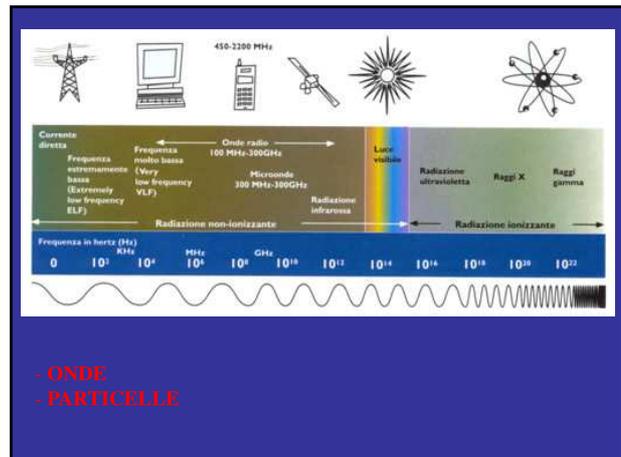


## RADIAZIONI IONIZZANTI ED ECCITANTI



RADIAZIONI NON IONIZZANTI (radiazioni UV)

RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE IONIZZANTI (raggi X e Gamma)

RADIAZIONI IONIZZANTI CORPUSCOLATE (radiazioni alfa e beta)

## RADIAZIONI IONIZZANTI

- Con il termine *Radiazioni ionizzanti* si indicano le forme di trasferimento di energia attraverso lo spazio, sotto forma di *particelle sub atomiche*, oppure di *onde elettromagnetiche*, capaci di ionizzare la materia, ovvero di separare gli elettroni dai nuclei degli atomi.
- PARTICELLE SUB ATOMICHE CORPUSCOLATE**: sono radiazioni corpuscolari dotate di massa e, secondo i casi, di carica elettrica. Considerando solo quelle prodotte nei *decadimenti radioattivi*, sono costituite da :
    - particelle  $\beta$  (elettroni),
    - particelle  $\alpha$  (nuclei di elio)
  - ONDE ELETTROMAGNETICHE**: sono oscillazioni concatenate del campo elettrico e magnetico che si trasmettono nello spazio. Ogni onda localizzata nello spazio è detta *fotone*. Il *fotone* è caratterizzato dalla frequenza e trasporta energia e quantità di moto, come le particelle, ma non è dotato di massa. I raggi X e i raggi gamma sono fotoni.

Le radiazioni ionizzanti sono quelle con frequenza maggiore di  $3 \times 10^{15}$  Hertz. Possiedono energia  $> 10\text{eV}$  e provocano ionizzazione, ovvero cedono all'elettrone dell'orbita esterna energia sufficiente perché possa allontanarsi definitivamente dall'atomo.

Le radiazioni ionizzanti possono essere prodotte con vari meccanismi. I più comuni sono: decadimento radioattivo, fissione nucleare, fusione nucleare, emissione da corpi estremamente caldi (radiazione di corpo nero) o da cariche accelerate (radiazione di sincrotrone).

Per poter ionizzare la materia la radiazione deve possedere un'energia tale da poter interagire con gli elettroni degli atomi cui viene a contatto.

## RADIAZIONI IONIZZANTI

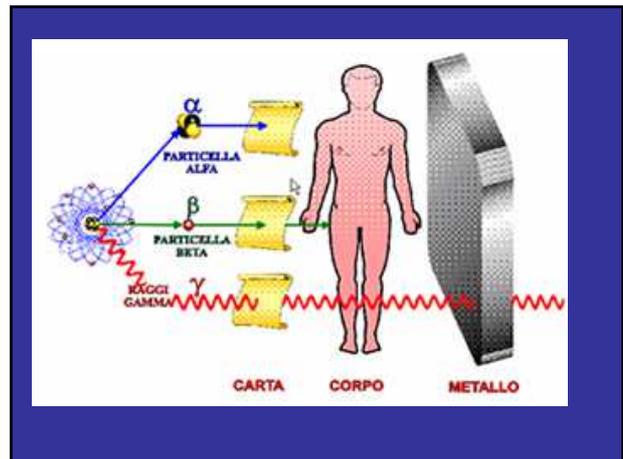


Nel 1895 Wilhelm Conrad Roentgen scoprì i raggi X e li dedicò al bene della umanità (non brevettò mai la sua macchina per i raggi X)

Solo sette anni più tardi veniva reso noto il primo caso di cancro in un radiologo. A questo ne seguirono molti altri: tra il 1929 e il 1943 morirono di leucemia dieci volte più radiologi che altri medici.

