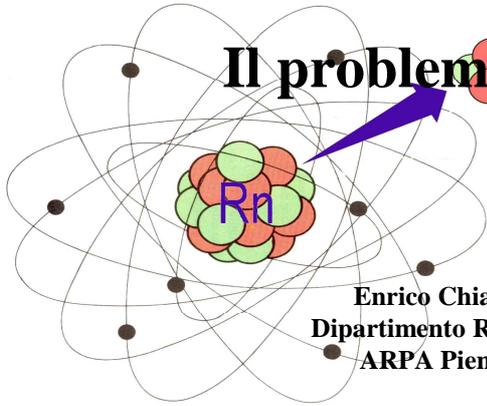


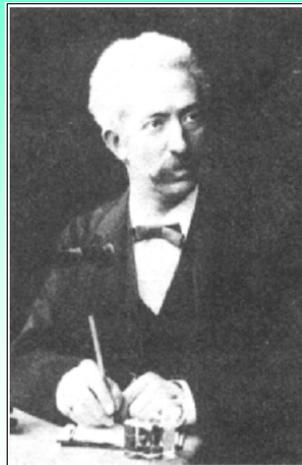
Il problema radon



Enrico Chiaberto
Dipartimento Radiazioni
ARPA Piemonte

Cenni storici

Scoperto da
Dorn nel
1900



Friedrich Ernst Dorn (1848 – 1916)

È un elemento chimico
Simbolo: Rn
Il suo nucleo è formato
da 86 protoni
numero di massa 222

È un gas nobile:
non si combina

Sistema Periodico degli elementi

The image shows a standard periodic table of elements. The groups are labeled at the top: 1 (alkali metals), 2 (alkaline earth metals), 3-10 (transition metals), 11-12 (other metals), 13-17 (other nonmetals), 18 (noble gases), and the f-block (lanthanides and actinides). The elements are color-coded according to these groups. The noble gases are highlighted in light blue. The element Rn (Radon) is located in group 18, period 6.

A temperatura ambiente
è un gas

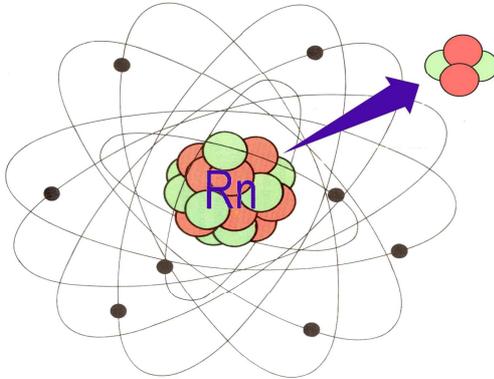
inodore

incolore

Punto di ebollizione $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$

Chi ha provato a congelarlo l'ha visto di un
bel colore arancione vivo

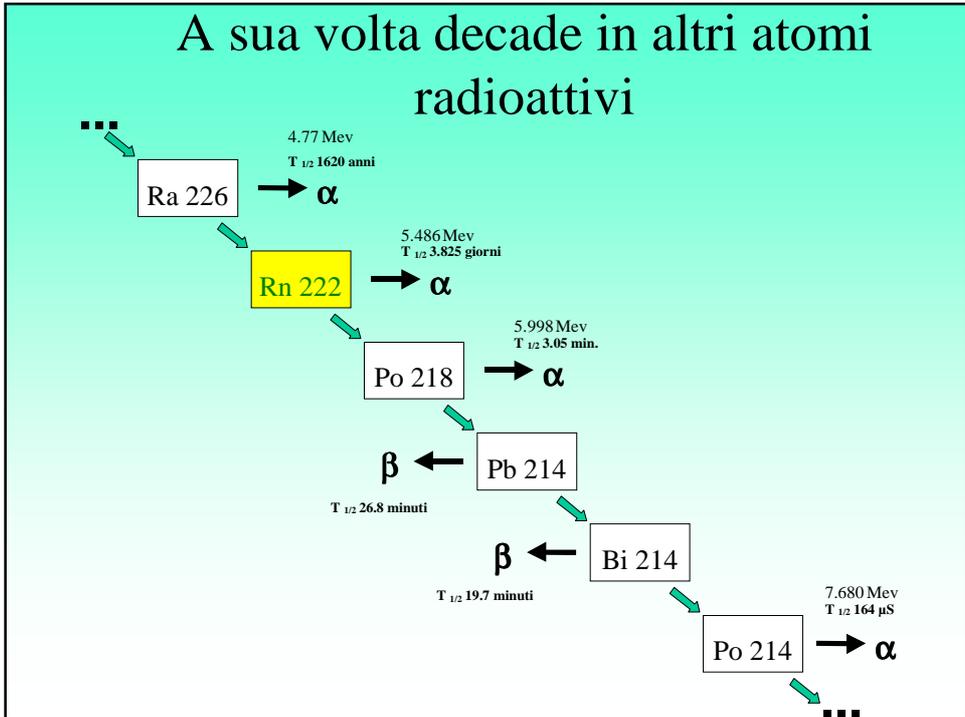
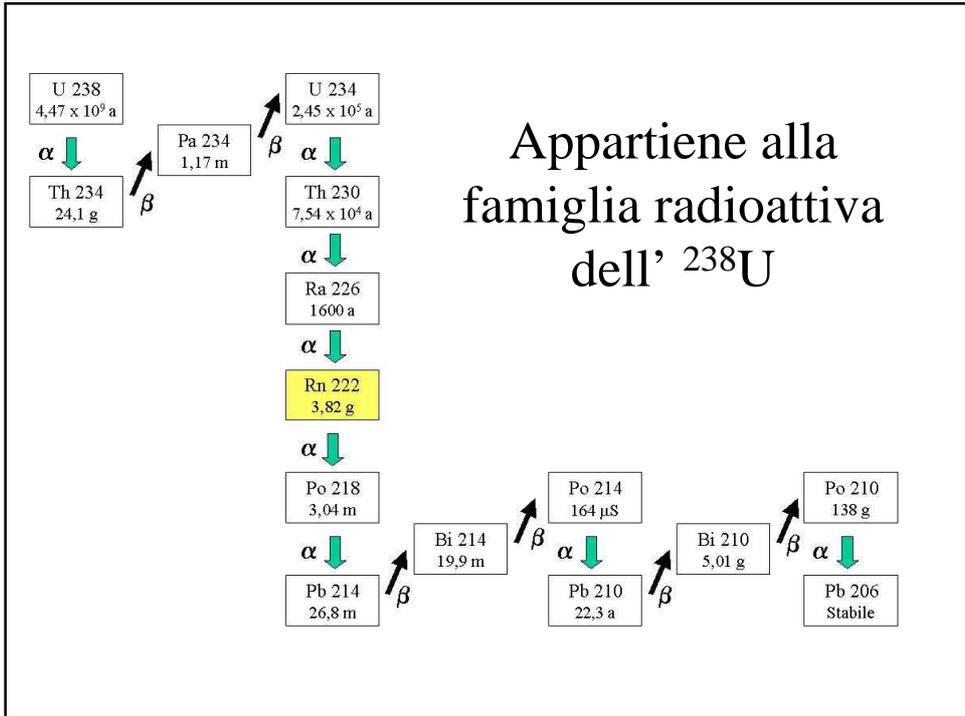
è radioattivo



