

## obiettivi

- **determinazione del valor medio della concentrazione di attività radon**
- **mappatura del territorio**  
(definizione delle zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon:  
PRONE AREAS - obbligo di misura per i luoghi di lavoro non solo nei sotterranei)
- **valutazioni dosimetriche**

## Aspetti importanti in fase organizzativa

- scelta del campione
- metodo di misura
- tempistica
- risultati

3

## Scelta del campione

### Criterio

### abitazioni

### piano terra:

per la vicinanza

al suolo che è

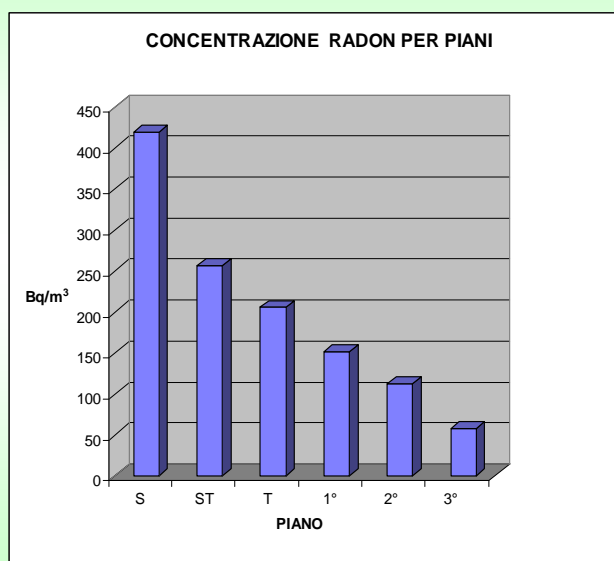
la fonte

principale di

Radon,

ma anche

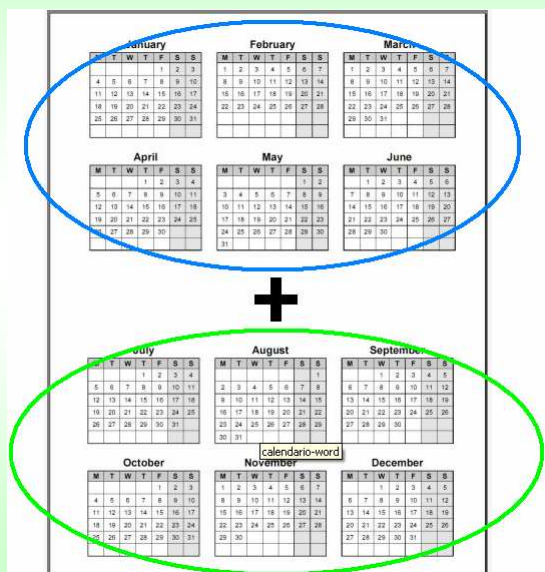
scuole



## Metodo di misura : dosimetri passivi



## Durata misura



un anno  
diviso in  
due  
semestri

## Perché la media annuale?

Ricambio d'aria

Effetto camino

Effetto tappo

Effetto vento

Condizioni meteo



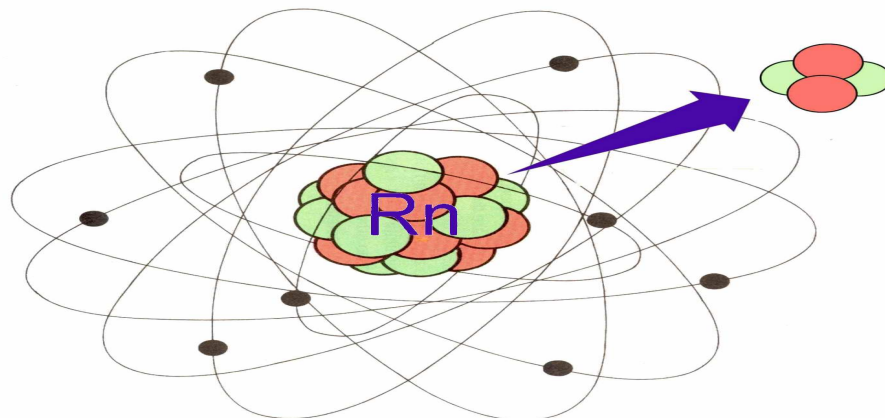
Variazioni stagionali

$C_{inv}/C_{est}=1.7$   $C_{ann}/C_{inv} = 0.79$

$C_{ann}/C_{est} = 1.35$

Variazioni  
notte/giorno

7



**Situazione italiana**

## Dalle prime misure ad oggi

- studi e ricerche individuavano situazioni con elevate concentrazioni radon....
- 1989 - 1994... Campagna Nazionale promossa da ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell' Ambiente) ora APAT e ISS (Istituto Superiore di Sanità) realizzata dai CRR (Centro di Riferimento Regionale per le radiazioni ionizzanti) (circa 5000 abitazioni). Nel Piemonte le misure sono state effettuate dal Lab. di sanità pubblica sezione fisica USSL 40 di Ivrea ora transitato in Arpa Piemonte
- dal 1994 studi e ricerche sul radon continuano su iniziative degli Enti preposti al controllo della Radioattività
- incremento delle misure dopo l' emanazione del D. Lvo 241/2000

