Corso di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente e nei Luoghi di Lavoro

Cenni sul rischio Radon

(8 ore)

Giancarlo Buccella

Lezione 1

- Introduzione
- Cosa c’è in natura di radioattivo
- Da dove proviene e cos’è il radon
- Breve storia del radon

Teoria atomica 1

- L'Universo è composto di materia ed energia, due aspetti della medesima entità visto che, come dimostrò Einstein, esse possono convertirsi l'una nell'altra secondo la relazione E = mc2.
  Oggi noi possediamo un modello sufficientemente dettagliato per descrivere la struttura della materia, il modello atomico. Parlare di atomi è attualmente quasi un fatto scontato, ma il modello atomico si affermò con difficoltà, nonostante sia stato proposto per la prima volta più di duemila anni fa.

  Le prime ipotesi sulla struttura e sulla natura della materia vennero infatti avanzate, agli albori del pensiero occidentale, in Grecia. A tal proposito possiamo individuare, in estrema sintesi, due problemi fondamentali intorno ai quali si sviluppò il dibattito filosofico su questo tema:

- **A) *continuità/discontinuità della materia: l'atomo***

  Da una parte **Aristotele** che ipotizza l'esistenza di una **materia continua**, divisibile indefinitamente in frammenti sempre più piccoli e quindi irriducibile ad unità elementari.
  Dall'altra **Democrito di Abdera** (IV sec a.C.) anche se il primo ad aver parlato di atomi fu Leucippo), che ritiene invece la **materia discontinua** e sostiene pertanto l'esistenza di particelle minuscole, chiamate atomi, invisibili, incorruttibili ed eterne.
  Le idee di Democrito sopravvissero nei secoli. Furono divulgate da Epicuro di Samo (III sec. a.C.) e, nel mondo latino, da Tito Lucrezio Caro (95-55 a.C.) nel "De Rerum Natura".

L’idea di atomo

Il concetto di atomo (dal greco "atomòs", "indivisibile") quale costituente della materia trae origine dall’antica filosofia greca: la sua esistenza venne ipotizzata nel 450 a.C. da *Leucippo*, fondatore della teoria "atomistica" e ribadita nel 420 a.C. dal suo allievo *Democrito* che giunse ad affermare:

***”In verità esistono solo atomi e il vuoto*".**

Leucippo

Le idee di Democrito vennero riprese nel 300 a.C. da Epicuro che attribuì ai moti casuali degli atomi il formarsi delle differenti realtà che l'uomo è in grado di percepire.
Il Medioevo osteggiò fortemente la concezione materialista della realtà e l’atomismo, la cui vera ripresa avvenne nel XVII secolo, rimase una dottrina filosofica fino all’inizio del XIX secolo, quando negli studiosi si consolidò l’idea di una natura discontinua, formata da atomi e molecole.

Teoria atomica 2

B) ***complessità/semplicità della materia: l'elemento***

- La ricerca dell'αρχηε, del 'principio primo', dal quale discendeva tutta la molteplicità dell'essere, rappresentò forse l'elemento peculiare della prima speculazione greca intorno al mondo. Il problema di poter ricondurre l'enorme varietà di sostanze conosciute alla combinazione di poche sostanze semplici significava fondamentalmente razionalizzare il mondo e quindi "spiegare" i fenomeni complessi riconducendoli e riducendoli alla loro composizione elementare.
- A parte i primi tentativi effettuati in tal senso dai primi 'Fisiologi' presocratici, come **Talete** (624-546 a.C.) che individuò nell'acqua il principio primo o **Anassimene** (586-528 a.C.) che lo identificò nell'aria, l'ipotesi che ebbe la maggior fortuna durante tutto il medioevo, grazie all'autorevole consenso di Aristotele, fu senza dubbio quella di **Empedocle** (490-430 a.C.). Secondo tale ipotesi **tutta la materia era composta da quattro sostanze fondamentali ed elementari**: **l'aria, l'acqua, la terra e il fuoco.**

- Le prime definizioni moderne si devono a Boyle e a Newton.

- Per R.**Boyle** (1627-1691) gli elementi sono *"corpi primitivi, semplici, incontaminati, che, non essendo costituiti da altri corpi o di loro mescolanze, sono ingredienti di cui i corpi misti sono costituiti e nei quali questi possono essere in definitiva risolti".*

  Mentre **Newton** immaginò gli atomi come minuscole sfere, dominate solo da forze attrattive e repulsive.dal greco atomos, indivisibile. In Opticks così scrive: "*In principio Dio creò la materia in particelle mobili, impenetrabili, dure, massicce, solide...."*

Teoria atomica 3

- Oggi la nostra idea di atomo è notevolmente cambiata rispetto al modello newtoniano, ciononostante vi sono ambiti della chimica e della fisica moderna (teoria cinetica dei gas, ad esempio) in cui tale modello risulta essere ancora perfettamente adeguato ed in grado di giustificare alcuni comportamenti della materia.

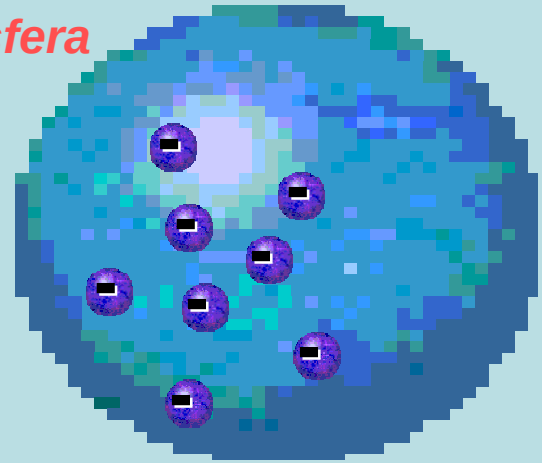
  La concezione moderna nasce tra la fine del ‘700 e l’inizio dell’800, e giunge ad unificare il concetto di atomo e di elemento. Tale unificazione si produce con la formulazione da parte di **Dalton** della **Teoria atomica**, che possiamo così sintetizzare
- 1. La materia è composta di atomi indivisibili ed inalterabili;
- 2. Esistono atomi con caratteristiche differenti. Tutti gli atomi di uno stesso tipo costituiscono le sostanze semplici o **elementi**;
- 3. Le trasformazioni chimiche si producono per unione o separazione di atomi secondo rapporti rigorosamente determinati e caratteristici per ogni sostanza chimica.

L'atomo panettone

Nel 1897, in seguito alla scoperta della natura corpuscolare dei raggi catodici da parte di Perrin, il fisico Joseph John Thomson ipotizzò l'esistenza di una particella carica negativamente, l'elettrone, e realizzò il primo modello atomico, secondo il quale l'atomo, che nel suo insieme era neutro, era costituito da una sfera il cui raggio era di circa 10^{-10} m.

J.J. Thomson

La carica positiva era pensata diffusa nel volume della sfera

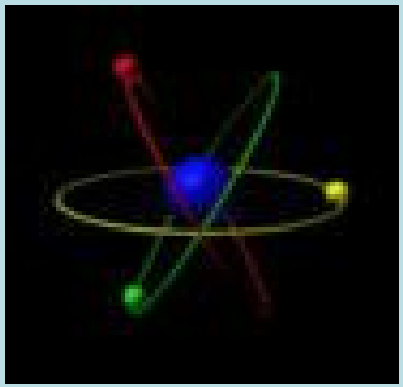


La sfera era carica positivamente ed i corpuscoli negativi erano disseminati in essa come l'uvetta nel panettone . Questo modello è infatti passato alla storia come "*modello a panettone*"

Il modello planetario

In seguito allo studio della deflessione di particelle α da parte di una sottile lamina d'oro, Rutherford elaborò tra il 1908 e il 1911 il modello planetario dell'atomo.

Gli elettroni ruotano intorno ad un nucleo delle dimensioni di 10^{-15} m in cui è concentrata tutta la carica positiva, come i pianeti del sistema solare ruotano intorno al sole.



Nel nucleo è concentrata la quasi totalità della massa dell'atomo. Gli oggetti sono quindi per lo più "vuoti". Nasce così il concetto di nucleo.

L’atomo di Bhor

Tuttavia l’atomo proposto da Rutherford non poteva essere stabile secondo le leggi dell’elettrodinamica classica. Infatti gli elettroni cadrebbero sul nucleo (dopo un tempo dell’ordine di 10^{-8} s!), poiché muovendosi di moto accelerato irraggiano energia. Bohr riprese così il modello planetario, mantenendo il concetto di nucleo e introducendo due postulati:

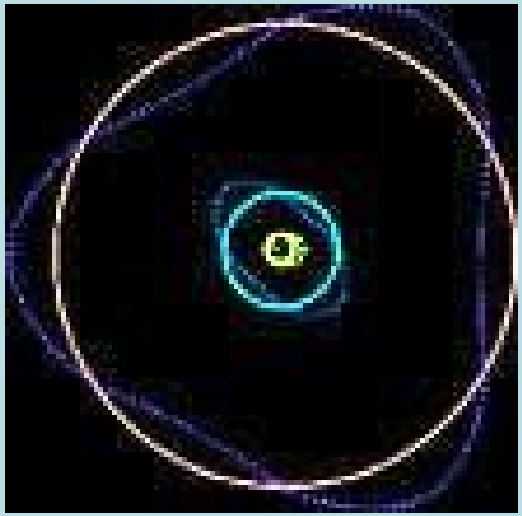
- **solo un numero discreto di orbite circolari sono permesse agli elettroni che ruotano intorno al nucleo (<u>quantizzazione delle orbite</u>),**
- quando un elettrone si trova in una di queste orbite non irradia energia; gli elettroni possono variare la propria energia solo in seguito alla transizione tra due orbite permesse

(<u>quantizzazione dell’energia</u>).

Materia: onda o corpuscolo

Il modello di Bohr venne perfezionato da Sommerfeld che introdusse delle orbite ellittiche per gli elettroni.
Il principio di Heisenberg escluse la possibilità di conoscere posizione e velocità dell'elettrone contemporaneamente in un punto.

L. de Broglie

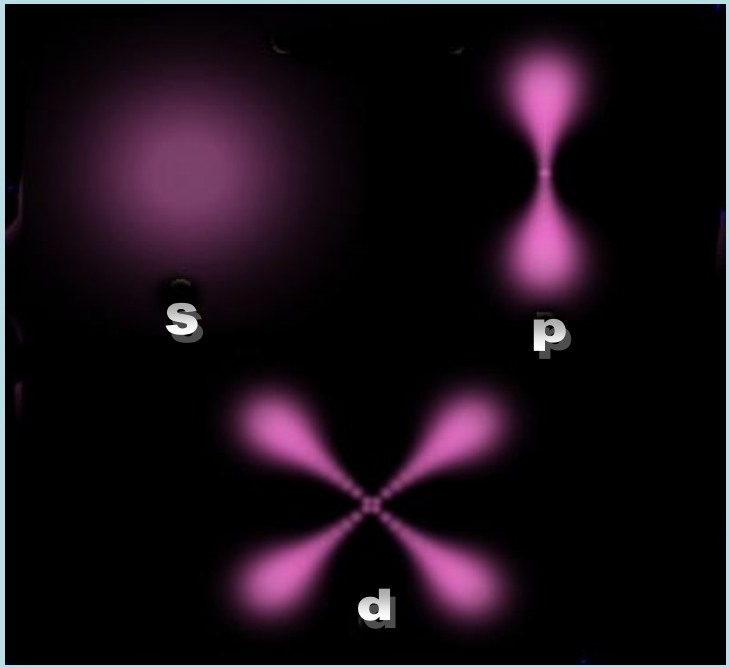


Una spiegazione della discretizzazione delle orbite permesse agli elettroni venne fornita da de Broglie che estese il dualismo onda-corpuscolo della luce anche alla materia. Le orbite descritte dagli elettroni intorno al nucleo sono quelle che verificano la condizione di "onda stazionaria".

Il modello quantistico

E. Schroedinger

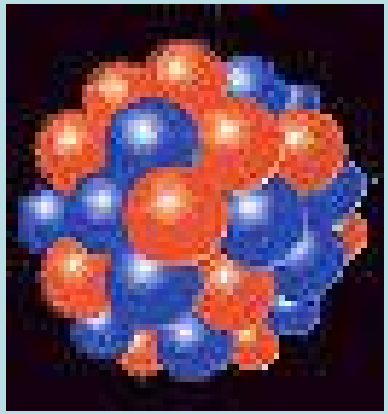
Schroedinger nel 1926 riunì in una sola equazione l'intuizione di De Broglie del dualismo onda-corpuscolo e il principio di indeterminazione di Heisenberg.

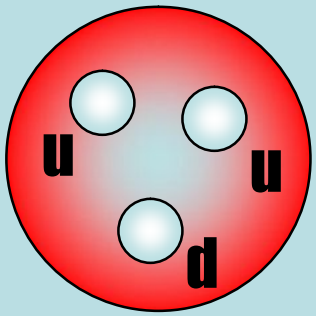


Ogni elettrone è quindi descritto da un'onda, la cui ampiezza dà la probabilità di trovare l'elettrone in una data posizione intorno al nucleo.
Nacquero così gli orbitali, cioè le regioni di spazio nelle quali è più elevata la probabilità di trovare l'elettrone.

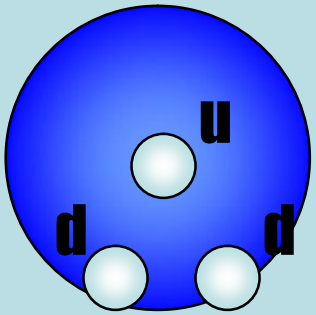
Il nucleo

Per quanto riguarda il nucleo Chadwick (1932) mostrò che questi era composto non solo da cariche positive (protoni) ma anche da particelle elettricamente neutre (neutroni), cioè prive di carica elettrica.





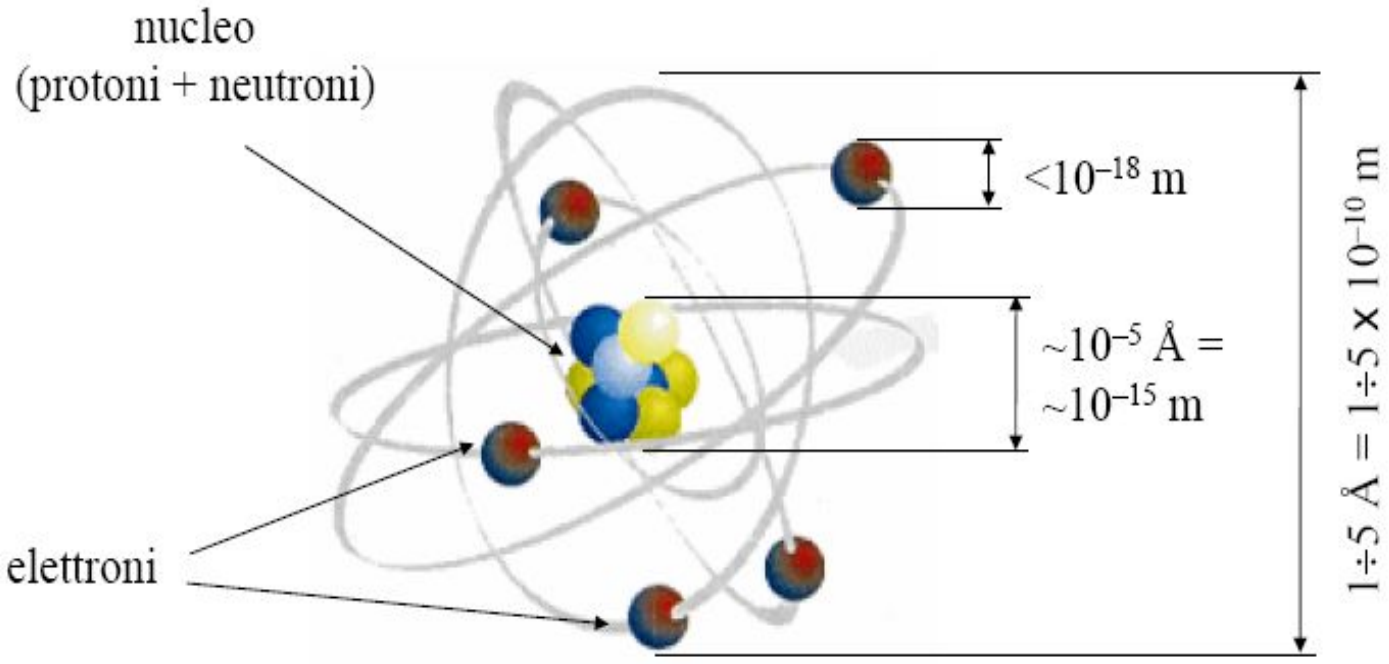
protone



neutrone

Le teorie attualmente in vigore, suppongono che sia il neutrone che il protone siano costituite da quark, particelle elettricamente cariche con carica pari ad un terzo di quella dell'elettrone, mentre l'elettrone sia indivisibile. Esistono due tipi di quark, quark up (*quark-u*) e quark down (*quark-d*)

Com'è fatto l'atomo?



1 nm (nanometro) = 10^{-9} m
1 Å (Ångstrom) = 10^{-10} m
1 pm (picometro) = 10^{-12} m

Se il nucleo dell'atomo di idrogeno avesse le dimensioni di una palla da tennis, l'elettrone si troverebbe ad una distanza di circa 2000 m con dimensione praticamente puntiforme.

Caratteristiche delle particelle subatomiche

Particella	Carica (C)	Carica (e)	Massa* (kg)
NEUTRONE (n)	0	0	1.675×10^{-27}
PROTONE (p)	1.602×10^{-19}	+1	1.673×10^{-27}
ELETTRONE (e)	-1.602×10^{-19}	–1	9.1094×10^{-31}

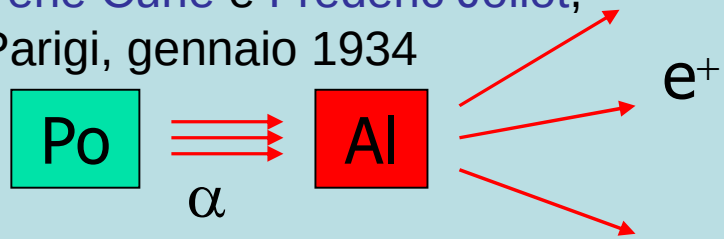
La scoperta della radioattività

- Nel **1896 Henri Becquerel** scoprì casualmente la **radioattività** dell'Uranio. Le sue ricerche sulla radioattività vennero proseguite dai **coniugi Curie** e poi da **Rutherford**, il quale per primo nel 1898 riconosce le radiazioni da lui chiamate α (**alfa**) e β (**beta**), emesse da elementi radioattivi.

  Ben presto risulta chiaro che le radiazioni beta sono costituite da elettroni come i raggi catodici, mentre per lungo tempo resta oscura la natura delle radiazioni alfa.
- Pochi anni più tardi **P. Villard** in Francia scoprì che tra le radiazioni emesse da una sostanza radioattiva ve ne sono di un terzo tipo, chiamate γ (**gamma**), che si riconoscono simili ai raggi X.
- Bisogna aspettare il **1904** perchè **Rutherford** dimostri che la radiazione alfa è costituita da nuclei di Elio. Lo stesso Rutherford, con la collaborazione di Soddy, fu in grado ben presto di dimostrare che durante l'emissione delle radiazioni alfa e beta, **l'elemento radioattivo si trasforma, con un ritmo caratteristico, in un elemento di peso e numero atomico diverso (e quindi in un altro elemento chimico).**

La radioattivita' artificiale

- Scoperta della radioattività indotta- tramite bombardamento di alfa su atomi non radioattivi
- Irène Curie e Frédéric Joliot, Parigi, gennaio 1934



L'emissione di positroni persiste anche dopo l'allontanamento della sorgente

$$\alpha + {}_{13}Al^{27} \rightarrow {}_{15}P^{30} + n$$

${}_{15}P^{31}$: isotopo stabile

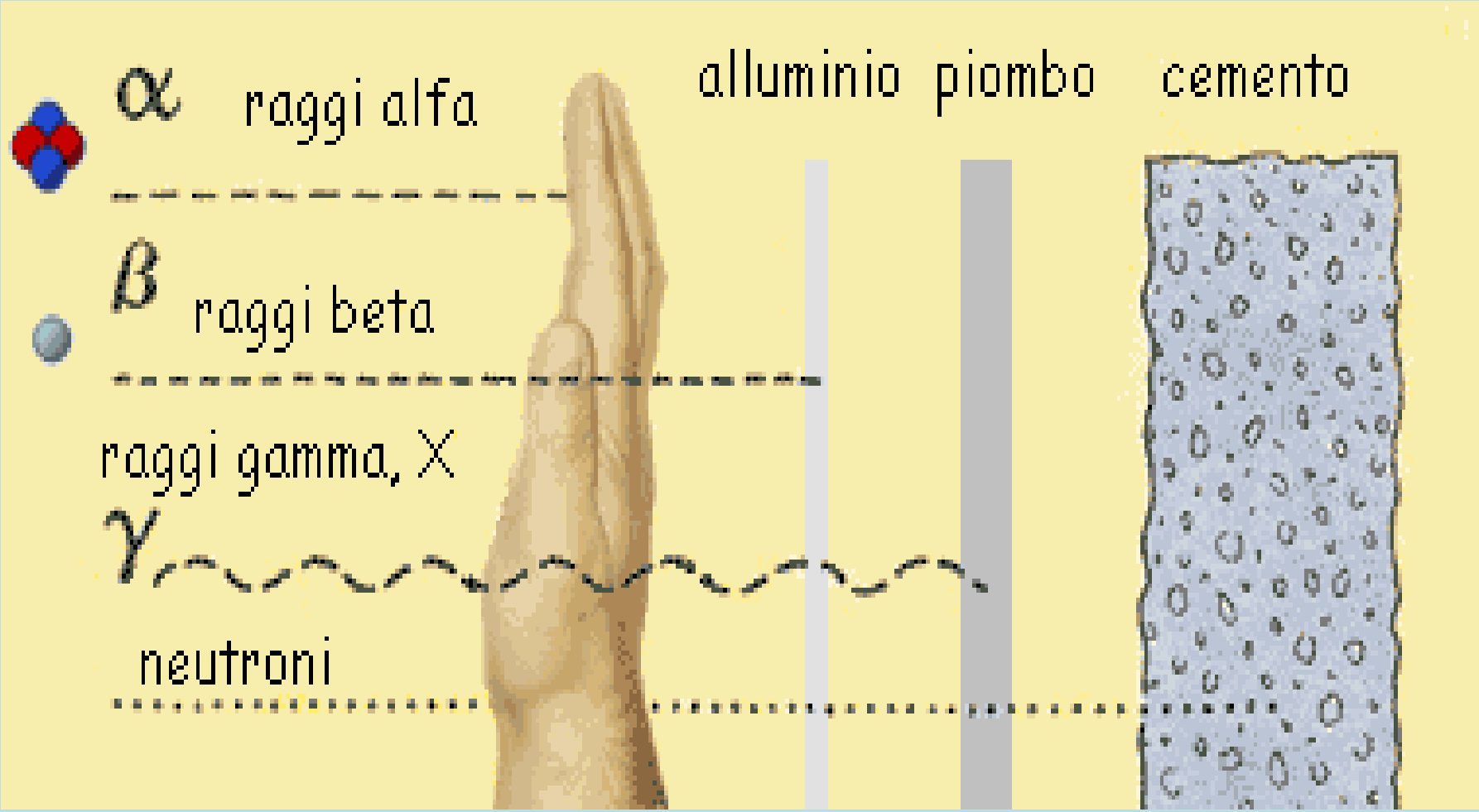
${}_{15}P^{30}$: isotopo radioattivo β^+ non esistente in natura

- **Raggi alfa** Particelle costituite da nuclei di Elio (2 neutroni e 2 protoni) ed hanno carica 2^+
- Energia: da 4 a 9 Mev
- Velocità: da 15.000 a 20.000 Km/s (circa il 6% di c)
- Potere penetrante: **in aria percorrono meno di 10 cm**. (Range in aria) --- (alfa del Rn circa 4 cm)
- Potere ionizzante: molto elevato (con un'energia di 3 Mev producono 4000 coppie di ioni per millimetro in aria)
- Grado di pericolosità: sono pericolose solo se emesse da una sorgente interna al corpo umano

- **Raggi beta** Particelle costituite da elettroni (sia positivi che negativi)
- Energia: da qualche Kev a molti Mev ma di rado superiore ai 4 Mev
- Velocità: da 150.000 Km/s (circa il 50% di c)
- Potere penetrante: debole (100 volte minore dei raggi gamma e 100 volte superiore ai raggi alfa) **in aria percorrono circa un metro** (Range in aria)
- Potere ionizzante: molto basso (4 coppie di ioni per millimetro in aria con energia di 3 Mev)
- Grado di pericolosità: il limitato potere penetrante fa si che siano pericolose solo se emesse da
- sorgente interna al corpo umano.

- **Raggi gamma** Onde eletromagnetiche con λ compreso fra 10^{-11}m e 10^{-14}m
- Energia: da qualche Kev a molti Mev (ma di rado superiore ai 10 Mev)
- Velocità: pari a "c" (velocità della luce)
- Potere penetrante: forte **in aria percorrono centinaia di metri**, non è possibile definire un range ma solo il SEV (qualche cm di piombo ne diminuisce l'intensità di un fattore due)
- Potere ionizzante: indiretto per messo degli elettroni secondari
- **Grado di pericolosità: sempre molto pericolosi** anche se emessi da sorgente esterna al corpo umano.

Differenze di penetrazione



SORGENTI DI RADIAZIONE NATURALE

La radiazione naturale può essere suddivisa nei seguenti tre contributi:

- · Radiazione cosmica **(al livello del mare)** (circa **0.30** mSv/anno)

  Il Flusso è di circa 100/s m^2 - quasi tutti dovuti a muoni ed el., poi p, n e gamma-
  (una particella per cm2/min)

- · Radiazione cosmogenica (circa **0.01** mSv/anno)

  (quasi tutto dovuto al C-14, poi Be-7 e H-3)

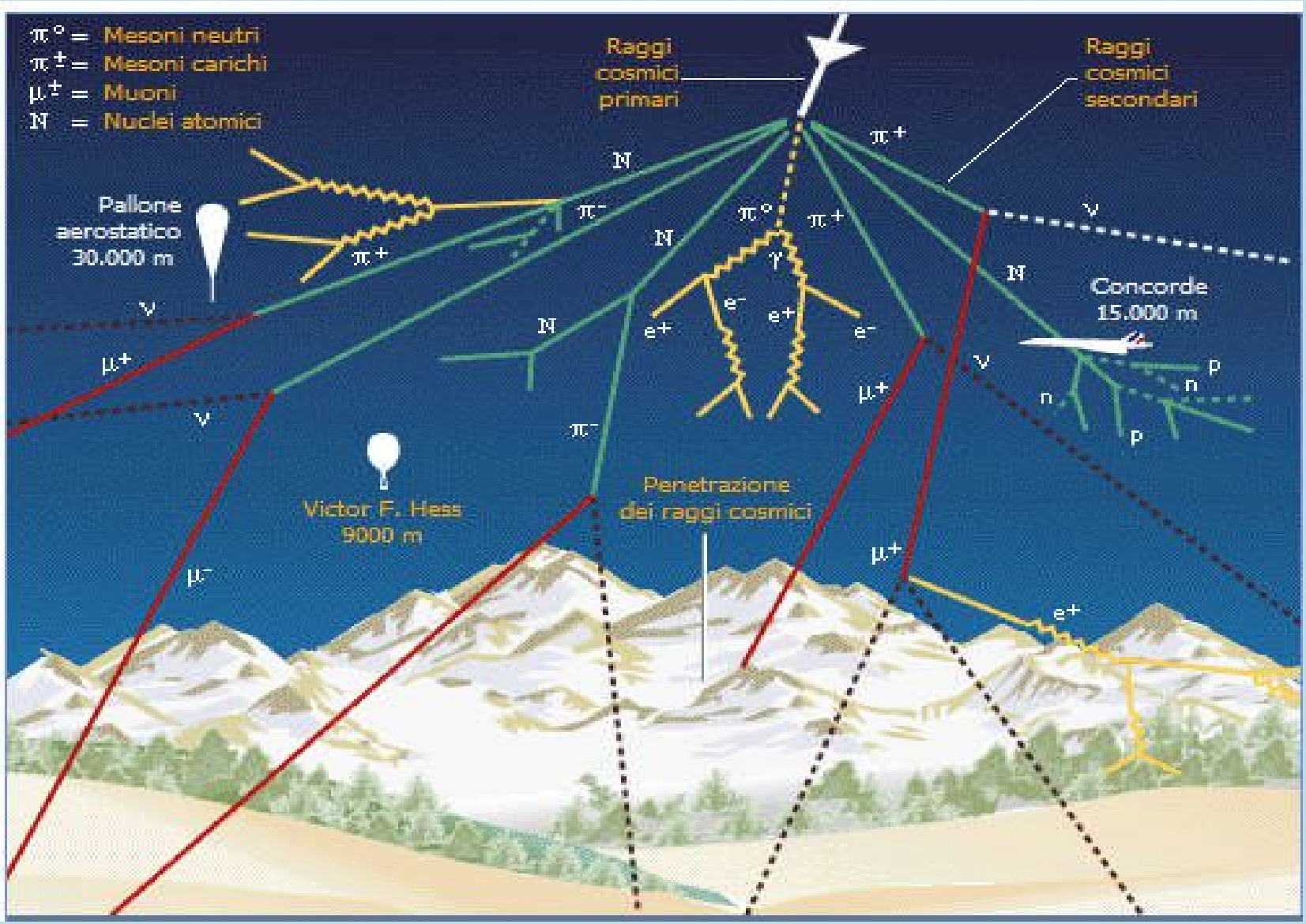
- · Radiazione terrestre (circa **3.00** mSv/anno)

  - *esterna* 0.6 mSv/anno (fondo gamma) , *interna* 2.4 mSv/anno- (di cui 2 mSv/anno dovuto al solo Radon)
  rad. Gamma rad. Alfa

Radiazione cosmica

- **I raggi cosmici sono perlopiù di origine galattica, la componente principale (98%) è di natura adronica mentre il restante 2% è di natura leptonica (elettroni e muoni). La componente adronica è costituita da 88% di protoni, 11% di particelle α ed il restante da nuclei più pesanti. La radiazione cosmica primaria ha un'energia che si estende da 100MeV fino a 10^{14} MeV.**
- **Una seconda componente di radiazione cosmica ha origine dalla superficie solare. Essa è costituita da protoni con energie generalmente inferiori a 100 MeV e comunque raramente superiori a 10GeV. Questa componente può essere responsabile della dose in alta quota, al contrario il contributo al livello del mare è scarsamente significativo ed è dovuto solamente alla componente più energetica. Il campo magnetico terrestre modula l'intensità della radiazione cosmica. L'effetto prodotto è una maggiore intensità in corrispondenza dei poli ed una minore intensità in corrispondenza dell'equatore.**
- **L'interazione di particelle di alta energia produce sciami di particelle secondarie composti principalmente di protoni, neutroni, pioni e nuclei a basso numero atomico**
- **Si è stimata in circa 300 μS/anno la dose dovuta alla radiazione cosmica al livello del mare all'aperto**
- **N.B. I raggi cosmici furono scoperti da Victor Hess nel 1912, tra di essi vi è la particella più elusiva che esista: il neutrino, ne arrivano dal Sole circa 10^{11} cm^2/s.**
- **Il flusso della radiazione cosmica dipende dall'altezza (max a circa 20 Km) e dalla latitudine (max all'equatore)- a 1500 m la dose raddoppia**

I raggi cosmici



Radiazione cosmogenica

L'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera produce un certo numero di radionuclidi.

