

The background of the slide is a photograph of a vast, dark cave interior. The walls are rugged and textured. In the center, a group of people is standing on a flat, sandy floor, illuminated by a bright, circular light source, possibly a large lamp or a fire. The light creates a strong contrast with the dark surroundings.

Convegno
RADON INDOOR
La figura del Tecnico del risanamento Radon
17 febbraio 2021

Radon

Aspetti sanitari

Roberto Moccaldi
CNR - UPP

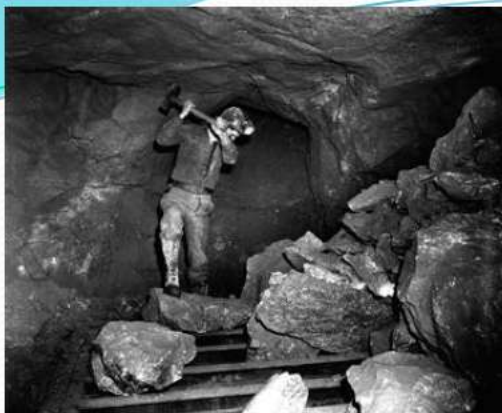
SOMMARIO

- 1.Introduzione
- 2.Meccanismo di azione
- 3.Evoluzione delle conoscenze
- 4.Epidemiologia occupazionale
- 5.Epidemiologia residenziale
- 6.Stime del rischio

Radon (^{222}Rn)



Il gas ^{222}Rn è presente sia all'aperto che in ambienti confinati, raggiungendo le massime concentrazioni negli ambienti sotterranei

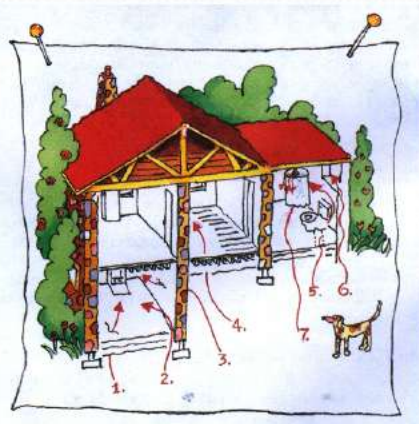


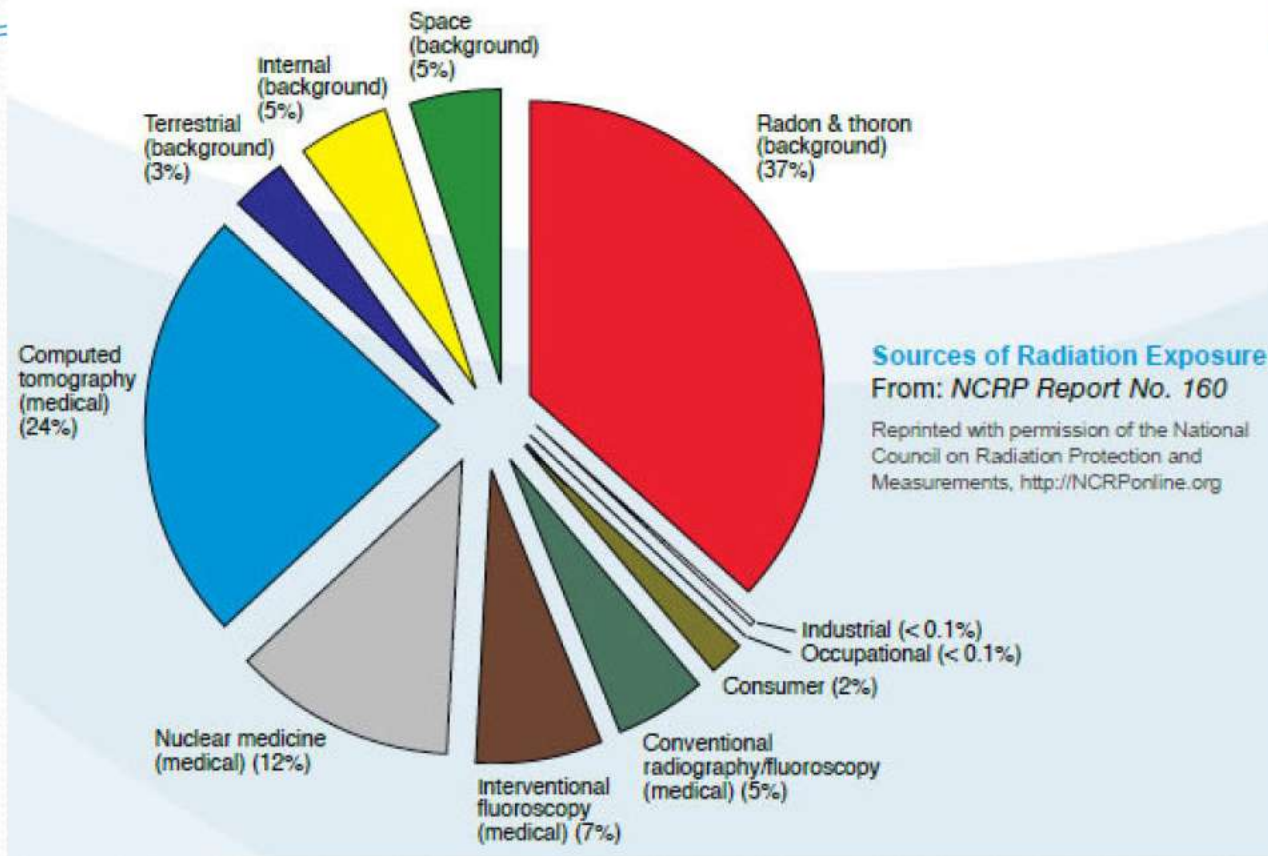
Il Rn può essere una fonte significativa di **esposizione alle radiazioni** per:

- alcune categorie professionali
- la popolazione generale (c.d. *esposizione residenziale*)

L'entità dell'esposizione varia notevolmente per:

- fattori geologici locali,
- fattori legati al tipo di edificio,
- fattori legati al comportamento degli occupanti





- L'esposizione in ambiente domestico a Rn e suoi discendenti è responsabile di **gran parte della dose da fondo naturale di radiazioni**
- Nelle **aree urbane** le **concentrazioni di Rn indoor** sono in genere **inferiori rispetto alle aree rurali** (strato di roccia sottostante gli edifici usualmente di tipo sedimentario e appartamenti non a diretto contatto con il suolo ma situati ai piani superiori degli edifici)

MECCANISMO D'AZIONE



Rn

86 (222)

Density
9.73 g/L

Boiling point
-62°C

Melting point
-71°C

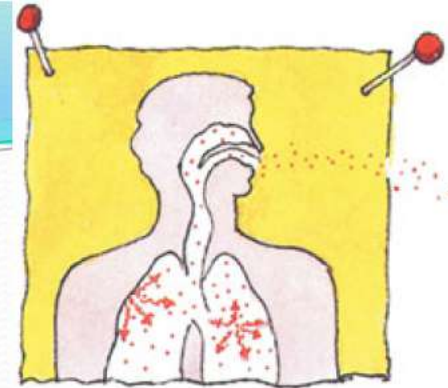
F.E. Dorn, 1900

California Geological Survey
Mineral Resources and Mineral Hazards
Mapping Program