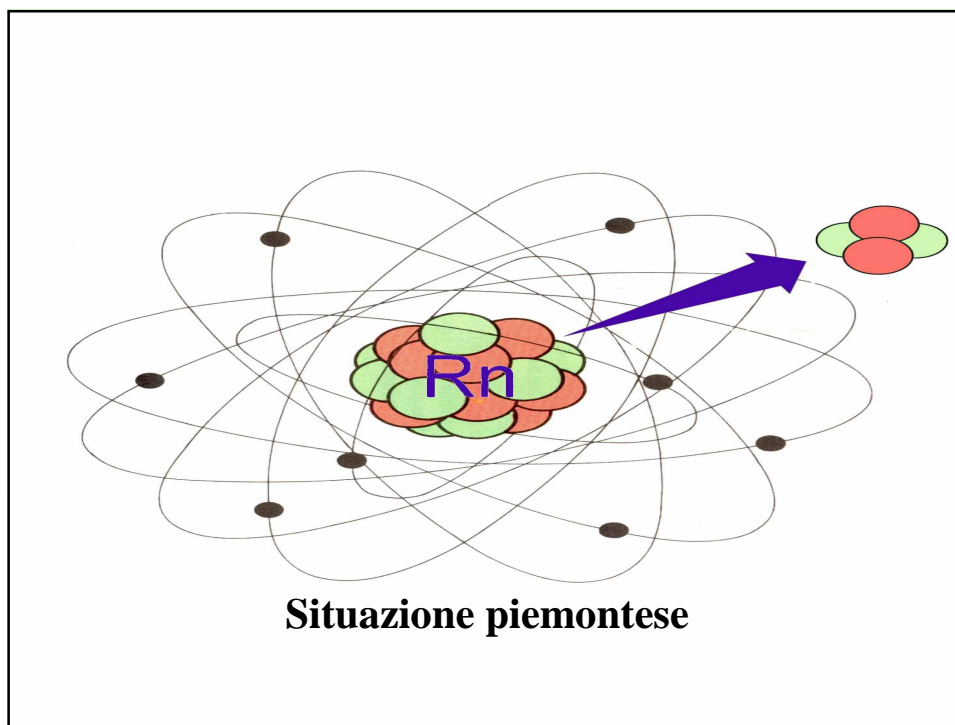
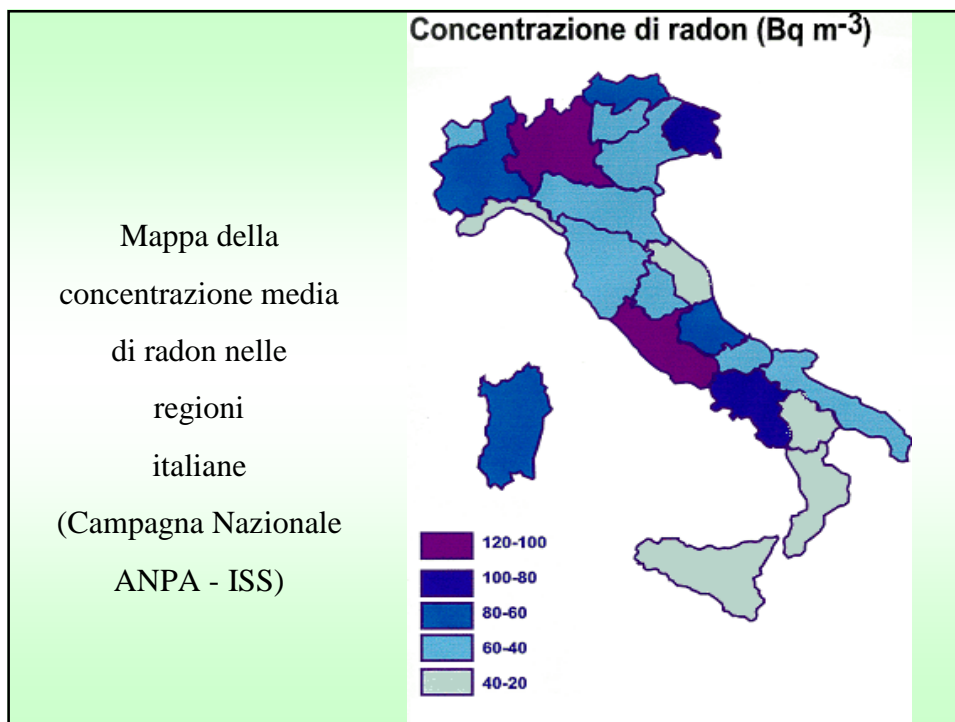
9

## Alcuni numeri

risultati della Campagna Nazionale  
svoltasi in Italia negli anni 1989 - 1993 Valor medio annuo della  
concentrazione di attività radon nelle abitazioni