- L'elenco completo dei radionuclidi cosmogenici con tempi di dimezzamento superiori ad 1 giorno è riportato in tabella

Element	*Isotope*	*Half-life*	*Decay mode*
Cosmogenic radionuclides			
Hydrogen	^{3}H	12.33 a	beta (100%)
Beryllium	^{7}Be	53.29 d	EC [a] (100%)
	^{10}Be	$1.51\ 10^{6}$ a	beta (100%)
Carbon	^{14}C	5730 a	beta (100%)
Sodium	^{22}Na	2.602 a	EC (100%)
Aluminium	^{26}Al	$7.4\ 10^{5}$ a	EC (100%)
Silicon	^{32}Si	172 a	beta (100%)
Phosphorus	^{32}P	14.26 d	beta (100%)
	^{33}P	25.34 d	beta (100%)
Sulphur	^{35}S	87.51 d	beta (100%)
Chlorine	^{36}Cl	$3.01\ 10^{5}$ a	EC(1.9%), beta (98.1%)
Argon	^{37}Ar	35.04 d	EC (100%)
	^{39}Ar	269 a	beta (100%)
Krypton	^{81}Kr	$2.29\ 10^{5}$ a	EC (100%)

Tra i più importanti ricordiamo H-3, Be-7, C-14 e Na-22, i restanti sono trascurabili dal punto di vista radioprotezionistico. Le più recenti stime indicano la seguente stima di dose efficace annua: C-14: 12 µSv , Be-7: 0.03 µSv , Na-22: 0.15 µSv, H-3: 0.01 µSv

Radiazione di origine terrestre

- I Radionuclidi primordiali sono così chiamati in quanto hanno un tempo di dimezzamento che è paragonabile con l'età della terra (circa 5 miliardi di anni). L'irradiazione esterna alla popolazione è dovuta principalmente alla radiazione gamma delle famiglie radioattive aventi come capostipite U-238 e Th-232 e dal radioisotopo K-40, **per oltre il 50% al solo Radon**.
- L'esposizione esterna è dovuta ai radionuclidi presenti in tracce nel suolo e nei materiali da costruzione. Concentrazioni maggiori di radionuclidi si trovano in rocce di origine vulcanica e concentrazioni minori in rocce sedimentarie. Fanno eccezione alcuni tipi di argilla ed alcune rocce fosfatiche.

L’ipotesi attuale sull’origine del cosmo (1)

- La storia dell’Universo inizia circa 15 miliardi di anni fa (secondo le attuali teorie).
- Prima di questo avvenimento la materia non esisteva nella forma che noi conosciamo e siamo abituati a concepire, ma si presentava sotto forma di energia pura. Non si può comunque dire nulla sullo stato dell’Universo prima del momento iniziale, che gli astronomi chiamano T=0. Si suppone che in quell’istante tutto fosse condensato in un punto di dimensioni nulle e di energia infinita, la *"singolarità"* dove il concetto di tempo cronologico non aveva significato, perché il tempo stesso doveva nascere!
  La nostra comprensione dell’Universo arriva al tempo $T=10^{-43}$ secondi dopo il Big Bang; in quel momento tutte le quattro forze fondamentali della natura, cioè la gravità, la forza nucleare forte, la nucleare debole e la forza elettromagnetica, erano unificate, questa condizione era resa possibile dalla temperatura elevatissima. Alcuni miliardesimi di secondo dopo le quattro forze si separano; la prima è la gravità, poi seguono le altre. Possono formarsi ora le particelle elementari come i Quark ed i Fotoni che sono i mattoni della materia ordinaria.
  In questo istante avviene quello che gli scienziati chiamano *"inflazione"* che fa assumere all’Universo la dimensione di un centimetro in un miliardesimo di secondo ciò equivale a dire, a conti fatti, che l'Universo si espande ad una velocità maggiore di quella della luce.
  La teoria dell'Universo inflazionario, anche se difficile da verificare, è plausibile e viene in aiuto nella spiegazione di alcuni comportamenti e fatti inspiegabili del neonato Universo; primo fra tutti il fatto che l'Universo attuale, almeno quello che conosciamo noi, è formato da materia, che è ciò che rimane del "brodo primordiale"; un miscuglio di materia ed antimateria. In teoria tali entità erano uguali. La materia attuale potrebbe dunque essere il risultato di fenomeni prodotti dall'esistenza di specie di "fluttuazioni" create dall'espansione inflazionaria.

L’ipotesi attuale sull’origine del cosmo (2)

- Un millesimo di secondo dopo il Big Bang i quark si riuniscono tra loro in tripletti formando così i protoni (duu) e neutroni (ddu).
  In quei momenti non avremmo potuto vedere assolutamente nulla in quanto i fotoni, che sono i portatori di energia luminosa, interagivano con i protoni ed i neutroni.
  Dovranno passare circa 300.000 anni perchè la materia diventi stabile e si riunisca secondo schemi chimici elementari (epoca della ricombinazione) formando due gas semplici: l’idrogeno e l’elio. I fotoni a questo punto non interagiscono più e vengono rilasciati con omogeneità in ogni parte dell’Universo sotto forma di radiazione elettromagnetica . Oggi questa radiazione viene chiamata *"radiazione fossile a 3K"*, è omnidirezionale assolutamente omogenea; essa costituisce la prova più convincente a sostegno della teoria del Big Bang.
  Da questo momento in poi abbiamo a che fare con una situazione più familiare; lo Spazio ed il Tempo si dilatano, le galassie che presto si sono formate si allontanano tra di loro: l'Universo si espande e la velocità di allontanamento è tanto maggiore quanto più esse sono distanti, proprio come se fossimo al centro dell'Universo, ma proprio perché immersi in nello Spazio-Tempo, cioè un Universo quadridimensionale, questo è vero in qualsiasi punto, facendolo sembrare erroneamente un punto privilegiato.
  Quanto durerà l'espansione? E' una questione di grande attualità negli studi della cosmologia moderna.
  Tutto dipende dalla quantità di materia contenuta nell'Universo. Se la massa sarà minore di un certo valore l'espansione continuerà all'infinito, se sarà uguale l'espansione ad un certo punto si arresterà e se sarà maggiore l'Universo un giorno inizierà a contrarsi fino a ridiventare una "singolarità".

Dove si formano gli elementi?

- Gli elementi - ad eccezione dell'idrogeno e dell'elio- si formano nelle stelle, a partire dall'idrogeno essi si formano per reazioni di fusione nucleare, assorbimento di neutroni e decadimenti beta fino al ferro, dal ferro in poi gli elementi invece si formano durante la convulsa fase di esplosione di supernove.

- Quando, alla fine della loro vita, le stelle esplodono rilasciano nello spazio tutti gli elementi che poi formeranno i futuri pianeti.

In effetti *siamo figli delle stelle!!*

GRANDEZZE FONDAMENTALI DELLA DOSIMETRIA

- In questa relazione (e in genere, quando si ha a che fare con la radioattività) faremo spesso uso di alcune grandezze specifiche della dosimetria; le richiamiamo qui brevemente, per facilitare la comprensione dei contenuti che seguono.

Attività di una sorgente radioattiva = numero di disintegrazioni che si verificano nell'unità di tempo.

L'unità di misura dell'attività è il Bequerel [simbolo Bq], che equivale ad una disintegrazione in un secondo.

Per misurare questa grandezza viene anche spesso utilizzato il Curie [simbolo Ci]; si ha: 1 Ci = $3{,}7 \times 10^{10}$ Bq (1Ci è l'attività di un grammo di Radio).

(Ricordiamo che l'attività di un campione di radionuclidi in un istante è direttamente proporzionale alla quantità di nuclidi non ancora decaduti presenti in quel momento, ed è inversamente proporzionale alla vita media della sostanza : $\Delta N / \Delta t = N / \tau$).

Dose assorbita ed efficace

(D) Dose assorbita = energia da radiazione che viene assorbita nell'unità di massa.

L'unità di misura della dose è il Gray [simbolo Gy], ed equivale ad un J/Kg

(E) Dose efficace = energia che viene assorbita in media nell'unità di massa, pesata in modo da tener conto dell'efficacia di ogni tipo di radiazione presente nel creare danni ad un organismo completo, composto da molti tipi di tessuto biologico.

(Per i gamma e beta Q=1 per le alfa Q=20)

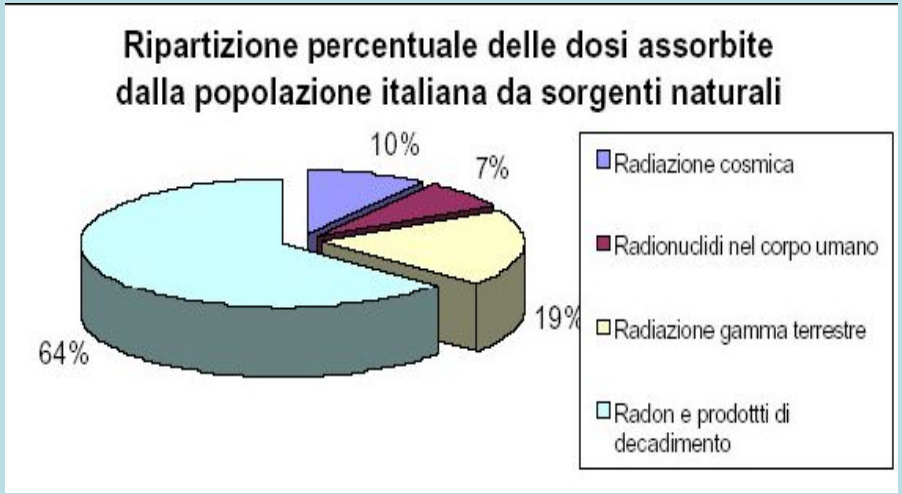
L'unità di misura della dose efficace è il Sievert [simbolo Sv], ed equivale ad un Joule al chilogrammo rilasciato da una radiazione fotonica (raggi X o γ) sul corpo intero di una persona

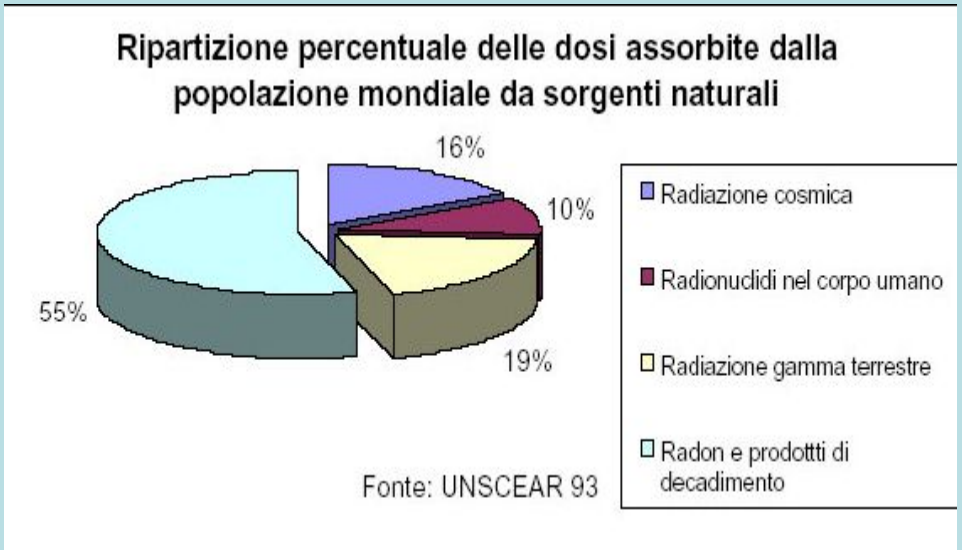
- notiamo che una una radiografia al torace a 0.2 mSv- mentre unaTAC porta all'assorbimento tra 5 e 10 mSv, nel drenaggio biliale si arriva addirittura a 40 mSv cioè una dose oltre dieci volte la dose di un anno dovuta alla radioattività naturale.

Dose media dovuta alle sorgenti naturali

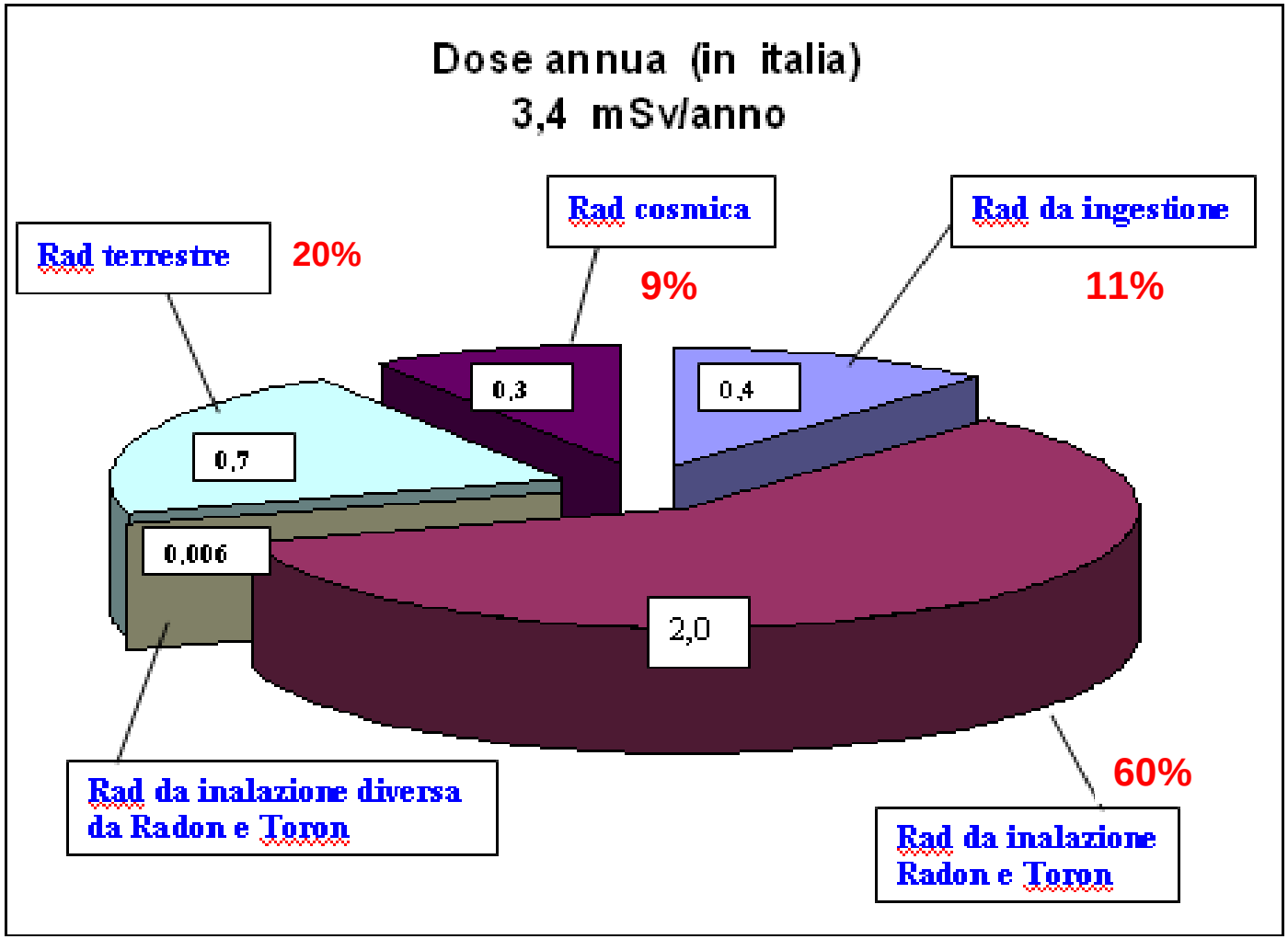
- Radionuclidi primordiali presenti nei materiali della crosta terrestre fin dalla sua formazione: K-40, Rb-87, U-238, Th-232 e U-235
- Nell'aria la radiazione naturale è dovuta principalmente al radon ed al toron, gas 7.5 volte più pesanti dell'aria e tendono ad accumularsi nei locali chiusi, soprattutto pian terreno o scantinati e interrati.
- I materiali da costruzione quelli più radioattivi sono: il granito, la pietra pomice, il fosfato di gesso, il tufo e la pozzolana, ma la principale sorgente di radon rimane il terreno sottostante le case, (soprattutto le sue caratteristiche di porosità e permeabilità e grado di fessurazione).
- Il valor medio della concentrazione di radon nelle case italiane è di 70 Bq/mc che corrisponde ad una dose efficace di circa 2 mSv/anno.
- Anche le acque contengono quantità di radioattività, dovuta alle piogge ed alle acque di drenaggio; particolarmente radioattive sono le acque sulfuree
- Attraverso la catena alimentare entrano nel corpo sostanze radioattive come K-40, Ra-226, Ra-228, C-14, H-13.

Dose annua da radiazione naturale





Dose naturale annua in Italia



Situazione italiana e mondiale

Radiazione cosmica	**- esterna -**	**0,30**	valore medio a 50° di latitudine al livello del mare
Radiazione cosmogenica	**- interna (ingestione) -**	**0,02**	3H, 14C, 22Na, 7Be (importante ruolo metabolico)
Radiazione primordiale	esposizione esterna (rad. Terrestre)	**0,58**	serie 232-Th, serie 238-U, 40-K, 87Rb (la serie 235-U è trascurabile)
	esposizione interna	**2,40**	**(di cui circa 80% solo Radon)**

Media italiana fondo naturale di rad. ionizzanti **3,4 mSv/a**

Radiazione cosmica		**0,35**	valore medio a 50° di latitudine al livello del mare
Radiazione cosmogenica		**0,01**	3H, 14C, 22Na, 7Be (importante ruolo metabolico)
Radiazione primordiale	esposizione esterna	**0,48**	serie 232-Th, serie 238-U, 40-K, 87Rb (la serie 235-U è trascurabile)
	esposizione interna	**1,56**	**(di cui circa 80% solo Radon)**

Media mondiale fondo naturale di rad. ionizzanti **2,4 mSv/a**

Cosa c’è in natura

- **In natura (universo) esistono 92 elementi** (dall'idrogeno, il più leggero, all'uranio, il più pesante) , ogni elemento può avere uno o più isotopi per un totale di
- circa **340 isotopi di cui 280 stabili e 60 radioattivi (radioisotopi).**
- Tra gli elementi, **una ventina sono costituiti da un unico isotopo** (come ad esempio il sodio, il cobalto, l'arsenico e l'oro), gli altri hanno almeno due isotopi (ad esempio: il cloro ne ha due, lo zinco ne ha cinque, lo stagno ne ha dieci).

- Oltre agli isotopi da sempre presenti in natura (isotopi naturali) , esistono oggi un gran numero di **isotopi artificiali oltre 2000**, cioè prodotti dall'uomo. Esempi di isotopi artificiali sono il il cobalto-60 (27 protoni, 33 neutroni), usato in radioterapia e in gammagrafia, il plutonio-239 (94 protoni, 145 neutroni), usato come combustibile nelle centrali nucleari, di questi una ventina sono quelli prevalentemente usati

Le famiglie radioattive

- In natura è presente una grande varietà di elementi radioattivi, molti di questi discendono dal decadimento di uno stesso elemento più pesante definito capostipite; **l'insieme di tutti i nuclidi che derivano dallo stesso capostipite costituiscono una famiglia o serie radioattiva**. I nuclidi radioattivi variano di quattro unità il numero di massa durante i processi di decadimento alfa, mentre i decadimenti beta producono una sola variazione del numero atomico; questo permette di classificare le quattro serie in modo tale che tutti gli elementi della stessa famiglia possiedano un numero di massa che possa essere rappresentato dalla stessa formula:
- $A = 4n + m$ (n è un numero intero; m = 0 , 1 , 2 , 3)

La legge empirica delle famiglie radioattive

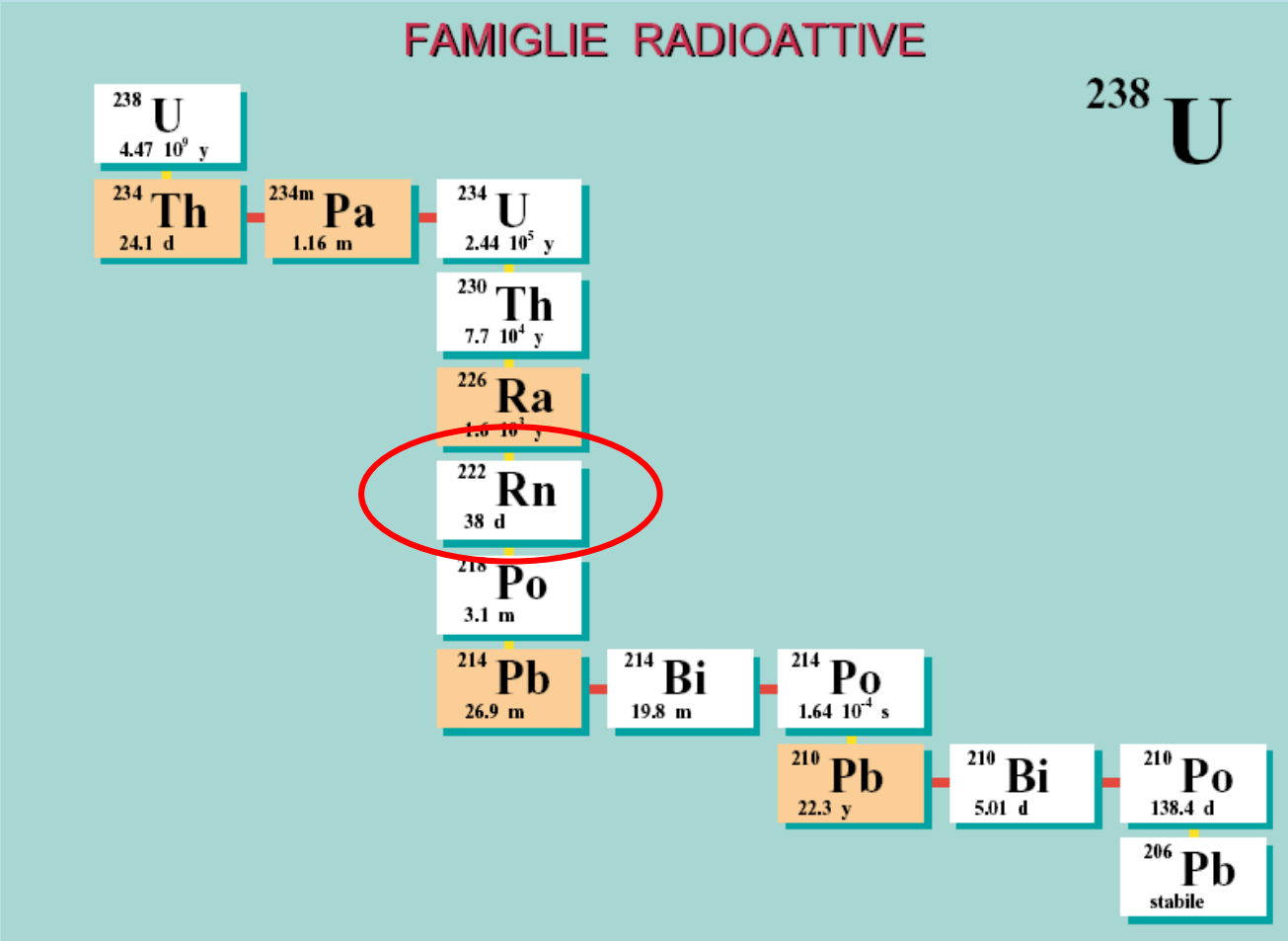
- La famiglia del tipo “4 *n* + 1” è stata scoperta recentemente tra i radionuclidi artificiali, in realtà non è presente in natura perché i tempi di dimezzamento del Nettunio e di tutti i nuclei figli sono minori rispetto al tempo di vita della terra e ciò ha comportato la loro completa trasformazione nell’elemento finale (il Bismuto ordinario).

Tutti gli isotopi radioattivi contribuiscono al fondo di radioattività naturale ma l’effettivo pericolo per l’inquinamento negli ambienti chiusi è dovuto principalmente ad alcuni isotopi del Radon che decadono alfa. Tutte le famiglie generano isotopi di tale elemento, ma l’isotopo più significativo dal punto di vista radioprotezionistico è il **Rn-222** presente nella famiglia dell’ Uranio -238.

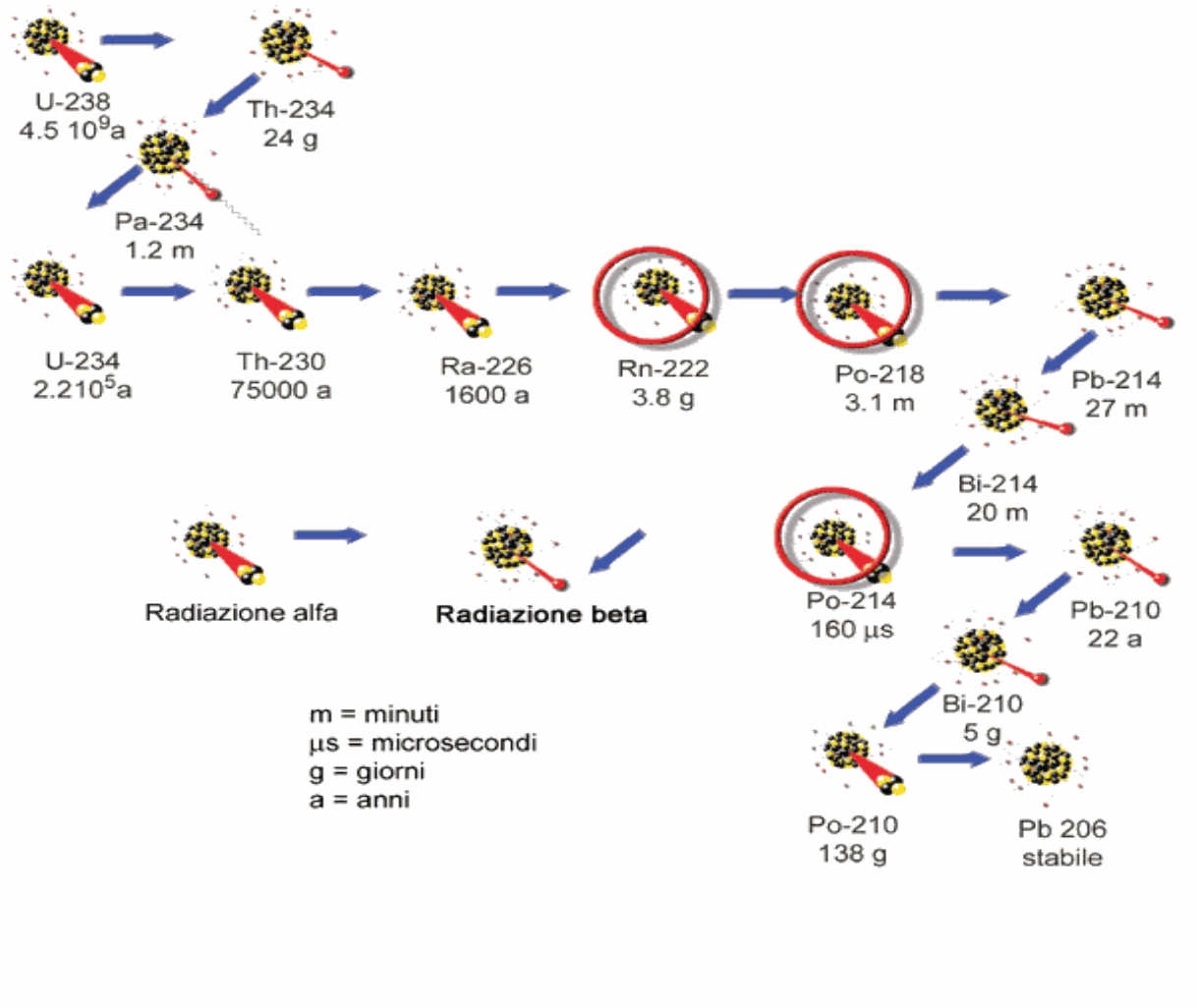
Le 4 famiglie

Nome della serie	Capostipite	Tempo di dimezzamento (y)	Elemento finale	Numero di massa (n è un intero)
Torio	^{232}Th	1.41×10^{10}	^{208}Pb	$4n$
Nettunio	^{237}Np	2.14×10^{6}	^{209}Bi	$4n + 1$
Uranio	^{238}U	4.47×10^{9}	^{206}Pb	$4n + 2$
Attinio	^{235}U	7.04×10^{8}	^{207}Pb	$4n + 3$