Nel 1904 Pierre e Marie Curie ricevettero il premio Nobel per la scoperta del Radio. Madame Curie e la figlia Irene morirono entrambe di leucemia. Le radiazioni ionizzanti sono cancerogene complete e possono indurre tumori a ogni età (compresa quella fetale) praticamente in tutti i tessuti di qualsiasi specie. Una singola esposizione alle radiazioni ionizzanti è sufficiente a produrre il tumore.





### EFFETTI BIOLOGICI (radicali liberi, DNA)

**FIBROSI**

**CARCINOGENESI (cutanea, leucemie, carcinomi ai polmoni)**

April 26, 1986  
**CHERNOBYL**

### EFFETTI BIOLOGICI

**AL TORACE/ADDOME → SINDROME ACUTA**

**CRESCITA E SVILUPPO**

**EFFETTI TARDIVI**

### SINDROME ACUTA DA RADIAZIONI

Categoria	Dose panirradiante	simptomi	prognosi
<b>Subclinica</b>	< 200 rem	Nausea e vomito lieve	100% sopravvivenza
<b>Emopoietica</b>	200-600	Nausea, vomito, emorragia	Infezioni. Eventuale trapianto di midollo
<b>Gastrointestinali</b>	600-1000	Nausea, vomito, emorragia	Shock e morte
<b>SNC</b>	>1000	Nausea, vomito, confusione, sonnolenza	Morte entro 14-36 ore

### RADIAZIONI IONIZZANTI

La storia della cancerogenesi da radiazioni ionizzanti ha cominciato ad essere scritta nel XV secolo a Erzgebirge, una zona tra l'attuale frontiera della Repubblica Ceca e la Germania. I minatori cechi e tedeschi che lavoravano su entrambi i versanti dell'Erz venivano uccisi da una misteriosa "malattia della montagna" (*Bergsucht*).

A quei tempi le miniere producevano argento, poi nichel ed altri minerali. Attualmente viene estratto uranio.

La misteriosa "malattia della montagna" venne diagnosticata come un tumore solo nel 1929, quando vennero eseguite le prime autopsie.

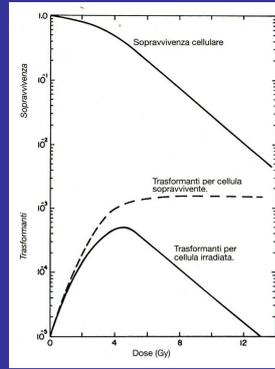
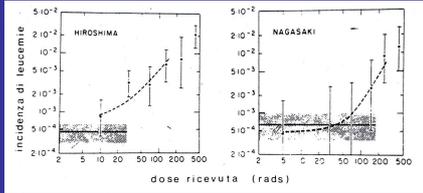
Il colpevole era il gas Radon, prodotto dal decadimento del Radio

### RADIAZIONI IONIZZANTI

Le esplosioni su Hiroshima e Nagasaki hanno dimostrato che una singola esposizione è sufficiente a provocare tumori.

Sono comparse leucemie a distanza di 6 anni dalla esplosione.

L'incidenza di tumori solidi è aumentata dopo 20 anni dalla esplosione.



Rapporti dose effetto nella trasformazione neoplastica indotta in culture cellulari dall'esposizione a radiazioni ionizzanti (raggi X)

Il DNA può subire danni di diversa natura:

Perdita di basi  
Formazione di legami anomali tra basi adiacenti (dimeri)  
Danni grossolani, come la rottura di uno o entrambi i filamenti.