Italia	Piemonte
70	69
Bq/m <sup>3</sup>	Bq/m <sup>3</sup>

10



- Lo studio sistematico del radon in Piemonte risale all'inizio degli anni '90 (Campagna Nazionale Radon, promossa da ISS e ANPA (ISPRA) ed eseguita nel 1990-1991 sul territorio piemontese dall'LSP-Sezione Fisica di Ivrea)
- Studi sono poi proseguiti con ARPA, che ha raccolto l'eredità

13

- L'evidenza del rischio di tumore polmonare è ormai un fatto scientificamente riconosciuto: recenti studi epidemiologici hanno confermato questo fatto, anche per esposizioni "residenziali" a concentrazioni basse ( $100 \text{ Bq/m}^3$ )
- Con l'emanazione del Decreto L.vo 241 del 26 maggio 2000 in attuazione alla Direttiva Europea 96/29/Euratom le Regioni sono incaricate di individuare aree del proprio territorio in cui vi sia un'elevata probabilità di trovare alte concentrazioni di attività radon (*radon prone areas*)

14

**Per questo motivo la Regione Piemonte ha  
incaricato ARPA  
di caratterizzazione territoriale il  
Piemonte dal punto di vista del radon**

15

**E' nato il progetto  
“mappatura Piemonte”**

**Scelta della strategia di mappatura:**

- **unità territoriali**
- **campionamento e misure**
- **organizzazione dei dati**
- **elaborazione dati**
- **disseminazione dei risultati**

16



- **unità territoriali:**
  - a) **definite in modo geometrico (ad esempio, maglie quadrate o rettangolari aventi una dimensione fissata (Inghilterra, Veneto,...))**
  - b) **unità territoriali non geometriche, individuate con diversi criteri (amministrativi, geologici, ecc.)**

17

- **L'approccio da noi scelto è stato quello di scegliere unità amministrative :**

### **i Comuni**

1. opportunità (e minor costo): era già disponibile (nel 2005) una notevole mole di dati su tutta la Regione
2. Fornire risultati su unità amministrative (comuni) rende più fruibile l'informazione agli Enti Locali
3. I comuni piemontesi sono ben 1206 quindi rappresentano una suddivisione "fine" del territorio

18

**Una standardizzazione delle misure è stata raggiunta considerando:**

1. la durata della misura di un anno
2. la georeferenziazione (eventualmente ricostruita a partire dagli indirizzi)
3. la tipologia degli edifici
4. i metodi di misura impiegati

19

**Nuove campagne si sono aggiunte alle precedenti:**

Le nuove misure hanno interessato i piani terra di abitazioni e scuole

La misura al piano terra riassume in se i 3 principali fattori che influenzano la concentrazione di radon indoor:

1. la concentrazione di radon nei gas del suolo
2. la permeabilità dello strato pedologico
3. le caratteristiche dell'interfaccia suolo-abitazione

20

## Rappresentazione cartografica

Per la rappresentazione cartografica si è fatto uso degli strumenti offerti dai Sistemi Informativi Geografici (GIS) e impiegando coordinate geografiche WGS84 (World Geodetic System 1984), utilizzato ufficialmente dalla Regione Piemonte