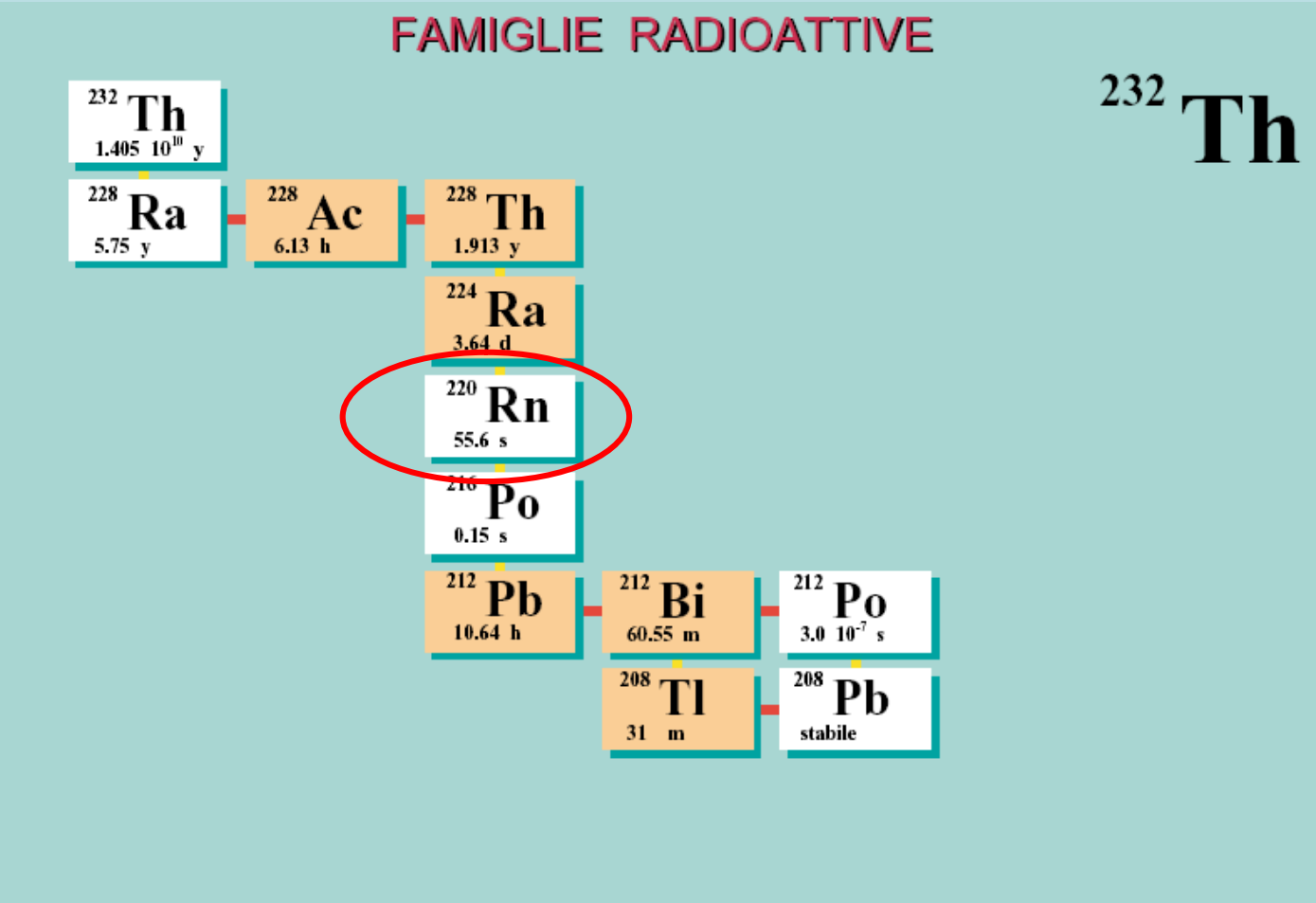
La serie dell'U-238



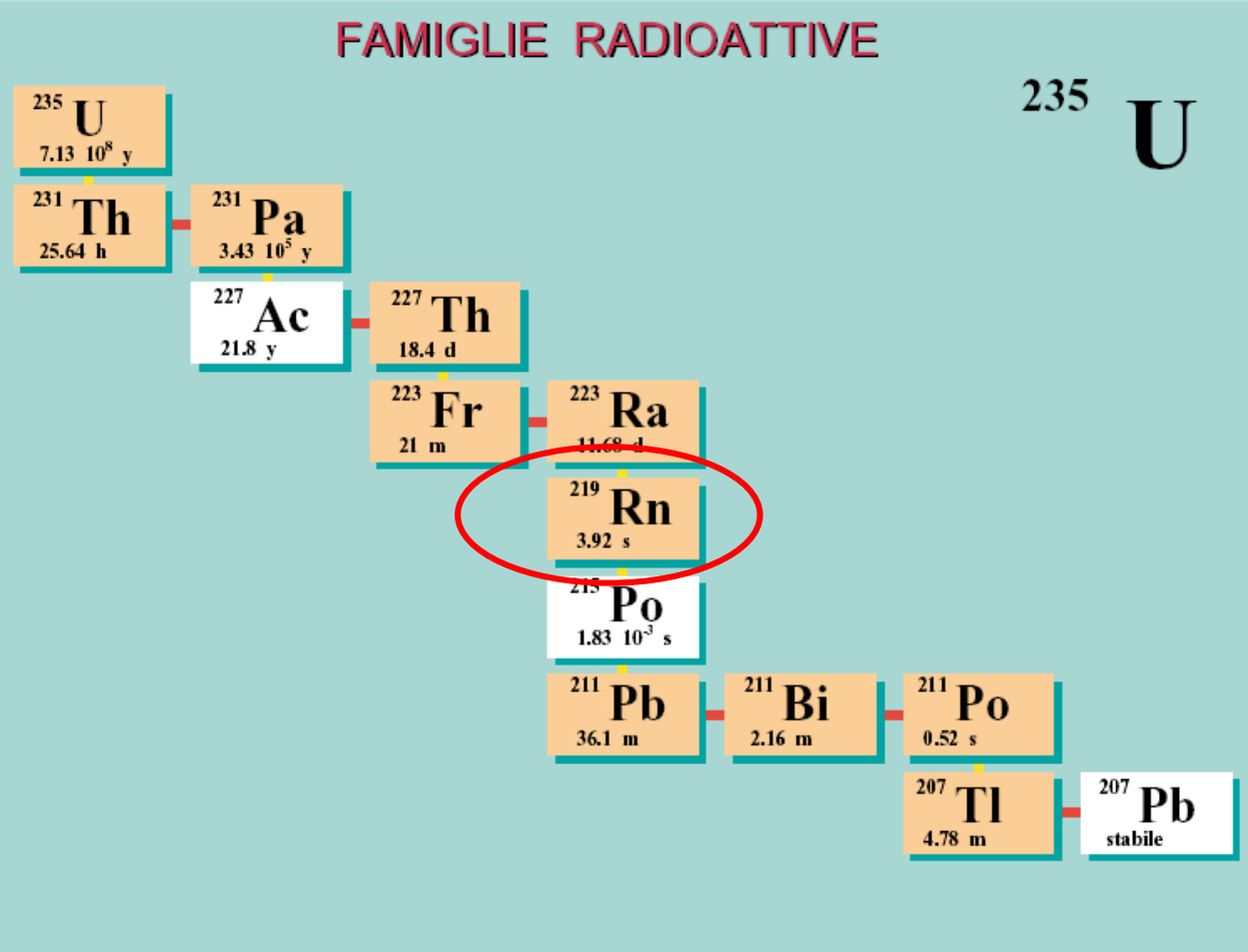
Ancora sulla serie dell'Uranio



La serie del Th-232



La serie dell'U-235



FAMIGLIA DELL'URANIO-238

- L'Uranio -238 è un elemento molto comune presente nella crosta terrestre (abbondanza frazionaria circa 2-3 ppm-cioè 2-3 grammi per tonnellata-) e nonostante sia radioattivo è ancora presente in quantità notevole perché ha un tempo di dimezzamento paragonabile all'età della terra .

Nella tabella seguente viene descritta tutta la catena di decadimento della famiglia:

Prodotti di decadimento

- Più in dettaglio, la sua disintegrazione dà luogo a una serie di 7 elementi radioattivi, tutti solidi, che sono: Po218 , Pb214 , Bi214 , Po214, Pb210, Bi210, Po210 e infine al piombo Pb206,stabile.
- Tra questi nuclei “figli” del Rn, quelli che ci interessano maggiormente sono il Po218 e il Po214, poiché, tra i discendenti a vita breve del Rn222, sono i due che decadono emettendo una particella α,
- Mentre l’altro alfa-amettitore (Po-210) avendo un $T_{1/2}$ di 138 giorni ha probabilità praticamente nulla di decadere nel breve lasso di tempo di permanenza nell’organismo.

Nuclide	Simbolo	N	Tipo di decadimento	Tempo di dimezzamento
Uranio- 238	$^{238}_{92}U$	146	α	4.47×10^{9} y
Torio-234	$^{234}_{90}Th$	144	β , γ	24.1 d
Protoattinio-234	$^{234}_{91}Pa$	143	β , γ	70.2 s
Uranio-234	$^{234}_{92}U$	142	α	24.5×10^{4} y
Torio-230	$^{230}_{90}Th$	140	α	75.4×10^{3} y
Radio-226	$^{226}_{88}Ra$	138	α , γ	1.6×10^{3} y
Radon-222	$^{222}_{86}Rn$	**136**	α	**3.8 d**
Polonio-218	$^{218}_{84}Po$	134	α	183 s
Piombo-214	$^{214}_{82}Pb$	132	β , γ	1608 s
Bismuto-214	$^{214}_{83}Bi$	131	α, β , γ	1194 s
Polonio-214	$^{214}_{84}Po$	130	α	164×10^{-6} s
Piombo-210	$^{210}_{82}Pb$	128	α, β ,γ	22.3 y
Bismuto-210	$^{210}_{83}Bi$	127	β	5 d
Polonio-210	$^{210}_{84}Po$	126	α	138.4 d
Piombo-206	$^{206}_{82}Pb$	124		Stabile

Questi due decadimenti alfa hanno probabilità di emissione molto bassa

Questo alfa è meno importante degli altri perché ha emivita alta

INTRODUZIONE: IL “PROBLEMA RADON“

Oltre agli “inquinanti artificiali”, direttamente connessi con le attività dell’uomo, occorre prestare una certa attenzione anche agli “inquinanti naturali” di natura chimica, fisica e biologica.

Vogliamo occuparci in questo contesto del cosiddetto “Problema Radon”, ossia dei problemi arrecati da un elemento radioattivo, il Radon appunto, che, unitamente ai suoi discendenti, risulta responsabile di buona parte della radiazione naturale esterna ionizzante.

Questo problema assume una forte rilevanza sociale in quanto, come vedremo, è stato accertato che le radiazioni emesse da questo radionuclide (e dai suoi discendenti) è una della cause principali di tumore ai polmoni, dopo il fumo.

Nello specifico, la rilevanza sociale del problema è dovuto al fatto che vi sono alcune situazioni cosiddette “a rischio” , in cui, cioè, il rischio di essere sottoposti alle radiazioni emesse da questo particolare elemento è notevole, e possono toccare da vicino ognuno di noi, quotidianamente, poiché riguardano le nostre case.

Per questo motivo, si è creata in un passato recentissimo una situazione di vero e proprio allarme sociale, soprattutto in alcuni Paesi, che, per diversi motivi, si sono trovati ad essere maggiormente esposti a questo tipo di radiazioni

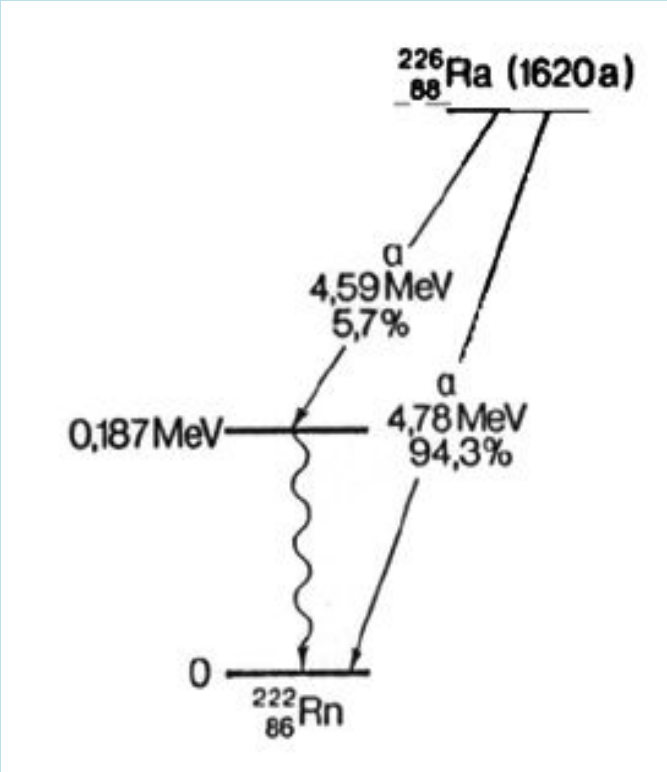
Tavola periodica

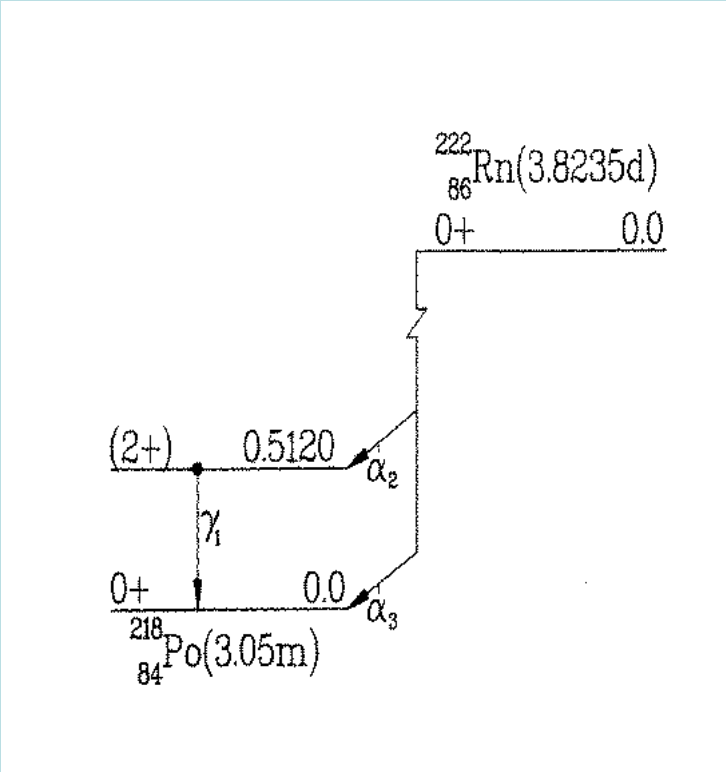
VIII Gruppo

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun								

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Schema decadimento Ra-226 e Rn-222





Da dove deriva il Rn-222

- **Il Rn222 deriva direttamente dal Radio 226** per decadimento α; la sua presenza dipende perciò dalla concentrazione di Radio, che dipende a sua volta dalla concentrazione di Uranio-238 (in genere sono in equilibrio secolare). La lunga vita media dei suoi più importanti e illustri antenati (Uranio, Torio e Radio), dispersi in piccole tracce un po' ovunque nella crosta terrestre , garantisce la costante presenza del Rn222 e dei suoi discendenti negli ambienti naturali.
- **Il Rn222 è un gas radioattivo naturale estremamente tossico**, incolore, insapore, inodore ed estremamente volatile; proprio per questo è il più pericoloso: non si vede, non si sente, non si tocca, e dunque non ci accorgiamo della sua presenza con i nostri sensi. Esso è un gas nobile, e fra questi tipi di gas è il più pesante, è chimicamente inerte, ovvero tende a non reagire con altri elementi e, dunque, tende a disperdersi nell'aria.

Sono tre gli isotopi del RADON

- Esistono tre isotopi del radon che sono il prodotto intermedio del decadimento di tre nuclidi “capostipiti”: **Torio 232, Uranio 235** e **Uranio 238**. Questi tre elementi “capi” danno luogo a tre diverse famiglie radioattive, ognuna delle quali contiene uno dei tre isotopi sopra citati: dall’U238 deriva il **Rn222**, dall’U235 deriva il **Rn219** (actinon) e dal Th232 deriva il **Rn220** (Thoron).

- Ci occuperemo principalmente del Rn-222 in quanto è il più significativo per la dose dell’uomo: infatti gli altri due isotopi di Rn hanno vita estremamente breve - 56 sec. il Rn220 e 4 sec. il Rn219, contro i 3,8 giorni del Rn222 - e quindi la quantità che dal suolo riesce a raggiungere la bassa atmosfera e diventare pericolosa per l’uomo è molto più ridotta rispetto al nuclide derivante dall’U238. (La vita media così corta dei primi due isotopi, implica un loro decadimento quasi immediato, prima che essi arrivino in superficie, e che possano quindi essere inalati dall’uomo; ricordiamo che i nuclei figli del Radon sono tutti allo stato solido, e dunque si depositano).

Caratteristiche fisiche dei tre radioisotopi

$^{238}U \rightarrow {}^{222}Rn$ Radon ($T_{1/2}$=3,8 giorni)

$^{232}Th \rightarrow {}^{220}Rn$ Thoron ($T_{1/2}$= 55,6 sec)

$^{235}U \rightarrow {}^{219}Rn$ Actinon ($T_{1/2}$= 3,9 sec)

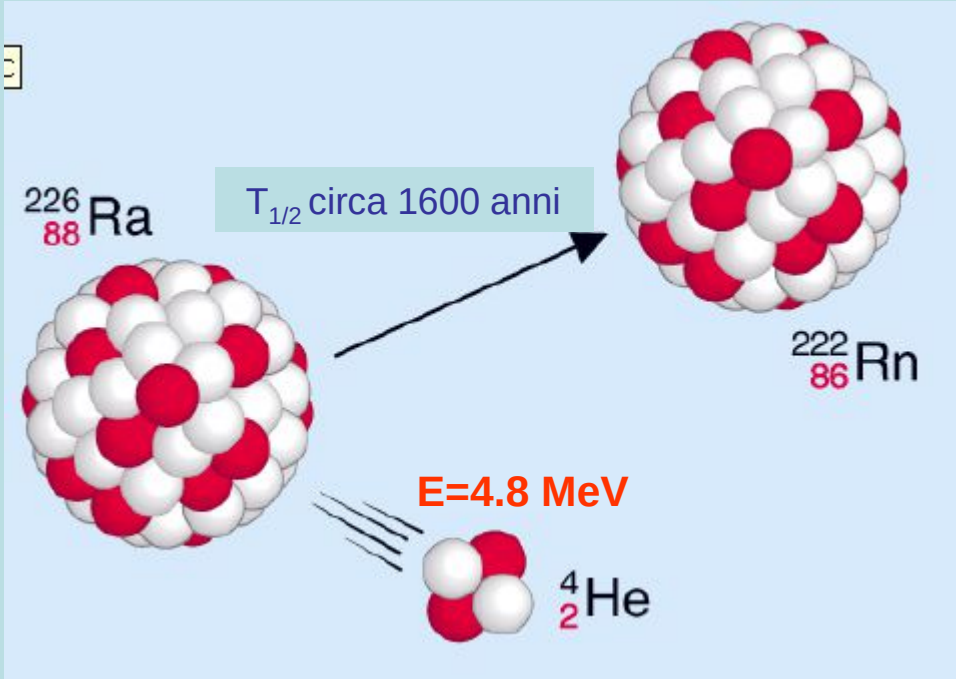
- Natura gassosa e conseguente ingresso negli ambienti di vita
- Tempo di dimezzamento di 3,8 giorni con emissione di radiazioni ionizzanti

Che cosa è il radon

- Gas radioattivo, di origine naturale. E' inodore, incolore.
  - Prodotto dal decadimento dell' ^{238}uranio, elemento presente in tutte le rocce della crosta terrestre.
    - Il radon, prodotto all'interno delle rocce, in presenza di fessure o aperture o comunque a causa della permeabilità fuoriesce diluendosi nell'atmosfera.
      - **I parametri fondamentali che caratterizzano la concentrazione del gas emesso in un dato luogo sono: il contenuto di uranio-238, il grado di fratturazione, la permeabilità e la porosità.**

Il decadimento alfa: il caso del Ra-226

Nucleo padre

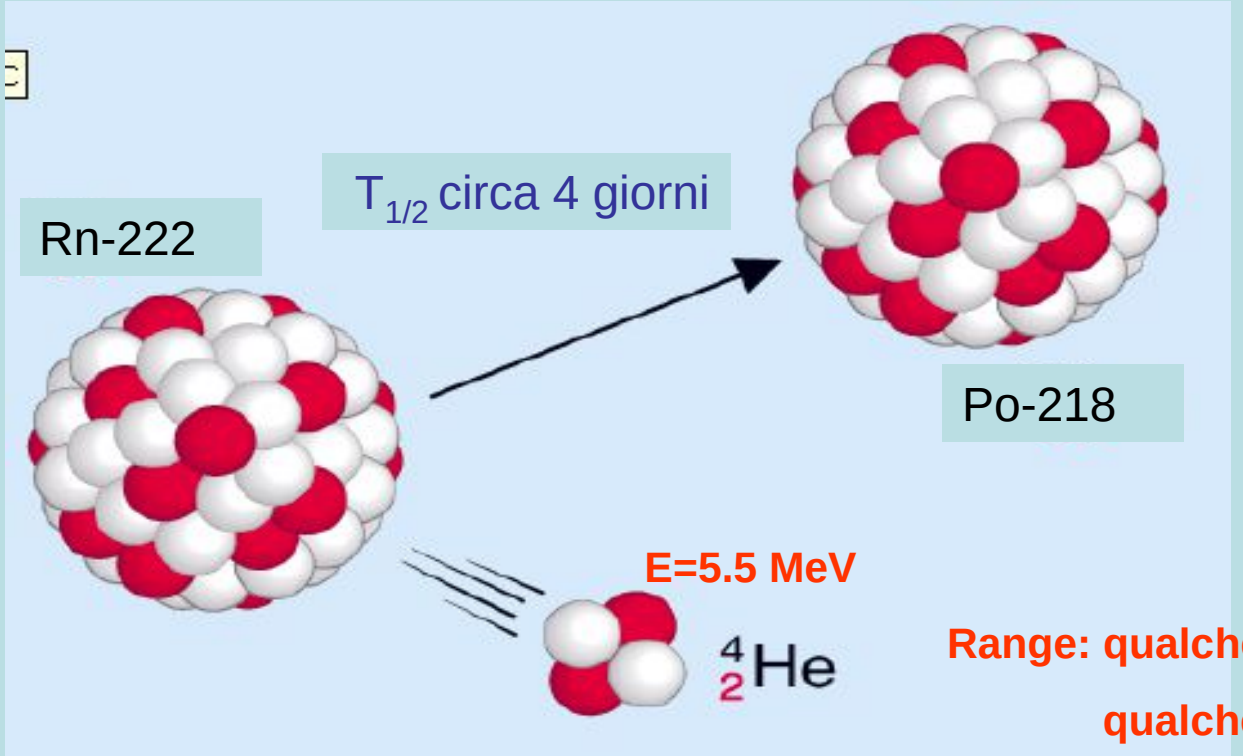


Nucleo figlio

Avente una energia di 86 keV, sufficiente a lasciare un granello di roccia e passare nello spazio interstiziale

Ra-226 → Rn-222 + He-4

Decadimento del Rn-222



Range: qualche cm in aria,

qualche mm in acqua

Rn-222 $\longrightarrow$ Po-218 + He-4

Caratteristiche chimiche e fisiche del Rn222

- Il radon è l'unico figlio dell'Uranio che si mantiene allo stato gassoso, quindi, anche se il suo tempo di dimezzamento è abbastanza breve, riesce più facilmente a salire in superficie rispetto agli altri nuclei figli che si mantengono allo stato solido.
- Numero di massa = 222
- Numero atomico = 86
- Densità = 9,72 g/l (densità dell'aria circa 1.3 g/l)
- Punto di fusione = - 61,8 °C
- Solubilità in 100 g di acqua = a 0 °C → 51,0 g
- Nucleo genitore = Ra 226 (Radio)
- Energia del decadimento α = 5,5 MeV
- Nucleo figlio = Po 218
- Tempo di dimezzamento = 3,82 g
- Range in aria circa 4 cm.

Quando iniziano le misure

- Nonostante E. Rutherford avesse fatto notare sin dal 1907 che ognuno inala del radon ogni giorno, misure di radon **furono effettuate nelle case solo dal 1956** (in Svezia). L'alto livello di radon rilevato in alcune case riscosse poco interesse in campo internazionale, perché il problema fu considerato esclusivamente locale.
- **Soltanto 20 anni dopo si iniziarono studi sistematici su larga scala in numerose nazioni**,

  che mostrarono che l'esposizione era generale e si potevano raggiungere livelli molto alti, comparabili a quelli delle miniere.

Dove c’è più radon

- Parecchi suoli contengono naturalmente quantità variabili di uranio, che regola la quantità di radon rilasciata.
- **É più facile trovare il radon nelle rocce d’origine vulcanica quali tufi, porfidi, graniti, pozzolane**, in alcune argille e gessi. Tuttavia ci sono eccezioni a ciò: si possono trovare miniere di uranio in terreni sedimentari, o radon in suoli calcarei.

Situazioni a rischio radon

- Vi sono però delle situazioni di rischio per l'uomo, che si verificano quando la concentrazione di questi nuclidi progenitori del Rn raggiunge dei livelli elevati:
- a) MINIERE
- b) ABITAZIONI con strutture murarie costruite con qualche sottoprodotto uranifero, o collocate su particolari terreni che, oltre a contenere quantità elevate di Radon, hanno caratteristiche geologiche che ne facilitano la fuoriuscita dal sottosuolo verso la superficie.
- c) in particolare, i LOCALI POCO ARIEGGIATI (poiché qui si accumulano le polveri, il fumo, e le particelle varie che veicolano i prodotti di decadimento del Rn nelle vie mrespiratorie dell'uomo).

La geologia del suolo

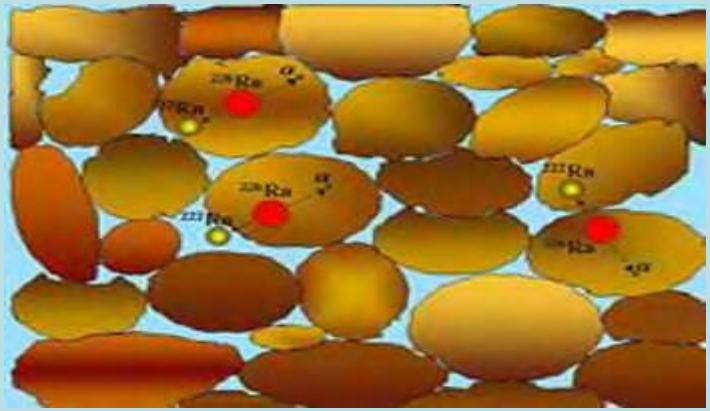
- Sebbene sia un gas, in generale, anche per il Rn 222 non è comunque semplice raggiungere la superficie, una volta che si è formato nel sottosuolo; vista la sua breve vita media, esso raggiunge la superficie soltanto laddove vi sia la possibilità, per lui, di diffondersi rapidamente. **La geologia del territorio controlla perciò direttamente la distribuzione e la migrazione del gas;** le caratteristiche del sottosuolo che possono allora favorire, modificare, o impedire il flusso di radon dal sottosuolo alla superficie sono: la litologia e la composizione mineralogica, la tettonica e il carsismo, gli aspetti inerenti la permeabilità del suolo (densità, porosità, granulometria), del suo stato (secco, impregnato d'acqua, gelato o coperto di neve) e le condizioni meteorologiche (temperature del suolo e dell'aria, pressione barometrica, velocità e direzione del vento).

Concentrazioni medie di Uranio in vari tipi di rocce

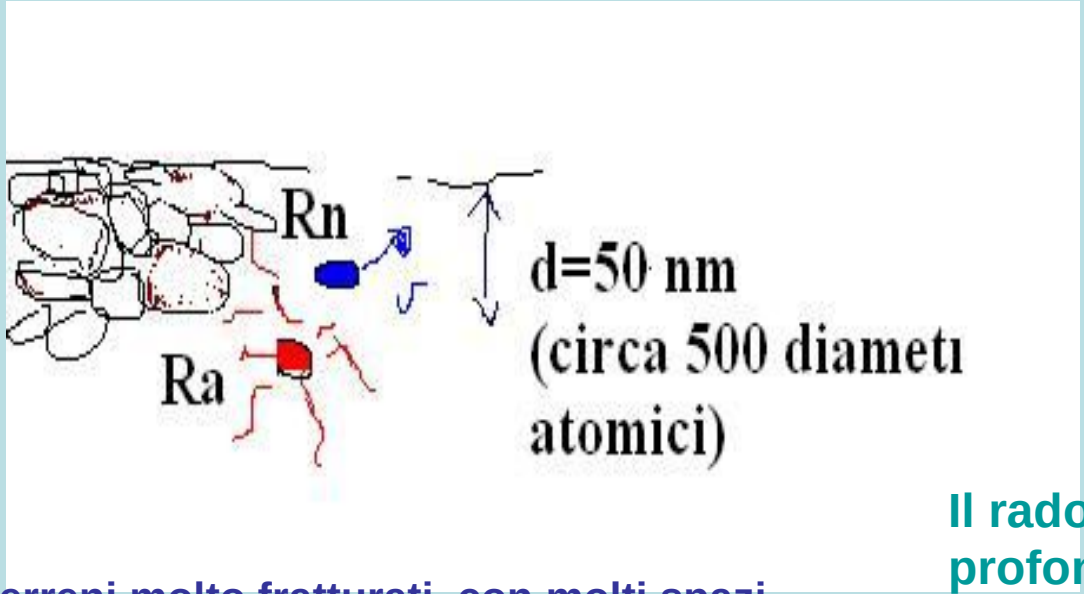
Tipo di roccia	**Concentrazione di Uranio**
Ignee basiche	0,6 ppm
Ignee acide	3 ppm
Fosfatiche	120 ppm
Granitiche	4 ppm
Calcaree	1,3 ppm

Altre caratteristiche di diffusione

- Il radon si diffonde attraverso i pori e le spaccature del suolo, trasportato dall'aria o dall'acqua (nella quale è solubile).
- La concentrazione di radon decresce rapidamente con l'altitudine e con le precipitazioni.
- L'acqua sotterranea, i gas naturali, il carbone e gli oceani sono altre fonti minori di radiazioni.
- È quindi chiaro che il radon è universalmente presente, ma la velocità di emissione varia significativamente nel tempo, anche per uno stesso luogo. In Italia i materiali lapidei maggiormente radioattivi sono la lava del Vesuvio, la pozzolana, il peperino del Lazio e il tufo della Campania.



L'importanza della fratturazione



d è la distanza di rinculo di un atomo di Rn all'istante della sua formazione da un atomo di Ra

In terreni molto fratturati, con molti spazi vuoti, porosi e/o permeabili il radon può essere trasportato da correnti d'aria o dall'acqua sorgiva e/o piovana ed arrivare così fin dentro le nostre case. In una roccia molto compatta invece quasi tutto il radon prodotto rimane imprigionato nel sottosuolo.

Il radon che si forma a una profondità maggiore ha circa 4 giorni di tempo per diffondere in superficie, se ci riesce o no dipende dal grado di fratturazione, oltrechè dalla porosità e dalla permeabilità.

