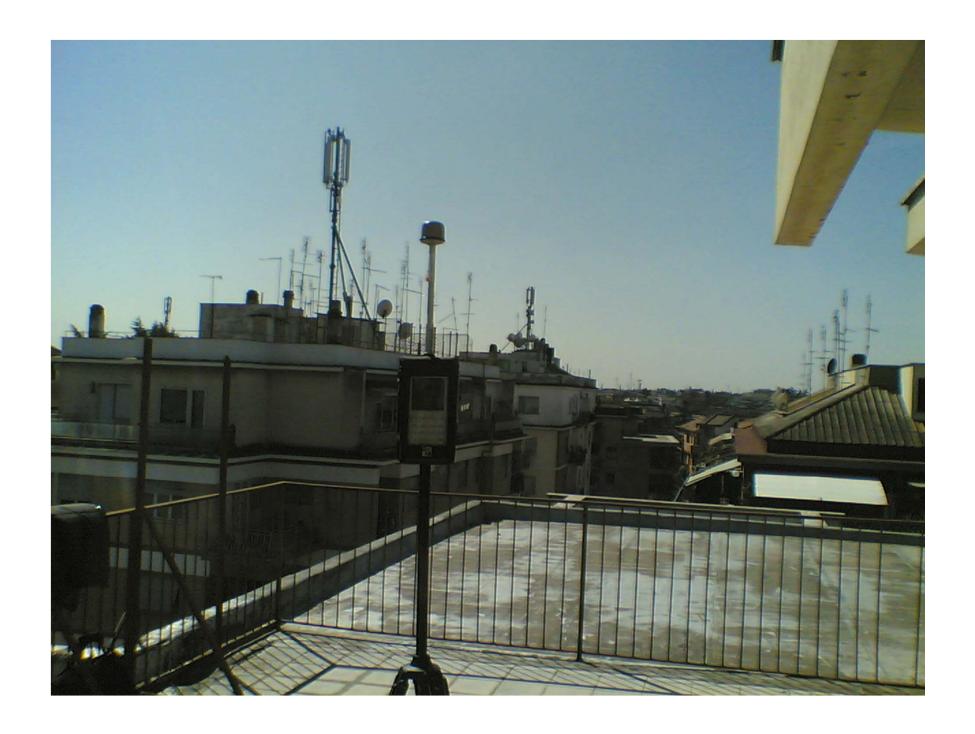
-1,90 m

Media nello spazio

A ciascuna altezza si misura per un intervallo di tempo pari a 6 min **Media nel tempo** 

$$E_{tot} = \sqrt{\frac{E_{1,10}^2 + E_{1,50}^2 + E_{1,90}^2}{3}}$$

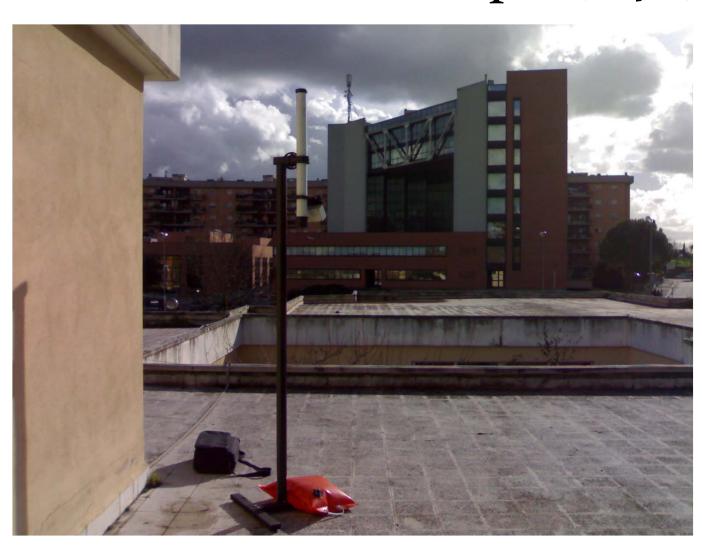








## Monitoraggio dei CEM LF nel tempo (24h)

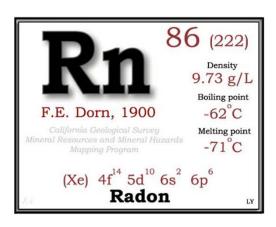




Grazie per l'attenzione....

# Ugo Tentolini ugo.tentolini@chimici.it

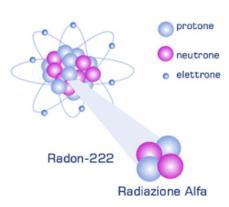
## IL RADON





#### **Ugo Tentolini**

Dottore di Ricerca in Chimica analitica Esperto Qualificato di grado II

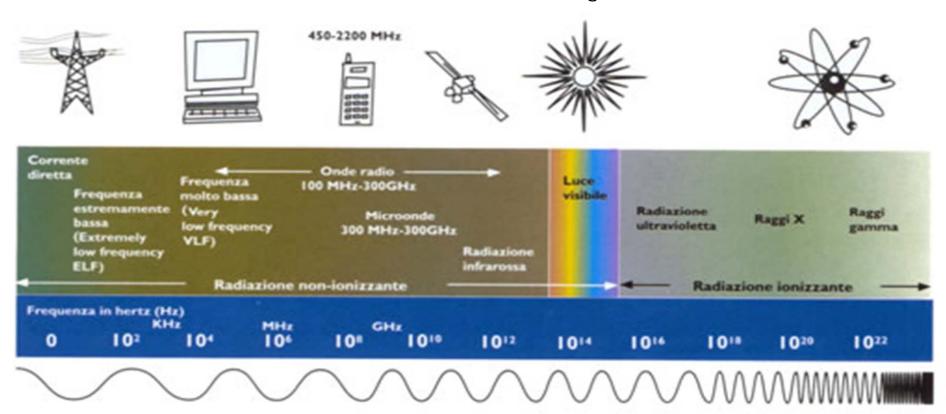


#### RADIAZIONI IONIZZANTI

#### Che cosa sono le radiazioni ionizzanti

Le radiazioni ionizzanti sono una forma energia, di natura elettromagnetica o corpuscolare, rilasciata da **nuclei di atomi instabili** (per questo detti radioattivi) durante il processo di decadimento. Radiazioni ionizzanti sono emesse anche da dispositivi acceleratori di particelle elementari, definite **macchine radiogene** (apparecchi a RX, Ciclotroni, Tubi catodici, ecc.).

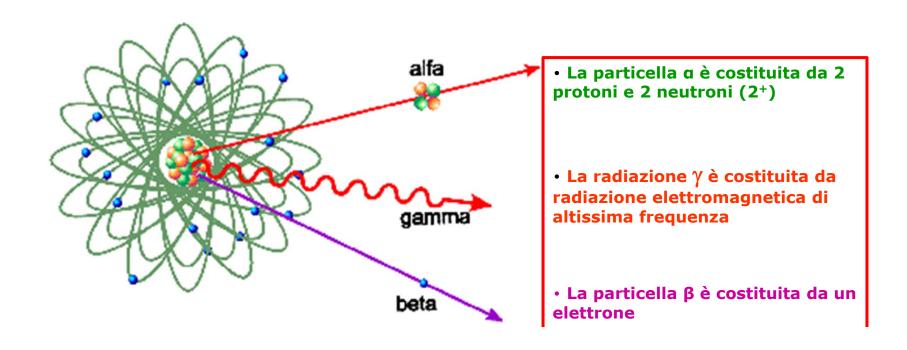
L'aggettivo ionizzanti deriva dal fatto che l'energia di queste radiazioni è tale da indurre ionizzazione nella materia con cui interagiscono



#### RADIAZIONI IONIZZANTI

#### Che cosa sono le radiazioni ionizzanti

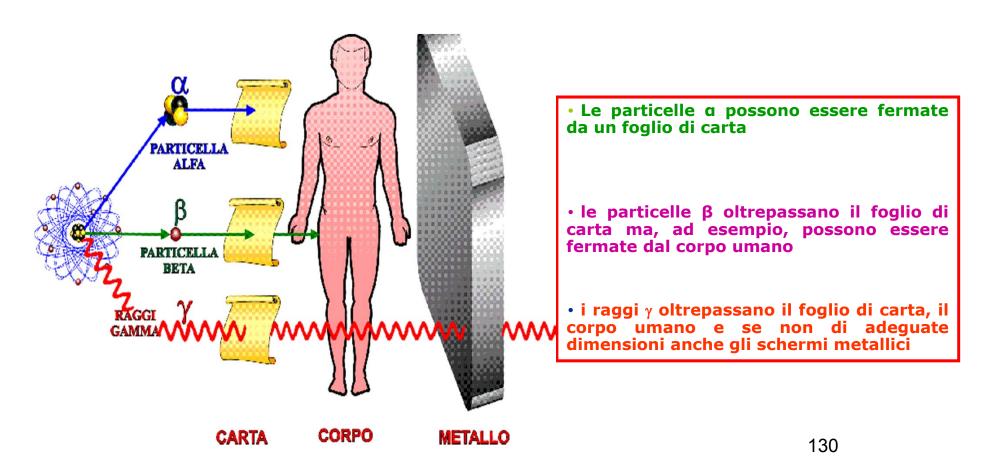
La capacità di ionizzare e di penetrare all'interno della materia dipende dall'energia e dal tipo di radiazione emessa, nonché dalla composizione e dallo spessore del materiale attraversato.