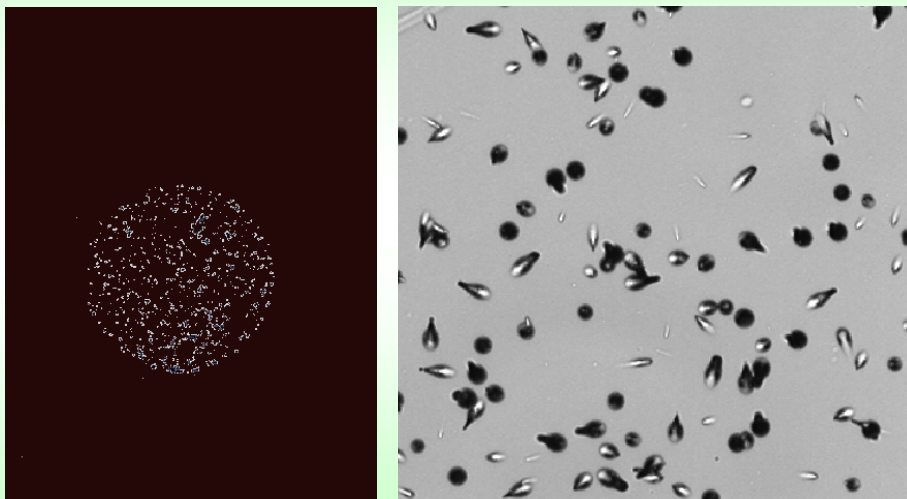
21

## Metodo di misura

Rivelatore a tracce passivo con pellicole LR 115 o CR39



## la pellicola dopo un'esposizione al radon



23

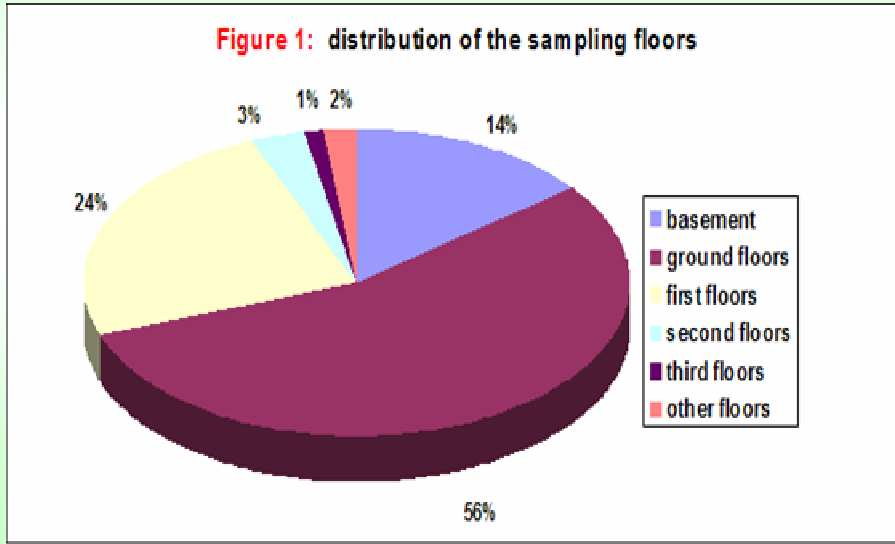
## Il dosimetro ANPA/ARPA prima dell'uso conservato in buste radon impermeabili



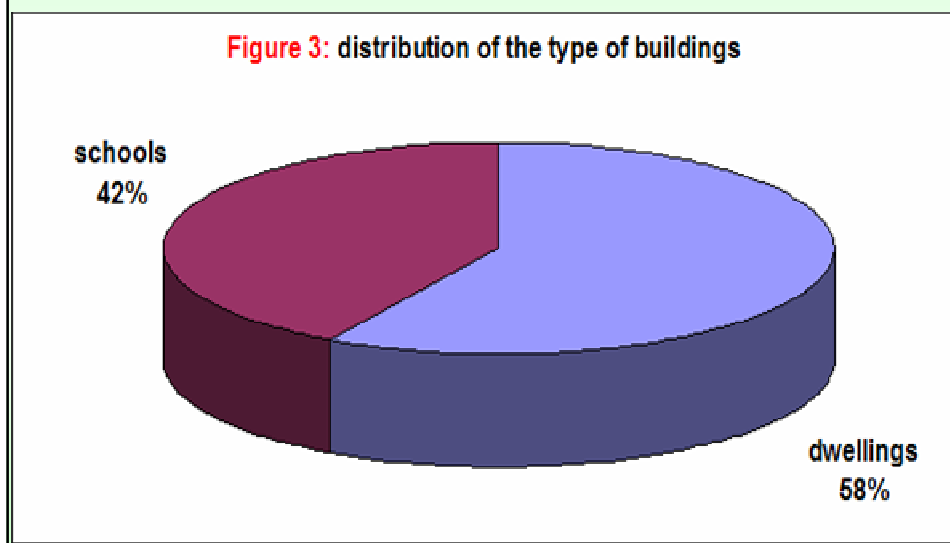
24

## La base dati

- La situazione di partenza come suddivisione per piani:



- La situazione di partenza come tipologia abitativa:



## La distribuzione del radon

27

La distribuzione dei livelli radon è tipicamente lognormale



$$P\{C_{Rn}\} = \frac{1}{C_{Rn} \ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln C_{Rn} - \ln m_g}{\ln \sigma_g} \right)^2}$$