### RADIAZIONI IONIZZANTI DANNI CROMOSOMICI

Traslocazioni cromosomiche in tumori tiroidei in bambini (5-14 anni) residenti in zone prossime a Chernobyl

Traslocazione cromosomica	Prevalenza (% dei casi)	Esito della traslocazione
T(10;17) (q11;23)	58	Riarrangiamento RET/PTC3
Inv(10) (q11q21)	16	Riarrangiamento RET/PTC1
Inv(10) (q11 q18-22)	3	Riarrangiamento RET/PTC2
Altri tipi	10	Riarrangiamento RET/PTC4 e altri

### Stima del rischio di sviluppo di tumori per esposizioni a radiazioni ionizzanti

Il rischio è definito come l'incremento dell'incidenza di tumori o della mortalità per tumori nella popolazione irradiata rispetto all'atteso nella popolazione di controllo

Le stime disponibili per esposizioni acute all'intero corpo:

0.8% per persona per 0.1Gy (range 0.5-1%) 1.6% per i bambini (Tali valori sono da dividere di un fattore 2 per esposizioni diluite)

Incremento di rischio di sviluppare neoplasia durante l'intera vita:

4% ogni 0.1 Gy (rad. basso LET)

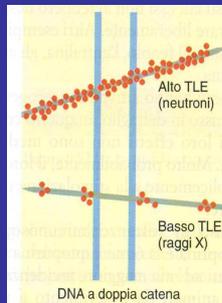
Limite di esposizione 0.0017Gy/anno

La densità di ionizzazione (e quindi la efficacia biologica relativa o EBR) viene indicata in LET (linear energy transfer).

Il LET è espresso in termini di energia ceduta ( $\Delta E$ ) per unità di lunghezza di tessuto attraversato ( $\Delta x$ ) e si misura in KeV/ $\mu m$

$$LET = \Delta E / \Delta x$$

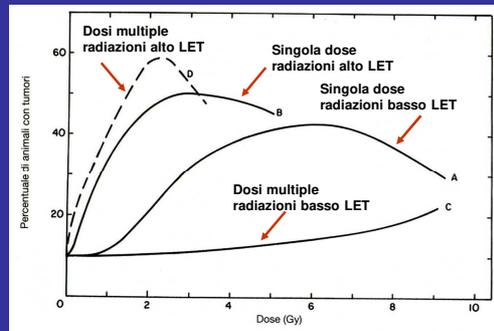
Quando le dimensioni del bersaglio sono piccole, come il caso di una molecola di DNA (2nm) o di un cromosoma (0.84  $\mu m$ ), assume notevole importanza la natura altamente localizzata delle interazioni lungo il percorso della radiazione.



In genere i raggi X e  $\gamma$  sono radiazioni a basso LET: penetrano in profondità ma producono pochi ioni lungo l'intero percorso.

Le radiazioni corpuscolate, come gli elettroni, le particelle alfa, i protoni e i neutroni, sono radiazioni ad alto LET: producono un numero elevatissimo di ioni in un percorso estremamente breve.

### Induzione "in vivo" di neoplasie con diversi tipi e modalità di applicazione di radiazioni ionizzanti





26 aprile 1986

Nella centrale nucleare di Chernobyl l'esplosione di uno dei quattro reattori provocò la più grave catastrofe della storia dell'uso civile dell'energia nucleare. Le persone uccise direttamente dall'esplosione furono 31. Centinaia di migliaia furono costretti a lasciare la zona, abbandonando le proprie abitazioni. Al disastro è legata la morte di migliaia di persone.

Anche in questo caso l'incidenza di tumore nei sopravvissuti è enormemente elevata.

### EFFETTI BIOLOGICI

la radiazione **alfa** presenta un basso potere di penetrazione, quindi viene facilmente fermata dallo strato superficiale della pelle costituita da cellule morte, quindi non è pericolosa per l'uomo nei casi di irradiazione esterna.

Diventa invece pericolosa nelle situazioni in cui la sorgente radioattiva viene inalata o ingerita (irradiazione interna) perché in questo caso può ledere direttamente tessuti radiosensibili (**radon** l'isotopo radioattivo viene inspirato e quindi può decadere all'interno del corpo umano emettendo radiazione alfa).