#### RADIAZIONI IONIZZANTI

#### Il potere penetrante delle diverse radiazioni

Le radiazioni hanno poteri di penetrazione ed energie diverse, a titolo esemplificativo si può dire che:



## IL RADON: PROBLEMI E UTILITA'

CHE COS'È

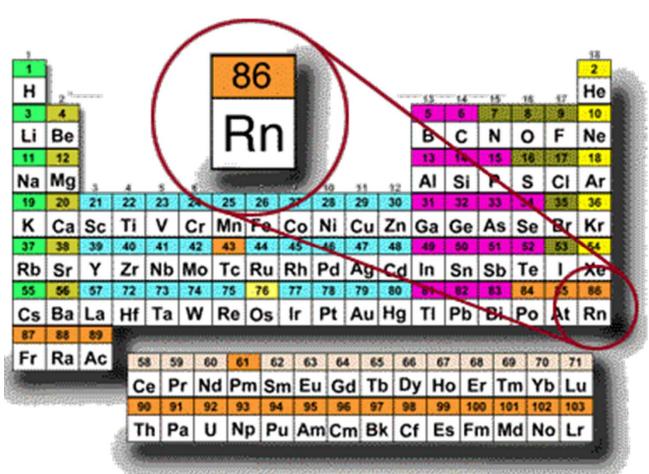
UN PO'
DI STORIA

IL COMPORTAMENTO

**I RIMEDI** 

IL RADON
COME RISCHIO

# CHE COS'È?



- ✓ E' il gas nobile più pesante
   (Z = 86, A = 219-222)
- ✓ È' 8 volte più denso dell'aria
- ✓ E' un gas incolore, inodore e insapore
  - prodotto dal decadimento di tre nuclidi capostipiti che danno luogo a tre diverse famiglie radioattive; essi sono il Thorio 232, l'Uranio 235 e l'Uranio 238.

Il radon è stato scoperto dal fisico F. Dorn all'inizio del 1900, il termine "radon" gli è stato dato nel 1918 ed è usato comunemente per indicare l'elemento con la massa atomica 222 ed il numero atomico 86, cioè l'isotopo Rn-222.

In realtà, in totale esistono circa 26 isotopi del radon, compresi tra il Rn-199 ed il Rn-226.

Solo tre di questi si riscontrano in natura: l'attinon (Rn-219) della serie dell'uranio (U-235), il toron (Rn-220) della serie di decadimento del torio (Th-232) ed il radon (Rn-222) della serie di decadimento dell'uranio (U-238).

Di seguito sono sintetizzate le proprietà del decadimento radioattivo di questi tre isotopi del radon, che sono quelli più importanti.

- 1. Il Rn-219 (Attinon) appartenente alla famiglia dell'Attinio che ha come capostipite l'U-235, è il meno abbondante sia perché l'U-235 ha una concentrazione piccolissima sia per il suo brevissimo tempo di dimezzamento (3.96 s) per cui è assai difficile misurarlo.
- 2. Il Rn-220 (Toron) appartenente alla famiglia del Torio-232 che è assai abbondante in natura, un pò più dell'U-238 ma avendo un tempo di dimezzamento breve (55.6 s) non è facilmente rilevabile nell'ambiente.
  - 3. Il Rn-222 (Radon) appartenente alla famiglia dell'Uranio-238 che è assai abbondante in natura, ha anche un tempo di dimezzamento consistente (3,82 giorni), è presente nell'ambiente e costituisce un problema radioprotezionistico in quanto progenitore di due altri elementi radioattivi a breve vita che sono alfa emettitori e precisamente il polonio-218 e il Polonio-214.

Per i motivi appena elencati quando si parla di radon ci si riferisce sempre al radon-222.

Dal punto di vista fisico il radon risulta essere il gas nobile più pesante: possiede il punto di ebollizione, il punto di fusione, la temperatura critica e la pressione critica più elevati.

Chimicamente il radon è un gas nobile, incolore, inodore, insapore e quasi inerte. Esso è solo moderatamente solubile nell'acqua. La sua solubilità dipende dalla temperatura dell'acqua (aumenta col diminuire della temperatura). Poiché ad una temperatura di 20 °C il coefficiente di solubilità è di 0.25, si ha che il radon preferisce distribuirsi in aria piuttosto che in acqua. Perciò il radon fuoriesce facilmente dall'acqua.

Comunque anche nel caso di una sorgente dove l'acqua scaturisce dalla roccia, la maggiore parte del radon si volatilizza velocemente. Quindi, se fosse presente del gas radon al momento dell'imbottigliamento di un'acqua minerale, dopo un mese di stoccaggio quasi tutto il radon sarebbe decaduto.

Altre importanti proprietà del radon sono rappresentate dalla sua solubilità nei solventi organici e dalla spiccata tendenza ad essere assorbito su matrici attive quali carbone attivo e gel di silice.

## Riassumendo : il Radon come gas inerte...

- Rispetto ai tanti altri elementi radioattivi il Radon è un gas inerte, quindi è molto mobile.
  - Genera figli tossici a breve vita media, e quindi indirettamente, negli ambienti chiusi rappresenta un rischio per la salute ad elevate concentrazioni.
    - Poiché è molto mobile ci porta informazioni da molto lontano: <u>è una</u> <u>buona sonda, viene utilizzato come</u> tracciante nelle attività di ricerca.

# UNPO'DI STORIA

#### Un po' di storia

Gli elementi radioattivi naturali sono stati presenti sulla terra dalla sua origine.

Gli elementi a vita più breve sono gradualmente scomparsi.

Gli elementi radioattivi a vita lunga che sono presenti nel nostro ambiente includono l'Uranio, che dà origine al Radon.

La radioattività fu scoperta nel 1898, quando Marie Curie portò avanti le ricerche sul Radon.

Nel 1900, il fisico F. Dorn scoprì che i sali di Radio producevano un gas radioattivo: il Radon.

#### <u>Un po' di storia</u>

In precedenza, nel sedicesimo secolo, Paracelso aveva notato l'alta mortalità dovuta a malattie polmonari tra i lavoratori delle miniere d'argento nella regione di Schneeberg in Sassonia (Germania). L'incidenza di questa malattia, in seguito conosciuta come malattia di Schneeberg, aumentò nei secoli diciassettesimo e diciottesimo, quando l'attività nelle miniere di argento, rame e cobalto si intensificò. Questa malattia fu riconosciuta come cancro ai polmoni nel 1879.

Misure effettuate nel 1901 nelle miniere di Schneeberg rilevarono un'alta concentrazione di Radon. Come risultato, fu presto lanciata l'ipotesi di un rapporto causa-effetto tra alti livelli di Radon e cancro ai polmoni.

Un precursore...

#### Da "de l'arte de metalli"

di Giorgio Agricola (1494-1555)

Imperciocché la polvere che si muove e maneggia nel cavare, penetrando ne l'aspra arteria, e nel polmone, partorisce la difficoltà nel fiatare ... E se avvenga che tal polvere habbia la forza di rodere, ella mangia il polmone.....

....la onde perciò è avvenuto che ne metalli del monte Carpato si son trovate donne c'hanno havuti sette mariti, tutti morti giovani di cotale infermità

#### Un po' di storia

Questa ipotesi fu rafforzata da più accurate misure del Radon compiute nel 1902 nella miniere di Schneeberg e in altre, in particolare quelle di Jachymov in Boemia, da dove provenivano i minerali usati da Marie Curie.

Nondimeno, questi dati non bastarono a convincere tutti, e alcuni scienziati ancora attribuiscono questi tumori ai polmoni ad altri fattori.

Addirittura fino agli anni '50 si era diffusa la convinzione che l'acqua contenente Radio o Radon potesse curare il cancro allo stomaco, vennero prodotti numerosi medicinali contenenti tali sostanze per curare alcune malattie.

L'attività nelle miniere di uranio fu intensificata dal 1940, ma i livelli di radon non furono misurati regolarmente che dal 1950.

#### Un po' di storia

Esperimenti su animali compiuti dal 1951 dimostrarono la potenziale cancerogenicità del Radon per i polmoni delle specie testate. Rilevamenti epidemiologici tra i minatori di Uranio, dalla metà degli anni sessanta, hanno infine confermato questo potenziale sull'uomo.

# Fu riconosciuta la pericolosità del radon mentre il suo valore terapeutico non è stato mai riconosciuto.

Nel 1967 il Congresso Federale per la Ricerca degli Stati Uniti ha proposto delle raccomandazioni per controllare i rischi correlati alle radiazioni in miniera

A tal fine numerosi rilevamenti epidemiologici sono stati effettuati negli anni '80 in varie nazioni, non solo tra lavoratori di miniere di Uranio, ma anche di Stagno e di Ferro.

### **Concludendo**

L'ipotesi di un legame tra alte concentrazioni di radon e cancro ai polmoni fu messa in primo piano molto presto nel ventesimo secolo.

La dimostrazione scientifica di questo legame è molto recente ma definitiva.

Soltanto negli ultimi 10 anno abbiamo potuto affermare che il radon può essere alla base dei più grandi problemi di salute pubblica.

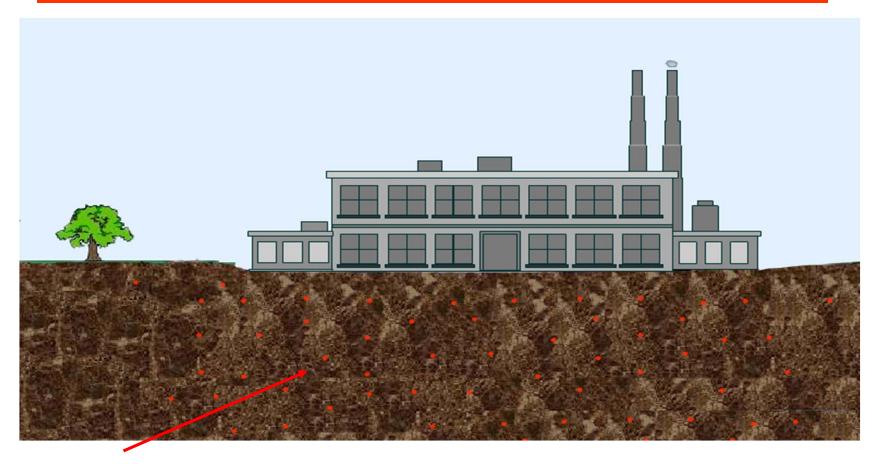
## IL COMPORTAMENTO

#### Da dove proviene

Il radon è un gas sprigionato da minerali radioattivi presenti sulla crosta terrestre ed in alcuni materiali da costruzione. Infatti alcuni materiali hanno dato sia ai costruttori che agli scienziati sgradite sorprese, rivelandosi particolarmente radioattivi.