$\ln C_{Rn}$  si distribuisce  
normalmente

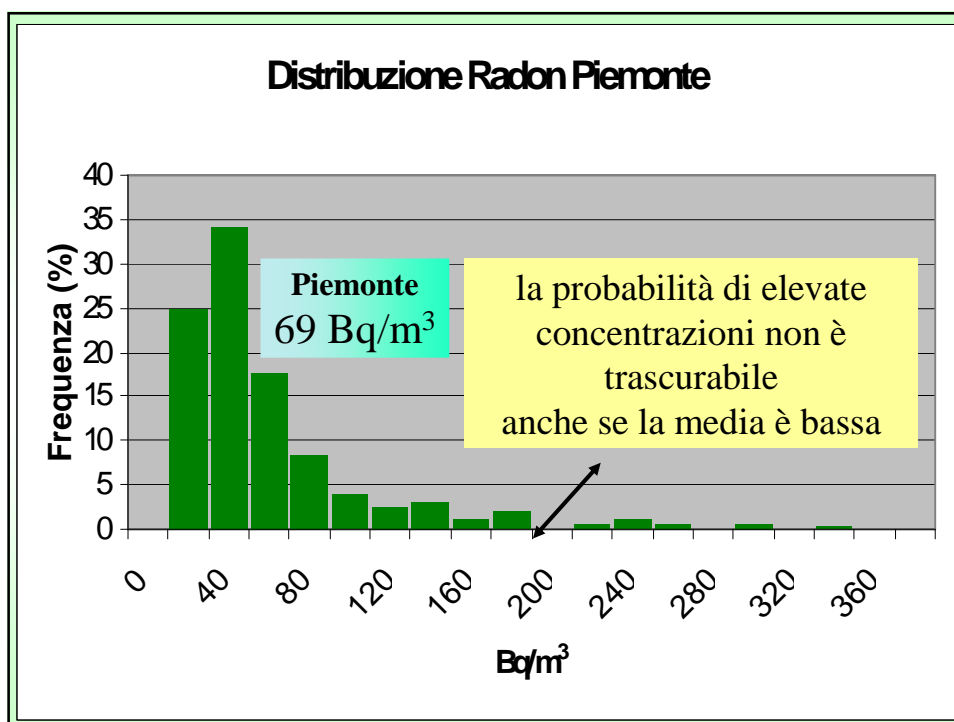


$$P\{\ln C_{Rn}\} = \frac{1}{\ln \sigma_g \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln C_{Rn} - \ln m_g}{\ln \sigma_g} \right)^2}$$

Distribuzione normale

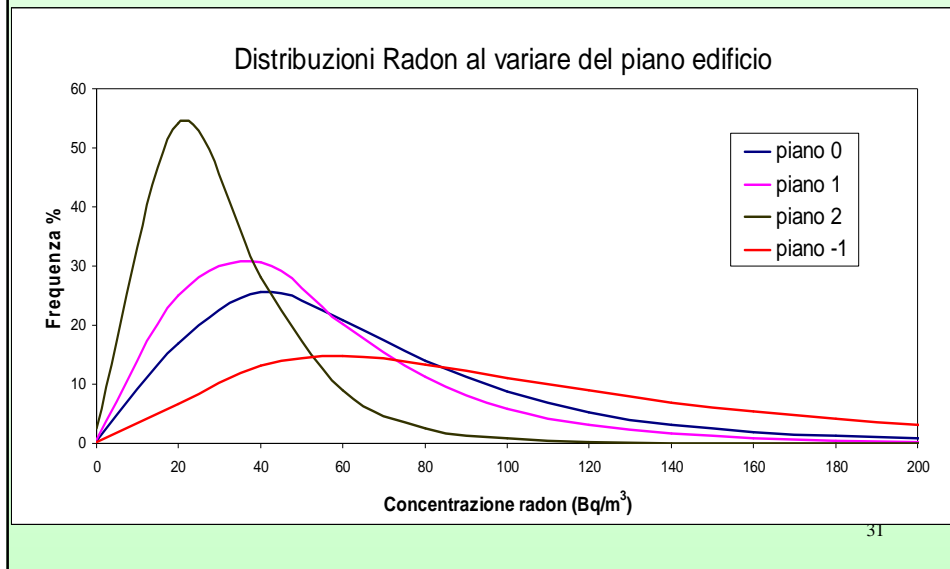


$$P\{x\} = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2}$$



Per fondere i dati “vecchi” eterogenei coi nuovi uniformati ad un unico standard sono state necessarie alcune normalizzazioni

## Normalizzazione al piano terra



## Normalizzazione al piano terra

- Partendo quindi dalla distribuzione log-normale al piano terra

$$f(C_{PT}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{PT}} \frac{e^{-\frac{(\log(C_{PT}) - \mu_{PT})^2}{2\sigma_{PT}^2}}}{C_{PT}}$$

e supponendo che valga una relazione lineare tra la concentrazione al piano terra ( $C_{PT}$ ) e la concentrazione ad un generico piano ( $C_{PX}$ )

$$C_{PX} = kC_{PT}$$



- Si ricava per un generico piano X la seguente distribuzione:

$$f(C_{PX}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{PX}} e^{-\frac{(\log(C_{PX}) - \mu_{PX})^2}{2\sigma_{PX}^2}}$$

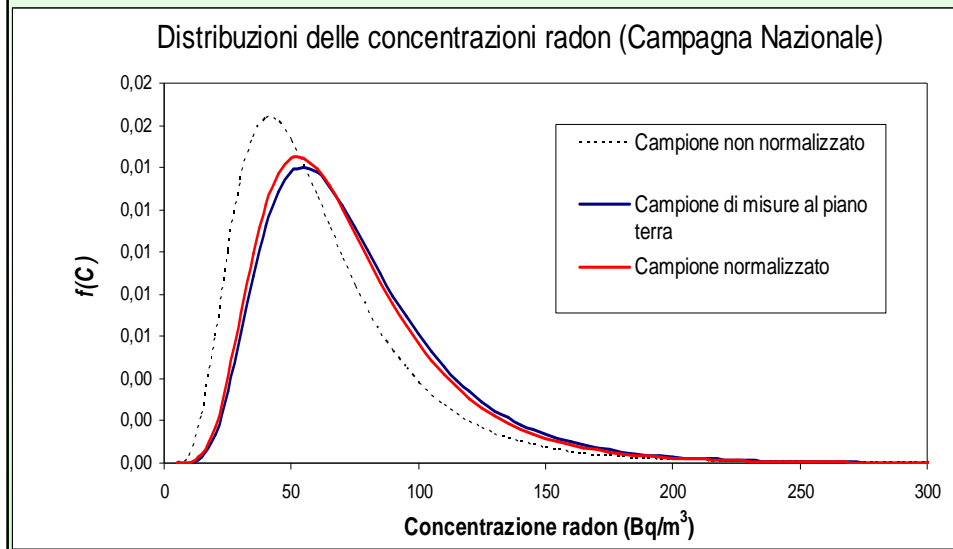
- dove k è dato da:

$$k = \frac{e^{\mu_{PX}}}{e^{\mu_{PT}}} = \frac{MG_{PX}}{MG_{PT}}$$

33

Dati Campagna Nazionale	tutto il campione	campione piani terra	campione normalizzato al piano terra
<b>media aritmetica (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	69,4	76,14	75,84
<b>media geometrica</b>	54,08	67,96	65,47
<b>deviazione standard geometrica</b>	1,67	1,59	1,60

## Risultato normalizzazione al piano terra



## Normalizzazione per tipologia abitativa

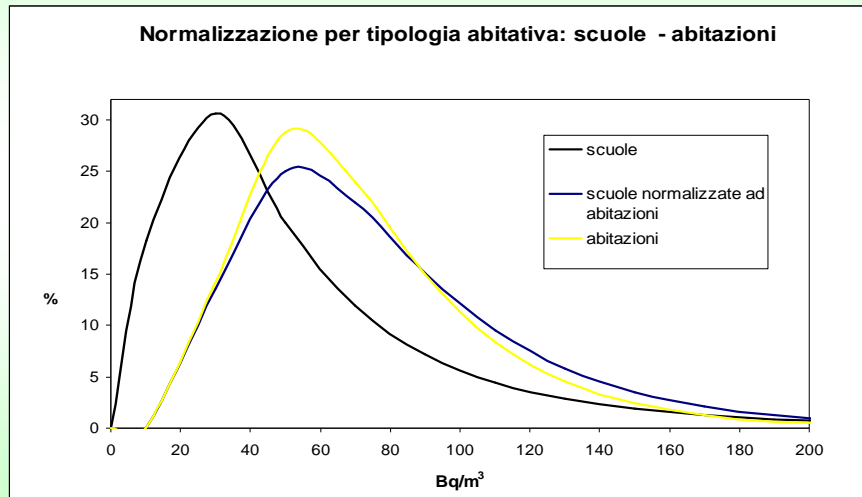
- Il criterio seguito per questa normalizzazione è differente
- Ci si è basati sull'assunzione che valesse:

$$C_{abitazioni} = C_{scuole} + \Delta C$$

- Dove  $\Delta C$  è dato da:

$$\Delta C = MG_{abitazioni} - MG_{scuole}$$

## Risultati normalizzazione per tipologia edificio



## Analisi dei dati

La distribuzione del radon in ogni Comune è stata valutata tramite un modello basato sull'analisi delle misure sperimentali di radon sovrapposte alle informazioni litologiche e geologiche del territorio. Varie litologie sono state caratterizzate dal punto di vista radiometrico con misure di spettrometria su campioni di rocce.

Dalla distribuzione del radon sono stati individuati gli indicatori per le unità territoriali di mappatura

Gli indicatori che sono stati scelti sono 2:

1. il valor medio  $M$  delle concentrazioni
2. la percentuale  $P_{\%LR}$  di abitazioni eccedenti un dato livello di riferimento  $LR$

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i$$

$$P_{\%LR} = 100 \cdot \int_{LR}^{\infty} \frac{e^{-\frac{(\ln c - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi \cdot \sigma \cdot c}} dc$$

39

Il calcolo dell'integrale è possibile conoscendo i parametri della distribuzione (log-normale) del radon,  $\mu$  e  $\sigma$  che vengono calcolati tramite le seguenti relazioni:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(c_i) \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(c_i) - \mu]^2}$$

40

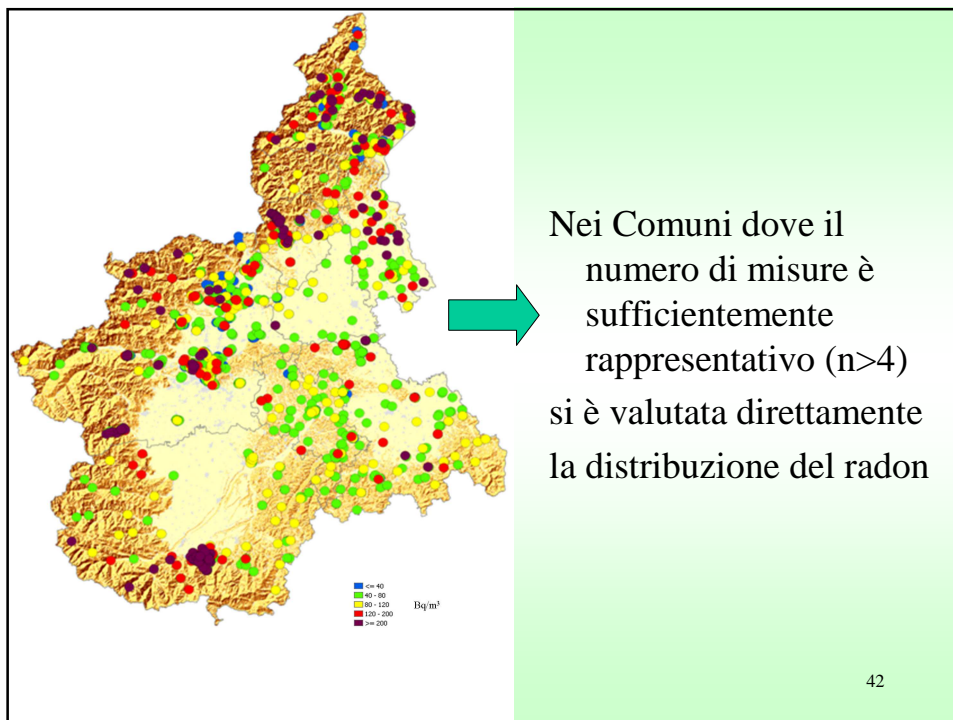
- $M$  è calcolato tramite la seguente formula:

$$M = \int_0^{\infty} \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} dx = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

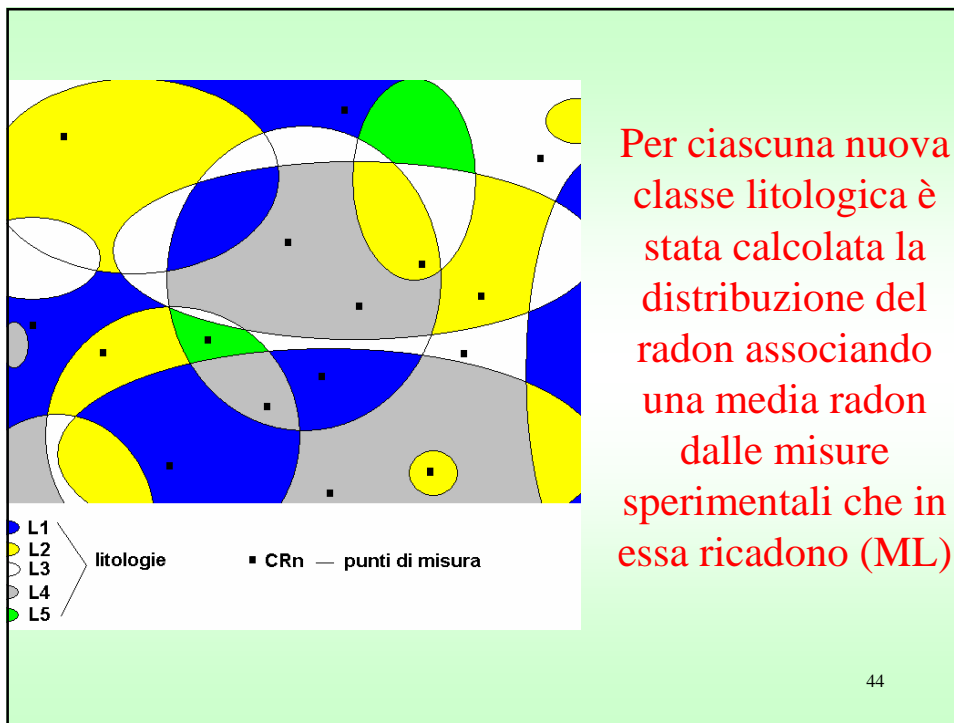
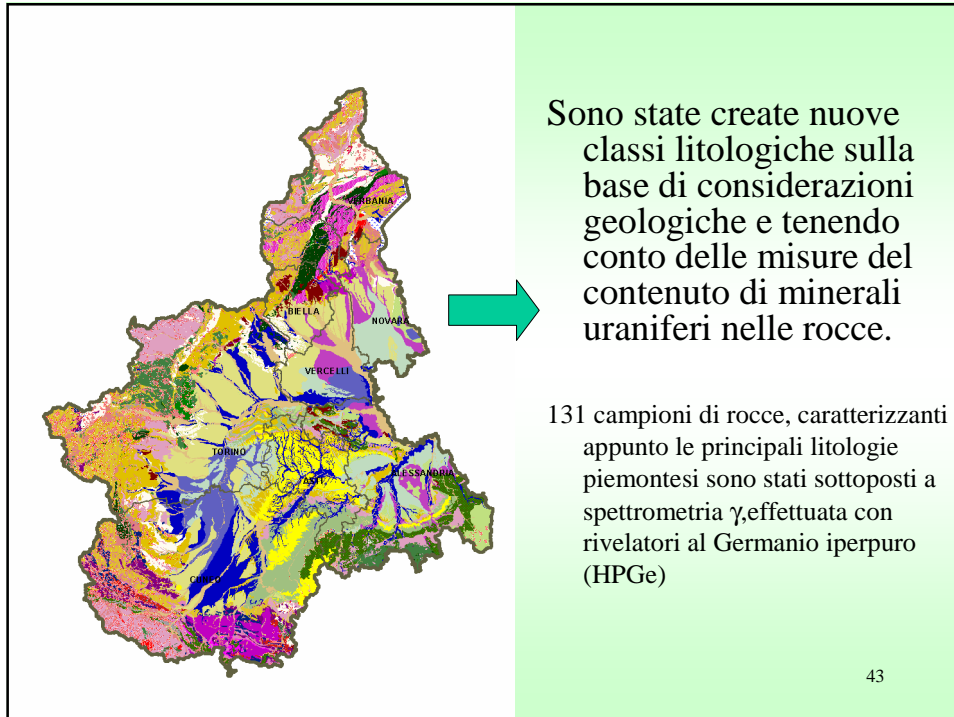
essendo noti  $\mu$  e  $\sigma$ , stimati nel modo che abbiamo appena visto