(Xe) 4f¹⁴ 5d¹⁰ 6s² 6p⁶

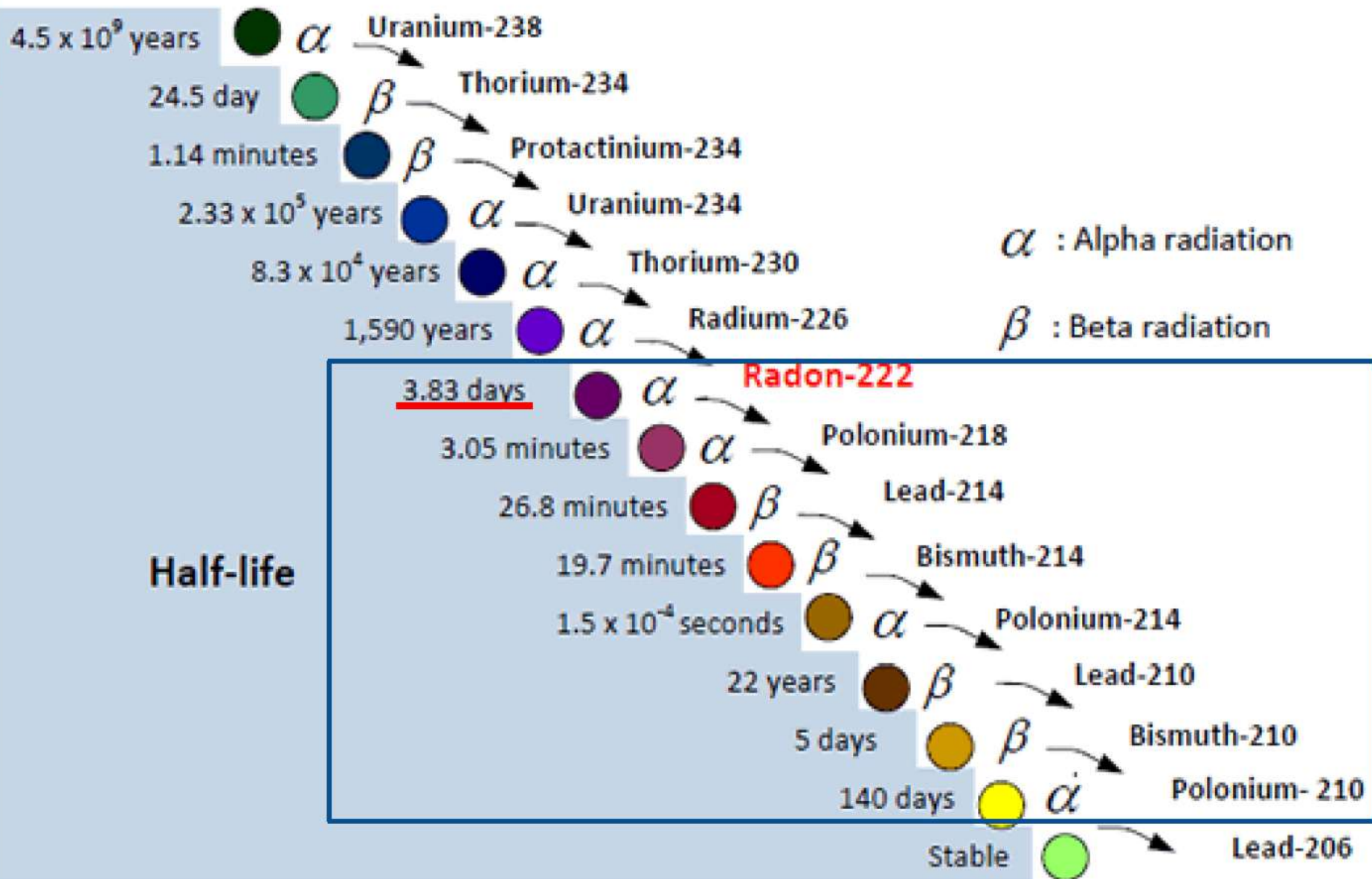
Radon

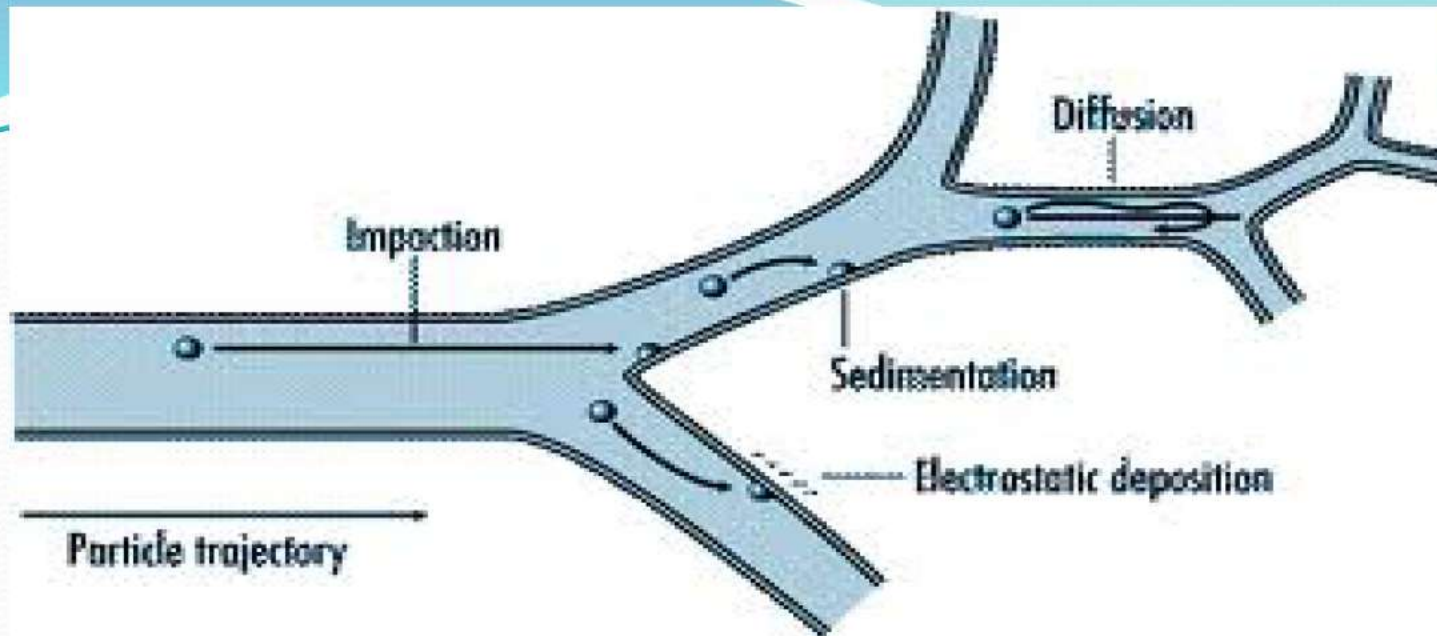
LY



Il ^{222}Rn è un **gas nobile**, chimicamente inerte, per cui praticamente la **totalità del gas inalato viene esalato**

Tuttavia, essendo **radioattivo**, decade e i suoi **discendenti** - anch'essi radioelementi a breve emivita - **non sono più allo stato gassoso, ma solido**