Valori medi del Rn

- Concentrazione media nel terreno (1) da 10^2 a 10^6 Bq/m3
- Concentrazione media in aria circa 10 Bq/m3

- Concentrazione media in abitazioni da 10 a 100 Bq/m3

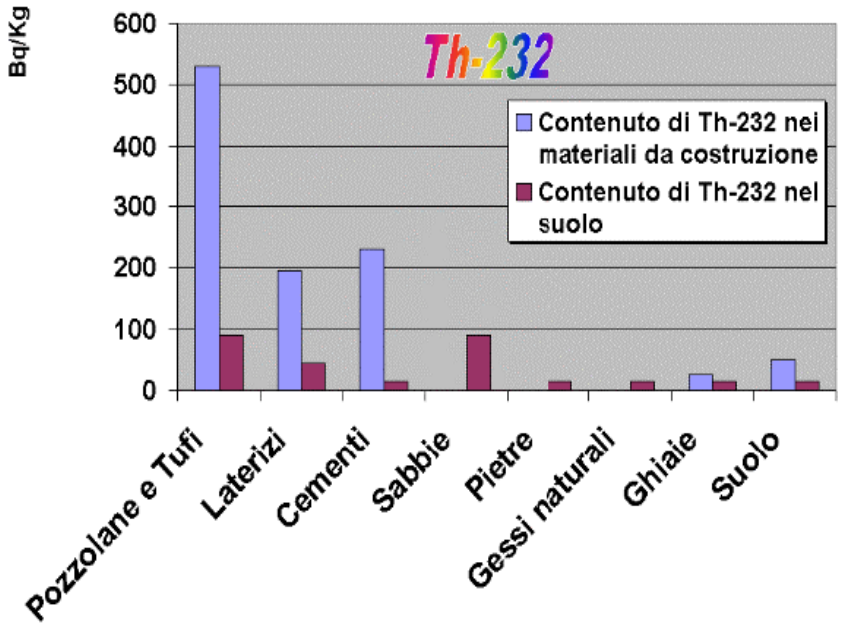
Alcuni esempi estremi sono quelli del Kazakistan 10 Bq/m3
e della Rep. Ceca 140 Bq/m3

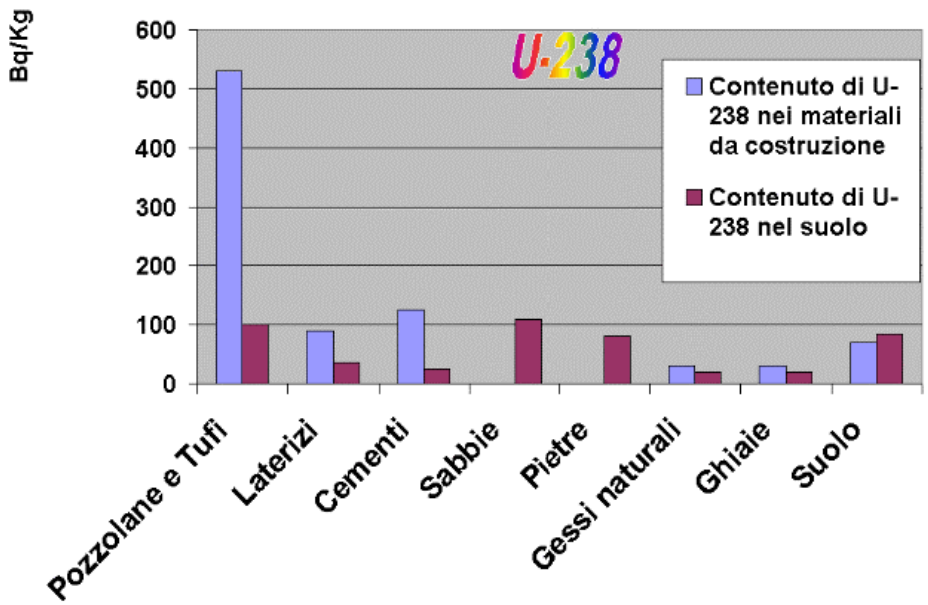
In ambienti abitativi:

- La media mondiale è di 40 Bq/m3
- La media italiana è di 70 Bq/m3
- La media abruzzese è di 61 Bq/m3

(1) nell'aria presente negli interstizi

Alcuni grafici di concentrazione radon in vari materiali





BREVE STORIA DEL RADON

- Gli elementi radioattivi naturali sono stati presenti sulla terra fin dalla sua origine. Gli elementi a vita più breve sono gradualmente scomparsi mentre quelli a vita lunga che sono presenti nel nostro ambiente includono l'uranio, che dà origine al radon.
- L'esistenza di un'alta mortalità tra i minatori delle miniere dell'Europa centrale era stata riscontrata già **nel I secolo** da Tito Lucrezio Caro nella sua opera "De Rerum Natura". **Nel XVI secolo** G. Agricola in "De Re Metallica" descrive i danni a livello respiratorio dei minatori contemporaneamente 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 d'argento, rame e cobalto si intensificò.

Importanza del Radon

- Le caratteristiche del radon di essere insapore, inodore, incolore, rendono ***impossibile la percezione di questo gas tramite i sensi umani***, rendendolo particolarmente insidioso. ***Il radon da solo è responsabile dell'80% circa dell'esposizione interna nell'uomo ai vari radionuclidi naturali***; questo isotopo, assieme ai suoi discendenti a breve vita, rappresenta dunque la sorgente principale dell'esposizione interna per inalazione nell'uomo.

Piccolo aneddoto

- Nel dicembre 1994, presso la centrale nucleare di Limerik, vicino Filadelfia (USA), si attivò il sistema di allarme indicando una contaminazione radioattiva. Immediatamente si pensò ad una perdita dell'impianto e ad una probabile fuoriuscita di materiale radioattivo nell'ambiente. Ma nulla di tutto ciò fu trovato.
- Il giorno dopo mentre Stanley Watras entrava al lavoro ed effettuava i normali controlli fece di nuovo scattare i sistemi di allarme. Come era possibile? Era stato contaminato il giorno prima? Dove era la perdita e quante altre persone erano state contaminate?
- Stanley fece suonare l'allarme tutti i giorni per altre due settimane con grande imbarazzo del personale addetto alla sicurezza. La fonte della contaminazione doveva essere all'esterno della centrale e la trovarono: era la sua casa, che risultava molto, molto radioattiva. Che Stanley avesse trafugato materiale radioattivo dalla centrale? No, niente di tutto questo. La radioattività era dovuta alla presenza di un gas naturale: il radon.
- Nella sua casa c'era così tanto radon che quella parte che Stanley aveva nei polmoni era sufficiente a far scattare gli allarmi alla centrale.
- Sfortunatamente Stanley aveva acquistato una casa che si trovava a soli 10 metri da una vena di Uranio, che produceva il radon che entrava nella sua casa.
- Facendo opportuni calcoli il rischio sanitario che Stanley stava correndo era equivalente al consumo di 130 pacchetti di sigarette al giorno.
- Da allora molto tempo è passato e negli Stati Uniti sono state controllate più di 10.000.000 di case e più di un milione sono state bonificate. Il radon è stato dichiarato un "Problema di salute nazionale". Persino Bill Clinton lo ha definito "Uno delle più pericolose minacce ambientali per la salute del popolo americano" raccomandando l'informazione e l'educazione del pubblico

Lezione 2

- Effetti sulla salute
- L’approccio epidemiologico
- Concetto di rischio da radon
- Vie di ingresso nelle abitazioni
- Principali metodi di risanamento
- Breve cronistoria della radioprotezione

I figli del Radon sono i più pericolosi!

- **I prodotti di decadimento del Rn sono ioni solidi** (dunque, sono elettricamente carichi) **che si attaccano alle particelle di aerosol, alle goccioline di vapore, alle particelle di fumo** (per questo gli ambienti poco aerati, in cui si accumulano tutte queste polveri microscopiche, sono più a rischio), e dunque possono essere inalate con relativa facilità. Se ciò avviene, le polveri depongono i radionuclidi nel tratto respiratorio dell'uomo. La gran parte della dose è dovuta ai figli del radon, In quanto il radon viene quasi tutto esalato con la respirazione mentre i figli attaccati alle micropolveri si depositano ai bronchi dove hanno tempo di decadere.

Globalmente, si stima che circa il 10% fra tutte le morti per cancro ai polmoni sia da attribuirsi all'esposizione (domestica) a questo radionuclide e ai suoi discendenti.

Comportamento del radon e dei suoi prodotti di decadimento

- L'inalazione dei prodotti di decadimento del radon crea una deposizione di atomi radioattivi sui vari tessuti del tratto respiratorio, i quali vengono irraggiati dalle particelle alfa da essi emesse con un aumento di probabilità di insorgenza di tumori polmonari. Ciò' dipende dal numero e dal tipo di particelle depositate internamente e quindi non solo dalla concentrazione di radon nell'aria inalata, ma anche dal fattore di equilibrio tra radon e figli, dalla percentuale di figli che si attacca al particolato e dalle dimensioni degli aerosol.

- A differenza del radon, i suoi figli tendono ad aggregarsi rapidamente tra loro e con l'aerosol ambientale, determinando due frazioni: la frazione attached, costituita dai figli aggregati all'aerosol ambientale e quella unattached o frazione libera non ancora associata.

La frazione "unattached e attached" dei prodotti di decadimento del Radon

La frazione non attaccata è costituita da ioni o atomi liberi associati preferibilmente al particolato ultrafine e forma aggregati aventi alta mobilita' e grande coefficiente di diffusione ; ciò e' da attribuirsi alla breve vita del Po-218 e al grande numero di processi fisici e chimici che può subire prima di aggregarsi all'aerosol ambientale: circa l'80-82% del di Po-218 e' infatti costituito da ioni positivi che reagiscono con vapori di NO, NO_2, H_2O ed altri, formando composti che a causa di processi di ricombinazione divengono neutri.

Dopo questi processi, gli aggregati si attaccano alle particelle di aerosol in aria formando un aerosol radioattivo. L'energia di rinculo del 214Pb, prodotto dal decadimento del Po-218, può staccare l'atomo stesso dall'aerosol, dando origine ad una frazione non attaccata.

Questo fenomeno a sua volta non si presenta per il decadimento del Pb-214 e del Bi-214 in quanto decadono beta, mentre per il Po214 il fenomeno non ha valenza dosimetrica visto la longevità del figlio Pb-210.

Quasi tutti i prodotti di decadimento del radon si trovano in forma attached, solo circa il 10%, infatti, è presente in forma unattached.

La frazione “libera” è la più pericolosa

- **Il grado di attaccamento all'aerosol ambientale dipende fortemente dalla concentrazione di aerosol nell'ambiente (ambienti puliti e filtrati sono caratterizzati da una frazione unattached superiore a quella presente in ambienti polverosi e fumosi).**
- **In tutti i modelli dosimetrici la frazione unattached ha un ruolo fondamentale nella stime della dose efficace. La maggior parte della frazione unattached si deposita nella prima parte delle vie respiratorie (naso - laringe) e qui rilascia la maggior parte della dose, una parte di dose viene pero' rilasciata anche negli altri tessuti del tratto respiratorio, in maggior misura rispetto agli aerosol di dimensioni maggiori (frazione attached).**
- **La frazione attached, essendo meno mobile di quella unattached, riesce a penetrare più' in profondita' nel tratto respiratorio raggiungendo il polmone, ma la maggior parte viene eliminata con l'aria espirata.**
- **Solo il 30% e' ritenuta nelle vie respiratorie, due terzi della quale si depositano nella regione alveolare. Il 75% dei tumori polmonari si origina nell'albero bronchiale, dovuti soprattutto alla dose rilasciata dalla frazione unattached.**

I due figli più pericolosi

- Tra i prodotti di decadimento del Rn, i due più pericolosi per l'uomo sono il ***Polonio 214 e il Polonio218***, poiché, a differenza degli altri nuclei a breve vita figli del Rn, questi due decadono emettendo particelle α, che sono altamente efficaci nel causare danni ai tessuti polmonari.

- Se inalati, questi due nuclidi vanno a depositarsi nei polmoni, incastrandosi in profondità, dove possono irraggiare e penetrare le cellule delle mucose, dei bronchi e di altri tessuti polmonari, distruggendone il DNA. Si ritiene che l'alta energia di ionizzazione delle radiazioni che colpiscono le cellule epiteliali dei

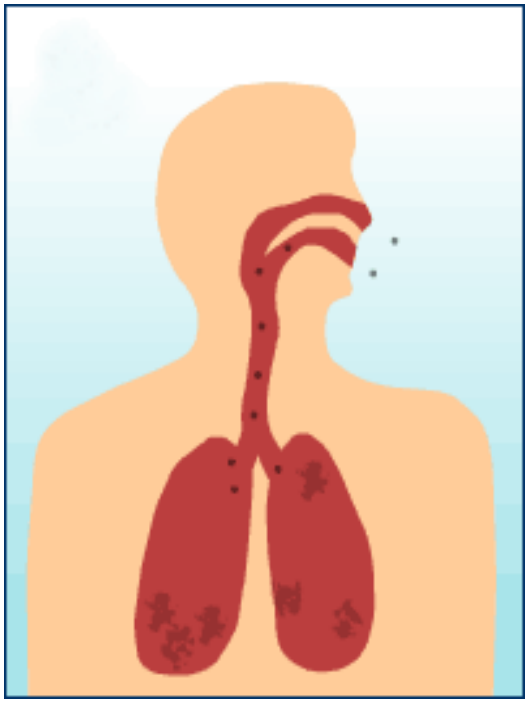
  bronchi dia inizio al processo di carcinogenesi; il danno subito dal DNA rappresenta, infatti, potenzialmente il primo passo nella catena degli eventi che possono portare al cancro.

La differenza fra le alfa e beta

- E’ importante sottolineare che le particelle α percorrono soltanto distanze estremamente corte, nel corpo; la loro energia, infatti, è principalmente dovuta alla massa, piuttosto che alla velocità (a differenza delle β, che sono molto più leggere e dunque più veloci, per cui riescono a fare molta più strada all’interno della materia che attraversano, prima di perdere completamente la loro energia cinetica negli urti con gli elettroni e con gli atomi del materiale che in cui si muovono). Dunque, le radiazioni emesse dai prodotti del Radon depositati nei polmoni non possono raggiungere le cellule di nessun altro organo. Per questo motivo, si ritiene che non vi sia nessun altro tipo di cancro, oltre a quello ai polmoni, correlato all’attività radioattiva di questi particolari nuclidi

Effetti sulla salute

- Assorbimento nell'apparato respiratorio dei figli del radon aggregati al particolato atmosferico
- Tumori alle vie respiratorie per interazione delle radiazioni α e β con i tessuti biologici (mortalità stimata tra 5 e 20% dei casi di neoplasia delle vie respiratorie osservati in Italia)



Dose e danno biologico

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti non e' l'unica causa di alterazioni del codice genetico: il normale metabolismo cellulare induce mutazioni in misura di gran lunga superiore!

Come fa il DNA a auto-ripararsi? La parola chiave e` la RIDONDANZA dell'informazione genetica.

A parita' di dose ricevuta, il danno e` maggiore se il tempo dell'esposizione e` breve, da consentire mutazioni genetiche multiple sul DNA delle singole cellule. Molte stime catastrofiche sulle future vittime di Cernobil sono basate sui dati raccolti a Hiroshima e Nagasaki… con evidenti sovrastime degli effetti.

Tipi di danno cellulare

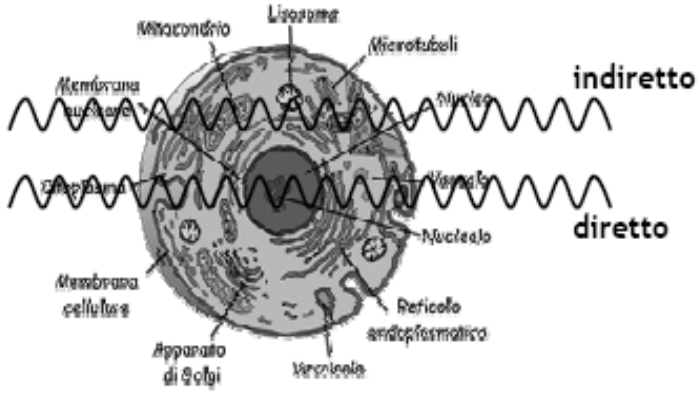
- neutroni termici, E0<1/10 eV
- neutroni lenti, 1/10 eV< E0<100 KeV
- neutroni veloci, 100 KeV< E0<alcune decine di MeV
- neutroni ad alta energia, E0>100MeV

- Gli effetti biologici di radiazioni con diversi LET si confrontano in base alla loro ***efficacia biologica relativa (RBE)***

Tabella della RBE					
γ	β	p	α	n lenti	n termici
1	1	10	20	10	3

- La possibilità di riparazione della cellula dipende
  - Numero di ionizzazioni e dall'intervallo di tempo in cui sono avvenute
  - Esposizione prolungate nell'arco di mesi o anni presenteranno effetti pari a circa metà di quelli da esposizioni di breve durata e ravvicinati avente dose analoga

- La cellula riparata continua a funzionare normalmente o si trasforma in una cellula anomala, che può riprodursi a velocità anomala diventando neoplastica (tumorale) o trasmettere il difetto alle generazioni future



- Danni di tipo diretto ed indiretto
  - *Tipo diretto*: la radiazione danneggia il nucleo cellulare
  - *Tipo indiretto*: la radiazione deposita energia all'esterno del nucleo

Effetti diretti

- L'effetto diretto si deve a radiazioni ionizzanti che depositano la propria energia entro il nucleo e rompono i legami molecolari del DNA

- Non è l'effetto dominante: la maggior parte dei danni cellulari da radiazione è costituita dagli effetti indiretti

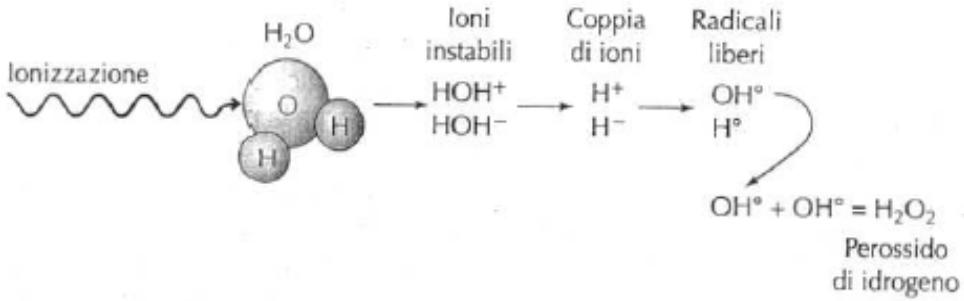
- Le radiazioni a LET elevato hanno maggiore probabilità di provocare effetti di tipo diretto

- Radiazioni ad alto LET, se colpiscono il nucleo, danneggiano molte molecole di DNA, e la cellula perde di conseguenza la sua capacità di ripararsi

- Gli effetti diretti molto spesso determinano la morte della cellula

Effetti indiretti

- Nel processo indiretto, le radiazioni sono in grado di danneggiare la cellula producendo all'interno del ***citoplasma*** prodotti tossici intermedi che interagiscono col DNA nucleare



- Il principale prodotto tossico è quello imputabile alla ***radiolisi dell'acqua***

  - Molecola dell'acqua scomposte in ***radicali liberi*** che presentano una notevole reattività chimica
  - Esempi di radicali: H_2O^+,H_2O^+,H^*,OH^*,H^+,OH^-,$H2O^-$,e^-
  - *I radicali liberi possono rompere i legami del DNA; hanno vita molto breve ma sufficiente a raggiungere il nucleo e a danneggiare le molecole di DNA; possono anche combinarsi e formare perossido di idrogeno, H_2O_2, tossico per la cellula.*

- I radicali liberi vengono prodotti in maniera più abbondante in presenza di ossigeno. **L'ossigeno è un agente radiosensibilizzante.** Il citoplasma, composto principalmente di acqua, è riserva abbondante di ossigeno.
- Le cellule presenti all'interno di tessuti dotati di scarsa irrorazione sono più resistenti alle radiazioni perché hanno un minore apporto di ossigeno. Molti tumori sono radioresistenti perché non hanno un adeguato supporto ematico.

Pericolosità degli alfa

- Le particelle α hanno un potere penetrante molto debole (questo è legato alla sezione d'urto delle particelle α, diversa da quella degli elettroni, più piccoli) , e, infatti, non oltrepassano lo strato basale dell'epidermide; possono penetrare nella pelle solo se hanno un'energia di almeno 7,5 MeV. Il loro potere ionizzante però è molto elevato, quindi il loro grado di pericolosità diventa alto se sono emesse da una sorgente interna al corpo umano.

Radon e cancro ai polmoni (1)

- Nel 1900 il fisico F. Dorn scoprì che i sali di radio producevano un gas radioattivo che chiamò “emanazione di radio”, (solo nel 1923 venne chiamato radon)
- 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.
- Nel 1924 Ludewing e Lorenser suggeriscono che il radon può provocare il cancro al polmone..

Radon e cancro ai polmoni (2)

- L’attività nelle miniere di uranio fu intensificata dal 1940 ma i livelli di radon furono misurati regolarmente solo dal 1950. 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 ’60, hanno infine confermato questo potenziale sull’uomo.

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

Radon e cancro ai polmoni (3)

- 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.

  Tali rilevamenti portarono a conclusioni convergenti, tuttavia alcune questioni (quali l’influenza della durata e intensità dell’esposizione e dell’età) non sono ancora state risolte e richiedono ulteriori studi.

La classificazione

- Nel 1988 la WHO-IARC ha classificato il radon come agente cancerogeno di Gruppo 1 (nel quale rientrano agenti per cui vi è evidenza scientifica di cancerogenicità sugli animali, quali ad es. la formaldeide, il benzene ed il fumo).

Approccio dosimetrico ed epidemiologico

- In campo internazionale, per la valutazione del rischio da esposizione al radon indoor sono stati utilizzati approcci sia dosimetrici che epidemiologici.
- L'approccio dosimetrico porta alla valutazione, attraverso modelli generalmente complessi, della dose ricevuta dall'apparato respiratorio.
- Questi modelli tengono conto delle caratteristiche sia fisiologiche dell'individuo che fisiche dell'ambiente interessato. Per il calcolo della dose efficace al polmone, l'approccio dosimetrico applica i fattori peso della radiazione alfa e quello per il polmone (w_T=0,12); per la valutazione del rischio usa i coefficienti di conversione rischio/dose ottenuti sulla base degli studi epidemiologici condotti sulle due coorti di sopravissuti di Hiroshima e Nagasaki, esposti per pochissimo tempo principalmente a radiazione gamma, mentre il radon produce un'esposizione continua a radiazione alfa.

L'approccio epidemiologico

- L'approccio epidemiologico invece analizza direttamente le frequenze di mortalità per tumore polmonare ottenute negli studi condotti su gruppi di lavoratori esposti al radon. La pubblicazione ICRP 65 raccomanda l'utilizzo dell'approccio epidemiologico per quanto concerne la valutazione del rischio da radon, sia nel caso di ambienti domestici che lavorativi.
- I due diversi approcci per la valutazione di dose portano a stime che nonostante le diverse assunzioni divergono solamente per un fattore 3.

Tipologie di studi epidemiologici

- ***In generale, esistono diversi tipi di analisi epidemiologiche, tra cui le principali sono: studio ecologico-geografico, studio di coorte, studio caso-controllo.***

1) <u>Gli studi geografici</u>

- ***Gli studi geografici si basano sull'associazione tra l'incidenza di una patologia in gruppi di individui, per esempio i residenti all'interno di determinate aree geografiche, e l'esposizione valutata di tali gruppi al fattore considerato. Una volta ottenute le informazioni su un certo numero di gruppi, possono essere confrontati statisticamente i tassi di incidenza della patologia o l'andamento del tasso di sviluppo della malattia in funzione del grado di esposizione.2)***

2) <u>Gli studi di coorte</u>

- ***In uno studio di coorte, invece, si seleziona un campione di individui in base al grado di esposizione. Tale gruppo viene seguito e analizzato per un certo periodo di tempo per controllare se si verifica lo svilupparsi della patologia. Il tasso di incidenza della patologia relativo al gruppo di coorte viene poi confrontato con quello di un gruppo di riferimento. Questo tipo di studio viene generalmente utilizzato per l'analisi epidemiologica di una categoria di persone particolarmente esposte.***

Gli studi caso-controllo

3) Gli studi caso - controllo

- Negli studi caso-controllo l'insorgenza della patologia si è già verificata nel momento in cui si indaga. Questo tipo di indagine, indicata per l'analisi di una patologia con bassa incidenza e lungo periodo di latenza, presuppone l'individuazione di un gruppo di soggetti che presentino la patologia ("casi") e di un gruppo di individui sani ("controlli"). Per gli appartenenti ad entrambi i gruppi è necessario conoscere i valori di esposizione; il rischio di contrarre la patologia per effetto dell'agente considerato viene calcolato confrontando statisticamente il numero di individui esposti e non esposti dei due gruppi e rapportarlo all'esposizione misurata.

Gli studi epidemiologici relativi al Radon

- ***Esistono due filoni di studi epidemiologici sul rischio di esposizione del polmone: i cosiddetti "Life Span Study" condotti sui sopravissuti alla bomba atomica di Hiroshima e Nagasaki, esposti per brevissimo tempo a radiazioni gamma e in parte neutronica; e gli studi sui minatori, esposti a radon e "figli" in modo continuo.***
- ***Questi ultimi studi dimostrano oltre ogni ragionevole dubbio l'esistenza di una correlazione positiva tra esposizione al radon e tumore polmonare; l'associazione quantitativa è tuttavia molto difficile a causa delle difficoltà interpretative (correlazioni casuali possono avere una probabilità di verificarsi, correlazioni geografiche sono difficili da interpretare a causa di fattori di confondimento, limitazioni statistiche dovute al basso numero di esposti al radon, ecc).***
- ***In più le scoperte ricavate dagli studi sui minatori vanno estese a tutta la popolazione, costituita da anche da donne e bambini, esposta per periodi di tempo più lunghi in ambienti completamente diversi dalle miniere. La pubblicazione ICRP 65 per la valutazione del rischio raccomanda l'utilizzo dell'approccio epidemiologico derivato dagli studi su minatori.***

Difficoltà degli studi epidemiologici

- **L'esistenza di una soglia di induzione al di sotto della quale è possibile escludere l'insorgenza di effetti deterministici ne permette un'efficace prevenzione, limitandone il campo di interesse essenzialmente a ristrettissime categorie di lavoratori o a condizioni incidentali estreme.**
- **Le manifestazioni patogene indotte da radiazioni sono clinicamente distinguibili come tali, a livello del singolo individuo, solo nel caso degli effetti deterministici.**
- Esistono inoltre difficoltà oggettive nell'identificare, sulla base dei dati epidemiologici, gli effetti dell'irradiazione di una popolazione o di un gruppo di individui. I fattori che concorrono alle predette difficoltà sono molteplici: il tempo di latenza delle malattie radioindotte, la dimensione e l'oscillazione statistica dell'incidenza naturale delle stesse malattie, la scarsità di dati sull'incidenza naturale e l'effetto amplificatore dell'approfondimento delle tecniche diagnostiche.

Per tanti motivi, il riconoscimento diretto degli effetti di un'esposizione alla radioattività è problematico, a meno che non si tratti di un'esposizione tanto elevata da determinare effetti somatici immediati o effetti statistici evidenti.

1986: Chernobyl

- Il piu` tragico incidente nucleare avvenne in un reattore dal disegno sbagliato e mai usato al di fuori della Russia

Circa 100 morti immediate ed una forte evidenza di un aumento del cancro alla tiroide nella regione

Radiazione in Europa: 1.2 mSv in piu`nella vita di 500 ml di persone ⇨30,000 cancri mortali in piu` **secondo l'ipotesi lineare** (in aggiunta agli ~88 ml che avverranno) ossia una percentule dello 0.03%

Il rischio

- I termini rischio e pericolo, usati frequentemente come sinonimi, nella realtà hanno un diverso significato non solo semantico, ma anche concettuale, dal momento che nel lessico corrente hanno le seguenti definizioni:

Pericolo e rischio

- pericolo: *circostanza o insieme di circostanze da cui può derivare un danno.* Si tratta quindi di un termine che implica un solo riferimento aleatorio: "può derivare" ("pericolo" è, ad esempio, il termine da usare nel caso della vicinanza di un precipizio). Ciò, nel caso nostro specifico, si traduce ad esempio nell'arfermare che le radiazioni ionizzanti costituiscono un pericolo di eritema o che l'esposizione alle radiazioni può rappresentare un pericolo per l'induzione di eritema.
- rischio: *eventualità di subire un danno a seguito* de*l vendicarsi di circostanze più o meno prevedibili.* Si tratta quindi di un termine più tenue e meno certo del pericolo, che implica un doppio riferimento aleatorio: "l'eventualità" e "la prevedibilità". Ha quindi il significato di probabilità che a seguito del concretizzarsi ai eventi fortuiti possa verificarsi un danno. E' quindi come parlare di probabilità di probabilità che si verifichi un danno; ovvero, servendosi del termine "pericolo", il rischio è la probabilità che un pericolo produca un danno. Questo è pertanto il significato giusto da chiamare in causa quando si parla di effetti stocastici delle radiazioni.

Definizione di rischio

- Il termine rischio ha diverse accezioni che vanno in qualche modo chiarite.
- 1) ***Un primo significato*** è quello attribuito ai termine dal linguaggio comune, quando viene impiegato per indicare la minaccia che accada un evento indesiderato. Con questo significato generico il termine è riferito ai campi d'interesse più svariati, che vanno dall'economia alla salute individuale e collettiva. Chiaramente in questo sede non si fa riferimento a questo significato.
- 2) ***Un secondo significato*** che viene dato a questo termine è quello in uso nelle valutazioni di sicurezza e di prevenzione. Si tratto in questo caso di uno strumento giustificativo dei criteri da porre in atto per prevenire situazioni che possono comportare dei danni anche notevoli all'individuo e alla collettività. In questo contesto si deve far ricorso a due concetti primari: quello di probabilità e quello di gravita delle conseguenze associate all'evento che si vuole evitare. Così il termine "rischio" diviene una entità matematica definito dall'espressione

$$R = p\,M$$

in cui p rappresenta la probabilità che si verifichi quell'evento e *M* la gravita espressa ad esempio in termini di effetti sanitari vari opportunamente pesati e sommati.

Il terzo significato … quello giusto

- 3) ***Un terzo significato*** del termine "rischio" è quello connesso con le esigenze di protezione. In questo caso **il concetto fa capo direttamente alle tecniche statistico-epidemiologiche**.

  A) Un primo modo di effettuare questo raffronto è quello che va sotto la denominazione di ***studio caso-controllo*** (di tipo longitudinale), che consiste nel partire dalla malattia attuale, e risalire nel tempo alle cause che possono averla determinata. In tale tipo di studio si ricerca un gruppo di individui (i "casi") affetti da una determinata patologia. Quindi viene individuato un gruppo di persone simili ai casi, ma non malati, che costituiscono i "controlli". La comparabilità tra i due gruppi è richiesto per tutte quelle variabili (sesso, età, condizioni ed abitudini di vita, etc.) che possono influire sui risultati in maniera "mascherata" e che per questo vengono definiti come "fattori di confondimento". Si passa poi ad individuare nei due gruppi il numero di individui che precedentemente sono stati esposti al fattore presunto causa di quella malattia.

Tecniche statistiche

B) Un secondo modo di effettuare il raffronto su dati epidemiologici è lo **studio trasversale** (cross-sectional) nel quale l'indagine della incidenza della malattia e la misura dell'esposizione avviene contemporaneamente. Non viene molto usato in radioprotezione.