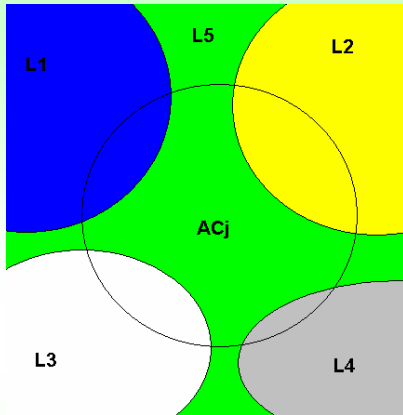
- $P_{\%LR}$  è invece, ovviamente, calcolato nello stesso modo

41



42





Calcolo del valor medio della concentrazione di radon  $M_j$  per un generico Comune  $j$  nel cui territorio si trovano un numero  $p$  di classi litologiche numerate con  $k$ :

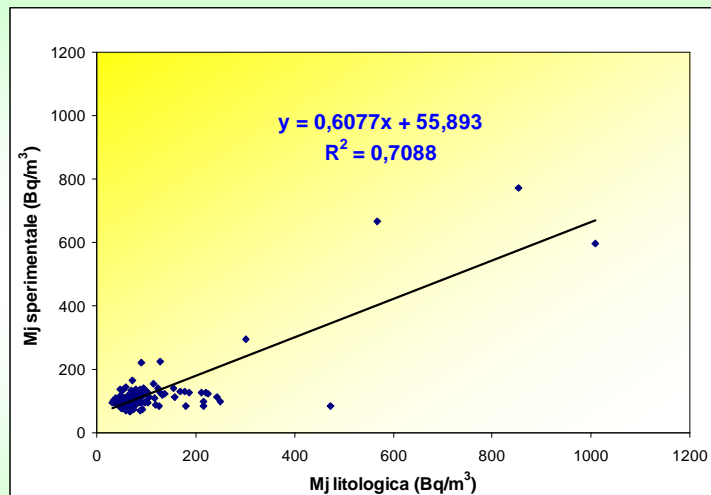
$$M_j = \sum_{k=1}^p \frac{AL_k \cap AC_j}{AC_j} \cdot ML_k$$

dove

$AL_k$  è l'area della  $k$ -esima area litologica che ricade nel territorio comunale  $j$ , di area  $AC_j$ ,  
 $ML_k$  è la media litologica tipica della  $k$ -esima area litologica

45

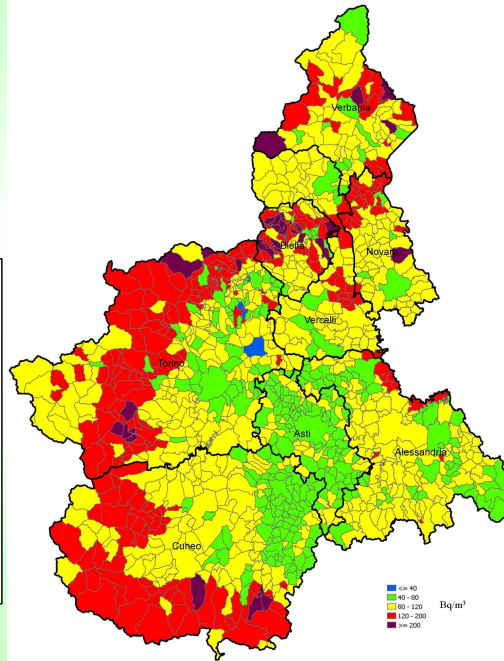
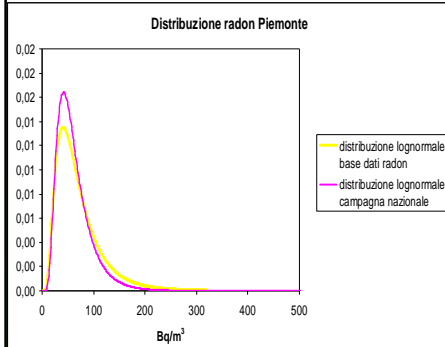
## validazione



Correlazione tra i valori sperimentali  $M_j$  (Bq/m<sup>3</sup>) di un generico Comune  $j$  e le corrispondenti stime litologiche basate sulla nuova classificazione radon-specifica

## RISULTATI

### indicatore media comunale



## RISULTATI

### indicatore

### % > 400 Bq/m<sup>3</sup>