In particolare il granito è molto attivo, e così pure la pietra pomice, i tufi, la lava, il basalto, ma anche le pozzolane, alcune argille e i gessi, oppure materiali da costruzione provenienti dal riciclaggio di materiali contaminati o contenenti componenti contaminati.

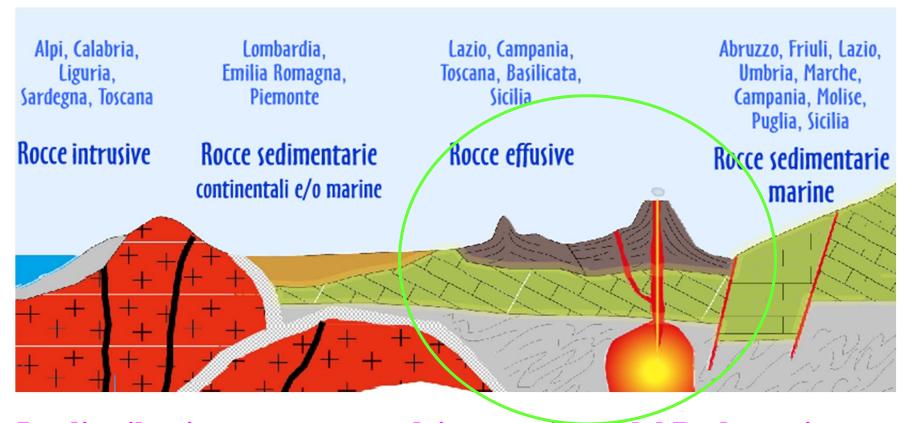
#### La concentrazione del Radon nel suolo



Nel suolo la quantità di Radon presente è proporzionale alla quantità dei progenitori.

Quindi dipende dal tipo di suolo su cui ci troviamo.

#### Il Radon nelle rocce



La distribuzione eterogenea dei progenitori del Radon nei diversi tipi di rocce causa una produzione non uniforme di Radon.

Nei punti di risalita di materiale roccioso, dal mantello verso la crosta, si riscontrano le maggiori concentrazioni.

#### Da dove proviene

Anche le acque sotterranee possono costituire una minaccia: pur essendo la solubilità del radon nell'acqua estremamente bassa, vi si discioglie e da questa viene veicolato in superficie; successivamente, nel momento in cui queste acque vengono utilizzate per usi domestici, si libera nell'aria e va a contaminare gli ambienti interni.

Questa sorgente di inquinamento è comunque molto piccola dato che solitamente le acque prelevate dalle fonti sotterranee vengono utilizzate dopo molti giorni, quando la maggior parte del radon è ormai decaduta.

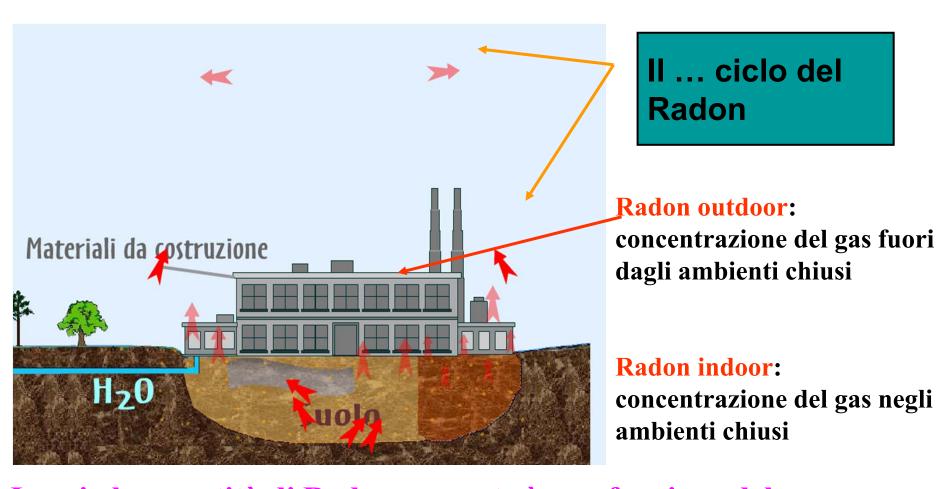
#### Il comportamento del Radon

A causa della sua natura gassosa e della sua inerzia chimica diffonde rapidamente dal luogo di formazione (in un materiale) fino a raggiungere lo spazio esterno.

Nei luoghi aperti il radon si volatilizza rapidamente e quindi si disperde

Negli ambienti chiusi (case, uffici,...) si raccoglie, raggiungendo concentrazioni anche molto elevate, costituendo quindi un problema.

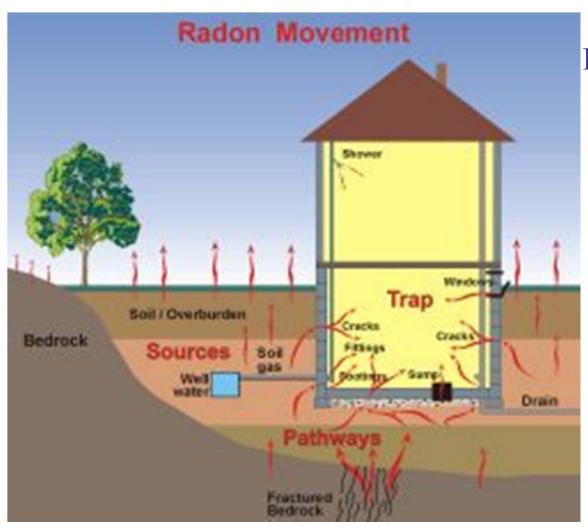
#### La concentrazione del Radon in aria



In aria la quantità di Radon presente è una funzione del processo di fuoriuscita del gas dal terreno in cui si è formato

(Emanazione-Esalazione).

#### Da dove entra negli ambienti

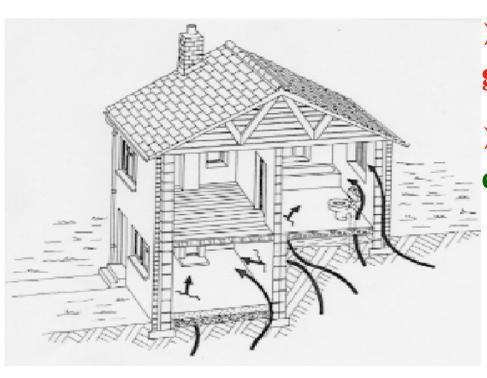


Dal suolo attraverso fessure microscopiche

Materiali da
costruzione
(cementi, tufi,
laterizi, pozzolane,
graniti, ecc.)

Acqua

## Principali cause delle concentrazioni di Radon in ambienti chiusi



- ➤ Genere di substrato geologico
- Tipologia di contatto tra edificio e suolo
  - > Modalità d'uso dell'edificio
  - > Tecnologia costruttiva dell'edificio

### Fattori che influenzano la concentrazione di Radon negli ambienti chiusi

#### E' un gas. Quindi dipende da ...

- Concentrazione del Radon nel suolo e nei materiali da costruzione (composizione)
- Propagazione attraverso il suolo e i materiali (permeabilità, porosità)
- Fattori climatici e meteorologici
- Convezione (differenza di pressione)
- Tasso di ventilazione dell'ambiente
- Distanza dell'abitazione dal suolo
- Presenza di microfratture nei pavimenti e di tubature (acqua, gas)
- Diffusione (differenza di concentrazione)

### La composizione

A livello regionale o locale, indipendentemente dalle condizioni meteo prevalenti in un dato periodo, il fattore che più influenza il rilascio di Radon è la geologia del terreno.

In generale è più facile che contengano Radon i terreni granitici e vulcanici, così come le argille contenenti alluminio.

In alcuni casi, ma in misura minore, il radon può arrivare dagli stessi muri qualora siano stati costruiti con materiali radioattivi

### La composizione

In Italia un particolare inquinamento da radon si verifica soprattutto in alcune zone del Lazio e della Campania a causa dell'utilizzo di materiali da costruzione di origine vulcanica (per lo più tufo): dai muri viene liberato del radon che va ad incrementare la già elevata contaminazione all'interno degli edifici.

Un caso noto di materiale radioattivo riguarda l' "alum shale", cemento contenente scisti alluminosi molto comune in Svezia, caratterizzato da una forte emissività. Se usato come materiale prevalente nella costruzione di un edificio, la concentrazione di Radon negli ambienti può arrivare a 800 Bq/m³, contro un valore medio nell'aria esterna intorno ai 10 Bq/m³. Mentre i più comuni materiali da costruzione, il legno, i laterizi e il calcestruzzo, emettono quantità relativamente piccole di radon.

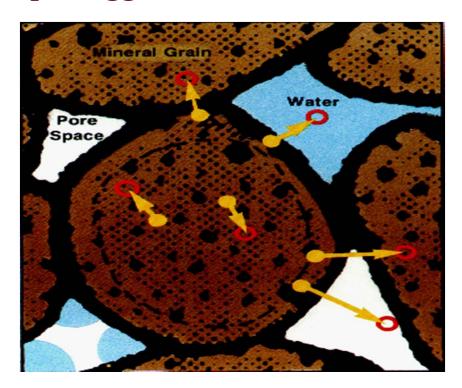
### Permeabilità e porosità

Inoltre dato un certo contenuto di Radon nel suolo, la quantità di gas rilasciata varia in dipendenza della permeabilità del terreno (tanto maggiore è la permeabilità del suolo, tanto più radon verrà liberato all'aria aperta) legata alla densità, alla porosità, alla granulometria.

Infatti, le rocce permeabili o fratturate possono emanare maggiori quantità di radon, perchè nel momento in cui un atomo di radio decade per dare origine ad una particella alfa e un atomo di radon, il radon che si forma subisce uno spostamento nella direzione opposta della particella alfa (il cosiddetto movimento di rinculo).