C) Un terzo modo infine è quello di rilevare la frequenza cumulata nel tempo di un fenomeno morboso (o di morte) di una data popolazione esposta rispetto alla frequenza di una popolazione non esposta, avente ovviamente caratteristiche sovrapponibili fra di loro. Questo metodo viene detto **studio di coorte** ed è forse lo strumento che offre la via più facile per definire un certo rischio

Le ipotesi per definire un rischio

- **Ma la definizione di rischio è frutto non solo di questo approccio statistico epidemiologico, ma in parte è anche il risultato di ipotesi affidate alla logica dei fatti o ad esigenze di modellazione dei medesimi, o alla introduzione ai ipotesi che, anche se non ritenute sempre e da tutti verosimili, sono in ogni caso improntate al principio di prudenza**, principio che per i fini di protezione non è in ogni caso in discussione, *salvo quando la sua applicazione produce più male che bene*
- *.* L'organismo di vertice che valuta e propone formalmente il modello valutativo è l'Intemational Commission on Radiologica! Protection (ICRP). Nel valutare il rischio questa Commissione parte dalla constatazione di una correlazione lineare tra esposizione a dosi medio-alte e mortalità oncogena, suppone **(ipotesi)** l'assenza di una soglia, introduce un fattore di riduzione dalle alte alle basse dosi, propone un criterio di proiezione nel tempo, formula una interpretazione analitica tra esposizione acuta ed esposizione prolungata nel tempo, etc.

La relazione che definisce il rischio

- Per cui il modello diviene uno strumento valutativo del rischio, e risulta solo in parte legato alle evidenze epidemiologiche e molto alle ipotesi, ai modelli ed ai criteri di cautela. Così, dal rischio valutato attraverso io studio di varie serie epidemiologiche, si è passati al concetto di rischio proiettato nel tempo futuro, inteso come attesa di un evento oncogeno possibilmente conseguente ad esposizione come fatto la cui probabilità risulto dal coacervo dei risultati delle analisi, delle ipotesi, dei modelli, dei trasferimenti tra popolazioni, della proiezione nel corso della vita e del criterio di cautela. In tale modello, che l'ICRP dice esplicitamente finalizzato ai fini della radioprotezione, se si indica con *D* la dose ricevuta, con a un coefficiente detto brevemente "fattore di rischio", ricavato adottando i criteri di cui sopra e denominato, più formalmente, "coefficiente nominale di probabilità per tumori mortali", il rischio viene valutato come

$$R = a\,D$$

Coefficienti di rischio ICRP

Tabella 15: Coefficienti nominali di rischio per tumori mortali nella popolazione (10^{-2} Sv^{-1})

Organo o Tessuto	ICRP 26 (1977)	ICRP 60 (1990)
colon	-	0.85
esofago	-	0.30
fegato	-	0.15
mammella	0.25	0.20
midollo rosso	0.20	0.50
ovaio	-	0.10
pelle	-	0.02
polmone	0.20	0.85
stomaco	-	1.10
osso compatto	0.05	0.05
tiroide	0.05	0.08
vescica	-	0.30
tessuti rimanenti	0.50	0.50
TOTALE	1.25	5.00

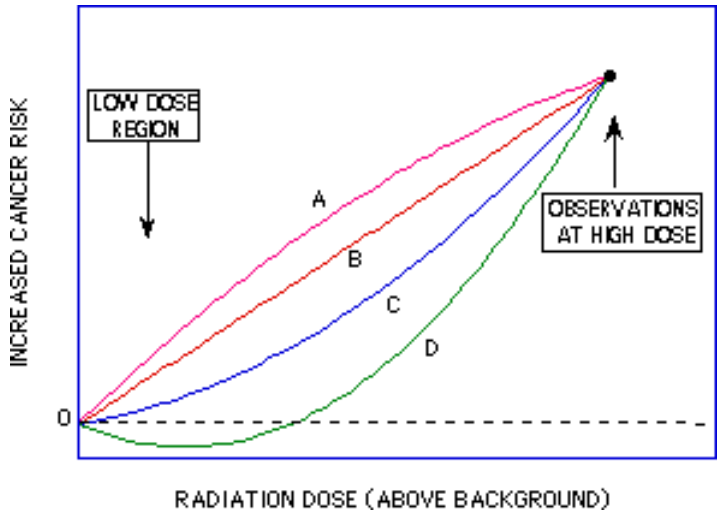
Radiazione: quanto “poco” e` poco?

<u>A basse dosi (10 mSv/anno)</u>:

Ipotesi lineare: il rischio di cancro e` direttamente proporzionale alla dose: rischio $5x10^{-5}$/mSv

Se 100,000 persone ricevono una dose aggiuntiva di 1mSv, 5 avranno il cancro

Ipotesi a soglia: il rischio di cancro aumenta solo per dosi superiori ad un certo limite.



Una valutazione americana

- Lo studio, un'analisi dei dati provenienti da sette differenti ricerche nordamericane sul radon residenziale, dimostra che, in un periodo di esposizione da 5 a 30 anni e di fronte a concentrazioni medie di radon di circa 110 Bq/m3, c'è un aumento dall'11 al 21 per cento del rischio di cancro ai polmoni.

Le più recenti stime (fonte APAT)

- Le più recenti e accurate stime di rischio, che prendono in esame le esposizioni nelle abitazioni **e** sono basate su un insieme di **13 studi europei** su un totale di 7.148 casi di tumore **polmonare** e di 14.208 controlli, confermano e consolidano le valutazioni dei decenni **precedenti.** Il rischio in eccesso rispetto alla non esposizione viene valutato in circa il 16% per **ogni** 100 Bq/m3.
- Questo vuoi dire allora, che, essendo la concentrazione media italiana pari a 70 Bq/m3 circa **l'11% degli oltre 31.000 casi di tumore polmonare che ogni anno si registrano in Italia sono attribuibili al radon**, e per la grande maggioranza tra i fumatori. Cifra che rappresenta circa il 2% di tutti i decessi per ogni tipo di tumore..

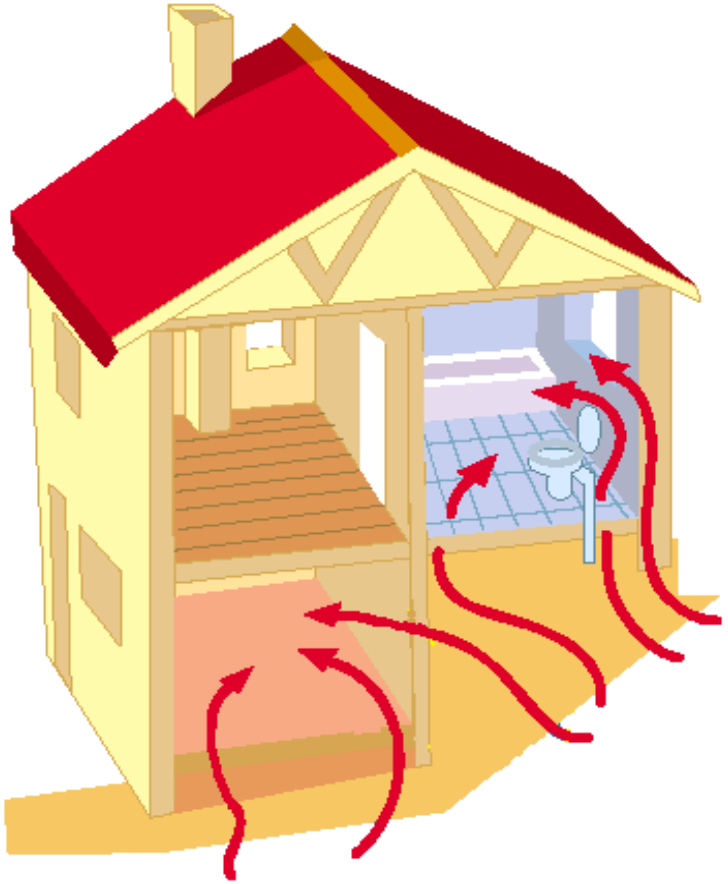
La classifica del rischio

Il radon è inquadrato al secondo posto, dopo il fumo, come causa per l'insorgenza di tumori polmonari.

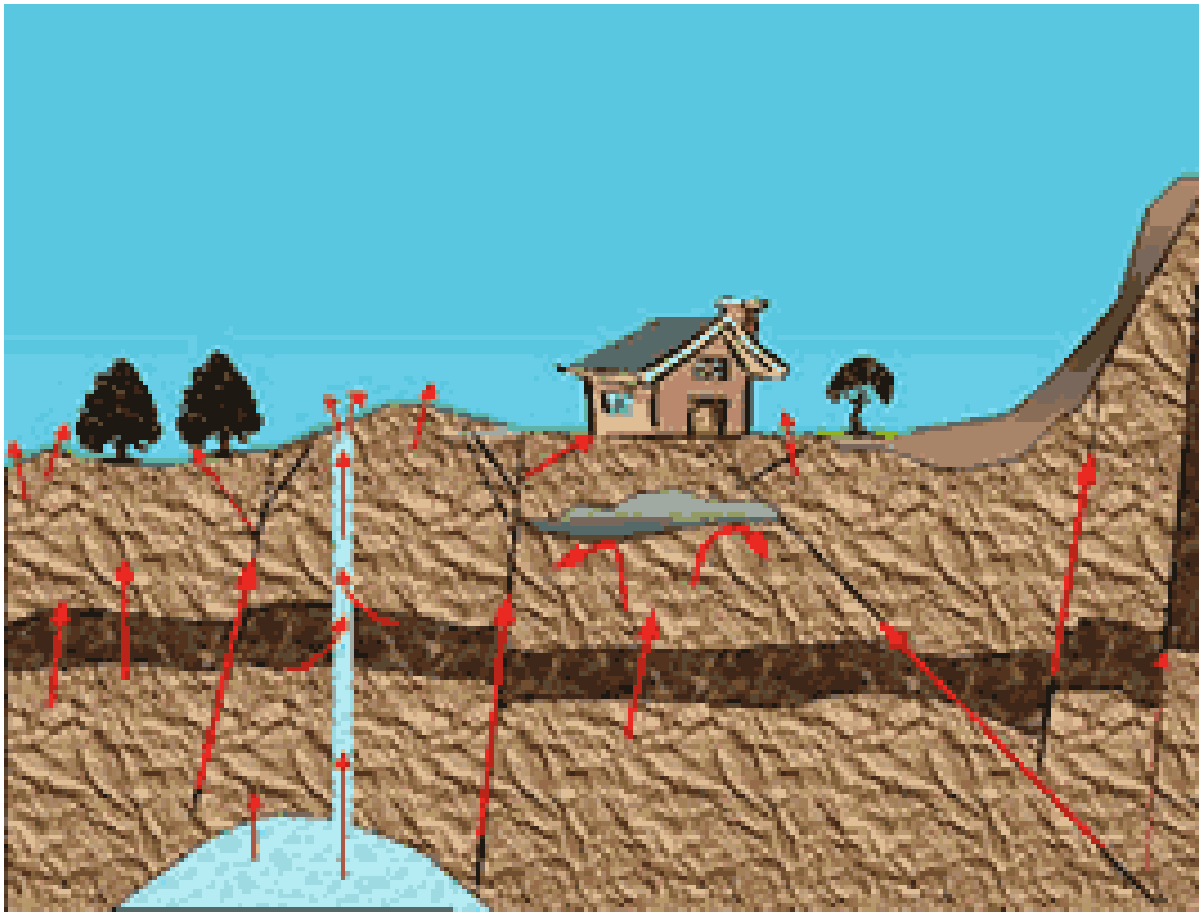
(foto: Radon, Ufficio federale d. sanità pubblica di Berna, CH).

Vie di ingresso nelle abitazioni

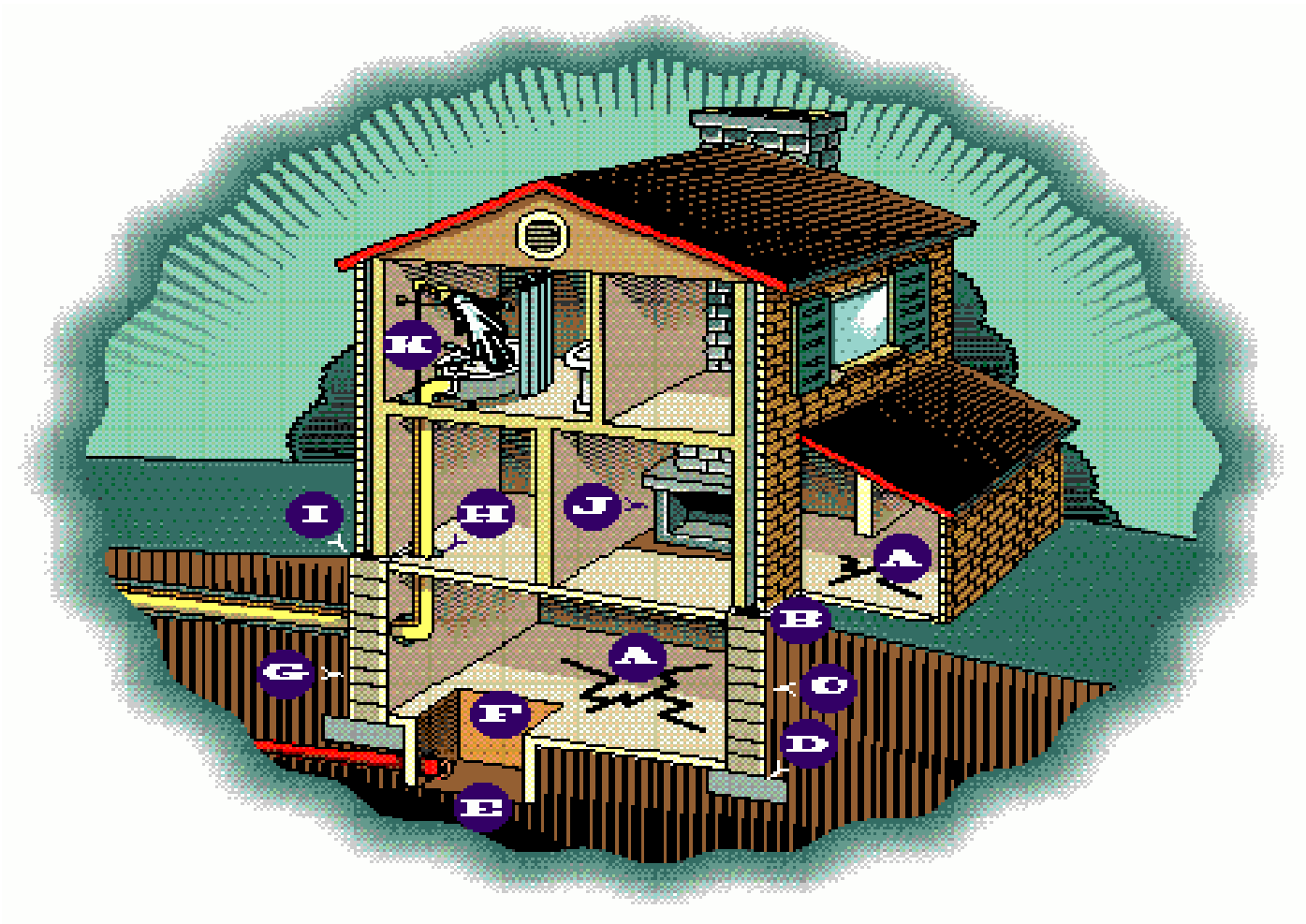
- Diffusione dal sottosuolo
- Materiali da costruzione:
  - Tufo
  - Graniti
  - Pietra pomice
  - Pozzolana
- Gas e acqua potabile domestici



Meccanismo di diffusione nelle case



Meccanismo di diffusione nelle case



Il meccanismo di diffusione nelle case

- Il meccanismo di base che trasporta il radon dal suolo negli ambienti chiusi è la differenza di pressione che tra interno ed esterno degli edifici. Generalmente l'interno di un edificio è in depressione rispetto all'esterno per cui si ha un risucchio di aria dal suolo attraverso le fessurazioni e le aperture presenti nella struttura dell'edificio. La differenza di pressione tra interno ed esterno è causata da due fenomeni principali: l'effetto camino e l'effetto vento.

L'*effetto camino*

- L'*effetto camino* è dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno dell'edificio. La differenza di pressione che ne deriva è data dalla seguente formula (Nazaroff e Nero 1988, Woolliscroft 1992):

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

dove *te* e *ti* sono rispettivamente la temperatura esterna ed interna (espresse in °C) ed α una costante pari a 3462 Pa °K.

L’effetto camino

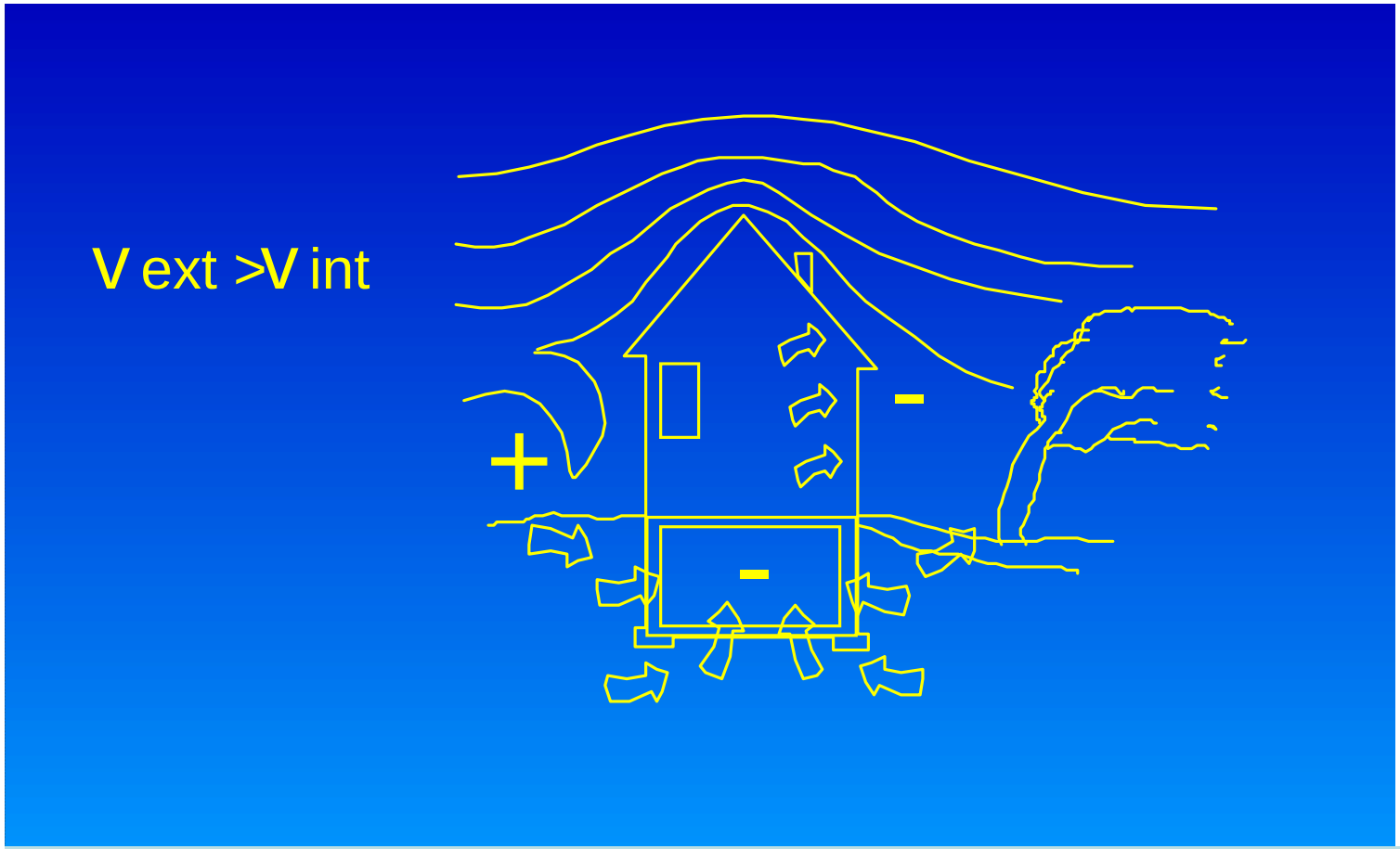
L'*effetto vento*

- L'*effetto vento* è dovuto alla differenza di velocità dell'aria che esiste tra esterno ed interno dell'edificio. La pressione esercitata su una parete è data dalla formula (Nazaroff e Nero 1988, Woolliscroft 1992):

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

- in cui P_0 è la pressione statica nel vento, v la velocità del vento, ρ è la densità dell'aria e *Cp* il coefficiente di pressione.
- *Cp* si ottiene attraverso esperimenti condotti in galleria del vento e dipende da numerosi fattori quali direzione del vento, schermi, aperture verso l'esterno, ecc.

L’effetto vento



•Per una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 10 °C e con una velocità del vento di 5 m/s si ha un ΔP = - 5 Pa (cioè lo 0.005% di P_o) Questa differenza di pressione, anche se minima, è sufficiente ad aspirare il radon dall’esterno, e soprattutto dal suolo, verso l’interno dell’edificio.

Ulteriori cause di diffusione

- La dinamica dell’ingresso del radon è influenzata anche da altri parametri, come le condizioni meteorologiche, le precipitazioni, la pressione barometrica e le loro variazioni, e soprattutto dalla struttura stessa dell’edificio

La tipologia edilizia

- La tipologia edilizia e la qualità della edificazione assumono un ruolo fondamentale nell'ingresso del radon, che è favorito da fessurazioni nei solai, dalla mancanza di sigillatura dei punti in cui le tubazioni di servizio entrano nell'edificio, ecc.
- Va sottolineato che le tecniche di costruzione prefabbricate sembrano essere più critiche, a questo livello, a causa della presenza di un gran numero di giunti strutturali e non, che costituiscono possibili vie preferenziali di ingresso del gas.
- Il calcolo della ventilazione e della pressione interna di un edificio è oggetto di continui studi da parte delle istituzioni che sono coinvolte nella riduzione della concentrazione del radon e di altri inquinanti indoors.
- Fra i codici di calcolo messi a punto ricordiamo il codice BREVENT (Hartless 1990), realizzato dal Building Research Establishment inglese.

Le più importanti vie di accesso nelle case

- Le più importanti vie attraverso le quali il gas può accedere alle abitazioni riguardano la struttura costruttiva dell'edificio e possono essere costituite da:
- Fratture tra pavimento e pareti del piano terreno;
- Fratture o crepe tra blocchi o mattoni nelle pareti degli edifici;
- Fratture in generale dovute a cedimenti delle strutture;
- Aperture causate da fenomeni di ritiro;
- Corridoi e giroscale in comunicazione con scantinati;
- Aperture attorno a tubazioni, sbocchi, cavi, ecc.;
- Aperture attorno a bulloni di ancoraggio di attrezzature varie
- Impermeabilizzazione difettosa nelle zone di drenaggio;
- Aperture intenzionali di drenaggio;
- Pareti costruite con laterizi composti da scorie di altoforno.

All’esterno non c’è problema

- All’esterno il radon non crea problemi rilevanti, in quanto si trova diluito nell’aria in piccole concentrazioni che si riducono gradualmente mentre ci si allontana dalla fonte di emissione; inoltre, in media, le persone in Europa trascorrono la maggior parte del loro tempo in casa (circa 22 ore al giorno secondo una recente stima) quindi il rischio per la salute pubblica dovuta al radon è essenzialmente correlato all’esposizione a questo gas all’interno delle abitazioni, soprattutto in ambienti poco areati, dove si può accumulare fino a raggiungere concentrazioni ritenute pericolose. Il ricambio d’aria nei locali influisce sul livello di concentrazione di questo nuclide.

Valore di concentrazione di Radon esterno:
MEDIA mondiale, circa 10 Bq/m3

Se il radon è alto…

Se la concentrazione di radon in un'abitazione è elevata, si possono adottare dei rimedi?

Sì

è possibile adottare semplici rimedi al fine di ridurre la concentrazione di radon nelle abitazioni

Le soluzioni…

I metodi più comuni sono:

- *favorire il ricambio d'aria nei locali aumentando la ventilazione naturale attraverso porte e finestre;*

- *isolare l'edificio dal suolo al fine d'impedire l'ingresso del Radon nell'abitazione (sigillatura di crepe, fessure, tubazioni, rivestimento in cemento del pavimento in cantina…);*

- *dotare l'abitazione di impianti di ventilazione artificiale;*

- *aumentare la pressione all'interno dei locali;*

- *ventilare naturalmente o artificialmente i vespai.*

Principali metodi

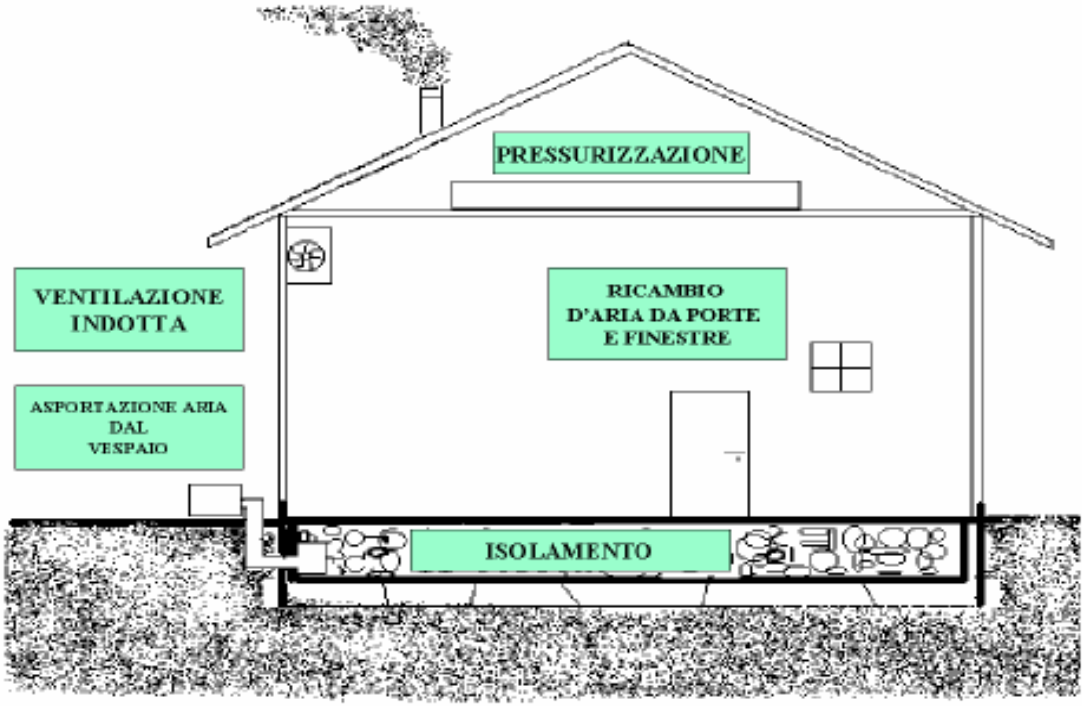


Fig. 7: Principali metodi di riduzione del radon in un'abitazione.

METODI TECNICI PER L’ELIMINAZIONE DEL RADON DALLE ABITAZIONI (1)

- ***1) Ventilazione.***

La ventilazione naturale (tecnica passiva): è un accorgimento che diminuisce la concentrazione del gas, permettendo così una diluizione del radon . L'apertura di finestre e porte è un espediente efficace negli insediamenti urbani e rurali ma solo quando il clima consente una continua ventilazione.

La ventilazione forzata (tecnica attiva) : è un artificio che permette la fuoriuscita del gas in maniera razionale evitando , nelle stagioni più fredde, un eccessivo dispendio termico. Un calcolo accurato permette di convogliare all'esterno un volume d'aria ben noto che può variare secondo la concentrazione permettendo un ricircolo misurato , grazie ad un estrattore che può essere installato sul sistema centrale d’aria calda forzata e sulle valvole di regolazione della bocchetta d’immissione che può essere applicato direttamente sulle porte e sulle finestre. La ventilazione forzata può essere adottata in tutti gli edifici ,come la ventilazione naturale, senza particolari accorgimenti tecnici o costosi interventi d’altro tipo.

METODI TECNICI PER L'ELIMINAZIONE DEL RADON DALLE ABITAZIONI (2)

- 2*) Interventi sull'attacco a terra, pozzo radon e intercapedini.*

- E' importante considerare il rapporto edificio-suolo se il terreno costituisce una fonte primaria di radon . Secondo il tipo d'attacco a terra dell'edificio e delle tipologie annesse si possono ipotizzare diversi tipi d'interventi :

- *a) La depressurizzazione attiva del vespaio* (tecnica attiva) : la diversa concentrazione del radon nelle abitazioni può dipendere anche dalla differenza di pressione tra il suolo e gli ambienti stessi e,in questo caso , è possibile diminuire la quantità di radon in ingresso modificando le condizioni di pressione. Un opportuno drenaggio costituito da pietrame permette la captazione del gas, mentre il suo allontanamento è affidato a condotti d'aspirazione forzata .

METODI TECNICI PER L'ELIMINAZIONE DEL RADON DALLE ABITAZIONI (3)

- *b) La suzione del sottosuolo* (tecnica attiva) : in alcuni edifici si provvede al drenaggio al fine di allontanare le acque dal terreno e quando questa tubazione (perforata) forma un anello continuo , è possibile sfruttarla per far allontanare il radon. Applicando un estrattore al pozzetto di raccolta posto lontano dall'abitazione, si crea una depressione che permette l'estrazione del gas : si ottiene in taluni casi una riduzione del 98% .
- *c) La tecnica della parete ventilata* (tecnica attiva o passiva). Quando esiste un'intercapedine tra i muri interni ed esterni, i movimenti convettivi naturali o forzati permettono l'allontanamento del gas evitando quindi l'ingresso nell'abitazione.

Interventi più semplici

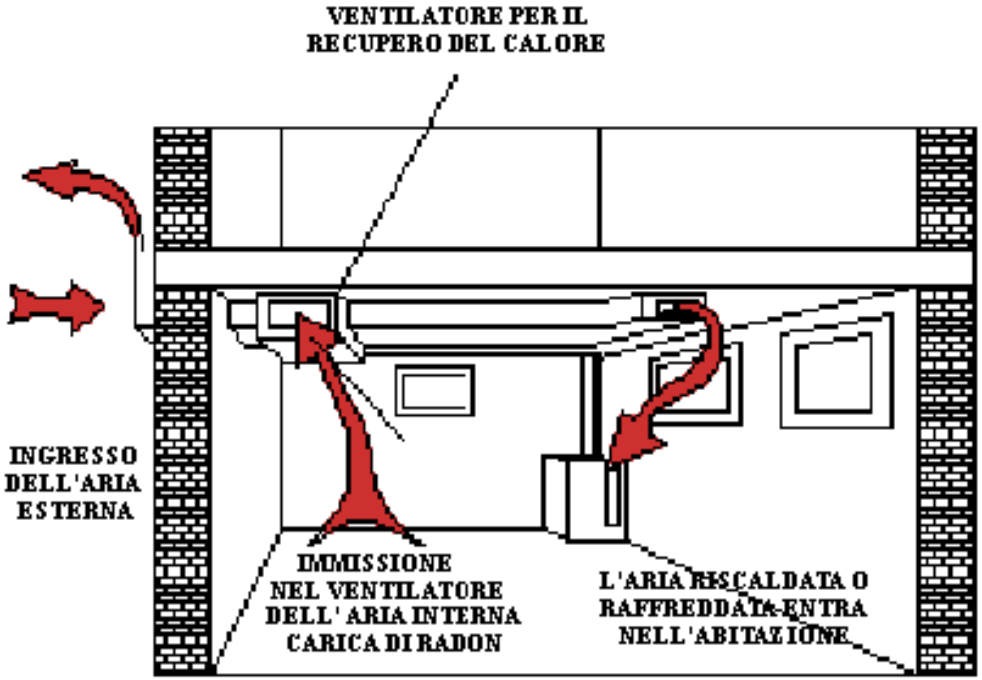
- Interventi più semplici ma ugualmente efficaci possono essere: la realizzazione di una presa d'aria esterna, la sigillatura di tutti gli interstizi attorno alle condotte tecnologiche , la non perforazione del solaio con apparecchi da illuminazione ad incasso o botole, la sigillatura delle finestre, la sigillatura della porta d'accesso del piano interrato .