emette
ioni di elio
cioè particelle alfa

Isotopi del radon:

Isotopo	Serie di appartenenza	$T_{1/2}$
Rn 219 Actinon	U 235	3,96 S
Rn 220 Thoron	Th 232	55,6 S
Rn 222 Radon	U 238	3,82 d

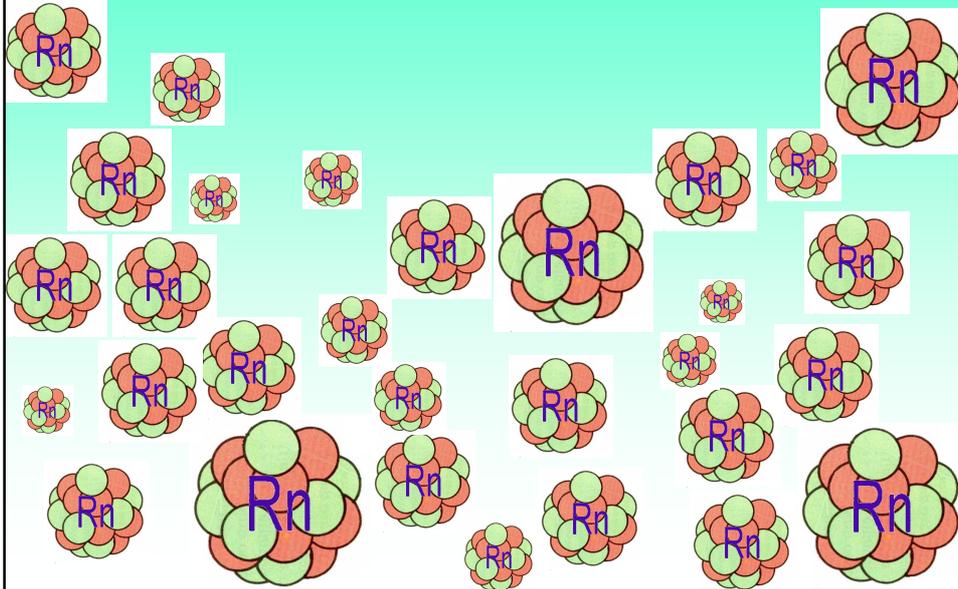


I figli del radon a vita breve

- Sono 4 con tempi di decadimento inferiore a 30 minuti
- 2 sono alfaemettitori (^{218}Po e ^{214}Po)
- 2 sono beta emettitori (^{214}Pb e il ^{214}Bi)
- ^{214}Pb e il ^{214}Bi sono anche gamma emettitori ben visibili in numerosi spettri ambientali (particolato atmosferico, terreno ...)
- Sono solidi e reattivi chimicamente
- Appena emessi hanno carica positiva (dovuto al forte rinculo del nucleo dovuto all'emissione di una particella α che lascia sul posto qualche elettrone)
- Una parte di essi resta "unattached"
- Una parte di essi si attacca al pulviscolo
- Una parte della frazione attaccata si deposita sugli oggetti (plateout)
- Ciò che resta sospeso in aria (attached o unattached) è pronto per essere respirato ☹