Se il radon si trova ad una distanza molto prossima alla superficie del grano di minerale in cui è presente (a circa 0,05 µm di distanza) e se lo spostamento avviene proprio verso questa superficie allora il radon verrà liberato dal materiale e sarà emesso dalla roccia; in caso contrario rimarrà all'interno per poi decadere in piombo.

A causa della corta lunghezza del rinculo del Radon, non tutto quello prodotto in un materiale poroso per decadimento del Radio contenuto è disponibile per il passaggio nell'aria, ma soltanto una parte di esso.



Solo il Radon che proviene dall'esterno della linea (superficie) tratteggiata può sfuggire da un grano. La maggior parte vi resta intrappolata La presenza di acqua nei pori facilita la fuoriuscita del gas.

#### Permeabilità e porosità

In terreni con rocce molto fratturate, con molti spazi vuoti, il radon, che a differenza degli altri prodotti della serie a cui appartiene è gassoso e può quindi spostarsi dal punto d'origine, può essere trasportato da correnti d'aria o dall'acqua sorgiva o piovana infiltrata. Molte volte sono proprio le fratture e le faglie ad essere associate a concentrazioni elevate di radon

Tanto maggiori sono gli spazi interstiziali presenti nei minerali e le fessurazioni delle rocce che compongono il terreno tanto più radon verrà liberato nel sottosuolo. Poi da qui il radon si libera all'aria aperta.

Invece il radon che si forma più in profondità rimane imprigionato e decade sul posto nei suoi sottoprodotti solidi.

#### Permeabilità e porosità

Possiamo quindi affermare che il potere d'emanazione non dipende solo dal contenuto di radio, ma essenzialmente dalle caratteristiche strutturali del materiale.

Concludendo possiamo dire che più il sottosuolo è permeabile (detriti), più è facile che il radon riesca ad arrivare fino in superficie potendo anche interagire con l'organismo umano.

In una roccia compatta, invece, il radon subirà un processo di decadimento al suo interno, nello stesso luogo dove si è generato e quindi rimane imprigionato nel materiale.

#### Fattori: climatici e meteorologici

La velocità di emissione del radon varia significativamente nel tempo, anche per uno stesso luogo.

Si rilevano nelle abitazioni variazioni di concentrazione periodiche, sia stagionali (mediamente le concentrazioni di radon d'inverno sono il doppio di quelle estive) che giornaliere (differenze osservate tra i livelli diurni e notturni), influenzate sia dalle temperature del suolo e dell'aria, che dalla pressione atmosferica, che dall'umidità, o da eventi meteorologici come la pioggia o la neve e la velocità e la direzione del vento.

Si è potuto osservare inoltre, con apposite misure che la concentrazione di radon in casa aumenta quando il terreno ghiaccia. Verosimilmente il gelo, ma anche la neve, ostacolano la fuoriuscita del radon dal terreno, favorendone la fuga laddove il terreno non è gelato (nelle cantine).

#### Differenza di pressione

La principale causa dell'afflusso di radon negli ambienti chiusi è la differenza di pressione che si viene a creare tra l'interno e l'esterno degli edifici. Il Radon emesso all'interno di una casa tende a restare lì, l'aria interna tende a stagnare piuttosto che a rinnovarsi.

Normalmente l'interno delle case è in depressione rispetto all'esterno. Si può facilmente confermare questo in inverno ponendo la mano vicino allo stipite di una finestra: una corrente di aria fresca, più o meno intensa secondo la larghezza della fessura, si può chiaramente percepire all'interno della casa, ma non all'esterno Questa depressione (solo pochi Pascal) è causata soprattutto da due fenomeni: l'effetto camino e l'effetto vento.

#### Differenza di pressione

L'effetto camino è dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno della casa, in funzione della quale si forma una differenza di pressione  $\Delta P$ .

In conseguenza di questa depressione interna l'aria fredda contenente radon viene risucchiata dal terreno.

Quanto più caldo è l'interno della casa e quanto più freddo è l'esterno, tanto più marcato sarà l'effetto.

Normalmente in ambienti o case non riscaldate la concentrazione di radon è minore.

Spesso il problema del radon si presenta solamente in concomitanza della fase di riscaldamento.

#### Differenza di pressione

In sintesi, secondo le condizioni di pressione relativa presenti in una casa, la concentrazione di radon può subire sensibili variazioni giornaliere e stagionali.

In genere i valori di radon più elevati si osservano nelle prime ore del mattino, quando la differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno è maggiore.

Per lo stesso motivo (a parte la diversa ventilazione) d'inverno le concentrazioni sono mediamente maggiori di quelle estive.

### **Ventilazione**

Inoltre ci sono anche delle case nelle quali le massime concentrazioni sono osservate durante l'estate.

Quest'effetto è probabilmente da attribuire ai venti di valle oppure a correnti d'aria all'interno di terreni molto permeabili es. pendii esposti al sole.

Per un dato terreno, e indipendentemente dal tempo, la concentrazione finale di Radon in una casa è quindi dipendente dal tipo di costruzione.

Dipende anche, in larga misura, dalla ventilazione, sia passiva (cattivo isolamento) che attiva (apertura di porte e finestre).

#### Distanza dal suolo

Quindi solitamente i luoghi più a rischio sono:

- posizionati a ridosso del terreno
- seminterrati e pianterreni

I piani superiori degli edifici presentano delle concentrazioni di radon notevolmente più basse, via via minori man mano che aumenta la distanza dal suolo.

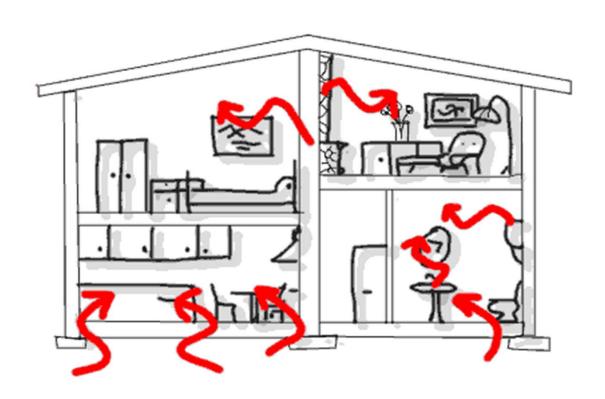
### **Microfratture**

La quantità di radon proveniente dal suolo che penetra nei locali, è in funzione dello spessore e dell'integrità delle pavimentazione degli edifici, infatti, il radon presente in una casa proviene dal suolo sul quale essa è costruita.

Come qualsiasi gas penetra attraverso le spaccature che si formano con il tempo (crepe, fessure o punti aperti delle fondamenta, cantine con pavimentazione naturale, ecc.), lungo le tubature o attraverso le giunture tra i muri.

#### **Microfratture**

La maggior parte parte del radon presente in una casa proviene dal suolo sul quale essa è costruita e penetra attraverso le spaccature del pavimento e le giunture tra i muri.



## IRIMEDI

### <u>Rimedi</u>

Elevati livelli di concentrazione possono essere ridotti con opportune modifiche strutturali dell'edificio.

In linea di principio le tecniche di riduzione di basano sulla ventilazione ed aspirazione naturale o forzata dell'aria.

In alcuni casi, è sufficiente rivestire pavimenti e pareti di materiali altamente impermeabili al Radon (ad esempio lineolum e particolari vernici).

### I Rimedi

Esistono misure provvisorie, oltre misure preventive o misure di risanamento.

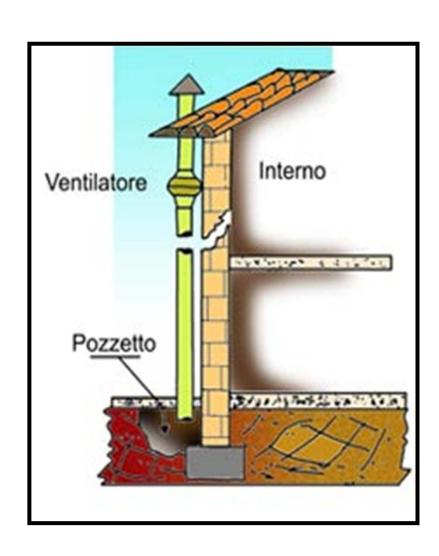
In generale, sia per le misure preventive (casa in fase di progetto) che per i risanamenti (case esistenti con concentrazioni elevate) le metodiche sono simili.

Tuttavia, mentre nel caso di nuove costruzioni, le misure preventive possono essere coordinate in modo chiaro e conducono quasi sicuramente al successo, ed inoltre i costi aggiuntivi delle contromisure sono normalmente molto contenuti

nel caso di risanamenti è spesso necessario valutare attentamente le diverse alternative possibili ed è a volte difficile prevederne il risultato ed i costi.

#### Metodi per ridurre il radon

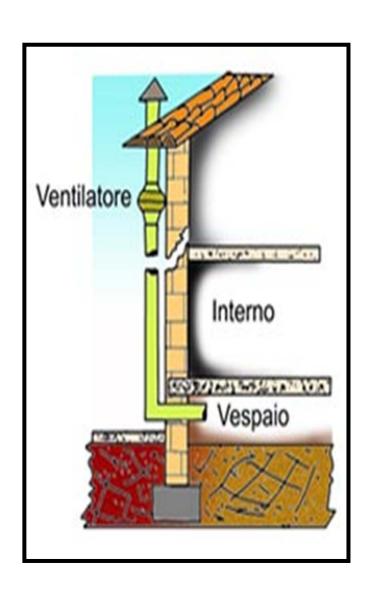
#### Depressurizzazione del suolo



tecnica **Ouesta** è la maggiormente consigliata nel caso di concentrazione molto elevata derivante dal suolo. Si tratta di realizzare sotto la superficie dell'edificio pozzetto per la raccolta del gas radon, che viene collegato a un piccolo ventilatore. In tal modo all'interno del pozzetto si realizza una depressione che raccoglie il radon e lo espelle in aria impedendo che entri all'interno dell'edificio.