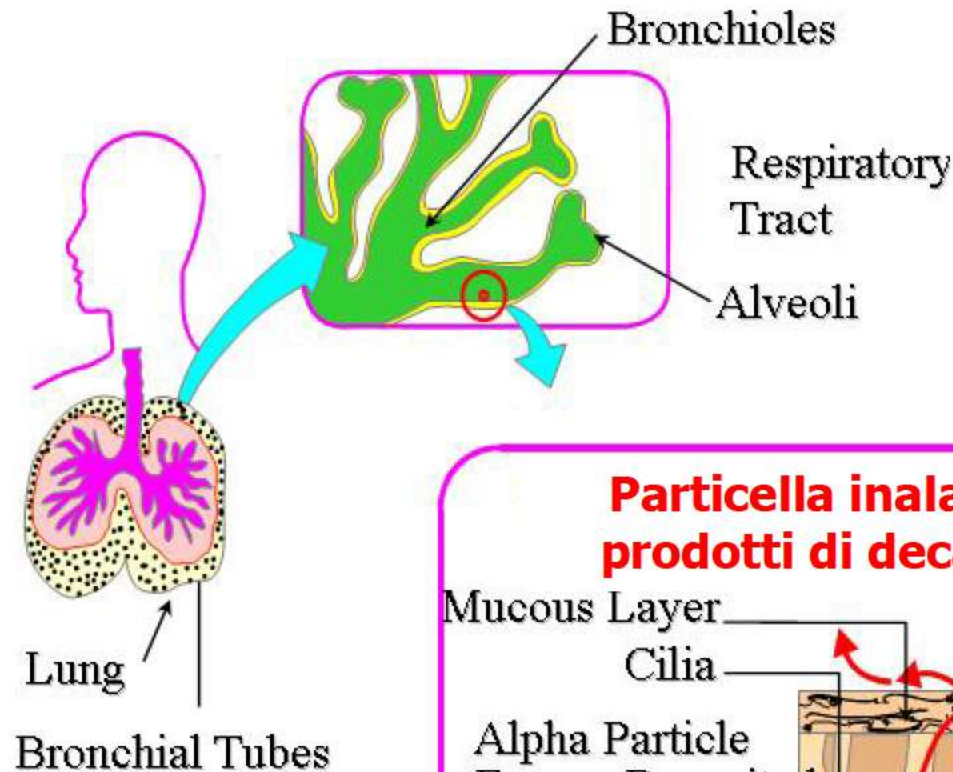




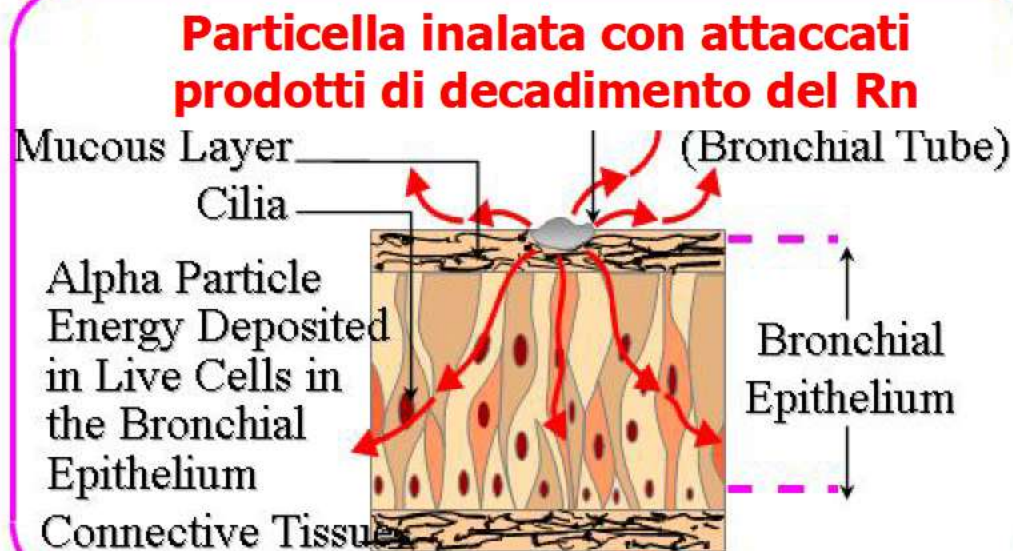
I discendenti allo stato solido del Rn:

1. - **si aggregano** in piccoli clusters molecolari
- **o aderiscono** a particelle (aerosol) presenti nell'aria
2. **si depositano** nel tratto respiratorio (epitelio tracheobronchiale)
3. **decadono** ($t_{1/2}$ brevissimi) prima di essere asportati dai meccanismi di clearance mucociliare

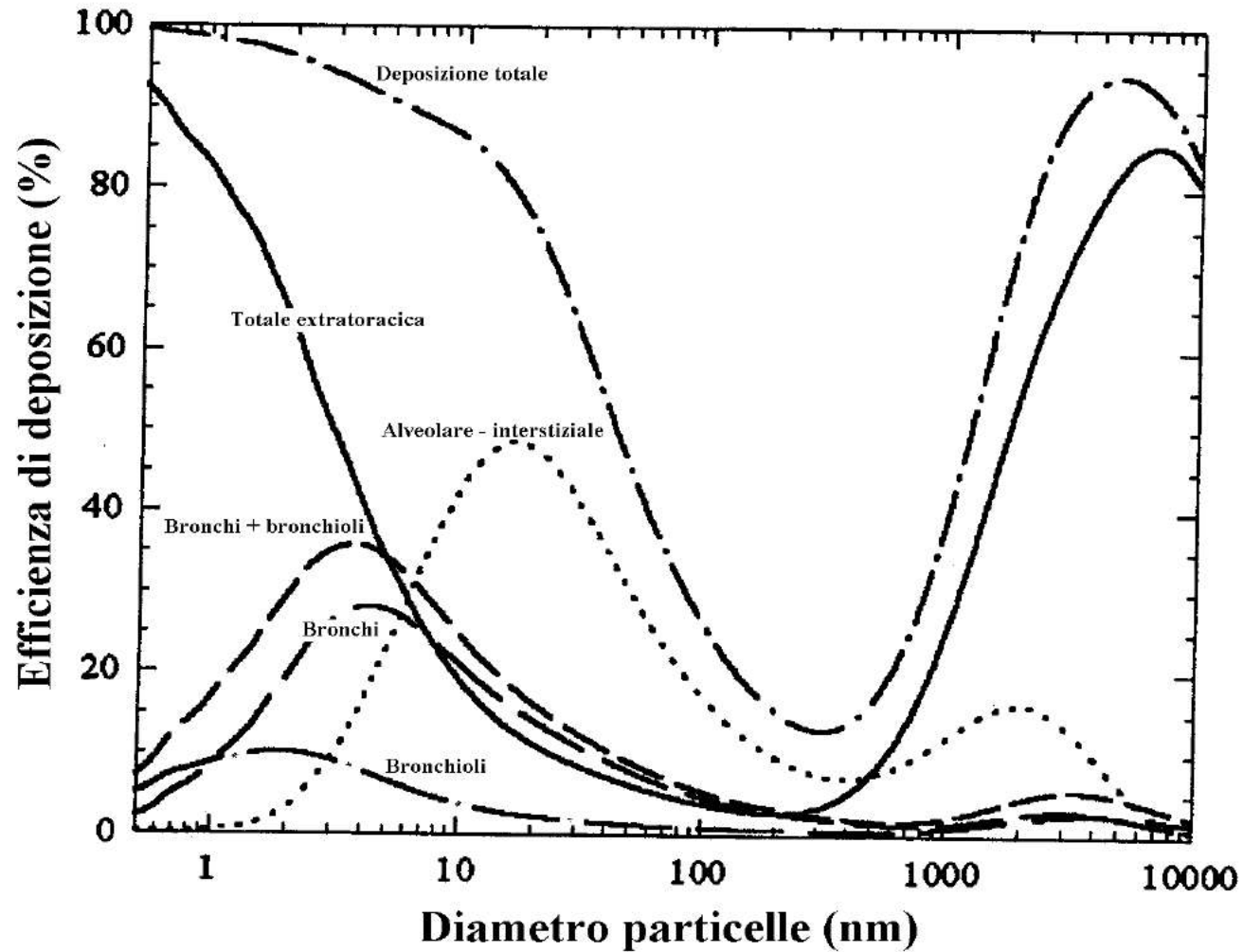
Effetti dannosi dei prodotti di decadimento del Rn sull'epitelio tracheobronchiale