La radiazione gamma (fotoni) invece, avendo un potere di penetrazione molto elevato, può risultare pericolosa per gli esseri viventi anche in situazioni di irradiazione esterna.

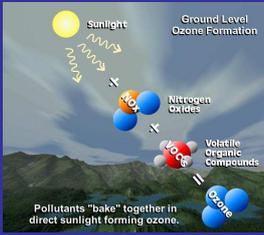
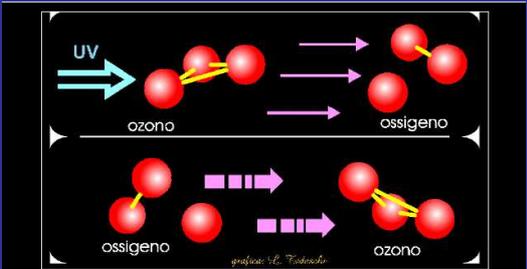
### RAGGI ULTRAVIOLETTI

lunghezza d'onda inferiore alla luce visibile, ma maggiore dei raggi X.

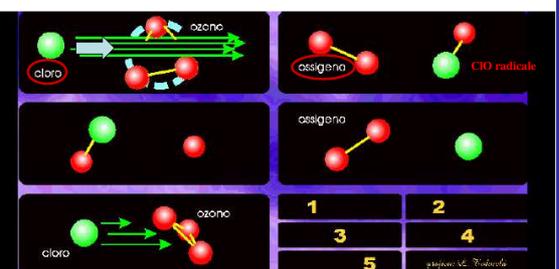
Il nome significa "oltre il violetto" (dal latino *ultra*, "oltre"), perché il **violetto** è il colore visibile con la lunghezza d'onda più corta.

**UVA**

**UVB** / **UVC** Sono assorbiti dall'ozono

I raggi ultravioletti provenienti dal Sole colpiscono una molecola di ossigeno biatomico (O<sub>2</sub>) scindendola in due atomi (O + O); questi a loro volta si combinano facilmente con altre molecole di O<sub>2</sub> formando molecole di ozono (O<sub>3</sub>). Anche la molecola di ozono poi, per effetto dei raggi ultravioletti, si divide in O<sub>2</sub> e O.



Questa situazione di equilibrio dinamico fra formazione e distruzione dell'ozono viene modificata dal **cloro** un gas presente in sostanze dette **clorofluorocarburi** (freon). Quando un atomo di cloro collide con una molecola di ozono si appropria del terzo atomo di ossigeno per cui si vengono a formare una molecola di O<sub>2</sub> e un radicale di monossido di cloro (ClO). Tale radicale è notevolmente attivo per cui si combina facilmente con atomi di ossigeno liberando ancora il cloro che resta disponibile per ricominciare il ciclo di distruzione dell'ozono.

### EFFETTI delle radiazioni ultraviolette

Eritemi  
Pigmentazione

↓

Inflamazione

Liberazione di Istamina

### RADIAZIONI UV

E' responsabile della maggior parte dei tumori da radiazione (500.000/anno solo negli USA)  
 Si tratta quasi sempre di tumori cutanei:

- **Basaliomi**
- **Carcinomi a cellule squamose**
- **Melanomi**

Basaliomi e carcinomi spinocellulari compaiono prevalentemente nelle aree esposte (capo/collo spalle, arti torace) e sono più frequenti nei soggetti esposti professionalmente alla luce solare e in relazione al fototipo

Variazioni incidenza dei melanomi

ANNO	Rischio
1935	1:1500
1950	1:600
1980	1:250
1985	1:150
1987	1:135
2000	1:90

Tasso / 100.000

Le radiazioni U.V. sono cancerogeni completi (inizianti e promuoventi), ma l'effetto completo richiede numerose esposizioni ripetute.