#### Metodi per ridurre il radon

#### Ventilazione del vespaio



Questo metodo è utilizzato quando è presente un vespaio al di sotto dell'edificio. Aumentando la ventilazione del vespaio diluisce il radon presente e conseguenza meno radon si trasferisce nell'edificio. L'incremento della ventilazione può essere realizzato aumentando il numero delle bocchette di aerazione ed eventualmente applicando un ventilatore.

### Metodi per ridurre il radon negli ambienti

### **Ventilazione**

Un aumento della ventilazione dell'ambiente diluisce il radon presente. Questo metodo si realizza con l'ausilio di un ventilatore.

I problemi connessi con questo sistema sono legati alla necessità di recupero del calore nei mesi invernali. Il metodo è più adatto per applicazioni in ambienti di lavoro, in particolare laddove esiste già un impianto.

#### Metodi per ridurre il radon negli ambienti

#### Pressurizzazione dell'edificio

In questo caso si cerca di incrementare la pressione interna dell'edificio, in modo da contrastare la risalita del radon dal suolo. In pratica l'aria interna spinge il radon fuori dall'edificio. Anche qui è necessario l'ausilio di un ventilatore.

#### Sigillatura delle vie di ingresso

Con questo metodo si tenta di chiudere tutte le possibili vie di ingresso. La sigillatura può essere parziale, cioè a carico delle fessure, delle giunzioni pavimento-pareti, dei passaggi dei servizi, (idraulici, termici, delle utenze ecc.), oppure totale, cioè su tutta la superficie di contatto con il suolo. Per la sigillatura parziale si utilizzano particolari materiali polimerici e per quella totale fogli di materiale impermeabile al radon.

# Azioni di prevenzione per nuove costruzioni

In fase di progettazione o di costruzione di un nuovo edificio ha un costo relativamente ridotto adottare criteri che riducano l'ingresso del radon dal suolo.

Nel caso si voglia adottare la tecnica del vespaio o delle intercapedini è sufficiente prevedere la realizzazione di una buona ventilazione naturale per tutta la superficie di contatto suolo-edificio.

Il numero delle bocchette di aerazione deve essere sufficiente a consentire un buon ricambio di aria (orientativamente una bocchetta ogni 2 metri lineari) ed è consigliabile il riempimento del vespaio con ghiaia.

## Azioni di prevenzione per nuove costruzioni

In aggiunta deve essere steso un foglio di materiale impermeabile al radon (già ne esistono in commercio) sempre su tutta la superficie di contatto suolo-edificio. In tal modo la costruzione rimane predisposta per una facile installazione di un ventilatore nel caso la concentrazione risultasse elevata.

Quando non si adotta il vespaio si devono predisporre, al di sotto della prima gettata, uno o più pozzetti di raccolta, a seconda della superficie dell'edificio (circa uno ogni 250 m²), collegati tra loro e collegati con l'esterno dell'edificio.

## Azioni di prevenzione per nuove costruzioni

Inoltre si deve stendere, sempre sotto la prima gettata, uno strato di ghiaia di circa 5-10 cm e un foglio di materiale impermeabile al radon.

Anche in questo caso, se si riscontrassero ancora elevate concentrazioni di radon, potrà essere utilizzato un ventilatore per l'aspirazione del radon dai pozzetti.

Allo stesso modo il rivestimento delle pareti con materiali plastici come il poliammide, il polivinilcloruro, il polietilene e la vernice plastica, oppure con tre strati di vernice ad olio, riduce di dieci volte l'emissione di radon; perfino la carta da parati può ridurla del 30% circa.

### Conoscendo si può rimediare



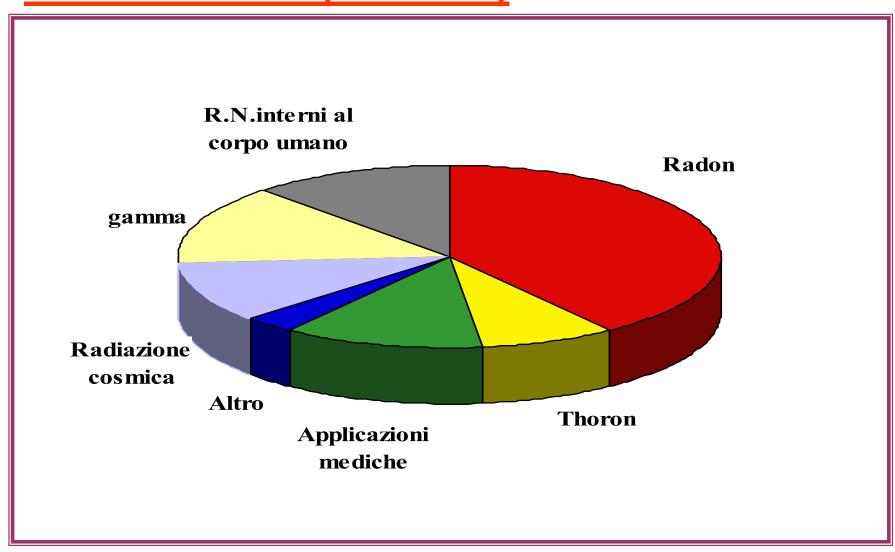
Il Radon è un potenziale rischio per la salute pubblica in quanto le statistiche mostrano un trend di predisposizione ad ammalarsi di cancro per coloro che vivono in ambienti ad elevato tenore di Radon.

Il Radon può essere presente in alte concentrazioni in tutti i tipi di abitazioni stratificandosi in più livelli a seconda delle correnti d'aria.

Le abitazioni con problemi di Radon possono essere bonificate utilizzando tecniche e materiali idonei.

# IL RADON COME RISCHIO

# Composizione della dose efficace media annua in Italia (2.8 mSv)



La pericolosità del radon è essenzialmente dovuta alle sue peculiarità chimico-fisiche. Essendo inerte ed elettricamente privo di carica elettrica, è caratterizzato da una grande mobilità (al contrario di elementi come il radio o l'uranio che restano vincolati nel materiale in cui si trovano).

Il Rn, però, emettendo particelle alfa a vita breve non costituisce un pericolo rilevante, se l'irraggiamento così provocato proviene dall'esterno del corpo.

Il rischio dovuto alla presenza del radon nell'ambiente è dovuto all'inalazione.

In effetti il radon è un gas che può facilmente penetrare all'interno dei polmoni e qui esplicare la sua azione degenerativa.

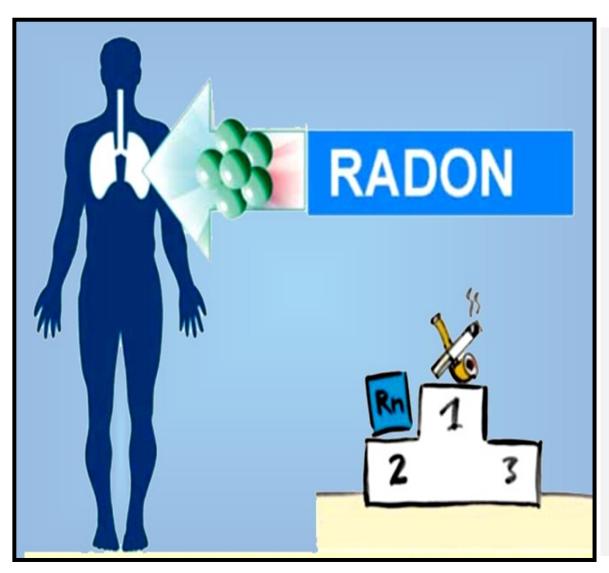
Anche gli atomi radioattivi che si generano in seguito al decadimento del radon all'aria aperta ("progenie del radon") una serie di radionuclidi <sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Pb, <sup>214</sup>Bi, <sup>214</sup>Po, <sup>210</sup>Bi, <sup>210</sup>Po e <sup>206</sup>Pb costituiscono un pericolo.

Infatti essi a differenza del radon che è inerte, hanno una reattività chimica, in quanto essendo elettricamente carichi sono portati a legarsi con il pulviscolo atmosferico presente nell'aria (composti organici volatili , molecole di vapore, fumo da sigaretta o quello prodotto da attività di cucina, ecc.).

Così mentre una parte si deposita sulle superfici dei locali (pareti, mobili ecc.), in aria quindi rimane solo una parte di esse (quella non depositata), che può essere inspirata tramite questo, giunge a contatto con le cellule dell'epitelio polmonare dove vengono intrappolati negli alveoli polmonari e decadono cedendo al tessuto polmonare l'energia delle radiazioni alfa emesse.

- Bisogna inoltre sottolineare che i fumatori sono i soggetti più a rischio in quanto è stato dimostrato un effetto sinergico tra la presenza del radon e quella del fumo di sigaretta.
  - I rischi da Radon si dividono in due grandi gruppi:
    - Rischi per Fumatori
    - Rischi per NON Fumatori.

Questa differenza deriva dal fatto che il particolato aspirato durante il fumo si lega con particelle attive ed irradia i polmoni dall'interno dell'organismo provocando effetti di danno biologico maggiori.



Per questo motivo, gli effetti del radon sono inquadrati al secondo posto, dopo il fumo, come causa per l'insorgenza di tumori polmonari.

Inoltre per i fumatori il rischio assoluto di un tumore polmonare causato dal radon viene considerato 15-20 volte superiore rispetto al rischio per i non fumatori.

Effetto combinato

- Nei polmoni le particelle alfa che si liberano in seguito al decadimento del radon e della sua progenie possono danneggiare il DNA e l'RNA delle cellule.
- Se i naturali meccanismi di riparazione degli acidi nucleici (DNA e RNA) non sono in grado di riparare tutti i danni causati da queste radiazioni alfa allora vi è la possibilità che il tutto possa portare alla formazione di un tumore ai polmoni.
  - Al momento non si ritiene possibile l'insorgenza di tumore in altri organi del corpo in quanto le radiazioni alfa percorrono delle distanze relativamente brevi e quindi insufficienti a raggiungere altre zone corporee.

Quindi il Radon è dannoso proprio a causa dei prodotti di disintegrazione che, quando vengono inalati, con la respirazione si depositano nei polmoni.