I prodotti di decadimento del Rn (α -emettitori allo stato solido) aderiscono a particelle che si depositano nei polmoni. L'energia delle particelle α è rilasciata direttamente alle cellule epiteliali



Deposizione nelle varie parti dell'albero respiratorio in funzione del diametro (BEIR VI)



EVOLUZIONE DELLE CONOSCENZE





La storia del Rn come responsabile dell'insorgenza di neoplasie polmonari è di lunga data ed è ricca di **testimonianze storiche che documentano**, fin dal **XV-XVI secolo**, l'elevata prevalenza di una malattia mortale dei **polmoni** tra i **minatori** al lavoro nelle miniere delle **Erzgebirge** (*Erz mountains*) al confine tra Germania e Repubblica Ceca.

Nel 1556 il trattato "***De re metallica***" di Georg Agricola



Più di un secolo fa la **malattia dei minatori** fu **identificata** come una **neoplasia polmonare** (Harting e Hesse, 1879) ed in particolare come un **carcinoma polmonare primitivo** (Amstein, 1913)

Dopo i primi rilievi di **elevatissimi livelli di concentrazione di Rn nelle miniere** di questa regione, fu subito avanzata l'ipotesi che il **responsabile fosse il gas stesso**. (Pirchan & Silk, 1932)

Questa ipotesi trovò conferma dai risultati dei primi **studi epidemiologici su minatori** pubblicati dagli anni '50 in poi.

HEALTH RISKS OF

RADON

AND OTHER

INTERNALLY DEPOSITED

ALPHA-EMITTERS

BEIR IV

1988



NATIONAL RESEARCH COUNCIL

Pubblicazioni del
Comitato sui
***“Biological effect of
ionizing radiation”***
del
National Research
Council

HEALTH EFFECTS OF

EXPOSURE TO

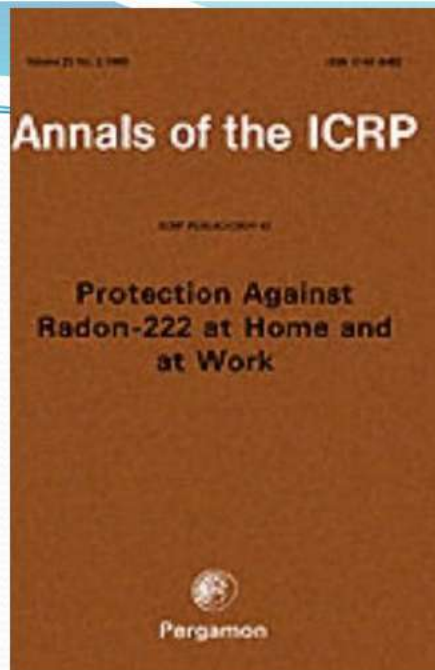
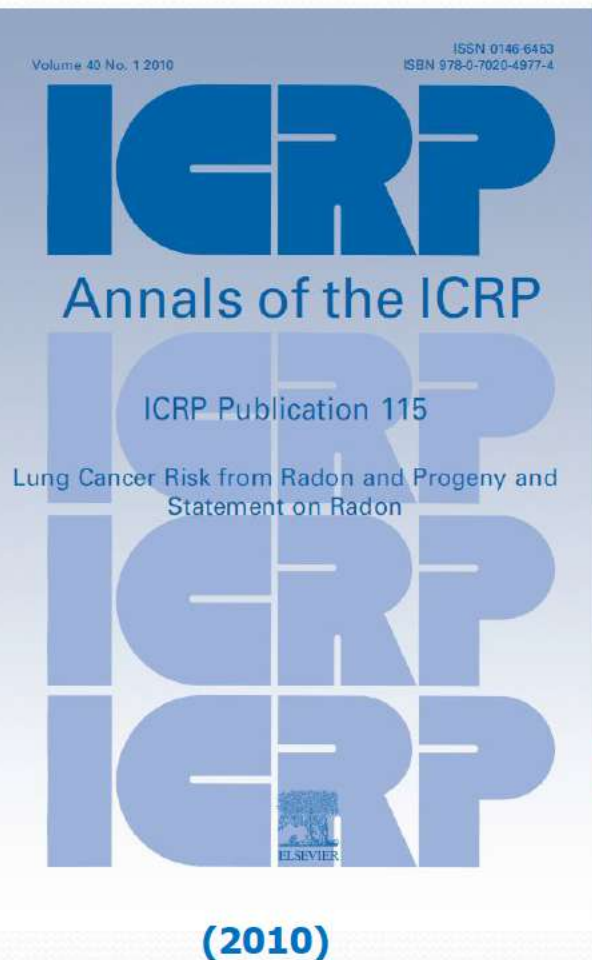
RADON

BEIR VI

1999

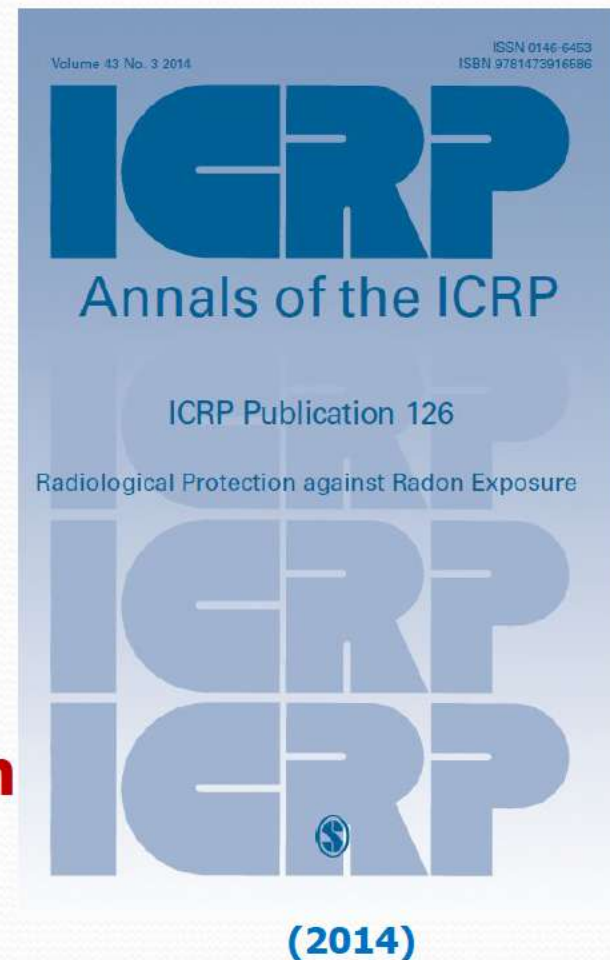


NATIONAL RESEARCH COUNCIL



**Pubblicazione 65
(1993)**

**Pubblicazioni
dell'International
Commission on
Radiation Protection
(ICRP)
sul Radon**



Il Radon è riconosciuto dalla **IARC** come **cancerogeno** per l'uomo (per ca. polmonare) (gruppo 1).