tempo di dimezzamento (emivita)
di 3.82 giorni



Equazione del decadimento

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda_{Rn} N$$

$$C(t) = C_0 e^{-\lambda t} \quad \text{In concentrazione}$$

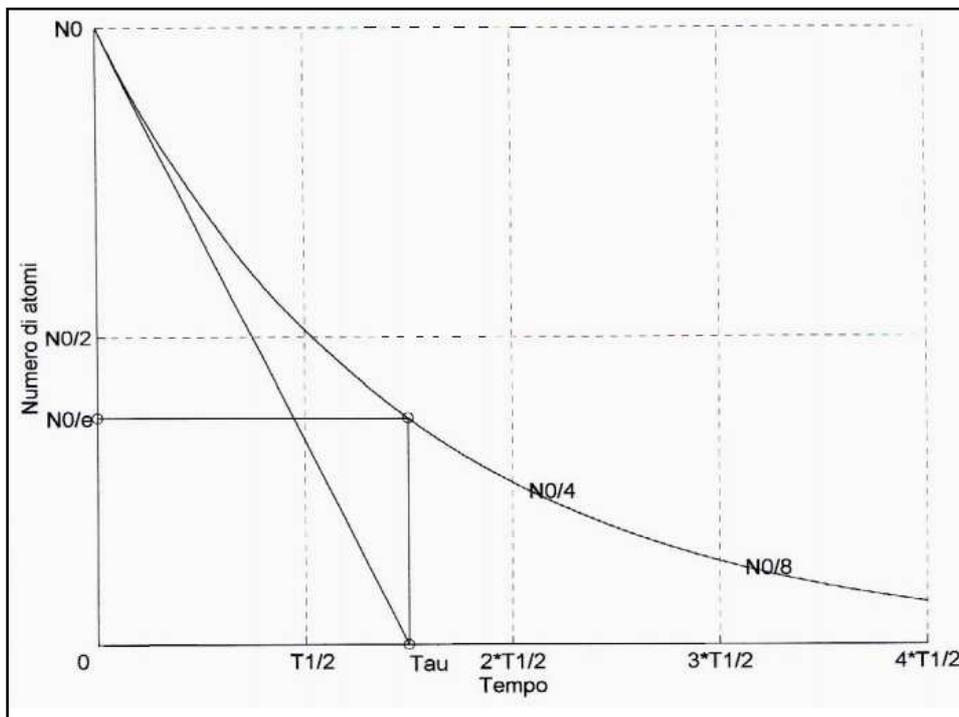
dN/dt è l'attività che si misura in Bq

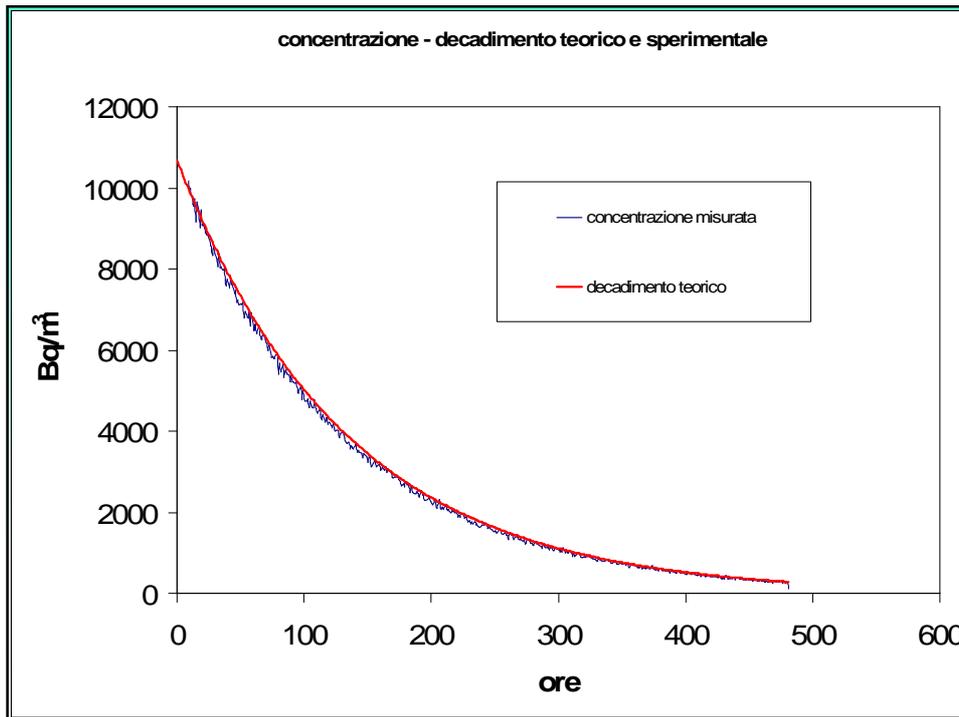
λ è la costante di decadimento del radon ed è la probabilità che un atomo ha di decadere

Tempo di dimezzamento

$$C(t) = C_0 e^{-\lambda t}$$

$$C(t_{1/2}) = \frac{1}{2} C_0 = C_0 e^{-\lambda t_{1/2}} \Rightarrow t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$





Percezione del rischio



IERI:

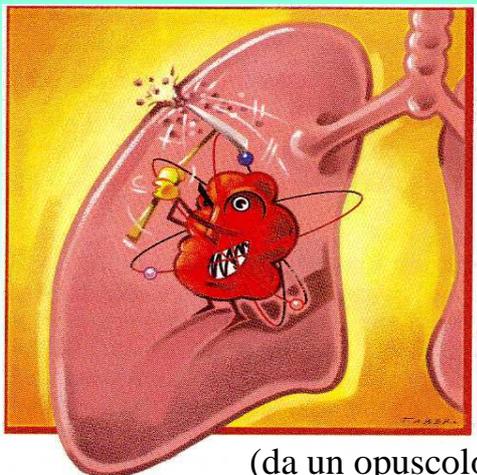
considerato benefico per la salute



?!

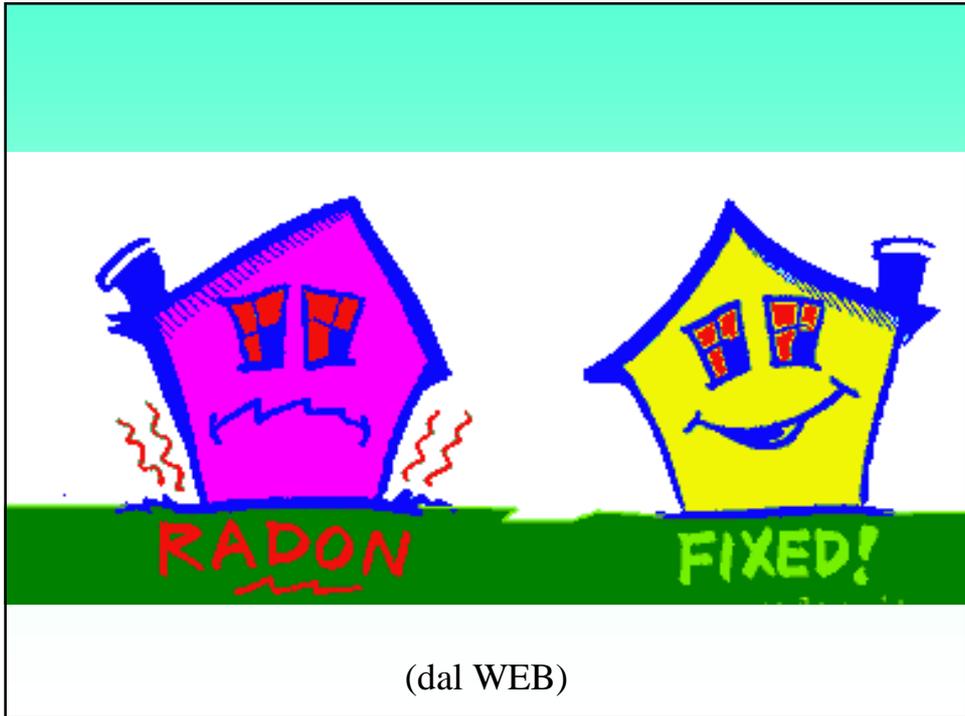
OGGI:

considerato dannoso per la salute
L'OMS lo classifica nel gruppo 1:
massima evidenza cancerogenicità



TUMORE
AL
POLMONE

(da un opuscolo ARPA Veneto)