Per quanto riguarda la presenza del radon nell'acqua, finora non risulta alcuna evidenza scientifica che il radon alle comuni concentrazioni presenti in natura possa provocare l'insorgenza di un tumore all'apparato digestivo.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO-OMS) ha dichiarato già dal 1988, tramite l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato il Radon nel Gruppo 1 in cui sono elencati quelle sostanze per cui vi è un'evidenza certa di cancerogenicità sull'uomo, quali benzene, amianto, fumo di tabacco,ecc.

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente americana (EPA) ha fatto lo stesso.

## La situazione in Italia

In Italia è stata effettuata dal Servizio Sanitario Nazionale una indagine, su un campione significativo di abitazioni, sulla esposizione al Radon

Il valore della concentrazione media è risultato:

77 Bq/m<sup>3</sup>

Tale valore è relativamente elevato rispetto alla media mondiale valutata intorno a 55 Bq/m<sup>3</sup>

Stati Uniti 46 Inghilterra 20

Svezia 108 Svizzera 70

## Il Radon nelle abitazioni italiane

## Dati Indagine

No Abitazioni 5361 No. città 232

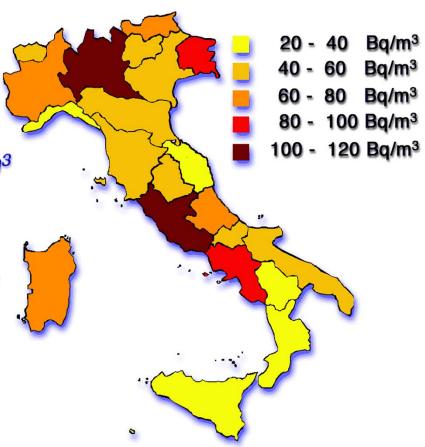
Valore massimo 1035 Bq/m<sup>3</sup>

## Dati estrapolati

(abitazioni totali ≈ 20.000.000)

 $\approx 800.000 > 200 \text{ Bq/m}^3$ 

 $\approx 200.000 > 400 \text{ Bq/m}^3$ 



## Dove si trova

L'origine del radon giustifica la presenza ubiquitaria

negli ambienti di vita

negli ambienti di lavoro

#### NORMATIVA

#### **DECRETO LEGISLATIVO 17 marzo 1995 nº 230**

Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641, 92/3 e 96/29

#### **CAMPO DI APPLICAZIONE (CAPO I)**

Le disposizioni si applicano:

- •alla costruzione, all'esercizio e alla disattivazione di impianti nucleari
- •alla produzione, importazione, esportazione, trattamento, impiego, commercio, detenzione, deposito, trasporto, raccolta e smaltimento di materie radioattive e a qualsiasi attività che comporti un rischio derivante da radiazioni ionizzanti, comprese le macchine radiogene
- •alle lavorazioni minerarie (capo IV)
- •alla presenza di sorgenti naturali di radiazioni (Capo 3-bis)

D.Lgs. n° 230/95

#### PRINCIPI GENERALI DI PROTEZIONE (CAPO I)

- le attività che comportano esposizione alle radiazioni ionizzanti debbono essere preventivamente giustificati e periodicamente riconsiderati alla luce dei benefici che da esse derivano
- le esposizioni debbono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali
- la somma delle dosi ricevute e impegnate non deve superare i limiti prescritti

D.Lgs. n° 230/95

#### **DEFINIZIONI** (Capo II)

- Persone del pubblico: individui della popolazione, esclusi i lavoratori, gli apprendisti e gli studenti esposti in ragione della loro attività.
- Gruppi di riferimento (gruppi critici) della popolazione: gruppi che comprendono persone la cui esposizione è ragionevolmente omogenea e rappresentativa di quella degli individui della popolazione maggiormente esposti, in relazione a una determinata fonte.
- Lavoratori esposti: persone sottoposte, per l'attività che svolgono, a una esposizione che può comportare dosi superiori ai pertinenti limiti fissati per le persone del pubblico

#### D.Lgs. n° 230/95

#### **DEFINIZIONI** (Capo II)

- **Becquerel** (**Bq**): nome speciale dell'unita' di attivita' (A); un becquerel equivale ad una transizione per secondo (1 Bq = 1 s-1)
- *Elettronvolt*: La quantità di energia acquistata (o persa) da una particella con carica elettrica unitaria quando si muove tra due punti aventi una differenza di potenziale di 1 Volt. (1 eV = 1.6 10-19 joule = 3.8 10-18 calorie).
- dose assorbita (D): energia assorbita per unità di massa (D = dE/dm); la dose assorbita indica la dose media in un tessuto o in organo. L'unità di dose assorbita è il Gray (Gy); 1 Gy = 1 J Kg-1
- dose efficace (E): somma delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti, l'unità di dose efficace è il Sievert (Sv);
- *medico autorizzato*: medico responsabile della sorveglianza medica dei lavoratori esposti,
- esperto qualificato: persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione

D.Lgs. n° 230/95

#### **REGIME GIURIDICO (Capo V)**

#### Obbligo di informativa (art. 19)

Chiunque importa, produce o commercia materie radioattive, prodotti e apparecchiature contenenti dette materie, deve provvedere a che ogni sorgente immessa in commercio sia accompagnata da una informativa scritta sulle precauzioni tecniche da adottare per prevenire eventuali esposizioni indebite, nonché sulle modalità di smaltimento o di cessata detenzione.

#### D.Lgs. n° 230/95

#### **REGIME GIURIDICO (Capo V)**

#### Comunicazione preventiva di pratiche (art. 22)

L'intendimento di intraprendere una pratica deve essere comunicato, trenta giorni prima dell'inizio della detenzione, al Comando provinciale dei vigili del fuoco, agli organi del Servizio sanitario nazionale, e, ove di loro competenza, all'Ispettorato provinciale del lavoro, al Comandante di porto e all'Ufficio di sanità marittima, nonché all'ARPA regionale

Oltre alle generalità del richiedente la richiesta deve contenere:

- Descrizione della pratica, compresi gli elementi per effettuare il processo di giustificazione, l'ubicazione dei locali e delle aree
- per ogni macchina radiogena: il tipo e l'energia massima di accelerazione delle particelle cariche e la corrente massima;
- per le materie radioattive: le quantità totali di radioattività, distinguendo tra sorgenti non sigillate e sorgenti sigillate, l'eventuale presenza di zone classificate, valutazione delle dosi (lavoratori e gruppi di riferimento)

La documentazione tecnica deve essere firmata dall'E.Q. per la parte di competenza.

#### D.Lgs. n° 230/95

#### **REGIME GIURIDICO (Capo V)**

#### Comunicazione preventiva di cessazione di pratica (art. 24).

- Chiunque intenda cessare una pratica deve darne comunicazione, almeno trenta giorni prima della prevista cessazione, alle amministrazioni competenti a ricevere la comunicazione preventiva
- Alla comunicazione è allegata una relazione, sottoscritta dall'E.Q che descriva le operazioni previste per la cessazione stessa.
- Al termine delle operazioni deve essere trasmessa anche una relazione, sottoscritta dall'E.Q., che attesti l'assenza di vincoli di natura radiologica nelle installazioni in cui la pratica e' stata effettuata.
- La pratica si considera cessata, a tutti gli effetti, trascorsi sessanta giorni dall'invio, mediante raccomandata, della relazione.

#### D.Lgs. n° 230/95

#### REGIME GIURIDICO ...... E DETENZIONE (Capo V)

#### **Esenzioni**

- Sono escluse dall'obbligo di comunicazione preventiva le pratiche in cui le sorgenti soddisfino una delle condizioni seguenti:
  - a) L'attività totale e l'attività specifica non superino i valori della tabella VII-1 l'attività specifica non superi le soglie
  - b) gli apparecchi contenenti materie radioattive anche al di sopra delle quantità di cui sopra, purché soddisfino tutte le seguenti condizioni:
    - 1) siano di tipo riconosciuto;
    - 2) siano in forma sigillata;
    - 3) in condizioni di funzionamento normale, a 0,1 m, l'intensità di dose non superi 1 µSv/h;
    - 4) le condizioni di smaltimento siano state specificate;

D.Lgs. n° 230/95

#### REGIME AUTORIZZATIVO Capo VI.

#### Nulla osta all'impiego di sorgenti di radiazioni Art. 27.

Gli impianti, stabilimenti, istituti, ecc. adibiti ad attività comportanti la detenzione, l'utilizzazione, la manipolazione di materie radioattive, prodotti, apparecchiature in genere contenenti dette materie, il trattamento, il deposito e l'eventuale smaltimento nell'ambiente di rifiuti, nonché l'utilizzazione di apparecchi generatori di radiazioni ionizzanti, debbono essere muniti di nulla osta preventivo

#### L'impiego di sorgenti di radiazioni è classificato in due categorie, A e B.

Il nulla osta di categoria A tiene luogo del nullaosta all'impiego di categoria B.

#### D.Lgs. n° 230/95

#### REGIME AUTORIZZATIVO Capo VI.

#### Nulla osta all'impiego di sorgenti di radiazioni Art. 27.

Sono soggette a nulla osta le pratiche comportanti l'impiego di:

- macchine radiogene ove l'energia massima delle particelle accelerate sia superiore a 200 keV;
- sorgenti di radiazioni con produzione media nel tempo di neutroni su tutto l'angolo solido superiore a 10<sup>4</sup> al secondo;
- materie radioattive allorchè il valore massimo della concentrazione di attività per unità di massa sia superiore ai valori indicati nella tabella IX-1 ed inoltre si verifichi una delle seguenti condizioni:
  - l'attività totale presente nella installazione sia superiore per un fattore 10<sup>3</sup> ai valori indicati nella tabella IX-1;
  - l'attività totale pervenuta o prodotta nell'installazione in ragione d'anno solare sia superiore per un fattore 50 ai valori di cui al punto precedente.