Nel **1988** la valutazione era basata sull'eccesso dei tassi di **tumore polmonare** osservati negli studi sui minatori e su animali da esperimento.

Nella valutazione **2001**:

- conferma dei precedenti studi sui minatori
- evidenza non conclusiva di incremento di tumore polmonare in studi residenziali (caso-controllo) coerenti con le stime sui minatori.



Nella valutazione **2012** (100D)

- **Ulteriore conferma** dei dati sui minatori per il tumore polmone, qualche evidenza (insufficiente) per la leucemia;
- Maggiore evidenza di **incremento del rischio di tumore polmonare da Radon per esposizione domestica**.



EPIDEMIOLOGIA (occupazionale)



Grandezze “dosimetriche”

1 WL è determinato da qualsiasi combinazione di discendenti a breve emivita del Rn in 1 litro di aria che produca l'emissione di **$1,3 \times 10^5$ MeV** di energia di particelle **α**

1 WLM è definito come l'**esposizione occupazionale cumulativa** derivante dal **respirare per un mese (170 h lavorative)** in un'atmosfera alla concentrazione di **1 WL**

$$6,242 \times 10^{12} \text{ MeV} = 1 \text{ J}$$

$$1 \text{ WL} = 2,08 \times 10^{-5} \text{ J/m}^3 \text{ (Unità del SI)}$$

$$1 \text{ WLM} = 3,5 \times 10^{-3} \text{ J h/m}^3 \text{ (Unità del SI)}$$

Table 2.1. Studies of underground miners exposed to radon

Study	Number of miners	Number of lung cancers	Mean cumulated exposure (WLM)	Involved in BEIR VI	Reference
German Wismut study	59001	2 388	241		Grosche et al. (2006)
New Mexico	3457	68	111	fully	Samet et al. (1991)
Newfoundland (fluorspar)	1742	191	378	partly	Villeneuve et al. (2007)
Ontario	21346	285	31	fully	Kusiak et al. (1993)
Radium Hill	1457	31	8	fully	Woodward et al. (1991)
Slovakia (iron)	1056	9	40		Sevc et al. (1988)
Sweden (iron)	1294	79	81	fully	Radford & Renard (1984)

In ognuna di queste coorti, è stata evidenziata una **associazione** tra **esposizione lavorativa** ai prodotti di decadimento del Radon ed **aumento del rischio** di tumore polmonare

UNSCEAR 2009

Table A.3. Characteristics of the cohorts considered by UNSCEAR (2009).

Place	Country	Type of mine	Follow-up period	No. of miners	Cumulative exposure WLM	Person-years	ERR per 100 WLM	95% CI
Colorado	USA	Uranium	1950–1990	3347	807	75,032	0.42	0.3–0.7
★ Newfoundland	Canada	Fluorspar	1951–2001	1742	378	70,894	0.47	0.28–0.65
Yunnan	China	Tin	1976–1987	13,649	277	135,357	0.16	0.1–0.2
★ Wismut	Germany	Uranium	1946–1998	59,001	242	1,801,626	0.21	0.18–0.24
★ Malmberget	Sweden	Iron	1951–1990	1415	81	32,452	0.95	0.1–4.1
★ West Bohemia	Czech Republic	Uranium	1952–1999	9979	70	261,428	1.60	1.2–2.2
★ CEA-COGEMA	France	Uranium	1946–1994	5098	37	133,521	0.80	0.3–1.4
Ontario	Canada	Uranium	1955–1986	21,346	31	319,701	0.89	0.5–1.5
★ Beaverlodge	Canada	Uranium	1950–1999	10,050	23	285,964	0.96	0.56–1.56
Total				125,627		3,115,975	0.59	0.35–1.0

WLM, working level month; ERR, excess relative risk; CI, confidence interval.

★ **Modificate (periodo, lavoratori)**

★ **Nuove**



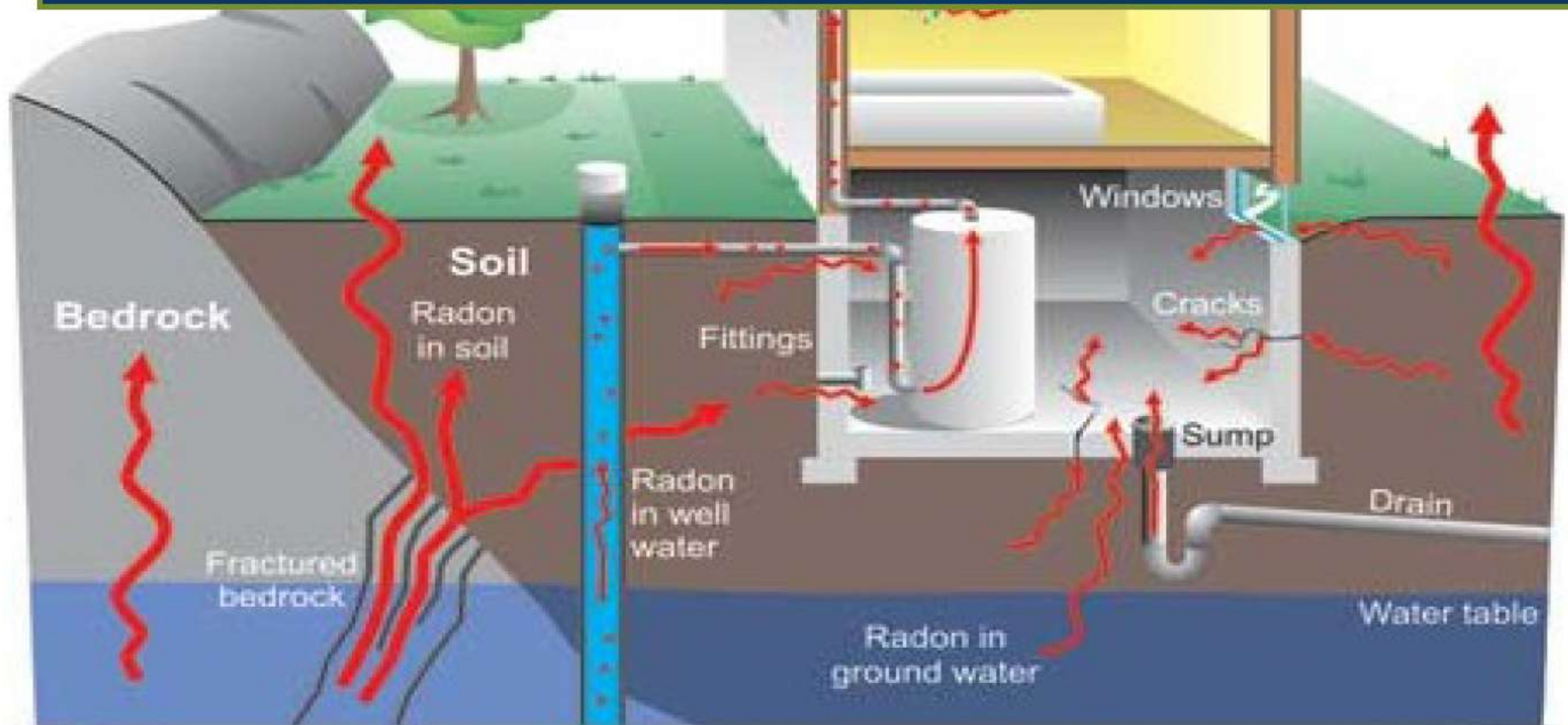
A quanti Bq h/m³ corrisponde 1 WLM?