Radiazioni eccitanti

Strato corneo  
 Cheratinocita  
 Melanocita  
 Cellula basale  
 Ansa capillare  
 Collagene

Modalità di azione:

- Effetto eccitante sugli atomi che, anche se di breve durata, può condurre alla formazione di dimeri di timina e di legami covalenti che possono sfociare in mutazioni.
- Effetto deprimente sul sistema immunitario: riducono la vitalità e la funzionalità dei linfociti

### Xeroderma pigmentosa

Difetti di enzimi che partecipano all'attività di riparazione del DNA del sistema NER

Gene mutato e sua localizzazione	Prodotto fisiologicamente codificato	Principali manifestazioni cliniche
XPA (9q34,1)	Endonucleasi di riconoscimento	Forma grave con alterazioni neurologiche e comparsa precoce dei tumori cutanei
XP-B ERCC3 (2q21)	Elicasi	Associata a sindrome di Cockayne e tricoticidistrofia
XP-C XPC (9p25)	Endonucleasi di incisione	Sintomatologia di media gravità senza compromissione neurologica
XP-D ERCC2 (19q13,2)	Elicasi	Forma grave con manifestazioni cutanee e neurologiche
XP-E ? ?	-	Media gravità
XP-F ? ?	-	Media gravità
XP-G ERCC5 (13q32,33)	Endonucleasi di incisione	Spesso associata a sindrome di Cockayne

## PATOLOGIA AMBIENTALE

Lezione 12: RADON

**Prof. Ciro Isidoro**  
 Università "Amedeo Avogadro"

### COSA E' IL RADON

- In termini di classificazione chimica, il radon è uno dei gas rari, come neon, kripton e xeno. Il radon si forma in seguito alla disintegrazione dell'uranio; a sua volta il radon si disintegra dando luogo ad altri elementi radioattivi e infine al piombo, non radioattivo. Il radon non reagisce con altri elementi chimici. Esso è il più pesante dei gas conosciuti (densità 9.72 g/l a 0°C, 8 volte più denso dell'aria).

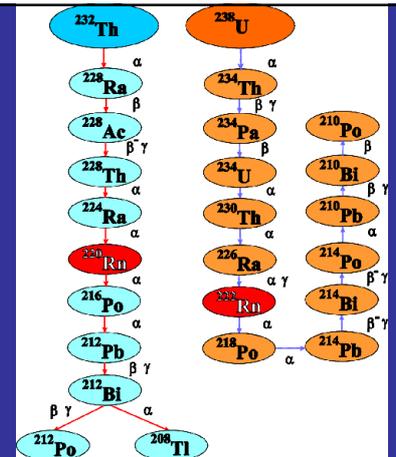
**INVISIBLE** **NATURALLY OCCURRING**  
**TASTELESS** **GAS**  
**ODORLESS**

**RADON**

## DA DOVE ORIGINA IL RADON

- Il Radon e' un gas radioattivo, incolore, estremamente volatile, 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. Nella tabella seguente e' riportata la sequenza del decadimento del nuclide piu' abbondante in natura e cioe' l'Uranio 238 responsabile della produzione dell'isotopo Radon 222. Il thorio 232 e l'uranio 235 producono invece rispettivamente il Rn 220 e Rn 219.

## ISOTOPI RADIOATTIVI PRESENTI NELLA CROSTA TERRESTRE



### Schema di Produzione del Radon 222 - Famiglia dell'Uranio

Isotopo	Radiazione	Emivita
Uranio 238	alfa	$4.5 \times 10^9$ anni
Torio 234	Beta	24.1 giorni
Protoattinio 234	Beta	1.2 minuti
Uranio 234	alfa	$2.5 \times 10^5$ anni
Torio 230	alfa	$7.5 \times 10^4$ anni
Radio 226	alfa	1600 anni
Radon 222	alfa	3.8 giorni
Polonio 218	alfa	3 minuti
Piombo 214	beta	27 minuti
Bismuto 214	alfa e beta	20 minuti
Polonio 214	alfa	$1.5 \times 10^{-4}$ secondi
Piombo 210	beta	25 anni
Bismuto 210	beta	5 giorni
Polonio 210	alfa	136 giorni
Piombo 206		Stabile