Il pozzetto radon

- Per eliminare il radon in maniera sistematica ,quando la concentrazione supera notevolmente le soglie ,si può installare un pozzo radon di raccolta da collocarsi nel piano più basso dell'edificio. Il pozzo radon è costituito principalmente da mattoni non cementati, con dei larghi fori che danno la possibilità al gas radon di entrare nel pozzo che deve essere coperto da una lastra di cemento mentre attorno ad esso va posta della ghiaia grossolana. Così il gas tenderà naturalmente a convogliarsi nel pozzo, al quale sarà collegato un sistema evacuante, costituito da un tubo e da una pompa aspirante che canalizzeranno il gas, portandolo preferibilmente sul tetto e lontano comunque da porte e finestre dell'edificio grazie ad un’intercapedine : la cavità sarà provvista di fori al fine di permettere una ventilazione naturale e in altri casi forzata mediante l'uso di estrattori. Questo è attualmente il sistema più utilizzato in abitazioni di recente costruzione.

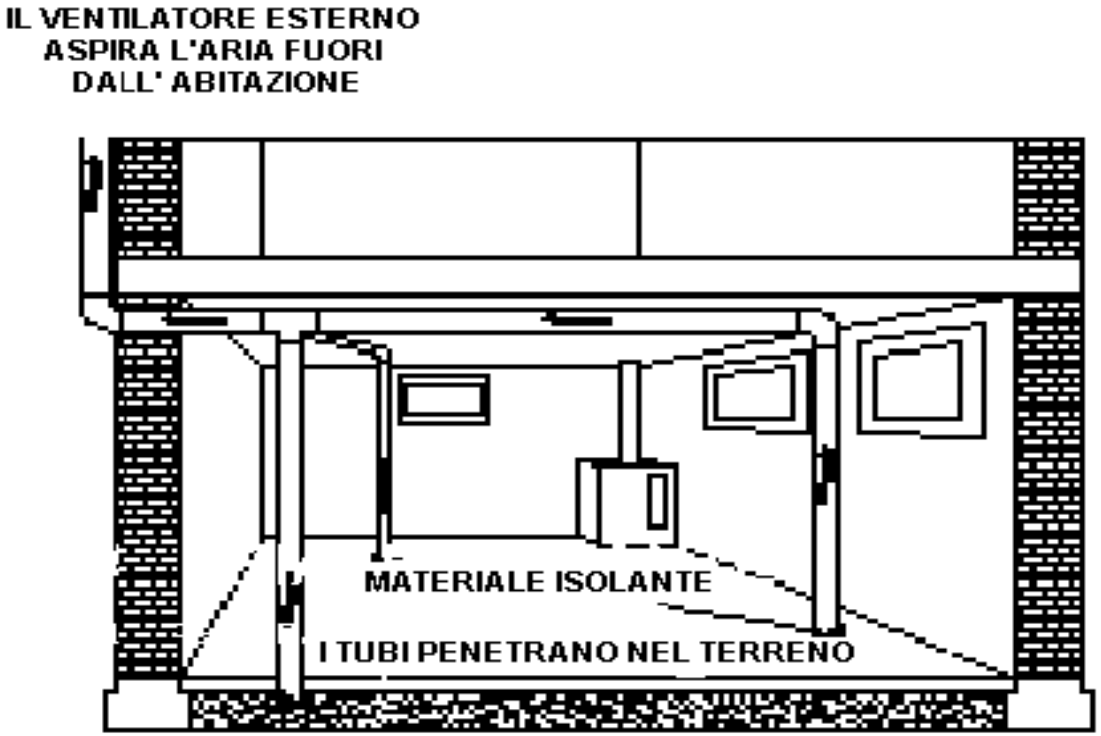
COME RIDURRE IL RADON NELLE ABITAZIONI

RIDUZIONE DEL RADON PER MEZZO DI VENTILATORI PER IL RECUPERO DEL CALORE



COME RIDURRE IL RADON NELLE ABITAZIONI

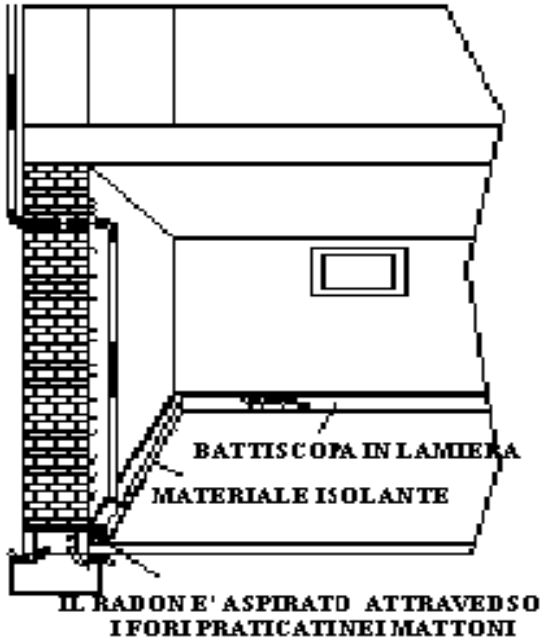
RIDUZIONE DEL RADON PER MEZZO DELL'ASPIRAZIONE ATTRAVERSO IL TERRENO SOTTOSTANTE



COME RIDURRE IL RADON NELLE ABITAZIONI

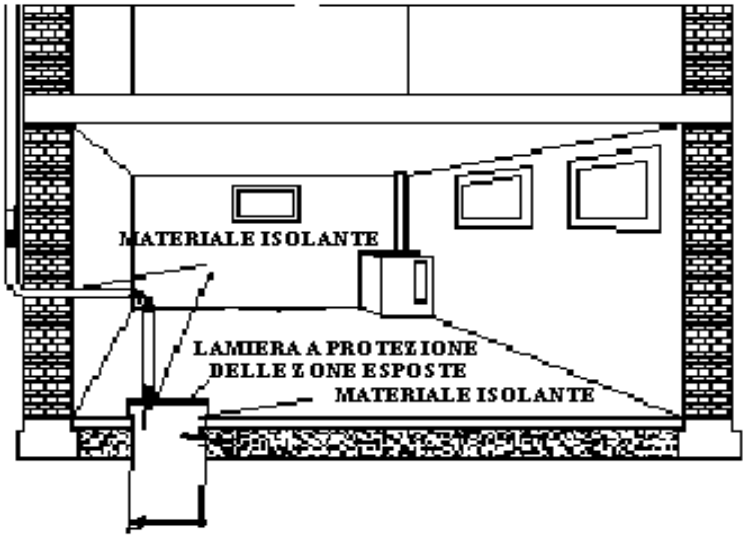
RIDUZIONE DEL RADON ATTRAVERSO I BATTISCOPA

IL VENTILATORE ESTERNO ASPIRA
IL RADON FUORI DALL'ABITAZIONE



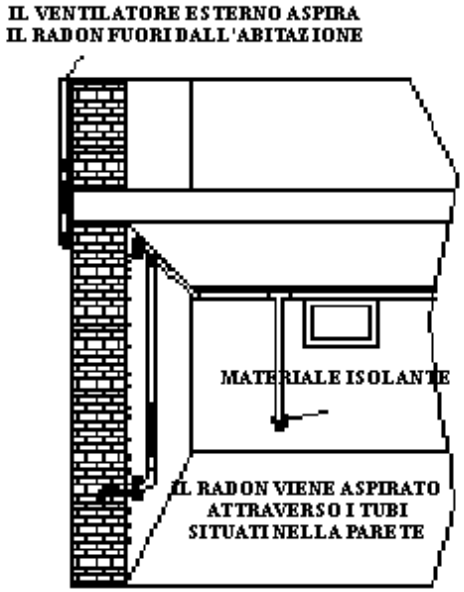
RIDUZIONE DEL RADON PER MEZZO DI UNA FOSSA NELLO SCANTINATO

LA VENTOLA ESTERNA ASPIRA
L'ARIA FUORI DALL'ABITAZIONE

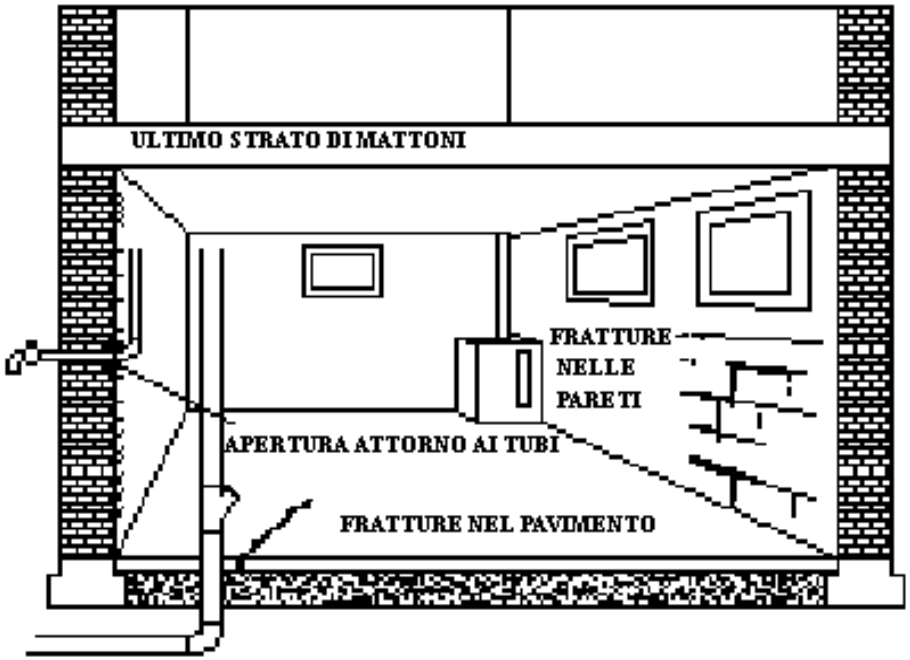


COME RIDURRE IL RADON NELLE ABITAZIONI

RIDUZIONE DEL RADON CON IL METODO DEL TUBO INSERITO NELLA PARETE



RIDUZIONE DEL RADON MEDIANTE SIGILLATURA DELLE CREPE E DELLE ALTRE APERTURE



Il problema fondamentale della radioprotezione

- Il problema fondamentale della radioprotezione è quello di stabilire l'effetto che produce un dato campo di radiazione sul corpo umano

- **La soluzione non è semplice e i risultati conseguiti pur essendo ragionevolmente soddisfacenti non sono ancora conclusivi**

Breve cronistoria della dottrina della radioprotezione

- **1900**: Calcolo per la realizzazione di schermature (barriere) necessarie per poter lavorare con i raggi X
- **1930** Mutshellere – Dose di tolleranza: 500 mSv/anno (per tutti)
- **1940** Si ammetteva che ricevendo dosi minori della dose di tolleranza potessero comparire delle alterazioni transitorie, funzionali e reversibili ma non lesioni organiche irreversibili (questo criterio era legittimato dalle conoscenze del momento)
- **1958**: DMA 50 mSv/anno (lavoratori esposti)

  5 mSv/anno (individuo della popolazione) –comunque max 50 mSv/anno in 30 anni (dose genetica)

I Principi diventano due →

"Principio di limite" – rispettare i limiti imposti dalla DMA

"Principio di tendenza" – impegno ad eliminare ogni dose non necessaria sul piano tecnico e del buon funzionamento, compatibilmente con i costi

…segue cronistoria

- **1972**: Viene introdotto il **Principio ALARA** (As low as readly achievable) che vuol dire "tanto basse quanto concretamente ottenibile" (in riferimento alle dosi)
- **1974**: Vengono codificati i tre principi →
  - Principio di Giustificazione
  - Principio di Ottimizzazione
  - Principio del limite della dose individuale

Principio di Giustificazione: "Nessuna attività umana deve essere accolta a meno che la sua introduzione procuri un beneficio netto e dimostrabile"

Principio di ottimizzazione: Ricerca del costo complessivo minimo per la società relativa a quelle attività che hanno superato il primo principio. "Ogni esposizione alle radiazioni deve essere tenuta tanto bassa quanto è ragionevolmente ottenibile, facendo corso a considerazioni sia economiche che sociali"

Principio del limite della dose individuale: "La dose alle singole persone non deve superare limiti raccomandati (dall'ICRP) per le varie circostanze"

Le valutazioni americane

- Nell’ambito delle rilevazioni americane, il valore principale di soglia è però generalmente considerato 148 Bq / m3) (la scelta di questo preciso valore è legata alle attuali tecniche di riduzione del livello di radon nelle case).
- Osserviamo che il livello medio della concentrazione di radon “interno”(cioè, al chiuso) in America è pari a 48 Bq / m3 , mentre il valore medio del livello “esterno” (all’aperto) è di 14,8 Bq / m3 . Interessante sarà allora verificare che, in corrispondenza dei livelli medi di Radon, il rischio di ammalarsi di tumore, per un non fumatore, è quasi nullo, mentre per un fumatore è molto più alto.

Tabella di rischio per i FUMATORI in America

Se 1000 persone che fumano sono esposte a questo livello di Radon nel corso della loro vita… il rischio di cancro da esposizione al radon è paragonabile a …

- **740 Bq/m3** Circa **135** persone potrebbero ammalarsi
  100 volte il rischio di annegamento
- **370 Bq/m3** Circa **71** persone potrebbero ammalarsi
  100 volte il rischio di morire in un incendio domestico
- **300 Bq/m3** Circa **57** persone potrebbero ammalarsi
- **150 Bq/m3** Circa **29** persone potrebbero ammalarsi
  100 volte il rischio di morire in un incidente aereo
- **74 Bq/m3** Circa **15** persone potrebbero ammalarsi
  2 volte il rischio di morire in un incidente d'auto
- **48 Bq/m3** Circa **9** persone potrebbero ammalarsi
  (valore medio del livello di radon interno)
- **15 Bq/m3** Circa **3** persone potrebbero ammalarsi
  (valore medio del livello di radon esterno)

Tabella di rischio per i NON FUMATORI in America

- **Se 1000 persone che non fumano sono esposte a questo livello di Radon nel corso della loro vita… … il rischio di cancro da esposizione al radon è paragonabile a…**

- **740 Bq/m3** Circa **8** persone potrebbero ammalarsi
  Il rischio di essere uccisi in un crimine violento
- **370 Bq/m3** Circa **4** persone potrebbero ammalarsi di

- **300 Bq/m3** Circa **3** persone potrebbero ammalarsi
  10 volte il rischio di morire in un incidente aereo
- **150 Bq/m3** Circa **2** persone potrebbero ammalarsi
  il rischio di annegamento
- **74 Bq/m3** Circa **1** persone potrebbero ammalarsi ***Media ITALIANA***
  il rischio di morire in un incendio domestico
- **48 Bq/m3** **Meno di 1** persona potrebbe ammalarsi di
  cancro ai polmoni (valore medio del livello di radon interno)
- **15 Bq/m3** **Meno di 1** persona potrebbe ammalarsi
  (valore medio del livello di radon esterno)

Lezione 3

- Le valutazioni americane ed europee
- La situazione italiana
- Cosa prevedono le leggi in materia di radon
- Metodologie di indagine
- Il radon nell’acqua
- Tipi di strumentazione e metodologie di misura
- Definizione di “luoghi di lavoro sotterranei”
- Il monitoraggio della radioattività in Italia

Le valutazioni europee

- **Nel 1990,** l'Unione Europea (UE) ha emanato una raccomandazione, la n. 143 del 21 febbraio, che tutela la popolazione all'esposizione del radon in ambienti chiusi.

  Questa raccomandazione stabilisce 2 livelli di riferimento in termini di **20 mSv/anno e di 10 mSv/anno**; il primo riguarda gli edifici esistenti e il secondo riguarda gli edifici da costruire. Questi 2 livelli, vengono fatti corrispondere ad un'altra unità di misura e rispettivamente a 400 Bq/m3 e 200 Bq/m3.

  L'unica applicazione italiana di questa raccomandazione è una circolare della regione Lombardia del 1991 che con la deroga ex articolo 8 del DPR 303/56 accerta che nei luoghi chiusi e sotterranei devono essere effettuati dei controlli che rilevano la concentrazione di radon che non deve superare quella stabilita della raccomandazione CEE 90/143 del 21/02/90.

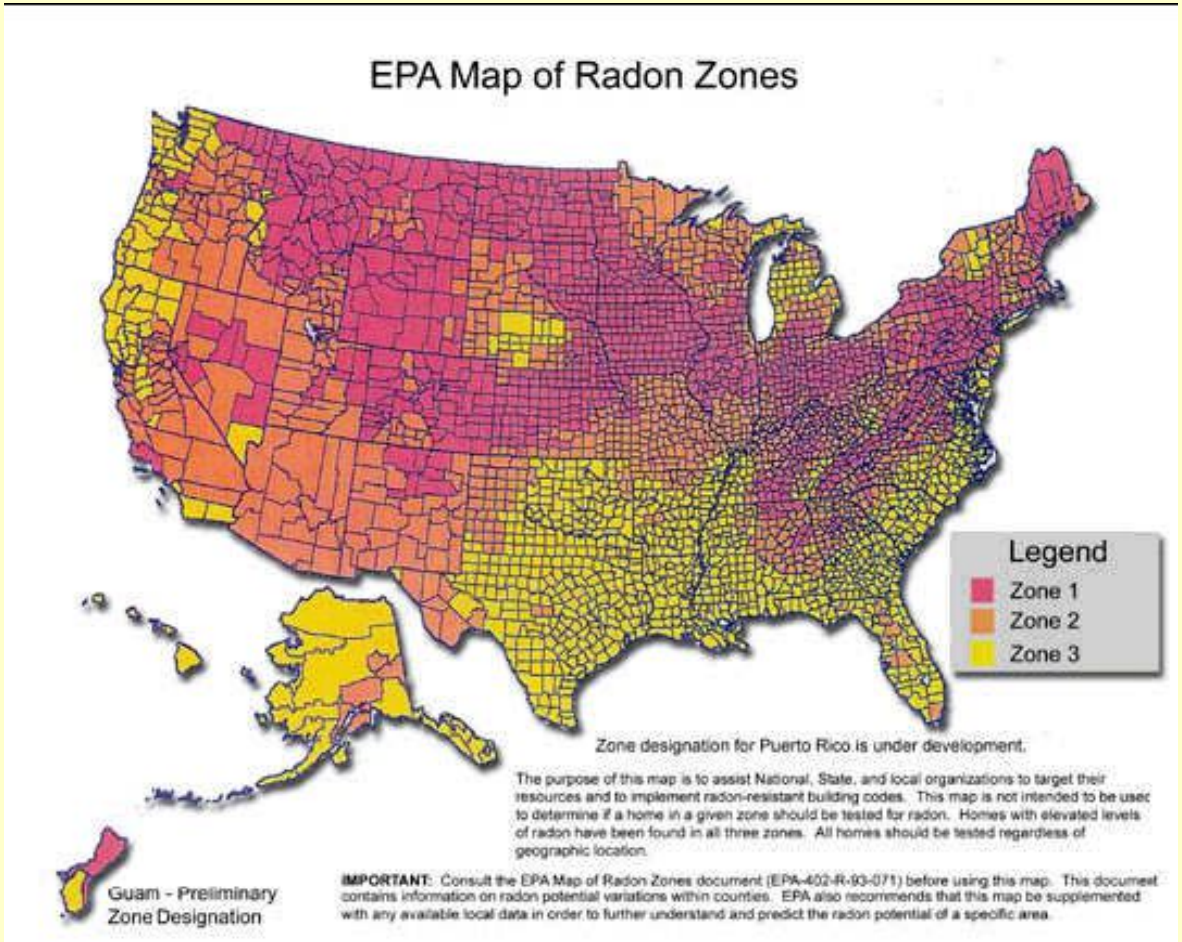
La raccomandazione del 1993

- La Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP) sottolineò la vastità del problema per la salute pubblica e formulò specifiche raccomandazioni sulla pubblicazione n°65 del 1993.

  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

Il Radon in America

Questi valori sono medie predette e non medie misurate



Le contee delle **zone rosse** > **148 Bq/m3**

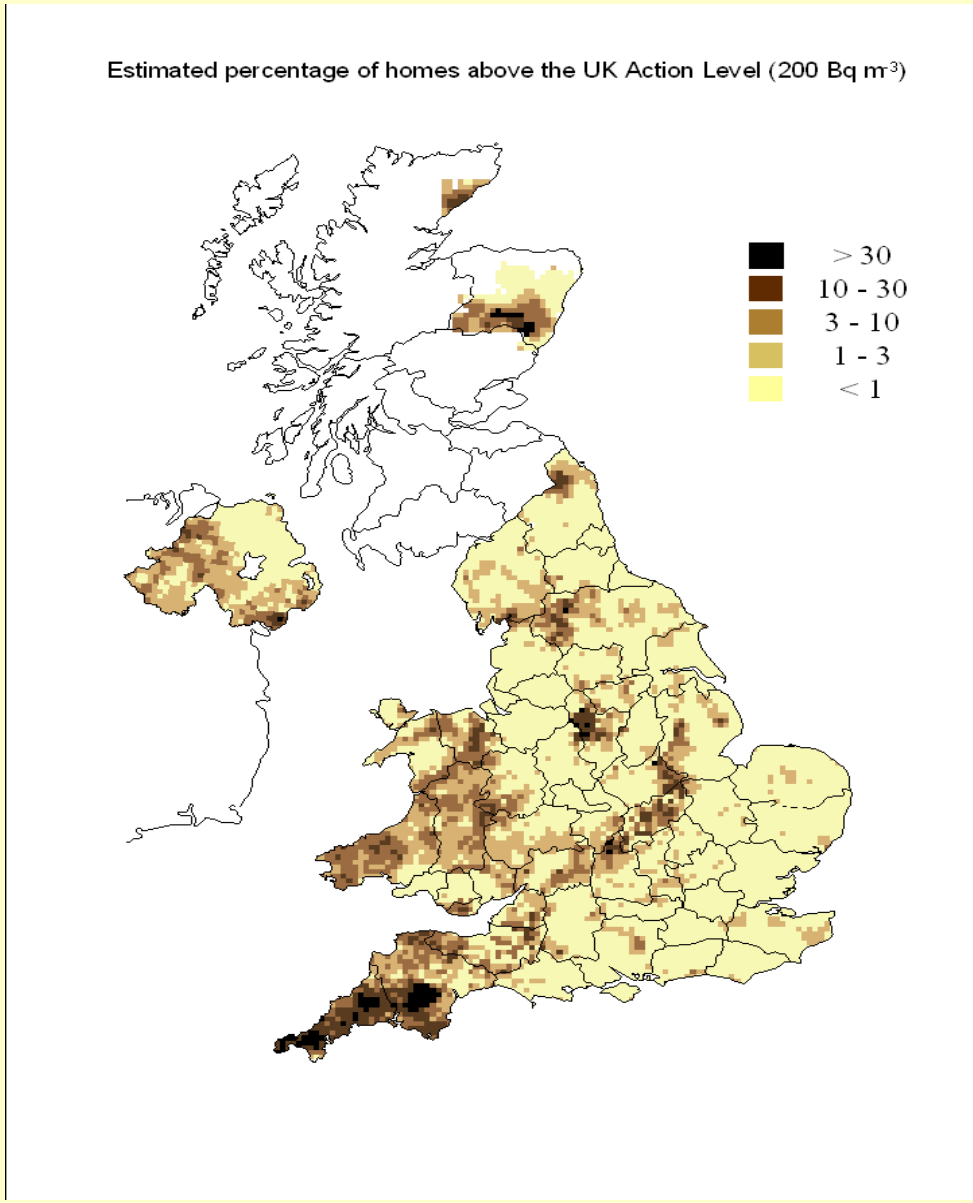
Le contee delle **zone arancione** hanno valori compresi tra **74 e i 148 Bq/m3**

Le contee delle **zone verdi** < **74 Bq/m3**

(Valori medi italiani)

La media americana misurata è di 46 Bq/m3

Il Radon in Gran Bretagna



Questi sono i valori percentuali di superamento del valore di riferimento di 200 Bq/m3

Precedenti misure nel mondo

Concentrazioni medie annuali indoor di alcuni paesi fornite dall' UNSCEAR nel 1993

Australia	**12 Bq/m^3**
Usa	46 Bq/m^3
Canada	33 Bq/m^3
Svezia	**108 Bq/ m^3**
Germania	50 Bq/ m^3
Cecoslovacchia	**140 Bq/ m^3**
Gran Bretagna	**21 Bq/ m^3**
Paesi Bassi	86 Bq/ m^3
Spagna	29 Bq/ m^3
Italia	**75 Bq/m3**

I valori nazionali

- L'indagine sull'esposizione alla radioattività ambientale nelle abitazioni promossa dall'**A.N.P.A**. e dall'**I.S.S**. si è conclusa nel 1994 ed ha fornito i seguenti risultati:
- Il valore medio nazionale della concentrazione di radon è pari a ***70 Bq/m3*** (che supera di gran lunga i 40 Bq/m3 stimati come valore medio a livello mondiale) mentre la percentuale delle case in cui la concentrazione supera i valori di riferimento (200 e 400 Bq/m3) raccomandati dalla Comunità Europea è del 5% e 1%.

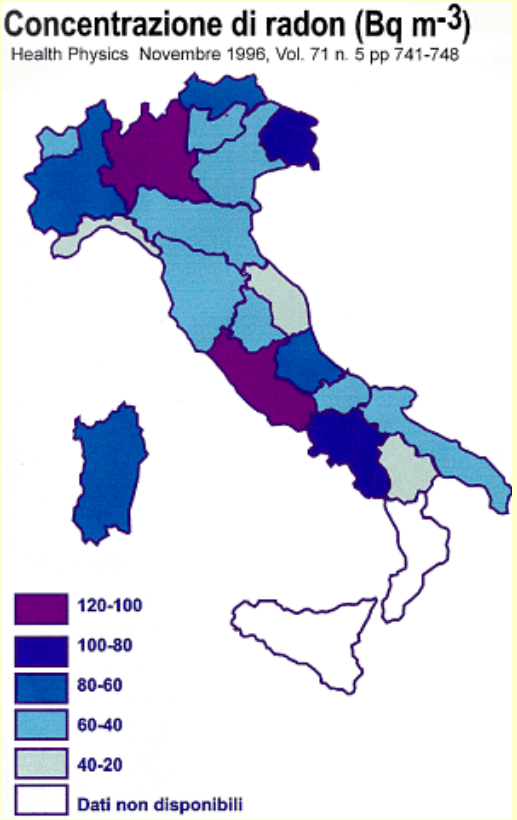
Le misure in Italia

Concentrazioni rilevate in circa 5000 abitazioni

(1990-1994)

- **Abruzzo 61 Bq/m^3** (media su 100 abitazioni)
- Emilia Romagna 43 Bq/m^3
- Friuli Venezia Giulia 96 Bq/m^3
- Lombardia 117 Bq/m^3

MEDIA NAZIONALE: 75 Bq/m^3



40 Bq/m^3 è la concentrazione media mondiale (dato UNSCEAR)

L’indagine nazionale del 1994

- In Italia, è stata effettuata una Indagine Nazionale sulla Radioattività Naturale nelle Abitazioni (Bochicchio et al., 1994; Bochicchio et al., 1999). L'indagine nazionale ha preso in considerazione un campione rappresentativo di circa 5000 abitazioni, nelle quali sono state effettuate misure di radon per un intero anno suddivise per due semestri.

  La concentrazione media annuale nazionale è risultata 70 Bq/m3 che può esser considerato un valore medio-alto in confronto con i valori di altri Paesi e con la media mondiale, stimata di circa 40 Bq/m3.

- E' da notare la situazione molto diversificata tra le regioni. Nell'ambito delle regioni si sono riscontrate aree con concentrazioni annuali anche notevolmente superiori alla media regionale.

Tabella riassuntiva campagna 1994

Tab.2: Risultati dell'indagine sulla concentrazione di radon nelle abitazioni italiane	
No. di abitazioni	5361
No. di città	232
Max (Bq/m^3)	1036
Media aritmetica (Bq/m^3)	70
Scarto tipo della media (Bq/m^3)	1
Media geometrica (Bq/m^3)	52
Scarto tipo della media geometrica	2.1
Abitazioni > 150 Bq/m^3	7.9%
Abitazioni > 200 Bq/m^3	4.1%
Abitazioni > 400 Bq/m^3	0.9%
Abitazioni > 600 Bq/m^3	0.2%

La situazione per singola regione

Tab.3: Risultati della concentrazione media annuale di radon nelle regioni italiane

Regione	Rn Conc. (Bq/ m³) AM±SE	Abitazioni > 200 Bq/ m³ N	%	Abitazioni > 400 Bq/ m³ N	%
Piemonte	69±3	9	2.1%	3	0.7%
Valle d'Aosta	44±4	0	0.0%	0	0.0%
Lombardia	111±3	70	8.4%	18	2.2%
Alto Adige Province	70±8	1	1.3%	0	0.0%
Veneto	58±2	7	1.9%	1	0.3%
Friuli-Venezia-Giulia	99±8	22	9.6%	11	4.8%
Liguria	38±2	1	0.5%	0	0.0%
Emilia-Romagna	44±1	3	0.8%	0	0.0%
Toscana	48±2	4	1.2%	0	0.0%
Umbria	58±5	1	1.4%	0	0.0%
Marche	29±2	1	0.4%	0	0.0%
Lazio	119±6	37	12.2%	10	3.4%
Abruzzo	60±6	5	4.9%	0	0.0%
Molise	43±6	0	0.0%	0	0.0%
Campania	95±3	42	6.2%	3	0.3%
Puglia	52±2	5	1.6%	0	0.0%
Basilicata	30±2	0	0.0%	0	0.0%
Calabria	25±2	1	0.6%	0	0.0%
Sicilia	35±1	0	0.0%	0	0.0%
Sardegna	64±4	3	2.4%	0	0.0%

AM = Media aritmetica; SE = Standard Error

Le zone calde

- 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/m3 con punte di 1000 ed oltre Bq/m3.
- Le maggiori responsabilità di questo fenomeno sono da attribuire alle caratteristiche geologiche del sottosuolo italiano, all'impiego di tufi e pozzolane e al fatto che in

  Italia vengono spesso costruiti locali pubblici in luoghi sotterranei comunicanti direttamente con l'interno.