ICRP 115

WLM e **Bq h/m³** sono correlati attraverso un **fattore di equilibrio (F)**, misura del grado di disequilibrio tra il Rn e i suoi discendenti a breve emivita ($1 \text{ WLM} = 6,37 \times 10^5 / F \text{ Bq h/m}^3$; $1 \text{ Jh/m}^3 = 1,8 \times 10^8 / F \text{ Bq h/m}^3$)

- **1 WLM** = **$6,37 \times 10^5$ Bq h/m³** (concentrazione equivalente all'equilibrio di Radon)
- **500 Bq/m³ di Rn per un anno in ambiente domestico = 2,2 WLM** (7000 h/anno indoor e $F=0,4$)
- **500 Bq/m³ di Rn per un anno in ambiente lavorativo = 0,63 WLM** (2000 h/anno e $F=0,4$).

EPIDEMIOLOGIA (residenziale)



In gran parte degli **studi residenziali effettuati dal 1990 in poi** emerge un **aumento del rischio di neoplasia polmonare all'aumentare dell'esposizione** (*espressa come concentrazione del Rn nelle residenze in alcuni casi misurata, in altri casi stimata*)

Questi studi (*caso-controllo*) **non forniscono però evidenze conclusive** circa l'associazione tra esposizione indoor e rischio di tumore polmonare, a causa della limitata potenza statistica.

I risultati sono sempre presentati in termini di **rischio relativo (RR, OR) per esposizione espressa in Bq/m³** di concentrazione in aria mediata nel tempo.



Vengono quindi selezionati/ avviati studi analitici (**caso-controllo**) combinati (**«pooled»**) con:

1. chiare e dettagliate regole per la **selezione** delle popolazioni in studio,
2. **misure** (1 anno o più) della concentrazione del Radon,
3. dati precisi sull'abitudine al **fumo**, in:
 - **Nord America** (Krewsky *et al.*, 2005,2006)
 - **Europa** (Darby *et al.*, 2005-2006)
 - **Cina** (Lubin *et al.*, 2004)

Studi residenziali “pooled”

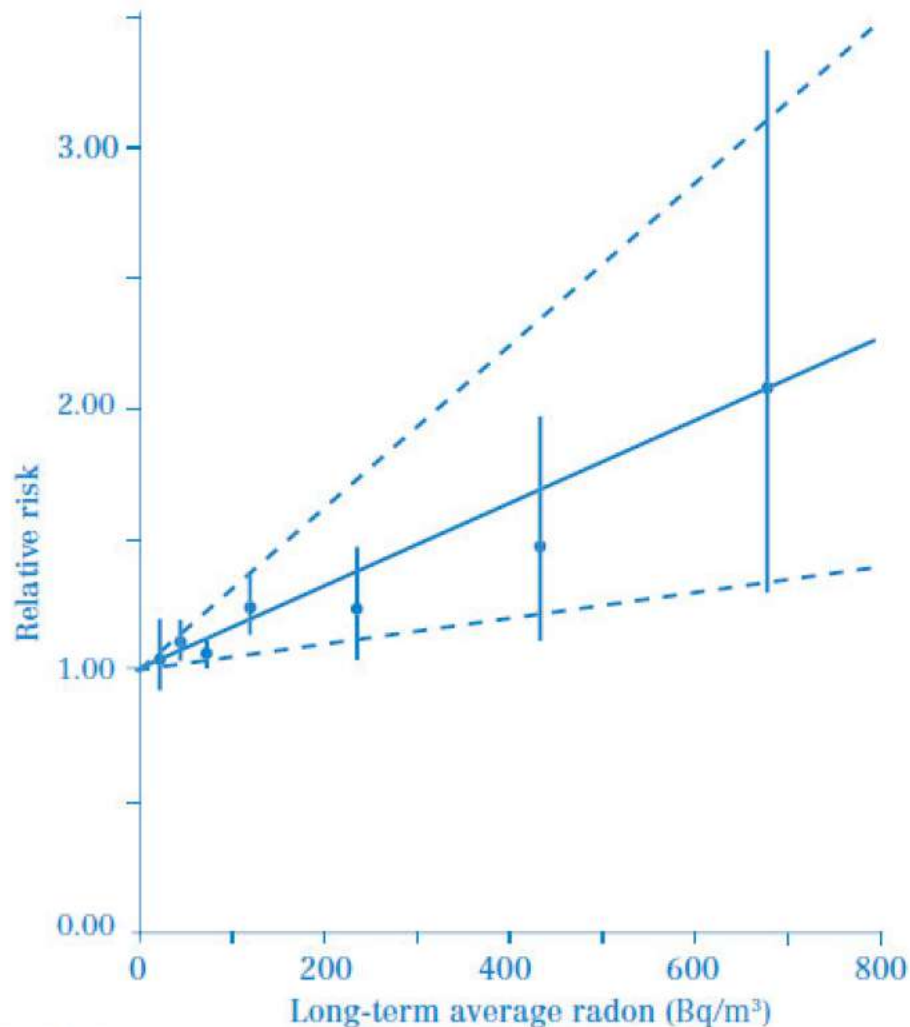
QUADRO RIASSUNTIVO

Table 2.2. Pooled analyses of case-control studies of residential exposure to radon and lung cancer, based on measured radon concentrations.

Joint analysis	No. of studies included	No. of cases	No. of controls	Relative risk per 100 Bq/m ³ (95% CI)
European (Darby et al., 2006)	13	7148	14,208	1.08 (1.03–1.16)
North American (Krewski et al., 2006)	7	3662	4966	1.10 (0.99–1.26)
Chinese (Lubin et al., 2004)	2	1050	1995	1.13 (1.01–1.36)

CI, confidence interval.