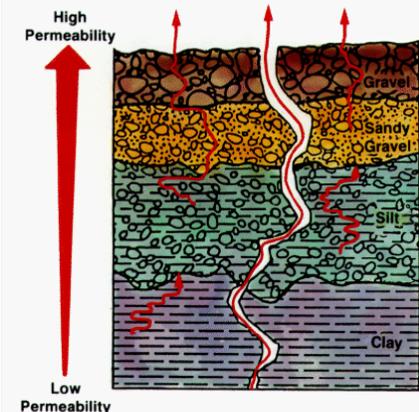
## DECADIMENTO DEL RADON

- Il radon-222 ha un tempo di dimezzamento di 3,82 giorni.
- La sua presenza nell'ambiente è sovente connessa a quella di tracce del suo parente prossimo: il radio-226

## FORMAZIONE E DIFFUSIONE DEL RADON

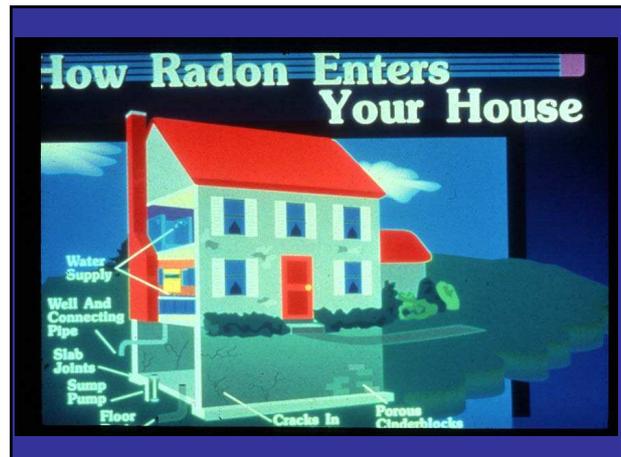
- Il Radon viene generato continuamente da alcune rocce della crosta terrestre ed in particolar modo da Lave, tufi, pozzolane, alcuni graniti etc.
- Il radon diffonde nell'aria dal suolo e, a volte, dall'acqua (nella quale può disciogliersi).
- Come gas disciolto viene veicolato anche a grandi distanze dal luogo di formazione e può essere presente nelle falde acquifere.

### DIFFUSIONE DEL RADON

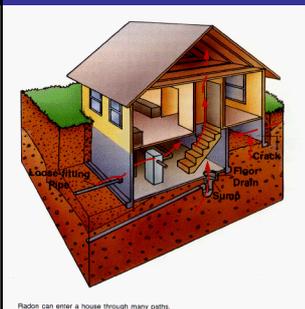


## IL RADON NELLE CASE

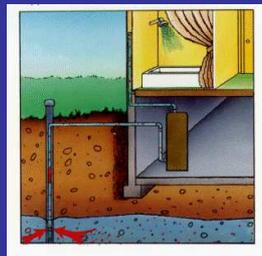
- La via che generalmente percorre per giungere all'interno delle abitazioni e' quella che passa attraverso fessure e piccoli fori delle cantine e nei piani seminterrati. L'interazione tra edificio e sito, l'uso di particolari materiali da costruzione, le tipologie edilizie sono pertanto gli elementi piu' rilevanti ai fini della valutazione dell'influenza del Radon sulla qualita' dell'aria interna delle abitazioni ed edifici in genere.



## IL RADON NELLE CASE



Radon can enter a house through many paths.



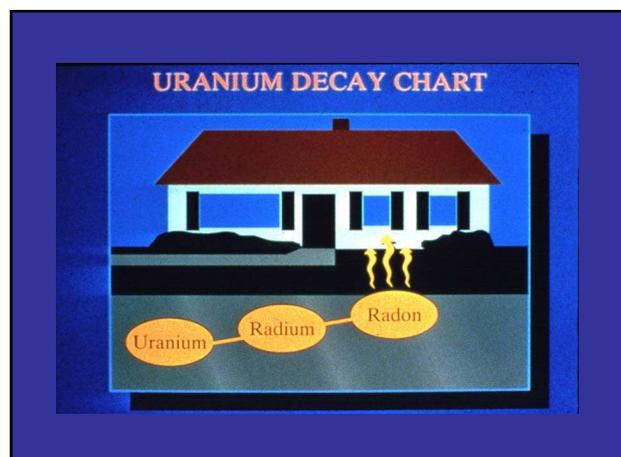
## NOTIZIE STORICHE SUL RADON

- Paracelso (XVI secolo) 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.
- Nonostante il premio Nobel per la fisica Ernest Rutherford avesse fatto notare sin dal 1907 che ognuno inala del radon ogni giorno, misure di radon non furono effettuate nelle case prima del 1956 (in Svezia).