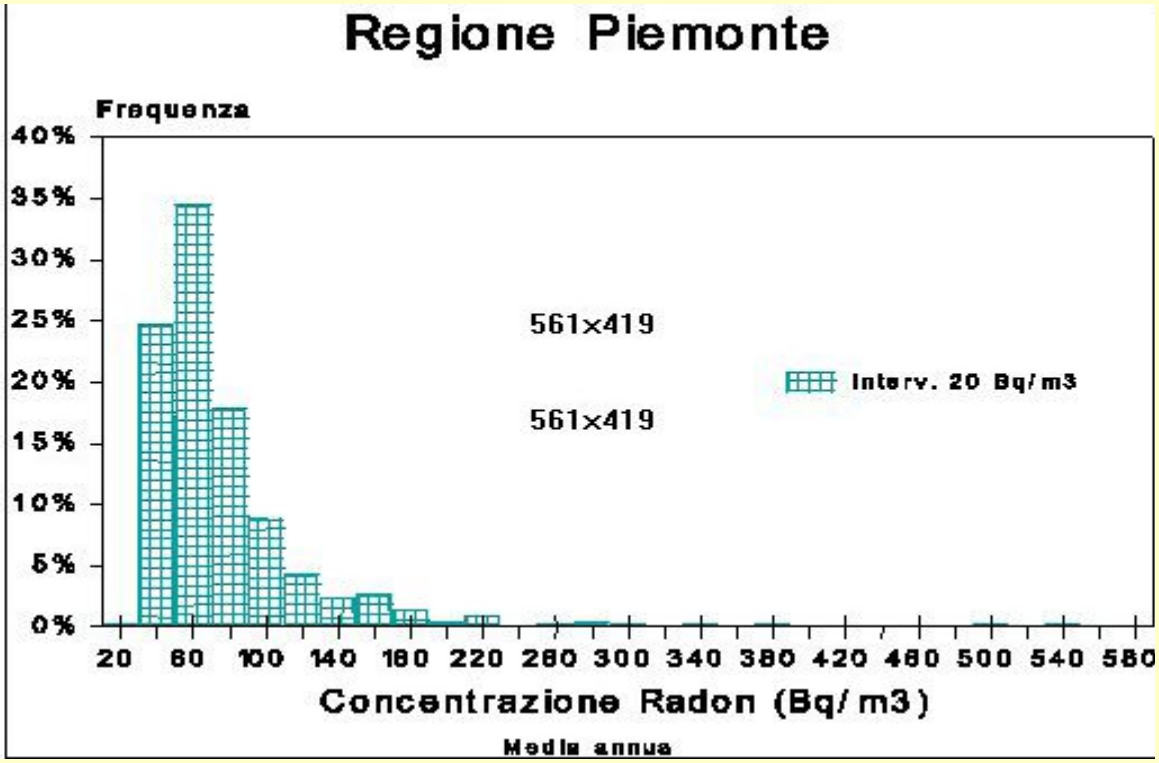
  Inoltre non sono rare concentrazioni di 400-500 Bq/m3 **intorno al Vesuvio, all'Etna in Sardegna e in Friuli**.

LA SITUAZIONE DELLE REGIONI ITALIANE

- Il rischio correlato alla presenza di radon ha causato un aumento del lavoro dei ricercatori, degli esperti e dei responsabili della salute pubblica. Per valutare l'entità del problema, sono state effettuate misure di livelli di radon nelle case in quasi tutti i Paesi europei negli ultimi 10 anni. **E' stato rilevato che un basso livello medio nazionale non esclude l'esistenza di aree limitate ad alta concentrazione di radon.**

- In molti casi la Commissione Europea ha appoggiato la realizzazione di queste campagne. Il problema maggiore che l'uomo deve superare, come abbiamo visto, è il contatto quotidiano con il radon, dovuto al fatto che trascorre 80-90% della giornata in ambienti confinati e perfettamente isolati.

Quale distribuzione segue il radon



I valori di concentrazione di gas radon seguono una distribuzione Log-normale

Nel 1995 in Italia si stabilisce il criterio dei 200 e 400 Bq/m3

- Nel 1993 ancora l'Unione Europea ha emanato una nuova raccomandazione "sulla tutela della popolazione contro l'esposizione a radon in ambienti chiusi", che modificando la precedente, **abbandona le differenze tra edifici esistenti e nuovi** ed invita le autorità preposte a fissare un livello compreso tra **3 e 10 mSv/anno** di dose-soglia.

- NB.: Negli USA viene considerata soglia di attenzione, per quanto concerne il Radon, la quantità di 148 Bq/m3.

- Nel settembre 1995 il problema radon in Italia è stato presentato al convegno internazionale Healty Building 95 dove si era stabilito inizialmente di adottare su scala nazionale un livello di 400Bq/m3 valido per tutto il territorio e in un secondo tempo di adottare un livello compreso tra i 200 e 400Bq/m3 in modo da permettere una scelta differenziata tra le varie regioni che potesse quindi tenere conto della gravità del problema radon sul territorio.

Normativa attuale

D.Lgs. 17/3/1995 n.230 s.m.i.

"Protezione contro i rischi derivanti dalle r.i."

D.Lgs. 241/00

Recepisce la Direttiva EURATOM 29/96

Modifica ed integra la norma precedente chiarendo varie responsabilità, funzioni e procedure per garantire la protezione della popolazione e dei lavoratori in cui vi siano attività con esposizioni a radiazioni

D.Lgs. 187/00

Recepisce la Direttiva EURATOM 43/97

Modifica in modo sostanziale responsabilità, funzioni e procedure per garantire la protezione del paziente sottoposto ad attività medica con impiego di r.i.

Campo di applicazione - D.Lgs. 241/00

- 1) La costruzione, l'esercizio e la disattivazione degli impianti nucleari
- 2) Le pratiche che implicano un rischio dovuto a r.i. provenienti da sorgenti artificiali o da una sorgente naturale nei casi in cui i radionuclidi siano o siano stati trattati per le loro proprietà fissili
- 3) Le attività lavorative diverse dalle "pratiche" di cui sopra ma che implicano presenza di sorgenti naturali di cui al Capo III bis (tra cui anche **il RADON**)
- 4) Gli interventi in caso di emergenza radiologica o nucleare

COSA PREVEDONO LE LEGGI

- Attualmente in Italia esistono obblighi solo per i luoghi di lavoro introdotti dal decreto legislativo 241/2000 che ha modificato il Dlgs 230/95 (vedi di seguito).
- Per gli ambienti residenziali e le acque destinate ad uso potabile esistono raccomandazioni della Comunita' Europea: rispettivamente la 143/90 e la 928/2001.
- La conferenza Stato Regioni ha redatto inoltre un documento che auspica tra l'altro il controllo del Radon denominato: Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati

Decreto Legislativo n. 241/2000

Capo III bis

"Esposizioni da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni"

Si applica segnatamente a:

a) Attività lavorative durante le quali i lavoratori e, se del caso, 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 quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei;

b) Attività lavorative …… in luoghi di lavoro …… in zone ben identificate o con caratteristiche ben determinate

Livello di azione: 500 Bq/m^3 come conc. media annua di radon in aria

Per la attività a) i termini decorrevano a partire del 1.3.2002

ADEMPIMENTI PER LA ESPOSIZIONE AL RADON NEI LUOGHI DI LAVORO

art. 10 bis, 1°, lett a) e b) e 10 Ter, Capo III bis del Dlgs 241/2000

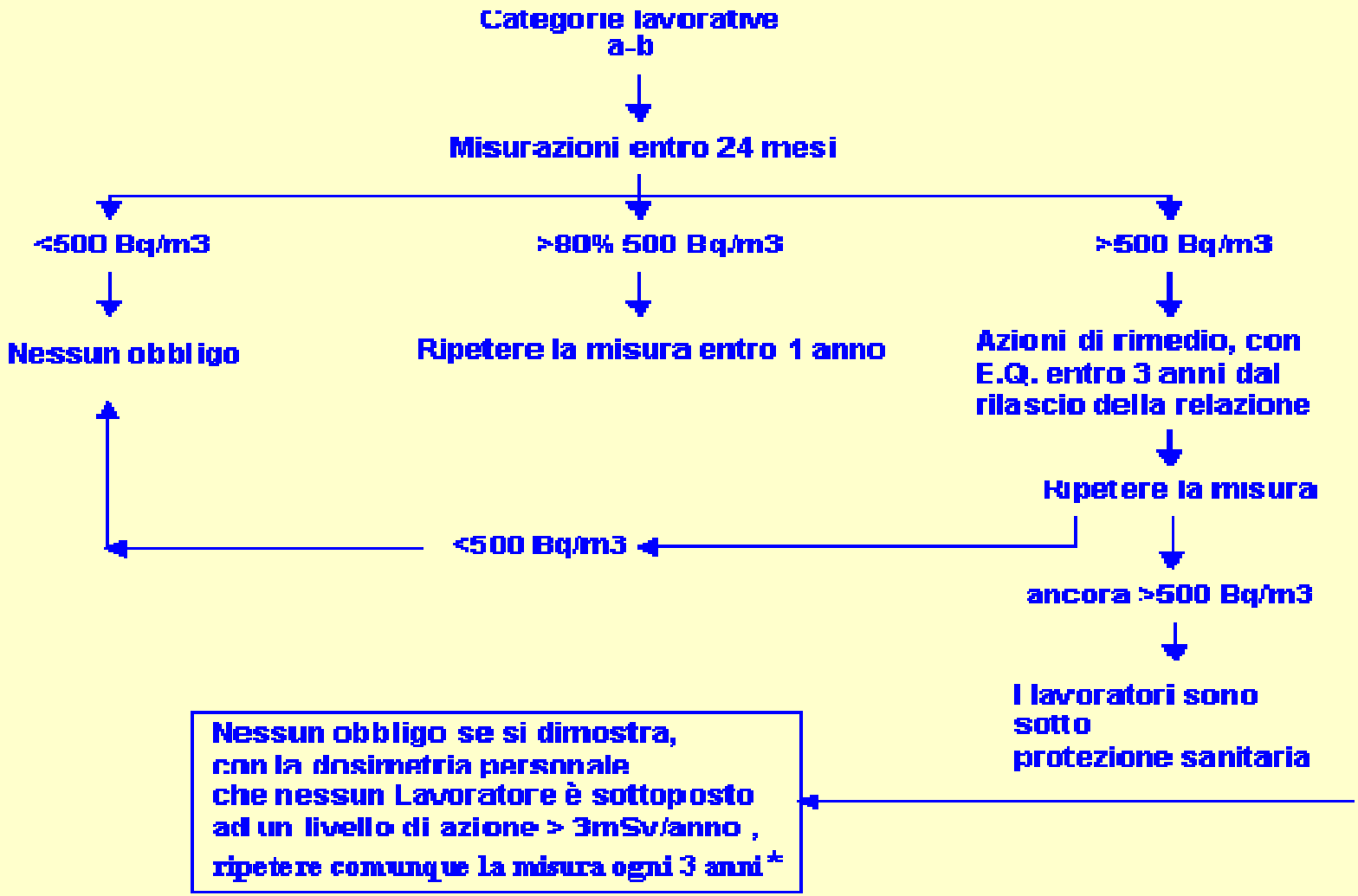
- Entro 24 mesi dall'inizio attività (o 18 mesi dalla pubblicazione) si esegue una campagna di misure (da parte di organismo riconosciuto) con relazione finale

Posto il Livello di azione a 500 Bq/mc:

- **A)** Se la misura e' inferiore all' 80% del livello di azione (cioè 400 Bq/mc) l'obbligo e' risolto e bisognera' ripetere la misura solo se variano le condizioni di lavoro.
- **B)** Se la misura e' tra l'80% ed il 100% del livello di azione (tra 400 e 500 Bq/mc) l'obbligo si risolve con la ripetizione della misura annualmente.
- **C)** Se la misura supera il livello di azione (> 500 Bq/mc) si dovra':
  1) Spedire agli Organi di controllo la relazione di misura
  2) Incaricare un E.Q. per la valutazione della dose efficace assorbita dai singoli lavoratori
  3) Verifica della dose efficace
- **D)** Se la dose efficace e' inferiore a 3mSv/anno l'obbligo si risolve con la ripetizione della misura annualmente.
- **E)** Se la dose efficace e' superiore o uguale a 3mSv/anno si dovra':
  1) L'Esperto qualificato fa la valutazione del rischio
  2) L'esercente predispone le azioni di rimedio e al termine ripete la misura.

  Se anche la nuova misura fornisce valori superiori a 3 mSv/anno L'esercente incarica:
  1) Esperto Qualificato per la sorveglianza fisica
  2) Medico per la sorveglianza medica dei lavoratori
  3) Predispone ulteriori azioni di rimedio e ripete la misura
  Se la dose efficace e' inferiore a 3mSv/anno l'obbligo si risolve con la ripetizione della misura annualmente.

Schema delle varie procedure:



* Tale disposizione non si applica ad esercenti di asili nido, scuole materne e scuole dell'obbligo

Metodologia di indagine per privati

Un privato può richiedere una misura del radon nella sua abitazione per uno dei motivi seguenti:

- 1) Misura di controllo di una casa esistente
- 2) Misura di previsione dell'adozione di azioni di bonifica (per case in cui si è appurato un elevato valore)
- 3) Misura di previsione di una ristrutturazione
- 4) Misura di previsione per una nuova costruzione

1) Misura di controllo di una casa esistente

- Tipicamente saranno eseguite delle misure integrate che coprano l'intero anno, meglio se divise in due misure semestrali per evitare fenomeni di saturazione (per i rari casi in cui l'attività misurata sia molto alta) e di invecchiamento del dosimetro stesso (può succedere che alcuni dosimetri perdano informazioni con il protarsi del tempo di misura)
- Le condizioni di misura saranno quelle del normale utilizzo dell'abitazione, dando preferenza ai locali al piano più basso secondo i criteri che saranno dettagliati più avanti.

2) Misura di previsione dell'adozione di azioni di bonifica (per case in cui si è appurato un elevato valore)

- Lo scopo principale della misura sarà quello di appurare, attraverso approfondimenti metrologici, quali tipi di contromisure possano essere adottate per mitigare gli alti livelli di radon riscontrati precedentemente nell'abitazione.
- Si cercherà quindi di individuare mediante strumentazione attiva i punti deboli dell'edificio in relazione alle possibili vie di ingresso del radon. Privilegiando quindi i mesi invernali, i piani più bassi i locali più riscaldati, ecc.

3) Misura di previsione di una ristrutturazione

- Lo scopo principale della misura sarà quello di appurare se le concentrazioni del gas radon, misurate nella casa prima della ristrutturazione sono tali da ritenere opportuno pianificare l'adozione di contromisure per l'abbattimento del radon.

- Nella maggioranza dei casi si sceglierà una misura in continuo con strumentazione attiva. Si cercherà quindi di individuare i punti deboli della casa o del progetto di ristrutturazione e di eseguire le misure nelle condizioni più critiche.

4) Misura di previsione per una nuova costruzione

- Un caso particolare può essere quello di un edificio ancora in fase di progetto che verrà costruito in prossimità di un edificio esistente,nel quale possono essere eseguite delle misure del gas radon, allo scopo di stimare in via approssimativa se convenga adottare delle misure precauzionali contro il radon. Anche se è assodato che dalle misure eseguite in un'abitazione non si possa con certezza risalire alle concentrazioni dell'abitazione limitrofa, le misure condotte nella casa vicina possono dare utili informazioni riguardo al possibile rischio nella zona.

- Anche in questo caso si cercherà di fare misure nelle condizioni più sfavorevoli, qualora esista una mappa del radon relativa al territorio in esame sarà particolarmente utile consultarla.

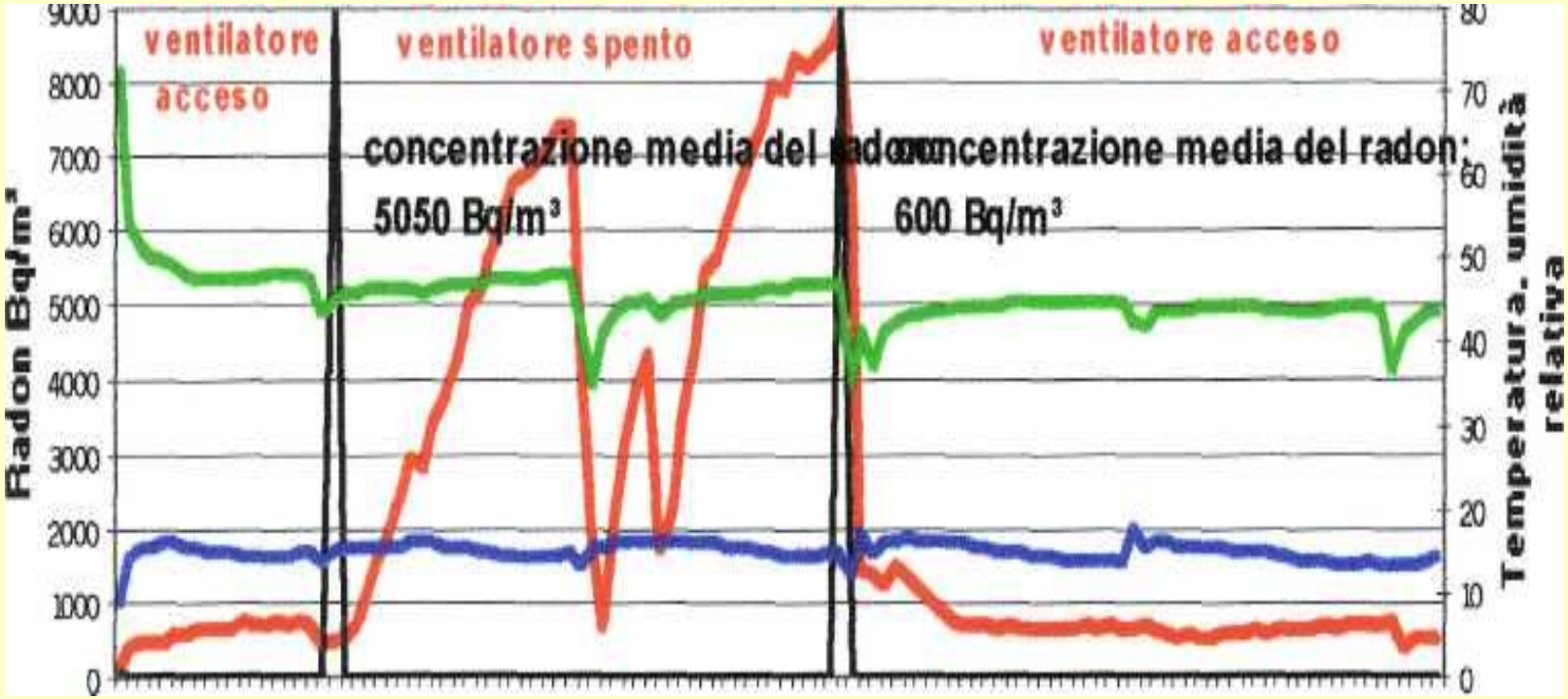
Verifica della contromisura

In questo caso si tratta di verificare con delle opportune misure se la contromisura adottata è stata efficace oppure no.

Prendiamo in esame come esempio di contromisura quella della realizzazione di un “pozzetto radon” dal quale per mezzo di un piccolo ventilatore da 24 Watt viene aspirata dal suolo sotto la casa l’aria carica di radon ed espulsa all’esterno.

Si eseguiranno misure in continuo per alcuni giorni, privilegiando i mesi freddi, prima con il sistema acceso e poi spento. La differenza riscontrata ci dirà circa la bontà del risanamento.

Verifica di controllo con strumentazione attiva in una casa dove è stato realizzato un pozzetto radon come contromisura per l'abbattimento del radon
Dati APPA Bolzano - Laboratorio di chimica fisica



Prime misure di radon nell’acqua

- Negli anni ’50 in America, furono misurati per la prima volta elevati livelli di radon nell’acqua di alcuni pozzi situati nello stato del Meine. La prima preoccupazione riguardò il tempo di permanenza nell’organismo dell’acqua inquinata dal gas, in seguito ci si rese conto che gli effetti del gas, una volta dissociato dal liquido, potevano essere molto dannosi.
- Verso il 1988 la National Academy of Science, citando il lavoro di altri ricercatori, ha suggerito che il rischio di danni ai polmoni provocato dall’inalazione di radon contenuto nell’acqua potabile è da tre a dodici volte maggiore del rischio di cancro allo stomaco, indotto dall’ingestione dello stesso radon

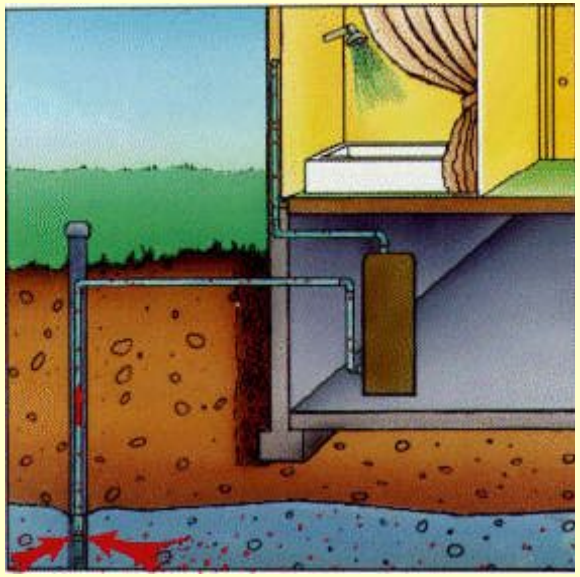
Il Radon in acqua (1)

- Generalmente nelle acque di fiumi e ruscelli non è presente una grossa quantità di Radon, visto che il gas diffonde in gran parte nell'aria circostante; in quelle abitazioni che vengono rifornite da corsi superficiali, pertanto, viene rilevata solitamente una bassa concentrazione di Radon in acqua.

  Per quanto riguarda, invece, il rifornimento idrico delle grandi città, il processamento dell'acqua in grossi sistemi aperti permette l'aerazione della stessa e quindi la perdita del Radon dovuta ancora alla diffusione nell'aria; inoltre la maggior parte del Radon rimanente decade in genere durante i lunghi tempi necessario al trasporto per raggiungere la abitazioni.

Il Radon in acqua (2)

In molte aree di campagna, al contrario, l'acqua di pozzo è usata come principale risorsa idrica. I piccoli impianti realizzati a tale scopo sono spesso costituiti da sistemi chiusi e non areati e poiché inoltre sono generalmente posti nelle vicinanze del luogo di utilizzo, il breve tempo di transito nelle condutture fa sì che solo una piccola percentuale di Radon decada e che la maggior parte rimanga disciolta nell'acqua.



Il Radon in acqua (3)

Se quest'ultima viene utilizzata per bere, quindi, viene ingerita anche una quantità di Radon non trascurabile.Se quest'acqua viene invece utilizzata in altro modo, per fare la doccia, lavare vestiti o piatti, può costituire comunque una fonte di pericolo perché contribuisce all'aumento della concentrazione di Radon nell'aria che viene respirata

Il Radon presente nell'acqua di mare, a causa dei numerosi sali disciolti, non riesce a diffondere velocemente nell'atmosfera e questo fa sì che la percentuale di 222Rn rivelabile nell'aria **sopra gli oceani sia circa l 1% di quella riscontrata sopra la terraferma.**

Da cosa dipende la solubulità

La solubilità Sradon è definita come il volume v di gas sciolto nel volume di liquido V:

$$S\ radon = v / V$$

La solubilità è influenzata da pressione e temperatura; l'andamento con la pressione è espresso dalla legge di Henry: a temperatura costante la solubilità è direttamente proporzionale alla pressione P del gas sovrastante il liquido.

Matematicamente questa relazione può essere espressa come:

$$\mathbf{S\ radon = \mathit{k\ P}}$$

dove k è la costante di proporzionalità.

La dipendenza della solubilità, Sradon, dalla temperatura, è stata trovata sperimentalmente nella seguente relazione, valida se la pressione parziale del

gas è pari a 1 atm:

$$\boldsymbol{LnS\ radon = \alpha + \beta / a\ T + \gamma\ Ln\ a\ T}$$

dove α , β e γ sono dei coefficienti adimensionali che valgono rispettivamente circa 90, 130 e 35; a è anch'essa una costate pari a 0.01 e T è la temperatura espressa in Kelvin, ed Ln è il logaritmo naturale.

Racc CEE del 20/12/2001

- Il 20 /12/2001 la CEE ha emanato una raccomandazione (2001/928/Euratom) “sulla tutela della popolazione contro l’esposizione al radon nell’acqua potabile”, **differenziando tra le forniture d’acqua della rete idrica pubblica** (“oltre una concentrazione di 100Bq/l, gli Stati membri devono definire un livello di riferimento per il radon, da utilizzare per stabilire se occorrono azioni correttive per tutelare la salute umana”…. ”**per le concentrazioni superiori a 1000 Bq/l si ritiene che un’azione correttiva sia giustificata** in base a criteri di protezione dalle radiazioni”) **e l’approvvigionamento idrico individuale** (“il livello di 1000Bq/l deve essere adottato per prendere in considerazione un intervento correttivo”), in certe acque termali piemontesi sono state riscontrati valori anche di 30.000 Bq/l.

Il Decreto L.gvo 31/2001

- Il Decreto L.gvo 31/2001 recepisce in Italia la Direttiva 98/83/CE sulla qualità delle acque destinate al consumo umano.
- Oltre ai parametri di tipo microbiologico e chimico, il decreto riporta specifiche relativamente alla radioattività, ponendo i seguenti indicatori:
- Dose Totale Indicativa 0.1 mSv/anno
- H-3 100 Bq/l

dove la DTI è definita come la dose efficace impegnata per un anno di intake, risultante da tutti i radionuclidi di cui è rilevata la presenza siano essi di origine naturale o artificiale ad esclusione del K-40 del H-3 e del Radon e suoi prodotti di decadimento

Raccomandazione della Comunità europea per la tutela della popolazione contro l esposizione al Radon nell acqua potabile

Per il controllo del Radon nelle acque esiste una raccomandazione della commissione europea EURATOM (2001/928/Euratom), notificata nel dicembre del 2001, che riguarda la tutela della popolazione contro l esposizione al Radon nell'acqua potabile.

Per quanto riguarda la fornitura d acqua della rete idrica pubblica o commerciale, si ritiene che, per le concentrazioni di Radon superiori a **1000 Bq/l**, un azione correttiva sia giustificata in base a criteri di protezione dalle radiazioni.

Oltre una concentrazione di 100 Bq/l, gli Stati membri devono comunque definire un livello di riferimento per il Radon, da utilizzare per stabilire se occorrano azioni correttive per tutelare la salute umana.

Rn in acqua potabile:

- > 1000 Bq/l intraprendere azioni correttive
- > 100 Bq/l valutare l'opportunità di misure volte alla tutela della salute umana

E i figli?

- Per quanto riguarda i figli soprattutto il piombo e il polonio, prodotti di decadimento a lunga vita del radon, utilizzando la dose indicativa di 0.1 mSv/anno vengono ricavati i seguenti “valori derivati” rispettivamente 0.1 Bq/l per il Po-210 e 0.2 Bq/l per il Pb-210

Lez. 5-6

- La valutazioni americane ed europee
- La situazione italiana
- Cosa prevedono le leggi in materia di radon
- Metodologie di indagine
- Il radon nell’acqua
- Tipi di strumentazione e metodologie di misura
- Definizione di “luoghi di lavoro sotterranei”
- Il monitoraggio della radioattività in Italia
- L’attività dell’Arta-Abruzzo
- Due esempi di indagine radon : Lazio e Friuli
- La zonizzazione in Abruzzo

Tipi di strumentazione

- **La strumentazione può essere** sostanzialmente di due tipi:

  attiva - se c'è bisogno di una alimentazione elettrica (con batteria interna o tramite alimentazione di rete) o

  passiva – se l'apparato di misura non necessita di nessuna alimentazione

Strumentazione attiva

- Si distinguono principalmente le seguenti categorie di strumenti attivi:

-- **a camere a ionizzazione**: il radon diffonde all'interno di un determinato volume e decadendo ionizza l'aria; gli ioni prodotti vendono attratti dal catodo collegato ad un sistema elettronico che registra le variazioni di carica e e li traduce in un valore di concentrazione di radon in aria;

-- **a scintillazione**: la misura avviene grazie ad un'apposita cella (cella di Lucas) ricoperta di solfuro di zinco (materiale scintillante). Nella cella a causa dell'urto della alfa del Rn con il solfuro di zinco si producono dei fotoni (pochi) i quali vengono aumentati di numero con un fotomoltiplicatore che trasforma quindi questa informazione in segnale elettrico. Da tale segnale si ricava la concentrazione;

-- **a barriera di superficie**: l'aria dell'ambiente di misura viene campionata su un apposito filtro, posizionato all'interno dell'apparato. Di fronte al filtro è posto un rivelatore a barriera di superficie che dopo un certo tempo registra le particella alfa emesse dal radon e con un algoritmo di calcolo ricava la concentrazione.

La sensibilità di questi sistemi è in genere molto elevata ed è indicata anche per misurare concentrazioni di pochi Bq/m3.

Questa metodologia è particolarmente usata per la misura in continuo (pochi giorni o mesi).

Strumentazione passiva

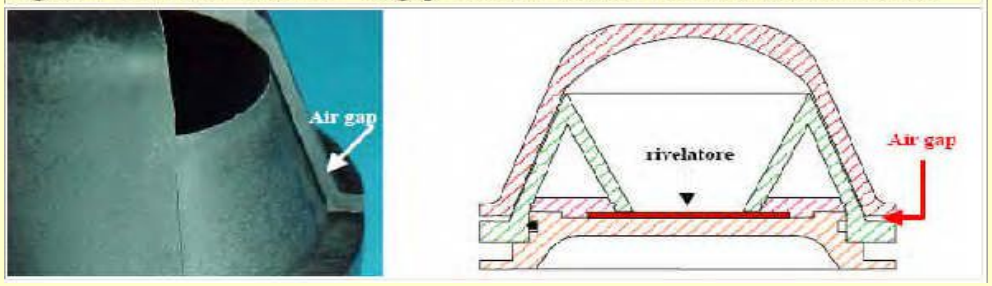
- La strumentazione passiva si compone dei seguenti strumenti di misura:
- 1) Rivelatori a tracce nucleari (dosimetri radon)
- 2) Camere a ionizzazione ad elettrete
- 3) Canestri con carbone attivo

1) Rivelatori a tracce nucleari (dosimetri radon)

- I rivelatori a tracce nucleari sono essenzialmente particolari tipi di materiali plastici. Esistono in commercio diversi materiali sensibili che possono essere impiegati all'uopo, tra questi i più comuni sono LR-115 e il CN-85 (nitrato di cellulosa) e il Cr-39 (poliallildiglicol carbonato), Makrofol (policarbonato), essi sono posti in piccoli dispositivi (dell'ordine di pochi cm3) molto maneggevoli e leggeri. Il radon penetra nel dispositivo per diffusione, tramite l'intercapedine (di circa 20-30µm) *presente nella camera di espansione tra contenitore cilindrico e tappo a ghiera (**air-gap**) consentendo il passaggio delle molecole del radon, ma non quello di particelle più grosse. In questo modo, è possibile attribuire le tracce latenti al solo radon ed alla sua discendenza, Decadendo le alfa urtano il rivelatore producendo un danno permanente alla struttura amorfa che è invisibile (di circa 10 nm).
- Al termine del periodo di misura il rivelatore viene sottoposto ad un attacco chimico (opportune soluzioni acide o alcaline) che ingrandiscono il segno fino a renderli visibili ai normali microscopi ottici (anche ad occhio nudo si possono distinguere, ma non contare!) e quindi vengono contate con un sistema a riconoscimento ottico (camera CCD abbinata con il microscopio) il tutto implementato con un software dedicato.