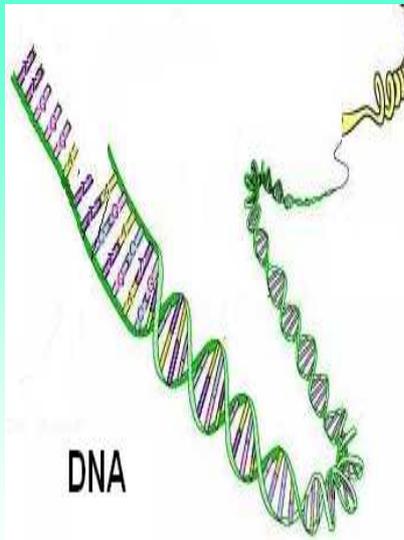


(da una rivista)

Il rischio radon
è dovuto alla radioattività

**Ci sono evidenze radiobiologiche sui
danni prodotti dalle radiazioni**

- A livello cellulare le radiazioni ionizzanti possono danneggiare il DNA
- L'energia rilasciata alla materia dalle radiazioni può infatti causare la rottura di una singola o doppia dell'elica del DNA
- I meccanismi che conducono a tali rotture dipendono dal tipo di radiazione (α , β , γ , X) oltre che dall'intensità della radiazione



conseguenze sugli organismi viventi:

- nessuna conseguenza (la riparazione del DNA riesce)
- morte dell'organismo o necrosi dell'organo interessato (se le cellule morte sono molte)
- induzione di tumori dopo un certo periodo (riparazione errata del DNA)
- induzione di danno genetico mutazioni

Effetti deterministici e effetti stocastici

nel caso di esposizioni acute si osservano effetti a livello clinico quali, ad esempio, eritemi, perdita di capelli e, nei casi più gravi, la sindrome acuta da radiazioni che può condurre alla morte

nel caso di esposizioni basse non si notano effetti immediati ma si può incorrere in effetti di tipo stocastico

Negli ultimi anni, nuove scoperte hanno mostrato che le cose sono molto più complesse di quanto descritto in passato

La risposta dell'organismo (o anche solo delle singole cellule) è influenzata da molti altri fattori, i cui meccanismi sono ancora sconosciuti

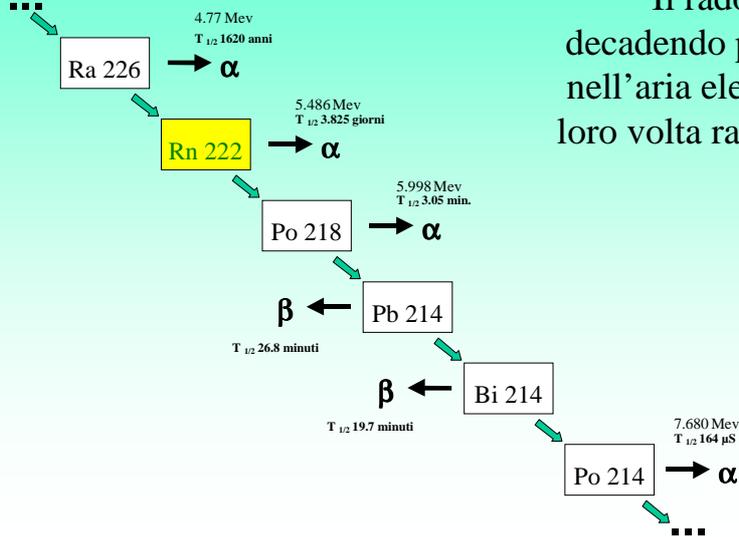
Queste scoperte mettono in crisi l'assoluta centralità del DNA nella spiegazione degli effetti biologici

- 1) **la risposta adattativa** gli effetti biologici su organismi esposti a dosi medio-alte diminuiscono se tali organismi erano stati preventivamente irraggiati con dosi di bassa o media entità
- 2) **ipersensibilità alle basse dosi** su esposizioni a basse dosi si verifica una sopravvivenza inferiore a quella prevista dai classici modelli radiobiologici
- 3) **l'instabilità genomica** le cellule figlie possono apparire normali però dopo alcune divisioni danno origine a cellule con danni genomici
- 4) **l'effetto "bystander"** anche cellule non colpite direttamente dalla radiazione ionizzante possono subire effetti biologici se sono irraggiate cellule che stanno nelle loro immediate vicinanze

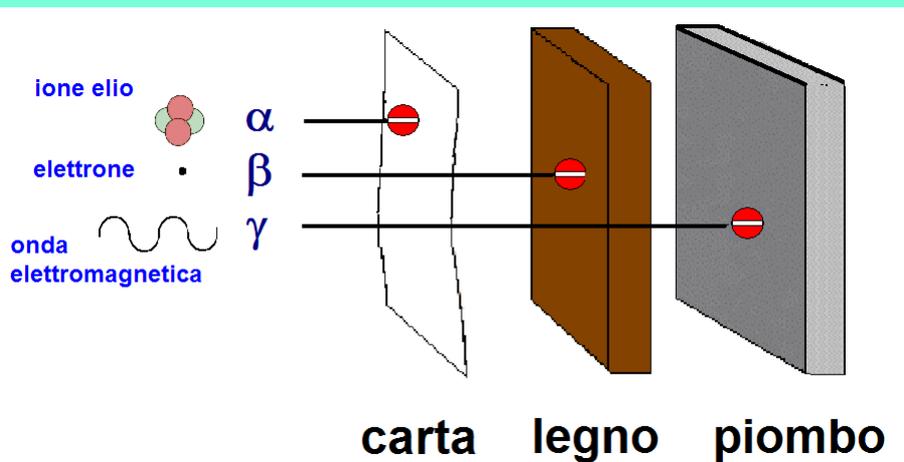
Questi nuovi studi, più che aperti, mettono ancora una volta in evidenza la complessità degli organismi viventi: le cellule sembrano comportarsi di fronte ad avversità con "comportamenti di gruppo" e forme di comunicazione sconosciute

Quantifichiamo il rischio radon

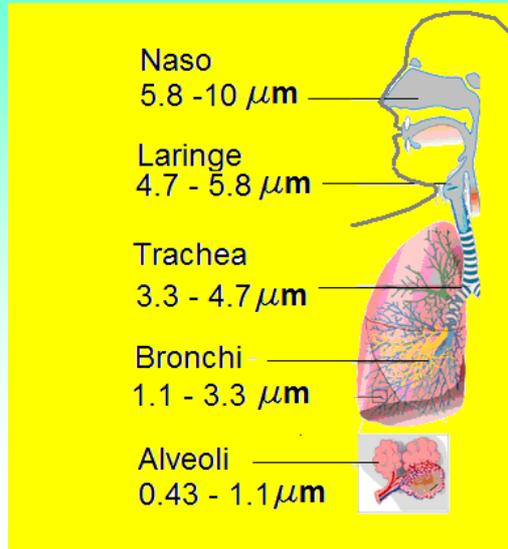
Il radon
decadendo produce
nell'aria elementi a
loro volta radioattivi



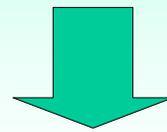
Tipi di radiazioni



I figli del radon, solidi e ionizzati si attaccano al pulviscolo fine ($\varnothing < 0.1 \mu\text{m}$) che respiriamo....