Correlazione lineare

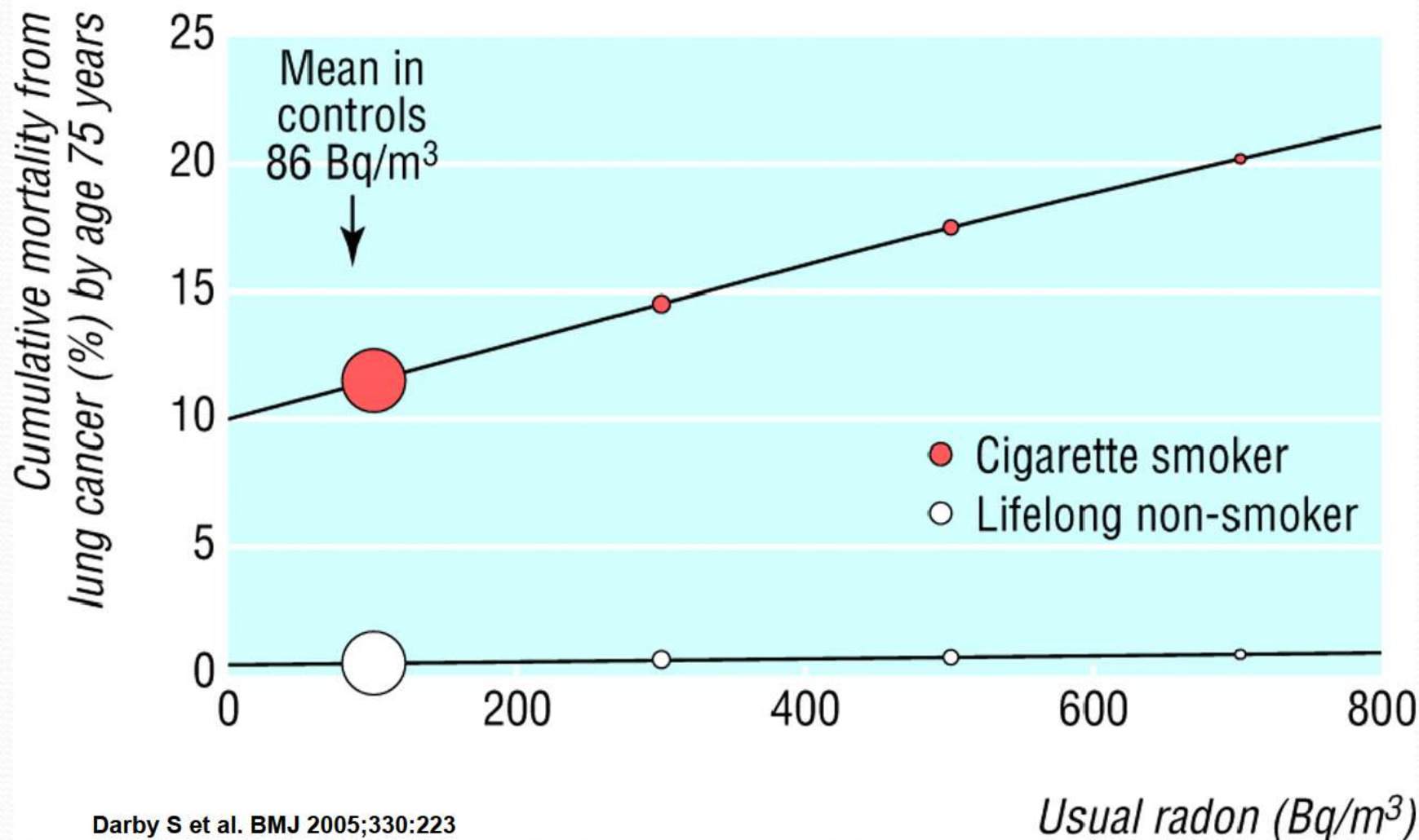


Source: Darby et al. 2005

Relative risks and 95% confidence intervals are shown for categorical analyses and also best fitting straight line. Risks are relative to that at 0 Bq/m³.

Figure 1. Relative risk of lung cancer versus long-term average residential radon concentration in the European pooling study

Cumulative absolute risk of death from lung cancer by age 75 years versus usual radon concentration at home for cigarette smokers and lifelong non-smokers.



Effetto del fumo

Un effetto sinergico moltiplicativo è stato evidenziato in ratti Sprague-Dawley a seguito dell'associazione tra esposizione a Radon e tabacco



Publicazione ICRP n. 115 (2010)

Pooled analysis - CONCLUSIONI

Dagli studi residenziali, come già emerso negli studi sui minatori, si è avuta la conferma che il **Rn** è un **cancerogeno polmonare anche in assenza del fumo di tabacco**

Tuttavia, a causa dell'effetto dominante del fumo di tabacco sul rischio di Ca. polmonare sull'intera vita, l'**EAR** (eccesso di rischio assoluto) di Ca. polmonare attribuibile ad un determinato livello di concentrazione di Rn è **molto più alto tra i fumatori**



Publicazione ICRP n. 115 (2010)

Studi residenziali – STIME DEL RISCHIO

Sulla base di quanto ricavato dagli studi residenziali circa l'eccesso di rischio relativo (**ERR del 16%** per incremento della concentrazione di Rn di **100 Bq/m³**) e dalla stima di **esposizione residenziale media** europea al **Rn di 59 Bq/m³** (stima UNSCEAR 2000 su 29 nazioni) , gli autori della pooled analysis europea giungono infine alla conclusione che il **Rn nelle abitazioni** sia la causa di **circa il 9% delle morti per Ca. polmonare** e quindi del **2% di tutta la mortalità per neoplasie in Europa**



Incidenza dei tumori

Nel 2015 in Italia circa **366.000** casi di tumore (esclusi tumori cute)

**1000 tumori
al giorno**

Tumori polmonari = 11% = 40.000 circa
(70% maschi e 30% femmine)