#### D.Lgs. n° 230/95

#### REGIME AUTORIZZATIVO Capo VI.

Condizioni per la classificazione dell'impiego di sorgenti di radiazioni in Categoria A ed in Categoria B

Viene classificato in categoria A

- a) l'impiego di materie radioattive allorché si verifichi una delle seguenti condizioni:
- l'attività totale presente sia uguale o superiore di un fattore 106 ai valori indicati nella Tabella IX-1 se in forma di sorgenti non sigillate
- l'attività totale presente sia uguale o superiore di un fattore 109 ai valori indicati nella Tabella IX-1 in forma di sorgenti sigillate
- b) l'impiego di sorgenti di radiazioni con produzione media nel tempo di neutroni su tutto l'angolo solido sia superiore a 10<sup>7</sup> neutroni al secondo,.
- c) l'impiego di macchine radiogene che accelerino elettroni con energia massima di accelerazione superiore a 25 MeV.

Al di fuori di questo, l'impiego delle sorgenti di radiazioni è classificato in categoria B.

#### D.Lgs. n° 230/95

#### REGIME AUTORIZZATIVO Capo VI.

Sono esenti dal nulla osta di cui all'articolo 27 le pratiche comportanti l'impiego di:

- sorgenti di tipo riconosciuto.
- macchine radiogene in cui l'energia massima delle particelle accelerate sia inferiore a 200 keV;
- sorgenti di radiazioni con produzione media nel tempo di neutroni su tutto l'angolo solido inferiore a 10<sup>4</sup> al secondo;
- materie radioattive allorché il valore massimo della concentrazione di attività per unità di massa sia superiore ai valori indicati nella tabella IX-1 ed inoltre si verifichi una delle seguenti condizioni:
  - l'attività totale presente nella installazione sia superiore per un fattore 10<sup>3</sup> ai valori indicati nella tabella IX-1;
  - l'attività totale pervenuta o prodotta nell'installazione in ragione d'anno solare sia superiore per un fattore 50 ai valori di cui sopra

#### **Effetti biologici**

**DOSI** - Confronto dei limiti annuali per i lavoratori e per il pubblico

LAVORATORI PUBBLICO

Limite di dose efficace: 20 mSv 1 mSv

Limite di dose equivalenti:

•Cristallino 150 mSv 15 mSv

•Pelle 500 mSv 50 mSv

•Estremità 500 mSv non definita

CLASSIFICAZIONE DEI LAVORATORI (All.III D.Lgs. 230/95)

#### •CATEGORIA A

Lavoratori esposti suscettibili di una esposizione, in un anno solare, superiore ad uno dei seguenti limiti:

- 6mSv di dose efficace
- 3 decimi di uno qualsiasi dei limiti fissati per il cristallino, pelle e estremità.

#### •CATEGORIA B

Lavoratori esposti non classificati in categoria A

#### SORVEGLIANZA SANITARIA

La sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti è attuata a mezzo di <u>Medico autorizzato</u> o <u>Medico competente</u>

Medico Competente: Sorveglianza sanitaria lavorativi ed esposti Cat. B

Medico Autorizzato: Sorveglianza sanitaria lavorativi ed esposti Cat. A e B

Requisiti: Medico Competente iscritto in Elenco Nominativo a seguito di esame presso Ministero del Lavoro Direzione Generale Rapporti di Lavoro.

#### Effetti biologici

## ESPOSIZIONE A RADIAZIONI IONIZZANTI ARTICOLO 8 D.Lgs. 151/2001

- Le donne durante la gravidanza non possono svolgere attività in zone classificate, essere adibite ad attività che potrebbero esporre il nascituro ad una dose che ecceda 1mSv durante il periodo di gravidanza.
- E' fatto obbligo alle lavoratrici di comunicare al datore di lavoro il proprio stato di gravidanza, non appena accertato.
- E' altresì vietato adibire le donne che allattano ad attività comportanti un rischio di contaminazione

#### PROTEZIONE SANITARIA DEI LAVORATORI (Capo VIII)

#### Obblighi dei datori di lavoro, dirigenti e preposti (art. 61)

Il Datore di Lavoro, prima di iniziare una attività, deve acquisire da un Esperto Qualificato una relazione contenente le valutazioni e le indicazioni di radioprotezione - costituisce il documento di cui all'art. 4 del D.Lgs. 626/94 per quanto attiene i rischi da radiazioni ionizzanti.

Il Datore di Lavoro, i dirigenti e i preposti, su indicazioni dell'E.Q., devono:

- delimitare, contrassegnare e regolamentare l'accesso alle zone classificate;
- classificare i lavoratori:
- predisporre norme interne di protezione e sicurezza;
- •fornire ai lavoratori i necessari mezzi di sorveglianza dosimetrica e di protezione;
- •rendere edotti i lavoratori dei rischi specifici, delle norme di protezione sanitaria, delle modalità di esecuzione del lavoro e delle norme interne di protezione;
- Vigilare sull'osservanza delle disposizioni;
- contrassegnare le sorgenti;
- •fornire ai lavoratori i risultati della sorveglianza dosimetrica

<u>I datori di lavoro, i dirigenti e i preposti</u> devono avvalersi di esperti qualificati e di medici autorizzati.

#### PROTEZIONE SANITARIA DEI LAVORATORI (Capo VIII)

#### Sorveglianza fisica (art. 75)

La sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione deve essere effettuataove le attività comportino la classificazione dei luoghi di lavoro in **Zone Controllate** o **Zone Sorvegliate**.

Il datore di lavoro deve: assicurare la sorveglianza fisica per mezzo di esperti qualificati (art. 77)

il nominativo dell'esperto qualificato è comunicato all'Ufficio provinciale del lavoro competente per territorio e, per le attività estrattive, anche all'ingegnere capo dell'ufficio periferico competente per territorio;

(Le funzioni di esperto qualificato non possono essere assolte dalla persona fisica del datore di lavoro nè dai dirigenti che eserciscono o dirigono l'attività, nè dal preposto che vi sovraintende, nè dagli addetti alla vigilanza).

#### PROTEZIONE SANITARIA DEI LAVORATORI (Capo VIII)

## Classificazione dei luoghi di lavoro: Zone Controllate - Zone Sorvegliate.

#### **ZONA CONTROLLATA**

Viene classificata zona controllata ogni area di lavoro in cui vi sia la possibilità per gli operatori di superare i seguenti valori di dose:

- 6 mSv per esposizione globale o di dose efficace
- 3/10 di uno dei limiti di dose fissati per il cristallino, pelle e estremità



Zona Controllata

#### **ZONA SORVEGLIATA**

Viene invece classificata zona sorvegliata ogni area di lavoro in cui sussiste il rischio per i lavoratori di superamento dei limiti di dose fissati per le persone del pubblico.

# Fattori che influenzano la concentrazione di radon negli ambienti chiusi

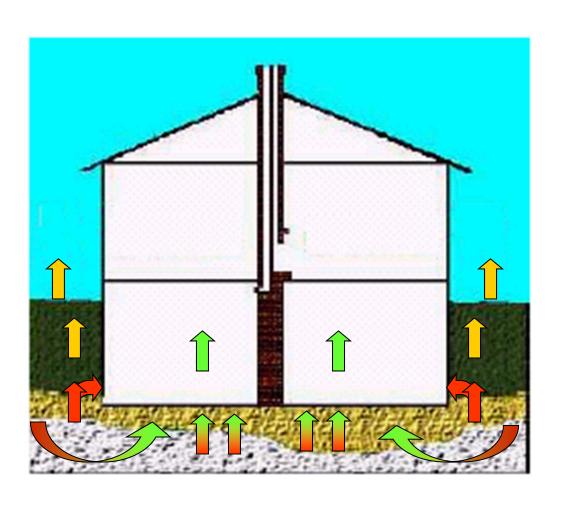
### Come detto è un gas.

#### Quindi dipende da ...

- Concentrazione del radon nel suolo e nei materiali da costruzione (composizione)
- Propagazione attraverso il suolo e i materiali (permeabilità, porosità)
  - 1. per convezione (differenza di pressione)
  - 2. per diffusione (differenza di concentrazione)
- Presenza di microfratture nei pavimenti e di tubature (acqua, gas)
- \* Distanza dell'abitazione dal suolo
- \* Tasso di ventilazione dell'ambiente

#### II Radon indoor

La presenza di radon negli ambienti chiusi è legata a fattori fisico-chimici (Tipo di suolo, Materiali da costruzione, Permeabilità e Porosità delle rocce, Veicoli di trasporto) e ambientali (Clima, abitudini della popolazione)



#### Ma...

#### Effetto camino

La presenza stessa dell'edificio provoca il richiamo del gas verso l'interno

- Radon emanato-esalato
- Radon indoor
- Radon outdoor

## Capo III bis D. Lgs. 230/95 integrato con il D. Lgs. 241/2000

ESPOSIZIONI DA ATTIVITA' LAVORATIVE CON PARTICOLARI SORGENTI NATURALI DI RADIAZIONI

Art. 10 bis - Campo di applicazione

Le disposizioni del presente capo si applicano alle attività lavorative nelle quali la presenza di sorgenti di radiazioni naturali conduce ad un significativo aumento dell'esposizione dei lavoratori o di persone del pubblico, che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione. <u>Tali attività comprendono</u>:

- a) attività lavorative durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del <u>radon o del toron, o a radiazioni gamma</u> o a ogni altra esposizione in particolari luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte <u>e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei;</u>
- b) attività lavorative durante le quali i lavoratori e, eventualmente, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro diversi da quelli di cui alla lettera a) in zone ben individuate o con caratteristiche determinate;

#### Campi di applicazione ... continua

- c) attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, eventualmente, di persone del pubblico;
- d) attività lavorative che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione di persone del pubblico e, eventualmente, dei lavoratori;
- e) attività lavorative in stabilimenti termali o attività estrattive non disciplinate dal capo IV;
- f) attività lavorative su aerei per quanto riguarda il personale navigante.