La radiazione è emessa direttamente all'interno dell'apparato respiratorio



aumento del rischio di tumore al polmone

radon e fumo sono in sinergia



L'interazione è di tipo moltiplicativo: sono entrambi causa di tumore e il fumo di sigaretta si aggiunge al particolato fine che veicola i figli del radon all'interno dei polmoni

Il radon è considerato dopo il fumo la seconda causa di tumore al polmone (3000 casi anno in Italia)

Tutto ciò è supportato da studi epidemiologici

Risalgono già agli anni 70 : studi su lavoratori minatori (ARCHER et al. 1973)

la fonte principale dei dati proviene da un pool di 11 coorti per un totale di circa 68.000 minatori per 2.700 tumori.

Il rischio relativo è dato da: $RR=1+\beta w$ dove β è il rischio per unità di esposizione.

Studi epidemiologici sulla popolazione

Sono complessi per la presenza di numerosi fattori di confondimento (fumo, abitudini alimentari,...).

Sono tuttora in corso studi epidemiologici del tipo caso-controllo.

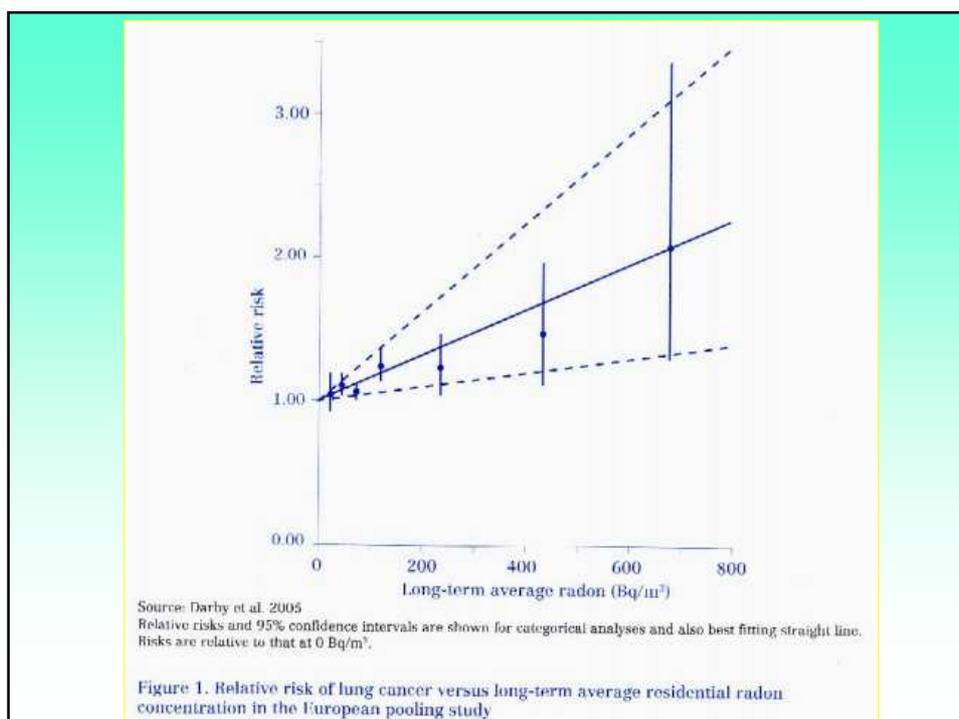
L'estrapolazione degli studi sui minatori alla popolazione ha dei limiti:

- concentrazioni radon molto inferiori;
- diversa durata dell'esposizione;
- caratteristiche delle persone esposte;
- caratteristiche degli ambienti....

Nonostante queste difficoltà è stato pubblicato di recente (British Medical Journal – published 21 Dicembre 2004) uno studio epidemiologico in abitazioni che ha analizzato 13 rilevazioni epidemiologiche europee (Italia compresa) per un totale di 7.148 casi di neoplasie polmonari e 14.208 controlli:

I risultati dello studio permettono di ipotizzare una relazione tra concentrazione e rischio relativo di tipo lineare senza soglia confermando precedenti differenti studi...

L'effetto è quindi di tipo stocastico senza soglia ed è legato all'esposizione ai figli del radon.



La **grandezza fisica** che viene impiegata in radioprotezione, è la **dose**, o meglio la **dose equivalente** (pesa il tipo di radiazione)

$$H_T = w_R \cdot D_T$$

o la **dose efficace** (al corpo intero)

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

La dose si esprime in Sv (Sievert)

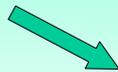
$$1\text{Sv}=1\text{J/kg}$$

(energia rilasciata per unità di massa)

Con calcoli teorici, conoscendo le energie rilasciate dalle alfa di radon e figli, è dunque possibile stimare la dose

che è la grandezza correlata agli effetti sanitari

**Concentrazione di attività
radon (Bq/m³)**



fattori convenzionali di conversione (vedi ICRP 65)



Dose (Sv)

imputabile ai prodotti di
decadimento a vita
breve

Si ricorre quindi ad alcune particolari grandezze:

PAEC

(WL)

EEC

EF

PAEC

Potential Alpha Energy Concentration

è una grandezza direttamente legata all'effetto sanitario definita come la somma delle energie alfa potenziali di tutti i prodotti di decadimento del Radon presenti per unità di volume in aria

$$PAEC_{Rn} = E_{\alpha(Po218)} C_{Po218} / \lambda_{Po218} + E_{\alpha(Po214)} [C_{Po218} / \lambda_{Po218} + C_{Pb214} / \lambda_{Pb214} + C_{Bi214} / \lambda_{Bi214}]$$

Si esprime nel SI in J/m³

Non compare il Radon perché non direttamente collegato all'effetto sanitario.