Abitudine al fumo

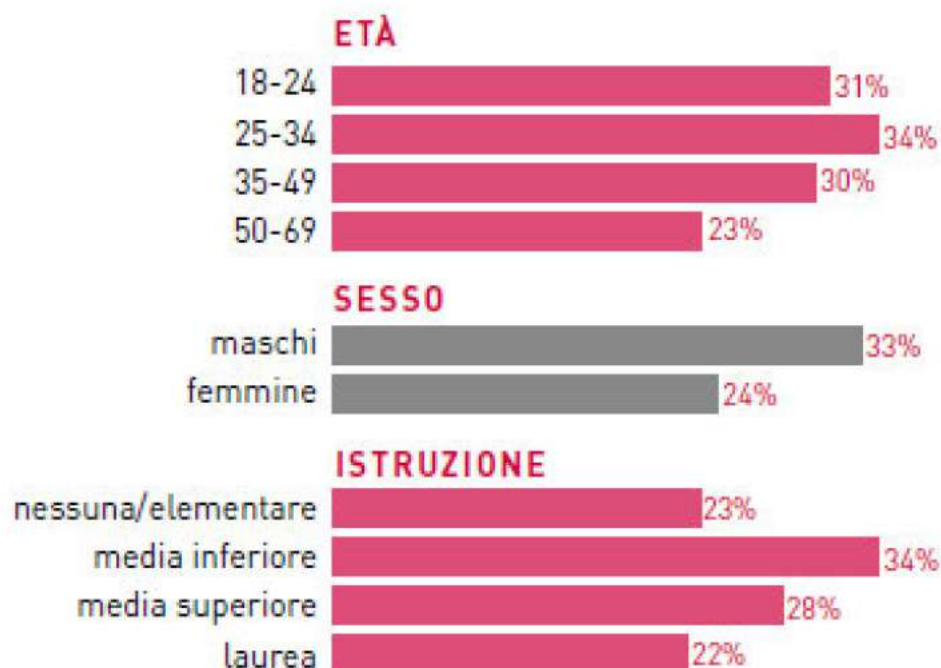


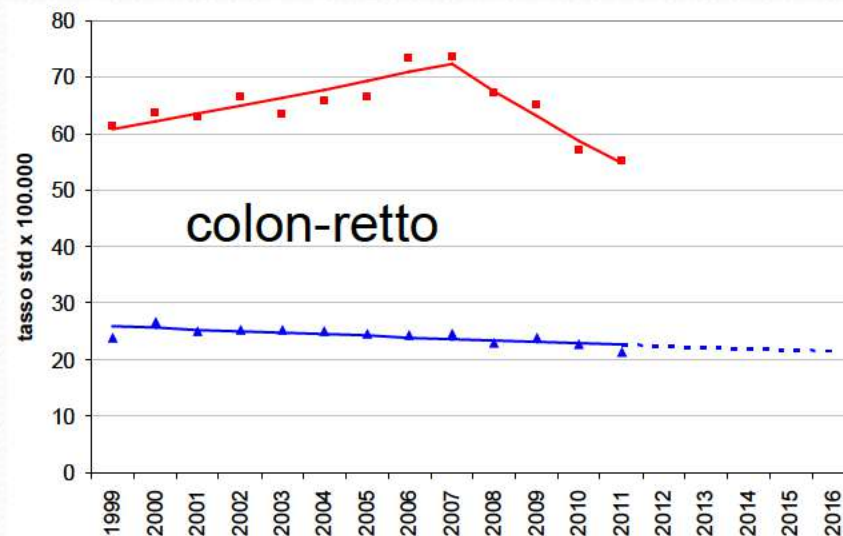
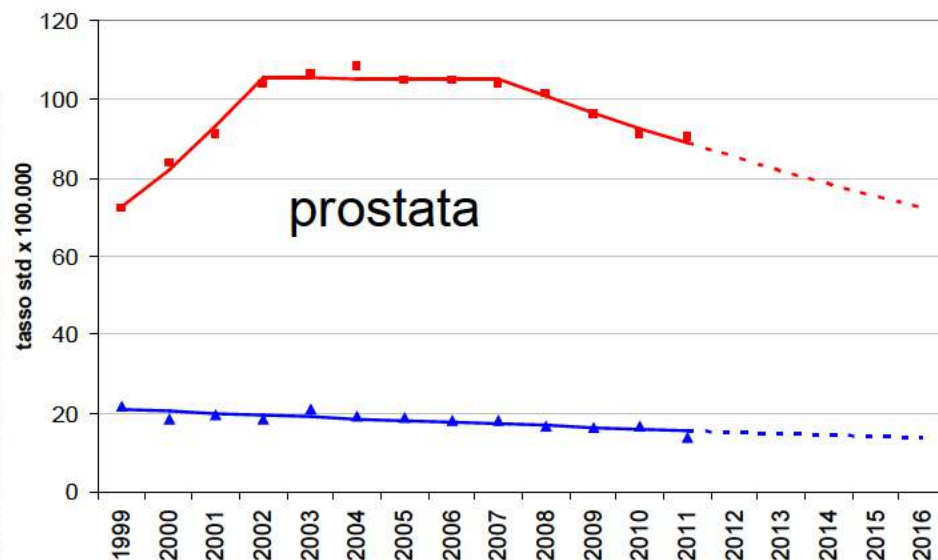
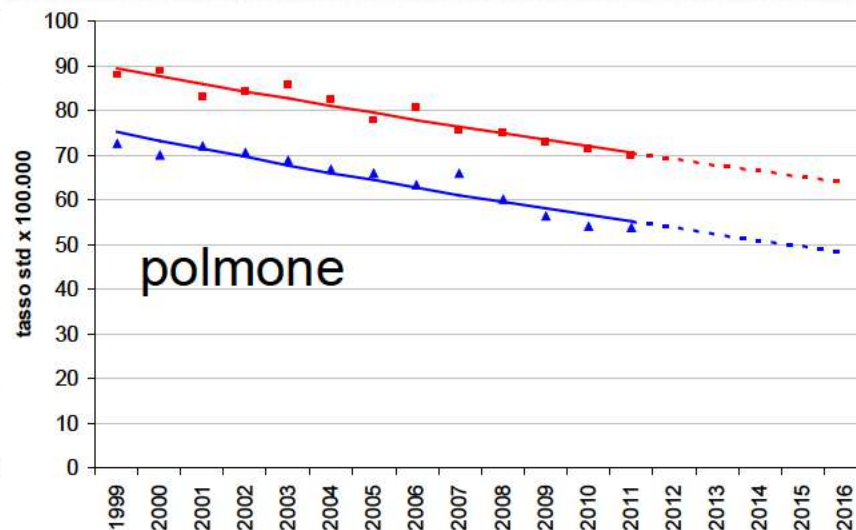
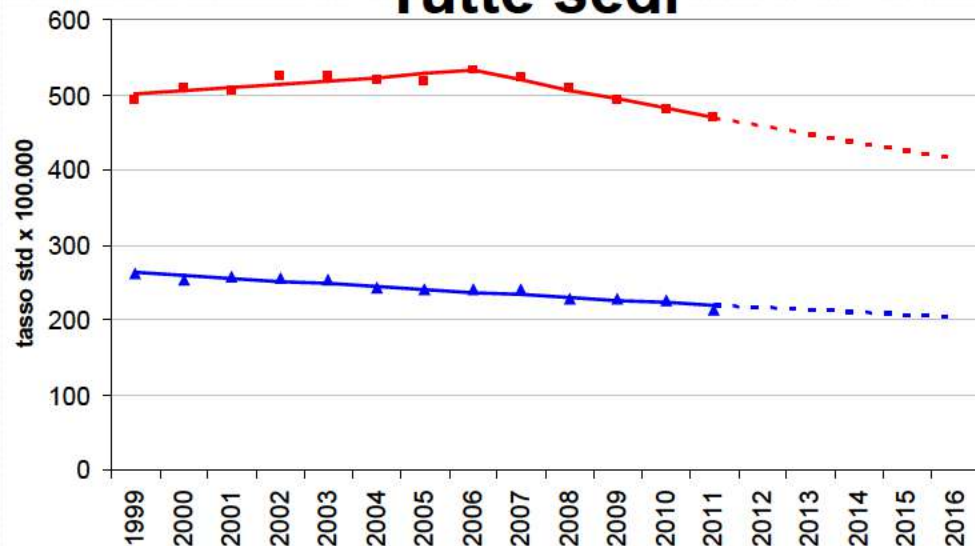
FIGURA 31. Percentuale di fumatori in Italia in base all'età, al sesso, e al livello di istruzione
(Fonte: Sorveglianza PASSI 2012, ISS/CCM)



FIGURA 32. Percentuale di fumatori in Italia in base alla regione di residenza
(Fonte: Sorveglianza PASSI 2012, ISS/CCM)

Trend, maschi

Tutte sedi



***Rapporto standardizzato di mortalità per ca. polmonare in donne
partecipanti al “Cancer Prevention Study II”***

Durata del fumo (anni)	Numero di sigarette al giorno				
	1 – 10	11 – 19	20	21 – 30	31+
21 – 30	2,9	6,7	13,6	18,4	18,9
31 – 40	7,9	19,2	19,2	26,5	25,3
41 – 70	10,0	17,0	25,1	34,3	38,8



Trend, femmine

Tutte sedi