## LE VIE DELL'ESPOSIZIONE AL RADON

Poiché la concentrazione del radon all'aria aperta è bassa e in media le persone in Europa trascorrono la maggior parte del loro tempo in casa, il rischio per la salute pubblica dovuto al radon è essenzialmente correlato all'esposizione a questo gas all'interno delle abitazioni.

- Parecchi suoli contengono naturalmente quantità variabili di uranio, che regola la quantità di radon rilasciata. Il radon diffonde attraverso i pori e le spaccature del suolo, trasportato dall'aria o dall'acqua (nella quale è solubile). Dato un certo contenuto di radon nel suolo, la quantità di gas rilasciata varia in dipendenza della permeabilità del suolo (densità, porosità, granulometria), del suo stato (secco, impregnato d'acqua, gelato o coperto di neve) e dalle condizioni meteorologiche (temperature del suolo e dell'aria, pressione barometrica, velocità e direzione del vento). Inoltre, la concentrazione di radon decresce rapidamente con l'altitudine.



## Radon nell'acqua

- In un terreno saturo d'acqua con una porosità del 20 % e una concentrazione di Radio di 40 Bq/kg (valore medio mondiale nella crosta terrestre) si stima, in condizioni di equilibrio, una concentrazione di radon nell'acqua freatica dell'ordine di 50 Bq/l.

## RADON NEGLI AMBIENTI CONFINATI

- 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 (aprire le finestre a intervalli lunghi o brevi, per esempio)
- Il ruolo ricoperto dalle condizioni meteorologiche (vento, pressione barometrica, umidità) spiega non solo le variazioni stagionali della concentrazione di radon in una data casa, ma anche le differenze osservate tra i livelli diurni e notturni.

## Misure di ESPOSIZIONE AL RADON

- In ambito Nazionale l'ENEA ha svolto una serie di ricerche in alcune zone di Roma e dell'Alto Lazio che evidenziano una presenza di Radon molto variabile tra i 100 e 400 Bq/m<sup>3</sup> (Bequerel al metro cubo) con punte di 1000 ed oltre Bq/m<sup>3</sup> contro una media nazionale di circa 80 Bq/m<sup>3</sup>. Considerato che una dose di 50 Bq/m<sup>3</sup> corrisponde ad una dose di radiazioni circa tre volte maggiore a quella che mediamente si riceve nel corso della propria vita per lo svolgimento di indagini mediche, si può ben comprendere come tale prodotto di decadimento costituisca un vero pericolo per l'uomo.

## Il radon in ITALIA

- In Italia è stata effettuata una indagine dal Servizio Sanitario Nazionale sulla esposizione al radon nelle abitazioni. Il valore della concentrazione media è risultato:
  - 75 Bq/m<sup>3</sup>**
  - Tale valore è relativamente elevato rispetto alla media mondiale valutata intorno a **40 Bq/m<sup>3</sup>**.

## Radon in Bq/mc nel MONDO

	MEDIA
Stati Uniti	46
Inghilterra	20
Svezia	108
Svizzera	70
Mondo	circa 40

Il radon nelle regioni italiane (in Bq/mc)