Il Po 218 è conteggiato come potenziale emettitore della sua particella alfa e di quella del Po 214.

IL Pb ed il Bi beta emettitori contano come potenziali emettitori della particella α del Po 214 nel quale decadono in cascata.

WL **Working level**

Molto usato per ragioni storiche è il Working level (WL)
Fu introdotto nel 1957 dal U.S.Public Health Service per
controllare i livelli di concentrazione nelle miniere.

Equivale ad un PAEC di $2.083 \times 10^{-5} \text{ J/m}^3$
($1.3 \times 10^5 \text{ Mev/l}$)

(Utile : $1 \text{ nJ/m}^3 = 20.83 \text{ mWL}$)

EEC_{Rn} **Equilibrium Equivalent Concentration**

Esprime in un'unica grandezza le concentrazioni dei prodotti di
decadimento del radon.

Definizione: concentrazione fittizia di radon in equilibrio con i
suoi prodotti di decadimento che produce lo stesso PAEC della
concentrazione di prodotti non in equilibrio effettiva.

EF **Fattore di equilibrio**

Rapporto tra EECRn e CRn

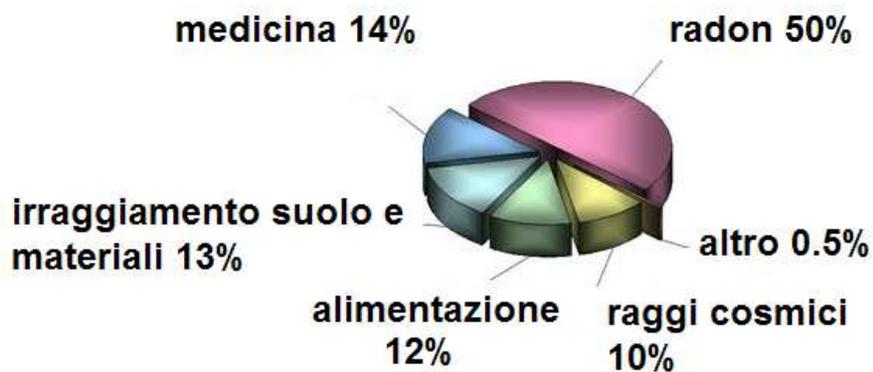
Valore tipico 0.4

Se c'è equilibrio 1

Normalmente in un'abitazione varia tra 0.1 e 0.6

Nota :

Il radon va all'equilibrio secolare con i prodotti di decadimento a vita breve dopo circa 3 ore



Normativa:

Il Decreto Legislativo 241/00 fissa un Livello d'Azione di 500 Bq/m^3 per la concentrazione di attività media annua di radon nei luoghi di lavoro **interrati**

Il Livello d'Azione è quel valore oltre il quale occorre adottare opportune azioni di rimedio al fine di ridurre la concentrazione di radon.

Le azioni di rimedio sono obbligatorie per i luoghi di lavoro e consigliate per le abitazioni.

Normativa:

Il datore di Lavoro ha l'obbligo di effettuare la misura :

Se il risultato è una concentrazione radon **maggiore di 500 Bq/m^3**

- Comunicazione del superamento (ARPA Direz Prov. Del Lavoro)
- Azioni di rimedio
- Verifica dell'efficacia delle azioni di rimedio
- L'EQ per le valutazioni dosimetriche del caso

compresa tra 400 e 500 Bq/m^3

- Ripetizione della misura

Normativa:

Il Decreto Legislativo 241/00 fissa un Livello d'Azione di **500 Bq/m³ per la concentrazione di attività media annua di radon nei luoghi di lavoro **interrati****

Il Livello d'azione è quel valore oltre il quale occorre adottare opportune azioni di rimedio al fine di ridurre la concentrazione di radon. Le azioni di rimedio sono obbligatorie per i luoghi di lavoro e consigliate per le abitazioni.

Attenzione a cosa si intende per luogo di lavoro interrato:

Dal punto di vista del rischio radon lo sono i locali parzialmente, completamente o su alcuni lati posti al di sotto del piano di campagna:

Dal punto di vista normativo non sono state emanate linee guida per altro previste dal D. Lvo 241/00

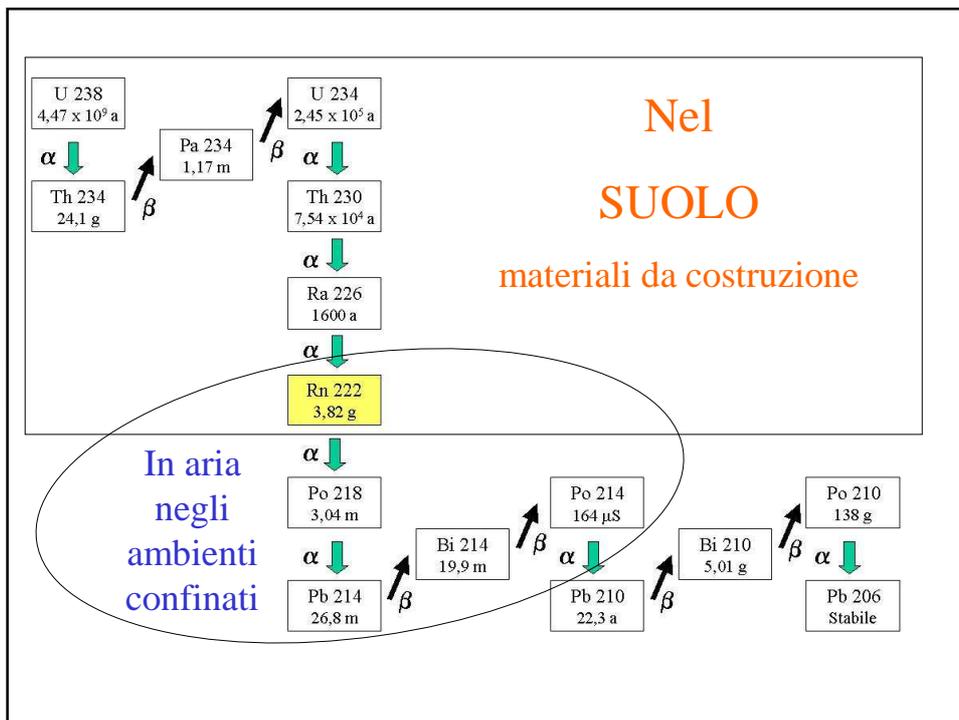
Molti datori di lavoro o professionisti fanno riferimento alla definizione “**locale o ambiente con almeno tre pareti interamente sotto il piano di campagna, indipendentemente dal fatto che queste siano a diretto contatto con il terreno circostante**” delle Linee guida emanate dalla Conferenza stato Regioni