### Scadenze temporali

### Luoghi di lavoro sotterranei

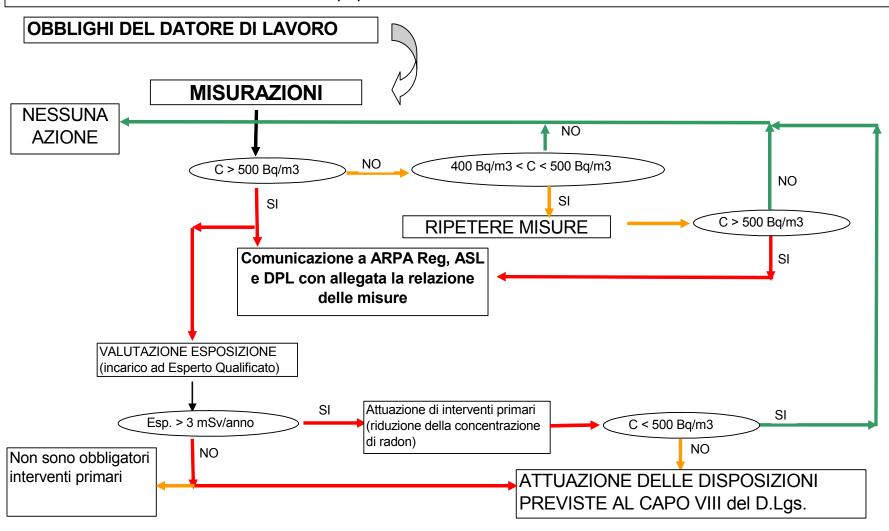
Per le situazioni pregresse, gli esercenti avevano 24 mesi a partire dal marzo 2002 per effettuare le valutazioni Per le nuove, i 24 mesi decorrono dall'inizio dell'attività

### Altri luoghi di lavoro

Un'apposita commissione avrebbe dovuto, entro sei mesi dal febbraio 2001, identificare questi luoghi, oltre che indicare le linee guida sulle metodologie e le tecniche di misura più appropriate

#### RADON (CAPO III D.Lgs. 230/95)

Attività lavorative in luoghi sotterranei che comportano un significativo aumento dell'esposizione dei lavoratori e/o della popolazione alla radioattività naturale



Il livello di azione
per i luoghi di lavoro sotterranei
(compresi particolari luoghi quali tunnel, sottovie,
grotte, ecc.)
è fissato in termini di:

concentrazione di attività di radon media in un anno



 $500 \; Bq/m^3$ 

se i risultati delle misurazioni

 $(80\% \text{ del LdA}) 400 < Bq m^{-3} < 500 (LdA)$ 



esegue nuove misurazioni nell'anno successivo

se invece

i risultati delle misurazioni

 $> 500 \text{ Bq m}^{-3} \text{ (LdA)}$ 



invia (entro un mese) ad ARPA, ASL, e D.P.L. la "relazione tecnica contenente i risultati delle misure"

e inoltre

#### DISPOSIZIONI DI LEGGE

Esercente

### provvede

avvalendosi dell'esperto qualificato

alla <u>valutazione della dose</u> cui è esposto <u>ogni</u>
lavoratore
sulla base



dei Bq/m³ di radon nel *luogo occupato* dal lavoratore



delle ore di esposizione del lavoratore in un anno

### VALUTAZIONE DELLA DOSE

conc. radon ore di fattore di ambiente X esposizione X conversione (Bq m<sup>-3</sup>) (h) (Sv/Bq h m<sup>-3</sup>)

Fattore di conversione

3 · 10<sup>-9</sup> Sv per unità di esposizione (Bq h m<sup>-3</sup>)

#### DISPOSIZIONI DI LEGGE

Esercente/Esperto Qualificato

## Azioni conseguenti

- dose < 3 mSv → non richieste azioni di rimedio (tranne che nel caso di asili o scuole)
- dose > 3 mSv → messa in atto di azioni di rimedio per ridurre la concentrazione (tenendo conto del principio di ottimizzazione)
  - nuove misurazioni per verificarne l'efficacia (entro 3 anni)

(ovviamente prima di questi interventi sarà stata presa in esame la possibilità di intervenire sui tempi di esposizione dei lavoratori, modificando l'organizzazione del lavoro o la destinazione d'uso degli ambienti con maggiore presenza di radon)

#### DISPOSIZIONI DI LEGGE

Esercente/Esperto Qualificato

C(Rn) < 500 Bq m<sup>-3</sup> → azioni di rimedio concluse

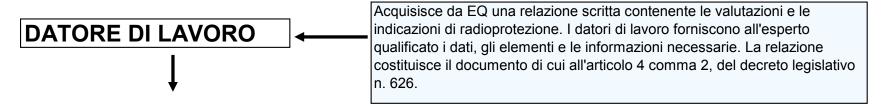
C(Rn) > 500 Bq m<sup>-3</sup> → azioni di rimedio concluse dose < 3 mSv

C(Rn) > 500 Bq m<sup>-3</sup> → prosecuzione azioni di rimedio

# sorveglianza fisica



# RADON CONCENTRAZIONE DI RADON > 500 Bq/m3



Obblighi (art. 61)

- individua, delimita, contrassegna, classifica in zone i luoghi di lavoro e ne regolamenta l'accesso,
- classifica i lavoratori,
- predispone norme interne di sicurezza,
- informa i lavoratori sui rischi,
- vigila sull'osservanza delle norme,
- dispone la segnaletica sul tipo di rischio,
- fornisce ai lavoratori i risultati delle valutazioni,
- dispone la <u>sorveglianza fisica e sanitaria</u>.

(vale anche per i TERZI)

Sorveglianza fisica (art. 75).

Deve essere effettuata ove le attività svolte comportino la classificazione degli ambienti di lavoro in <u>una o piu' zone controllate o sorvegliate</u>, ovvero comportino la classificazione degli addetti come lavoratori esposti.

(Dose efficace > 1 mSv/anno)

Es.

1000 ore di permanenza in un ambiente in cui c'è una conc di Rn pari a 400 Bq/m3 comporta una dose efficace di 1.2 mSv/anno

# TECNICHE DI MISURAZIONE E SISTEMI DI MONITORAGGIO

#### 1. SISTEMI PASSIVI

- ASSORBIMENTO CON CARBONI ATTIVI (METODO DEI CANISTERS) ED ANALISI IN SPETTROMETRIA GAMMA
- RIVELATORI A TRACCE ALFA (CR 39 E KODAK LR115)
- PIATTELLI ELETTROSTATICI (ELETTRETI)
- CELLE A SCINTILLAZIONE O CELLE DI LUCAS

#### 2. SISTEMI ATTIVI

- ALPHAGUARD
- RAD 7
- SUN NUCLEAR

#### **METODO DI CANISTERS**

- La metodica originale è stata sviluppata e adottata dall'US EPA (Environmental Protection Agency degli USA) con rivelatori passivi (canisters) esposti per un periodo di due giorni.
- I rivelatori utilizzati per i campionamenti e le misure in oggetto pur rispondendo allo stesso principio sono stati modificati a seguito di studi condotti presso l'Università di Roma "La Sapienza"—DINCE (Dipartimento di Ingegneria Nucleare e Conversione Energia) e permettono una esposizione più prolungata: circa una settimana.





### ANALISI IN SPETTROMETRIA GAMMA



• La misura è effettuata con metodiche i spettrometria gamma con rivelatori a scintillazione (NaI)

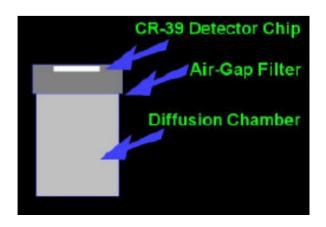
### RIVELATORI A TRACCE ALFA



Kodak LR 115



Sistema di rilevazione radosys



**CR 39** 



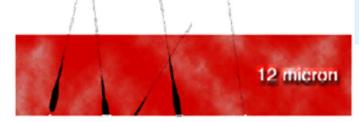
Sistema di fissaggio

# Sviluppo del LR-115 e CR 39

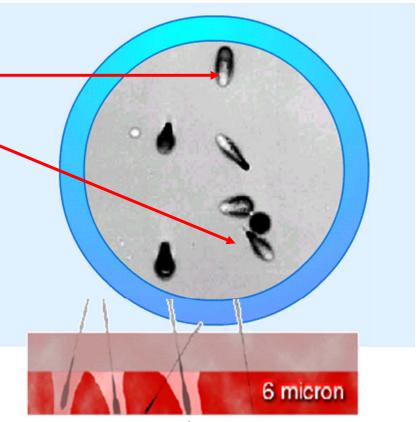
Dopo l'esposizione il film viene sviluppato, cioè trattato con un processo chimico o elettrochimico, in modo da rendere maggiormente evidenti le tracce.

La forma delle tracce varia a seconda dell'angolo di incidenza delle particelle α

La profondità delle tracce dipende dall'energia con cui impattano le particelle α



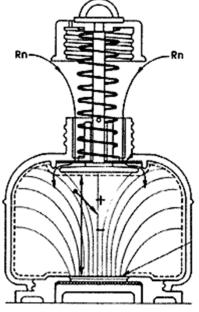
**Durante l'esposizione** 



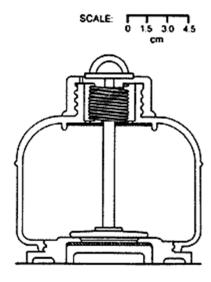
Dopo l'attacco chimico

### PIATELLI ELETTROSTATICI

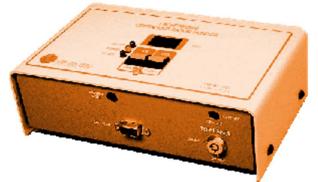




elettreti



# SISTEMI ATTIVI A MONITORAGGIO CONTINUO



Sun Nuclear



Alpha Guard



RAD7

Si avvalgono di celle a scintillazione e di camere di ionizzazione

# FINE!



Domande??

Dubbi???

Incertezze????

Ugo Tentolini

ugo.tentolini@chimici.it