100-120

80-100

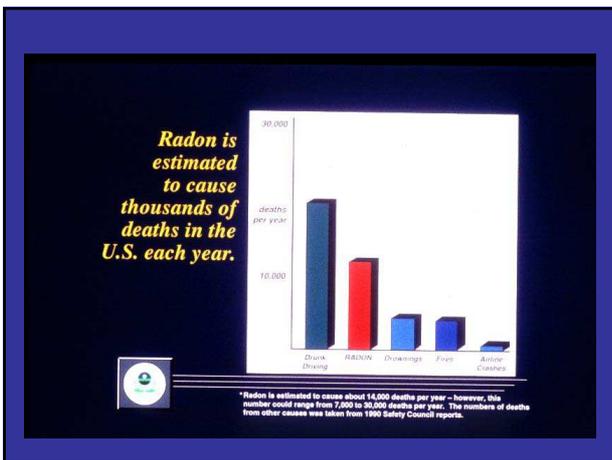
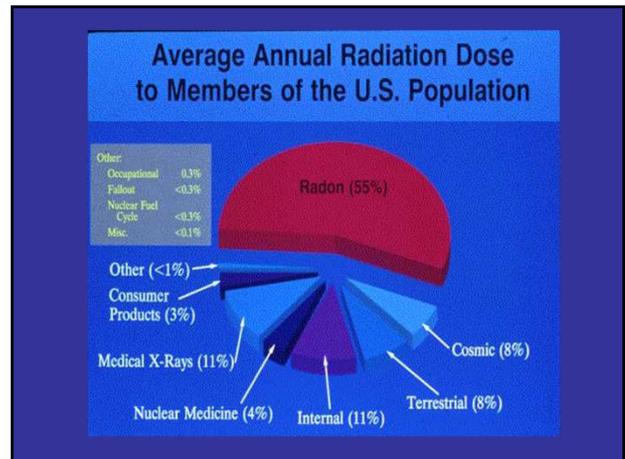
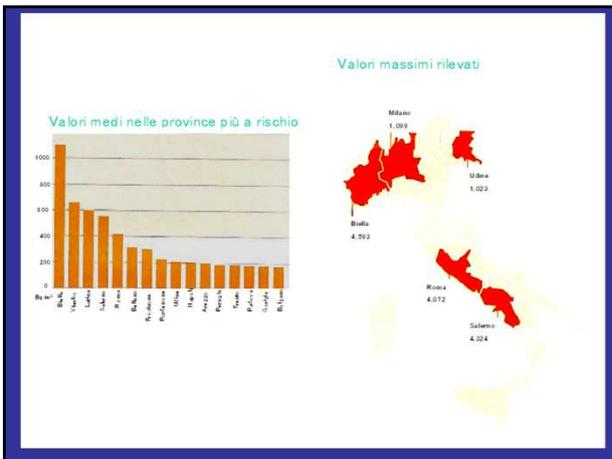
60-80

40-60

20-40

Non disponibili





**EFFETTI SULLA SALUTE**

- Sia gli studi sull'uomo (studi epidemiologici) che quelli sugli animali (studi sperimentali) hanno appurato a una conclusione evidente: il rischio posto dal radon è quello di cancro ai polmoni.
- il radon senza dubbio aumenta il rischio di tumore ai polmoni nei minatori.
- Studi sugli effetti combinati dell'esposizione al radon e al fumo delle sigarette mostrano che l'effetto totale di tali esposizioni è molto maggiore della somma dei due effetti.
- Il radon da solo è la seconda causa di cancro al polmone dopo il tabacco.

**EFFETTI SULLA SALUTE**

- In Francia, dove la concentrazione media di radon è a un livello intermedio rispetto agli altri Paesi europei, si stima che il 10% dei decessi per cancro ai polmoni sia dovuto al radon: tra 1000 e 6000 decessi ogni anno potrebbero essere attribuiti all'esposizione al radon in Francia.
- Le autorità britanniche, dal canto loro, stimano che ogni anno circa 2000 decessi per cancro ai polmoni sono dovuti al radon nel Regno Unito, dove la concentrazione media di radon è inferiore ma il tumore ai polmoni è più frequente.

**ALCUNI DATI EPIDEMIOLOGICI SUGLI EFFETTI SANITARI DELL'ESPOSIZIONE AL RADON**

	Popolazione	Casi/anno totali di tumori polmonari	Concentrazioni medie annuali Bq/m3	Stima di tumori polmonari attribuiti a radon
USA	220.000.000	157000	46	15000
UK	57.700.000	40000	20	2000
SVEZIA	8.700.000	3000	100	900
ITALIA	57.100.000	36000	80	4000