Normativa:

Il decreto L.vo 241/00 impone alle Regioni di individuare le aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di gas radon (prone areas) per le quali l'obbligo della misura del radon si estende a tutti i luoghi di lavoro e non soltanto a quelli interrati

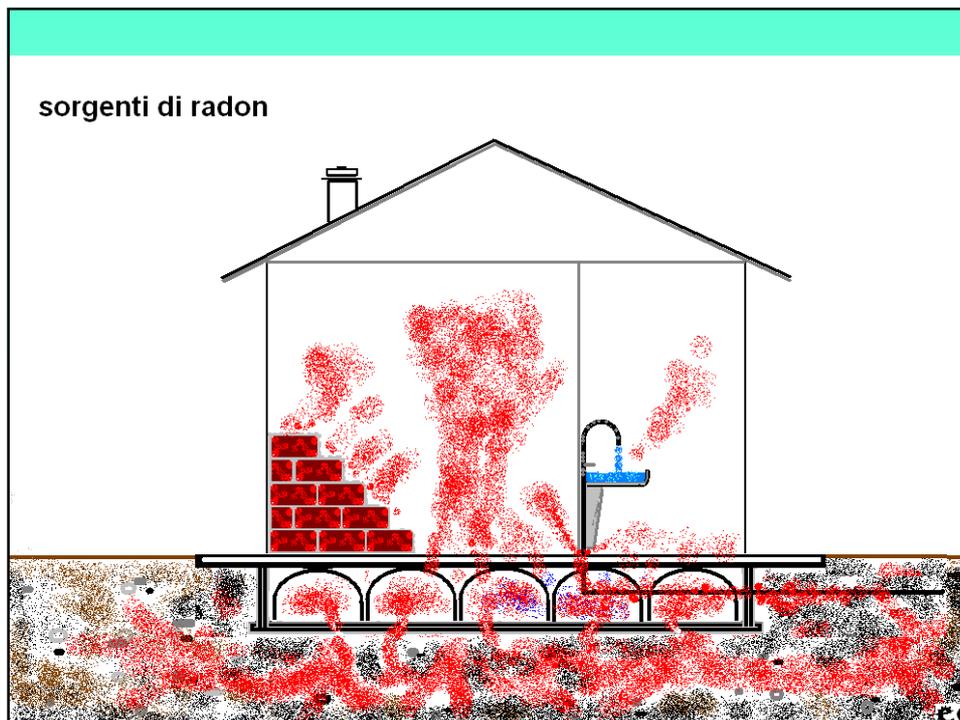
Il radon indoor

Ingresso del radon in un edificio



Il radon ha un'emivita sufficiente
per uscire dal suolo
e trovare una facile via d'accesso agli edifici
attraverso

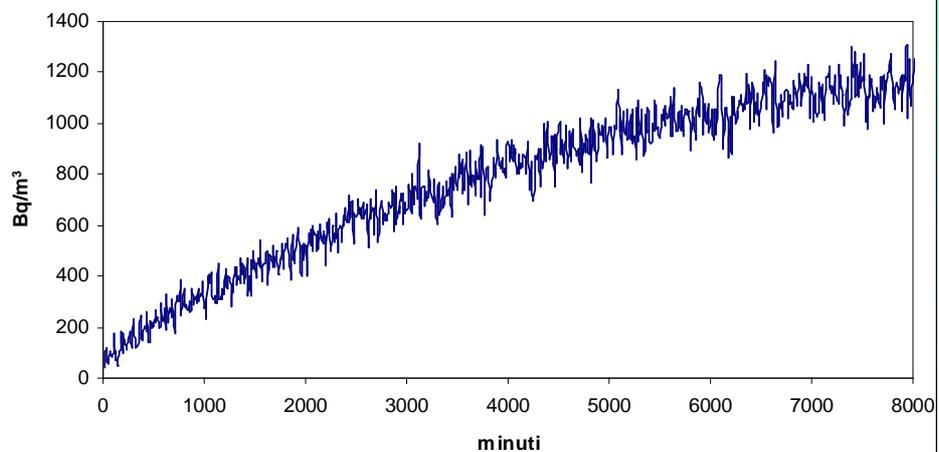
**crepe, fessure,
imperfezioni delle solette,
aperture per il passaggio di tubazioni e cavi,...**



il tufo
(in Piemonte non c'è)



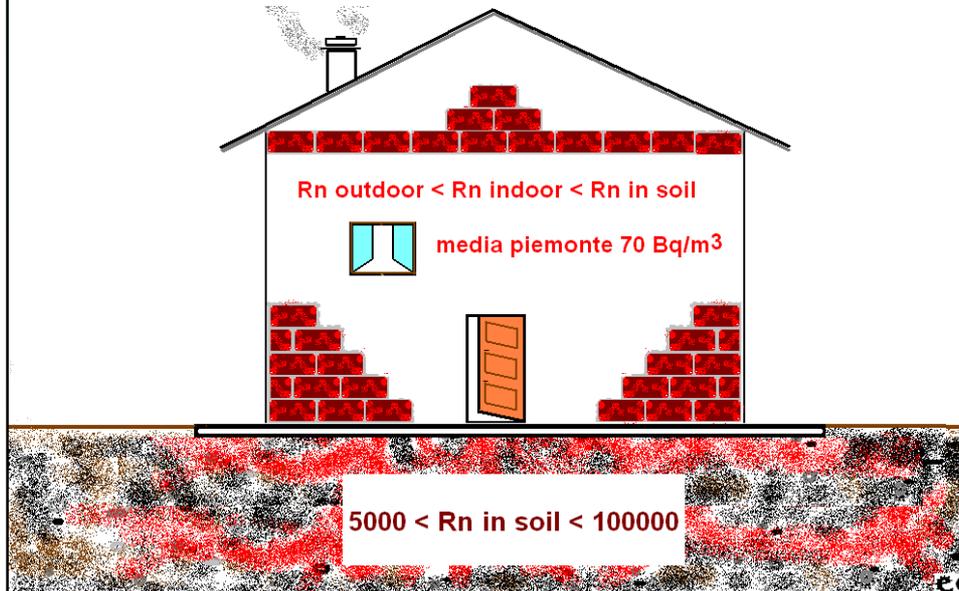
Concentrazione radon



Meccanismi di ingresso del radon in un edificio

casa radon

$0 < R_n \text{ outdoor} < 15$



Diffusione:

dipende dal coefficiente di diffusione

Legge di Fick

$$\Phi = -D \frac{dC}{dz}$$

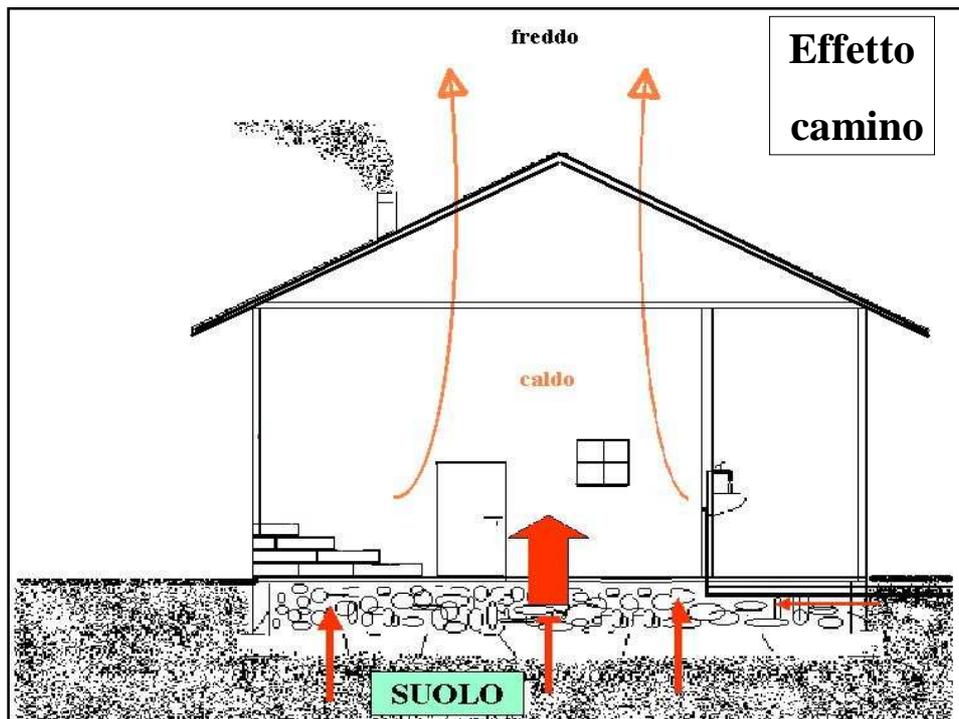
MATERIALE	D (ordine di grandezza) m ² /s
aria	10 ⁻⁶
sabbia	3x10 ⁻⁶
argilla	10 ⁻⁸
acqua	10 ⁻⁹
cemento	2x10 ⁻⁹

Trasporto:
dipende dalla porosità – granulometria
Convezione : Legge di Darcy

$$v = - \frac{K}{\mu} \frac{dP}{dz}$$

Una depressurizzazione all'interno
di un edificio
provoca un risucchio di aria contenente radon dal suolo.

Quali sono i fenomeni naturali che depressurizzano?



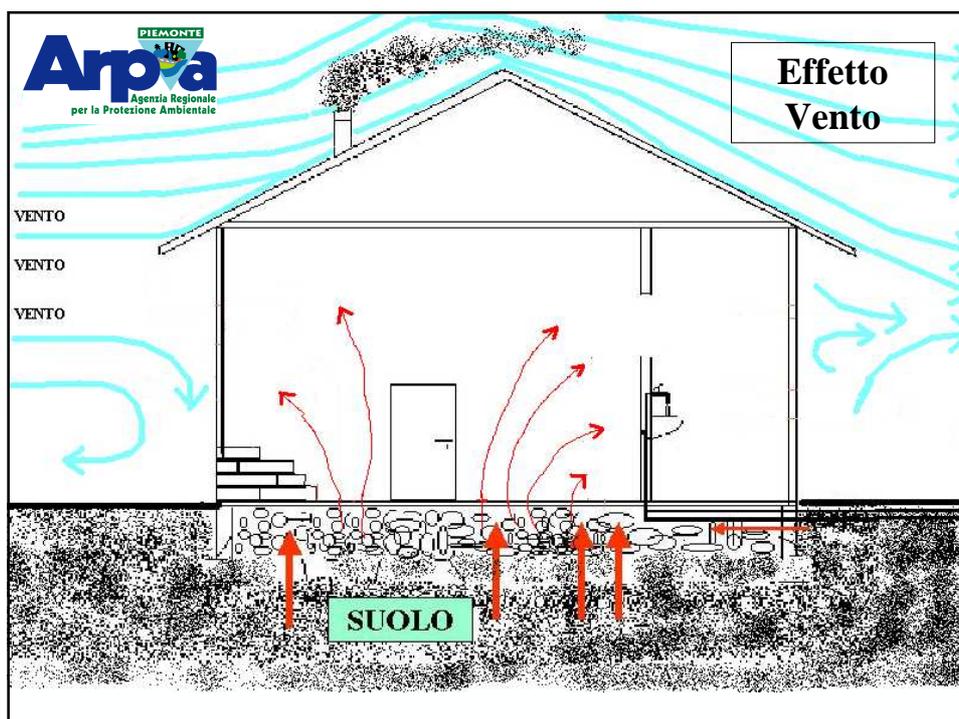
Effetto camino

Dipende dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno

$$\Delta P = \alpha \left(\frac{1}{t_e + 273} - \frac{1}{t_i + 273} \right)$$

α = coefficiente 3462 Pa°K

(Nazaroff e Nero 1988- Woolliscroft 1992)



Effetto vento

Il vento depressurizza l'abitazione

$$P = P_0 + C_p \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right)$$

ρ = densità dell'aria

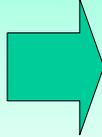
P_0 = pressione statica del vento

C_p = coefficiente di pressione

v = velocità del vento

(Nazaroff e Nero 1988, Woolliscrift 1992)

temperatura = 10°C
velocità vento 5m/s



$\Delta P = -5 \text{ Pa}$