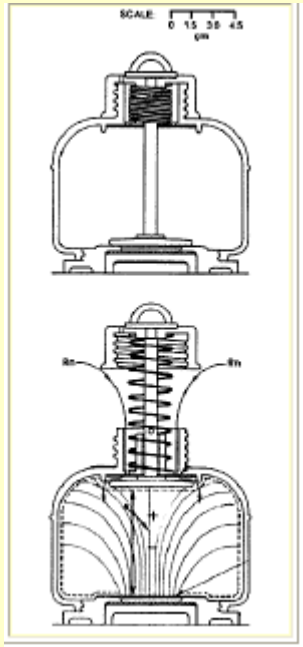
* ***Si pensi che un capello medio ha uno spessore di 50 µm (varia da 10 a 100 µm) e che l'occhio umano può vedere spessori di almeno 25 µm (ad es. lo spessore del filo di una ragnatela è di circa 0.1 µm)***

Figura E 2.2 Particolare dell'air gap del DPT ENEA-IRP in foto e in sezione



2) Camere a ionizzazione ad elettrete

- Il suo funzionamento si basa su di una camera a ionizzazione di materiale plastico conduttore e di un elettrete costituito da un disco di teflon carico in modo permanente. Il gas diffonde all'interno della camera , al cui ingresso è posto un filtro per impedire l'ingresso ai figli già presenti nell'ambiente di misura, per effetto del campo elettrostatico dell'elettrete gli ioni negativi vi precipano provocando una perdita di carica netta in quanto gli ioni positivi vengono raccolti e neutralizzati dalle pareti della camera. La differenza di carica elettrostatica dell'elettrete prima e dopo il posizionamento del dosimetro risulta proporzionale alla concentrazione di radon nell'ambiente di misura e al tempo di esposizione.

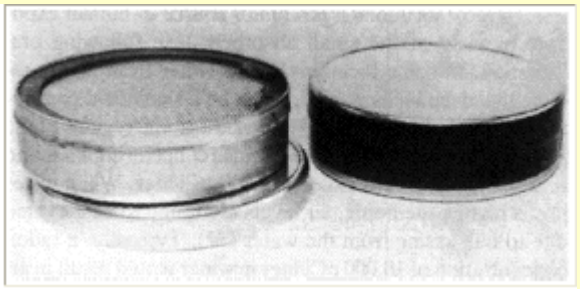


Il tempo di esposizione può essere di alcuni giorni come anche di mesi

La sensibilità è molto elevata.

3) Canestri con carbone attivo

- Sono dei piccoli contenitori con carbone attivo, che sono in grado di assorbire una parte del radon presente nell'ambiente di misura. Alla fine del tempo di esposizione (**non più di tre giorni**) deve essere rapidamente misurato in laboratorio o per mezzo della scintillazione liquida o spettrometria gamma.
- La sensibilità è molto buona
- Questa metodologia di misura è in dismissione a causa della sua poca praticità.



Tipologie di misura (1)

- La misura integrata

Questo tipo di misura permette di ottenere un valore medio della concentrazione di radon nel periodo di osservazione che generalmente è di un anno - spesso utilizzando due semestri –

A volte per motivi di studio si fanno misure limitate a pochi giorni o mesi.

La più usata a livelllo internazionale è la strumentazione passiva (il 77% dei laboratori) e tra questi emerge il CR-39 (usato dal 74%).

La misura integrata , eseguita sull'anno, è particolarmente indicata per determinare in maniera rappresentativa la concentrazione di radon indoor, in quanto tiene conto dei fattori di variabilità del radon in un ambiente confinato (fluttuazioni giornaliere e stagionali).

Tipologie di misura (2)

- La misura istantanea

  Questo tipo di misura può essere eseguita o sul posto con strumentazione portatile che permette di campionare in breve tempo la concentrazione, oppure raccogliendo uno o più campioni di aria in appositi contenitori che verranno poi analizzati (entro pochi giorni) in laboratorio

Tipologie di misura (3)

- La misura in continuo (con strumentazione attiva)

  Questo tipo di misura va fatta con strumenti portatili che permettono di monitorare la concentrazione del radon in continuo, per es. registrando le medie orarie per un dato periodo - anche mesi –

  Il vantaggio che hanno è quello di poter registrare anche altri parametri oltre la concentrazione del radon quali temperatura, umidità, ecc…

Le condizioni per una corretta misura (1)

- Privilegiare **la stanza utilizzata al piano più basso**
- Nelle case realizzate con materiali al alto contenuto radon è opportuno verificare la concentrazione anche ai piani primo e secondo (oltre il terzo la misura perde di importanza)
- Locali non adeguati sono: cucina (elevata ventilazione), il corridoio (ridotta permanenza)

  il locale della caldaia (sempre ventilata), la cantina (anche in caso di valori elevati il risultato non è significativo)

Le condizioni per una corretta misura (2)

- Nel caso di misure semestrali il dato va sempre riferito all’anno intero (si fa una media pesata dei due valori)
- Lo strumento di misura va posizionato in luogo sicuro evitando spostamenti, lontano da fonti di calore e da ventilatori, almeno ad un metro da porte e finestre e distante oltre 30 cm dalle pareti e un metro da pavimento e soffitto, ovviamente non va posto all’interno di mobili o contenitori.

Misura di studio di breve durata

- Questo tipo di misura esula dal protocollo standard, va eseguita in continuo per alcuni giorni, mettendosi nelle condizioni più critiche. Oltre alle indicazioni date precedentemente vanno annotate particolari condizioni climatiche nel periodo di misura (forte vento, sbalzi di temperatura e/o pressione,ecc…), se le condizioni sono molto sfavorevoli la misura non va eseguita

Il risultato della misura

Il risultato dell'operazione di misura dovrà contenere un set di dati ritenuti rilevanti e segnatamente i dati essenziali sono i seguenti:

- Nome e cognome del richiedente;
- Piano del locale;
- Utilizzo del locale;
- Tipo di rivelatore;
- Posizione del rivelatore;
- Periodo di misura (data inizio e fine della misura);
- La concentrazione di radon misurata con l'incertezza.

Vuoto legislativo

- La legge stabilisce che per le misure della concentrazione di radon, l'esercente di un luogo di lavoro deve avvalersi di *organismi riconosciuti* o nelle more del riconoscimento di *organismi idoneamente attrezzati* (quali le ARPA). Detti organismi devono essere riconosciuti da istituti previamente abilitati, (le modalità di abilitazione non sono state ancora definite dall'apposito decreto), pertanto per colmare questo vuoto la "Conferenza delle Regioni" ha emanato(2003)un documento che definisce "in via transitoria" i requisiti minimi che devono avere i laboratori per essere definiti idoneamente attrezzati.

Requisiti dei laboratori di misura

Secondo tale documento le caratteristiche del laboratori sono le seguenti:

- ***Individuazione del responsabile tecnico con formazione professionale ed esperienza nel campo;***
- ***Individuazione delle persone abilitate ad eseguire le misure;***
- ***Utilizzo di una tecnica idonea***
- ***Periodica taratura della tecnica di misura***
- ***Periodico controllo della qualità dei dati***
- ***Utilizzo di procedure e istruzioni scritte per le misure***
- ***Resoconto finale firmato dal tecnico responsabile che garantisce l'affidabilità del dato al committente (intestazione dell'organismo, un codice identificativo del documento, i dati anagrafici del committente, la tecnica di misura utilizzata, il periodo di esposizione e infine il risultato della misura espressa in Bq/m3 con la sua incertezza.***

Definizione di luoghi li lavoro (1)

- Introduzione

Il DL 230/95 e smi disciplina anche le attività lavorative svolte in luoghi sotterranei.

Per adibire tali luoghi al lavoro si deve tenere presente i vincoli imposti dai vari regolamenti (comunali, di igiene,ecc). Tali locali possono essere autorizzati solo:

1) quando sussistano particolari esigenze tecniche (non mera opportunità economica o organizzativa);

2) quando vi sia espresso consenso dell'organo di vigilanza delle USL (Servizio di Prevenzione e Sicurezza negli ambienti di Lavoro), questi possono dare il benestare anche quando non ricorrono particoalri esigenze tecniche ma siano comunque salvaguardare i criteri di igiene (aerazione, assenza di vapori nocivi,ecc.)

Luoghi di lavoro sotterranei si hanno di solito per esercizi pubblici musei, banche, ospedali,ecc.

Definizione di luoghi li lavoro (2)

- Luoghi di lavoro: devono intendersi quei luoghi destinati a contenere i posti di lavoro, ubicati all'interno dell'azienda;
- Ambiente sotterraneo: è definita di solito nei regolamenti comunali, esse possono differire principalmente per due aspetti: per piccole differenze riguardanti la posizione del solaio rispetto al piano di campagna e poi per la presenza o meno di un accesso diretto all'esterno.

Le Linee guida così definiscono i luoghi di lavoro sotterranei:

Locale o ambiente con almeno tre pareti interamente sotto il piano di campagna, indipendentemente se queste siano a diretto contatto con il terreno circostante o meno.

Tale definizione include tutti quelli che hanno un'apertura verso l'esterno (per esempio i locali pubblici che hanno un'apertura sulla strada) ed i locali che sono circondati da un'intercapedine aerata.

Criteri di individuazione dei locali

- Per decidere quali locali o ambienti sotterranei di uno stesso edificio effettuare le misure occorre considerare i locali dove il personale soggiorna con maggiore frequenza. Altri ambienti come magazzini, bunker delle banche e simili non dovranno di solito essere presi in considerazione in quanto il personale non vi sosta con continuità; è utile in tali casi considerare il valore soglia indicato di almeno 10 ore al mese di soggiorno al mese.

Numero di misure

- Considerato che numerosi studi hanno messo in evidenza la variabilità della concentrazione di radon anche fra ambienti contigui, le misure dovranno in generale essere effettuate in ogni locale fisicamente separato; il risultato della media annuale del singolo locale dovrà essere confrontato con il livello d'azione di 500 Bq/m3

Ulteriori suggerimenti

- Riguardo al numero di misure da effettuare è suggerita la seguente classificazione

A) Locali separati (inferiori a 50 m2)	Una misura in ciascun locale
B) Ambienti di medie e grandi dimensioni	Una misura ogni 100 m2 si superficie

Luoghi particolari

- Nel caso di tunnel, sottovie, catacombe e grotte, le misure dovranno essere eseguite nei luoghi dove normalmente stazionano gli operatori adetti (ad es. lungo il percorso di visita guidata nelle grotte/catacombe, e nelle postazioni di guida del macchinisti delle metropolitane)

8) Il monitoraggio in Italia

Monitoraggio della radioattività ambientale

- Un moderno sistema di radioprotezione della popolazione e dell'ambiente non può prescindere da un complesso sistema di controllo della radioattività nelle **matrici ambientali e alimentari**.
- In base alla normativa vigente, questo sistema è articolato in reti di sorveglianza regionale e **reti di sorveglianza nazionale (RESORAD)**.

  Le funzioni di coordinamento tecnico di queste ultime sono affidate all'APAT.
- Tra le matrici ambientali più significative rientra certamente l'aria. I sistemi di misura delle concentrazione della radioattività nell'aria hanno tuttavia una importanza rilevante anche per le problematiche dell'emergenza, specie per l'identificazione di emergenze transfrontaliere.

Controllo della radioattività ambientale

- Nel nostro paese il controllo sulla radioattività ambientale è regolato dal **Decreto Legislativo n. 230 del 17 marzo 1995** e dalle sue successive modifiche e integrazioni.
  Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio esercita il controllo sull'ambiente, mentre il Ministero della Salute esercita il controllo sugli alimenti e bevande per il consumo umano e animale.
  Il complesso dei controlli è articolato in **reti di sorveglianza regionali** e **reti di sorveglianza nazionali**. La gestione delle reti uniche regionali è effettuata dalle singole regioni, mentre le reti nazionali si avvalgono dei rilevamenti e delle misure radiometriche delle Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente e di altri enti, istituti e organismi specializzati. Per garantire la qualità dei risultati, i soggetti della rete partecipano ad un programma di affidabilità, gestito dall'APAT con il supporto dell'Istituto di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti – INMRI dell'ENEA, che consiste nella esecuzione di interconfronti periodici.

Schema delle reti

Rete	*Funzioni*	*Gestore*
Reti locali *(source related)*	Controllo ambientale e degli alimenti intorno agli impianti nucleari	Esercenti degli impianti Alcune regioni
Reti regionali *(source/person related)*	Controllo della radioattività ambientale sul territorio regionale sulla base di particolari esigenze	Singole regioni
Reti nazionali *(source related)*	Rete RESORAD, controllo ambientale e degli alimenti finalizzato al calcolo della dose alla popolazione (produce dati in emergenza nucleare)	Sistema ARPA/APPA
	Rete di allarme REMRAD e GAMMA	APAT
	Rete di sorveglianza e allarme Ministero dell'Interno	Vigili del Fuoco

Reti di monitoraggio

- Il sistema di controllo della radioattività ambientale italiano si sviluppa attualmente in una serie di reti: le **Reti Regionali** di Sorveglianza della Radioattività Ambientale e le **Reti Nazionali** di Sorveglianza della Radioattività Ambientale. Queste ultime comprendono:
- **Rete RESORAD** (coordinata dall'APAT) dei rilevamenti e delle misure effettuati dagli **istituti, enti ed organismi idoneamente attrezzati**;
- **Reti APAT di allarme**: rete GAMMA (dose gamma in aria), rete REMRAD (particolato atmosferico);
- **Rete di allarme del Ministero dell'Interno (così come recita art.1 della L.469 del 13-5-1961:**

  Sono attribuiti al Ministero dell'interno: a) i servizi di prevenzione ed estinzione degli incendi e, in genere, i servizi tecnici per la tutela della incolumità delle persone e la preservazione dei beni anche dai pericoli derivanti dall'impiego dell'energia nucleare;)

- A queste vanno aggiunte le **reti di sorveglianza locale** della radioattività ambientale degli impianti per la produzione di combustibile nucleare, gli impianti per la produzione di energia nucleare, anche se in fase di dismissione, gli impianti di ricerca, gestite dal titolare dell'autorizzazione o del nulla osta o dagli esercenti secondo quanto prescritto dall'art. 54 del D.Lgs.230/95 e s.m.i.

LA RETE RESORAD

- **Rete RESORAD (REte di SOrveglianza della RADioattività)**
- La **Rete degli istituti, enti e organismi idoneamente attrezzati** (RESORAD) consiste in un insieme di strutture che concorrono a **monitorare i punti di osservazione localizzati sul territorio nazionale**, opportunamente definiti secondo criteri geografici e climatologici, nonché sulla base di considerazioni concernenti la distribuzione della popolazione e le loro abitudini alimentari. La Rete analizza l'andamento spazio-temporale delle concentrazioni dei radioelementi nelle matrici dei diversi comparti ambientali ed alimentari interessati dalla diffusione della radioattività e dal suo trasferimento all'uomo. La sensibilità con cui si eseguono i rilevamenti rende la Rete atta a **rivelare tempestivamente eventi anomali**, come ad esempio nel giugno del 1998, quando la rete nazionale italiana fu in grado di evidenziare attraverso la rivelazione di una presenza anomala di radioattività in aria, l'incidente alla fonderia spagnola di Algeciras, nella quale era stata fusa una sorgente di Cs-137 con diffusione in atmosfera.

Rete REMRAD E GAMMA

L'incidente alla centrale nucleare di Cernòbyl ha messo in evidenza la necessità di disporre sia di strumenti idonei per l'interscambio di informazioni tra i diversi paesi che di un sistema automatico per il controllo della radioattività in aria.

- **Ai fini di un monitoraggio continuo ed automatico della radioattività in aria sono state messe a punto dall'APAT due reti: la rete di allarme REMRAD (7 centraline) per la determinazione dei radionuclidi nel particolato atmosferico (rad. alfa, beta e gamma) e la rete GAMMA (50 centraline) per la determinazione della dose gamma in aria.**
- Questi strumenti contribuiscono in modo sostanziale al sistema di supporto tecnico alle attività del Centro di Elaborazione e Valutazione Dati (**CEVaD**), struttura tecnica del Dipartimento della Protezione Civile in caso di emergenza radiologica. Il Centro è composto da **esperti dell'APAT**, del Corpo Nazionale dei **Vigili del Fuoco**, dell'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro, dell'Istituto Superiore di Sanità e del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, ed ha il **compito di valutare la situazione di emergenza in atto, la sua possibile evoluzione ed il conseguente impatto radiologico.** Partecipa all'attività del Centro anche due esperti di radioprotezione dei laboratori regionali per il controllo della radioattività ambientale, designati dalla Conferenza Stato-Regioni.

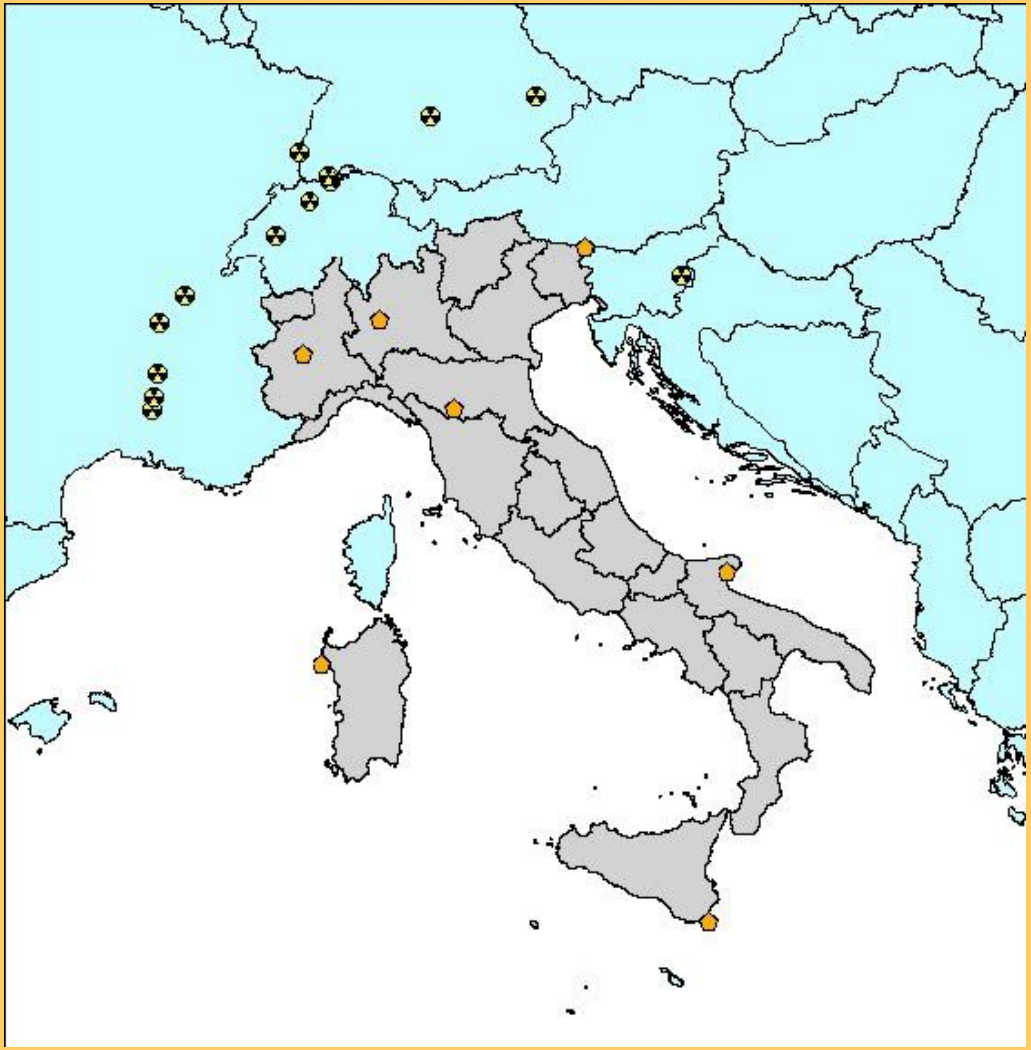
Le stazioni automatiche

- La rete di allarme REMRAD è composta da stazioni automatiche, poste in siti dell'Aeronautica Militare, con la capacità di analizzare il particolato atmosferico raccolto su filtro con misure istantanee di concentrazione naturale e artificiale (alfa e beta emettitori) e determinazione dei radionuclidi gamma-emettitori mediante tecniche di analisi spettrometrica.

Stazione automatica di Tarvisio (UD)

Lezione 4

- L’attività dell’Arta-Abruzzo
- Due esempi di indagine radon : Lazio e Friuli
- La zonizzazione in Abruzzo



Una tale rete, con compiti di pronto allarme, è attualmente composta da 7 stazioni automatiche poste in località di grande importanza meteorologica, scelte in modo tale da coprire le più probabili vie di ingresso nel paese della radioattività proveniente dalle centrali nucleari europee. Le località prescelte sono: Tarvisio (UD), Bric della Croce (TO), Vimodrone (MI), Capo Caccia (SS), Monte Cimone (MO), Monte S. Angelo (FG) e Cozzo Spadaro (SR).

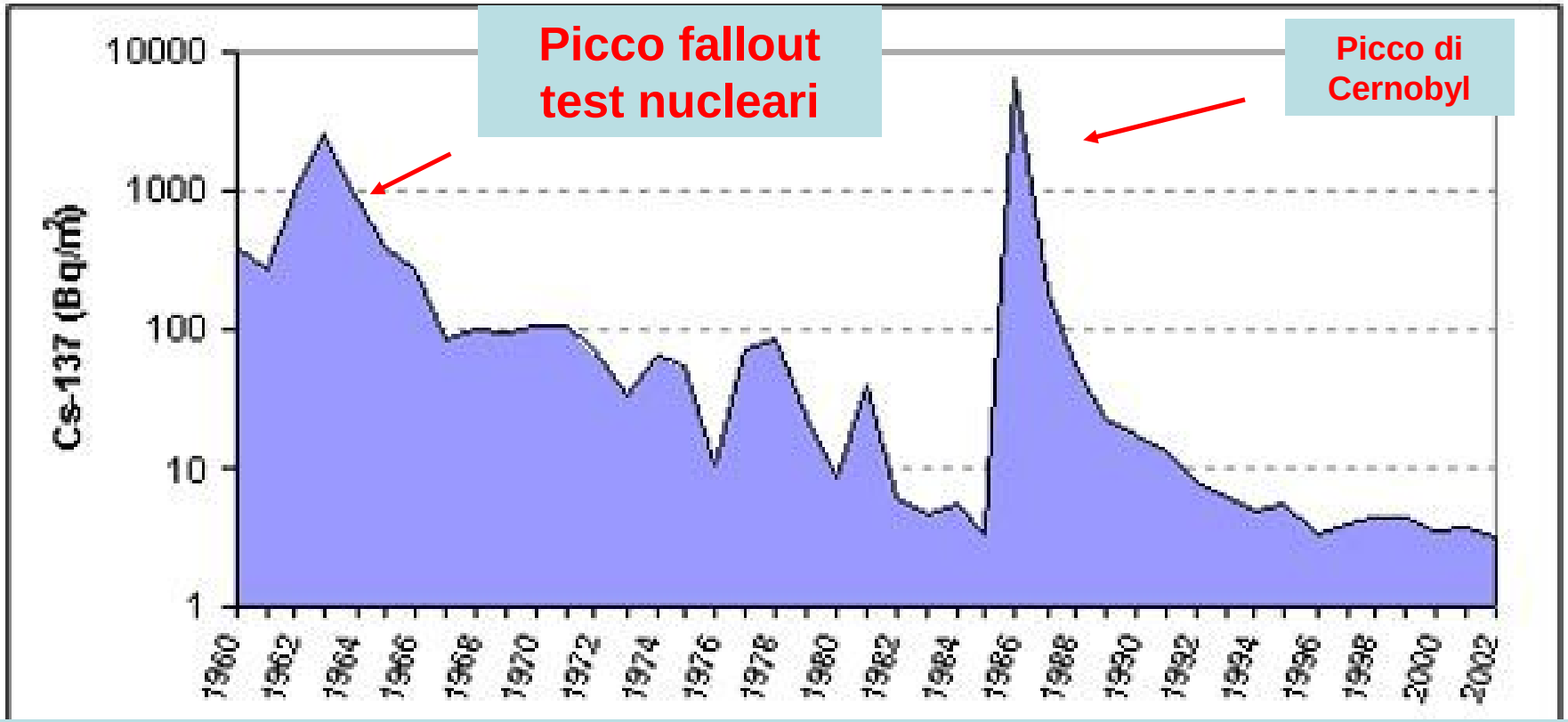
CAMPIONAMENTI

- **Schema di campionamento e misura della rete RESORAD**
- **MatriceFrequenza di prelievoFrequenza delle misure radiometrichePrincipali radionuclidi**Particolato atmosfericoGiornalieraMensileBeta totale, Cs-137Deposizioni umide e secche al suoloMensileMensileCs-137, Be-7, Sr-90Acqua potabile*SemestraleSemestraleCs-137, Sr-90Matrici dell'ambiente acquaticoSemestraleSemestraleCs-137, Sr-90CarniMensileTrimestraleCs-137 Pesci Cs-137 Cereali e derivatiStagionaleStagionaleCs-137, Sr-90PastaTrimestraleTrimestraleCs-137VegetaliStagionaleStagionaleCs-137, Sr-90FruttaStagionaleStagionaleCs-137LatteSettimanale/MensileMensileCs-137, Sr-90**Non sono considerate tutte le misure previste ai sensi della direttiva del Consiglio 98/83/CE, del 3 novembre 1998, sulla qualità delle acque destinate al consumo umano, recepita in Italia dal D.L. 31/01*
- Le matrici considerate comprendono comunque tutte quelle espressamente indicate dalla Raccomandazione della Commissione Europea dell'8 giugno 2000 (aria, particolato atmosferico, acque superficiali, acqua potabile, latte, dieta mista).
- I dati prodotti annualmente sono inviati dalle Agenzie ad APAT e da questa alla Commissione Europea, che provvede a raccoglierli nella banca dati REM del Joint Research Centre di Ispra.

Schema di campionamento e misura della rete RESORAD

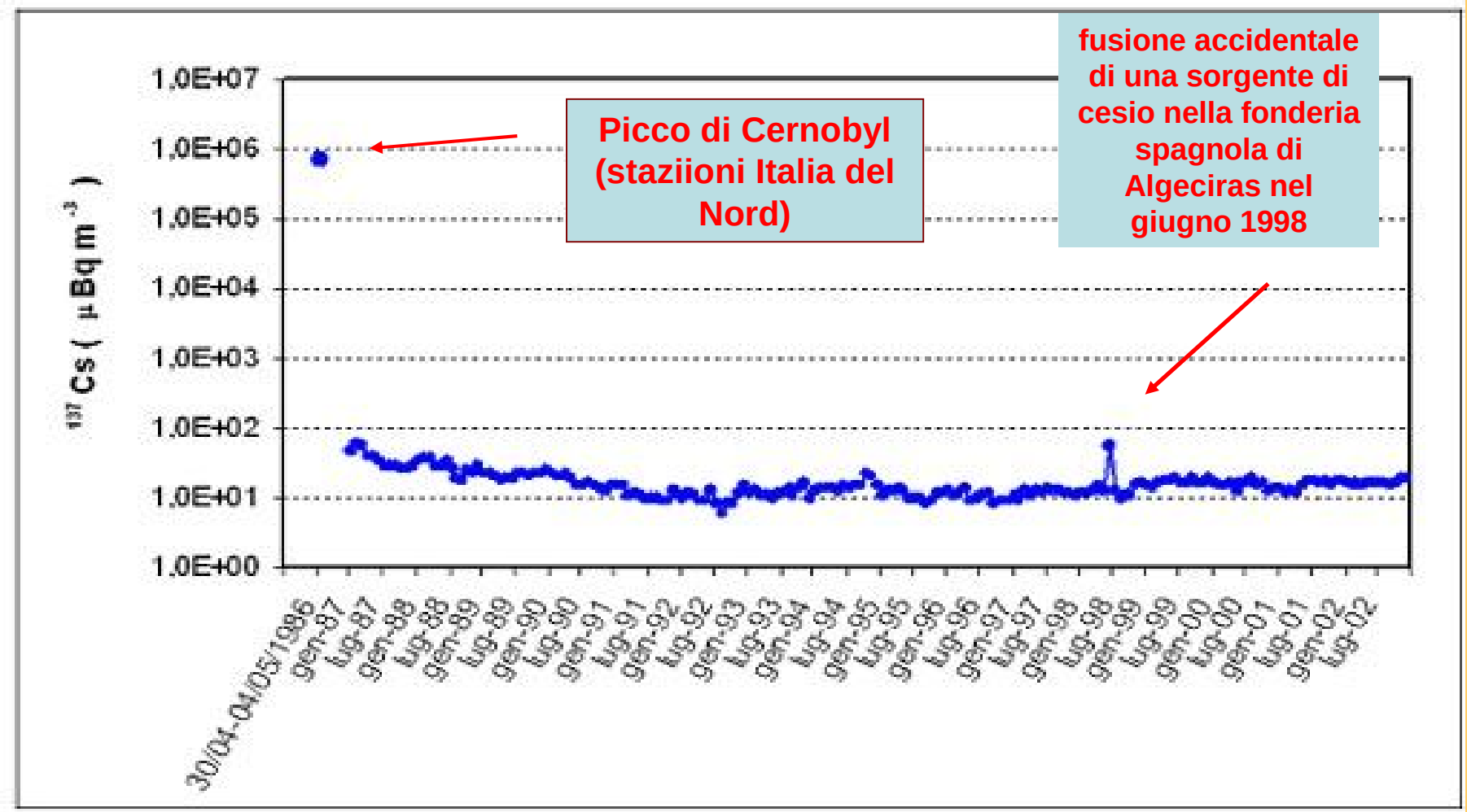
Matrice	Frequenza di prelievo	Frequenza delle misure radiometriche	Principali radionuclidi
Particolato atmosferico	Giornaliera	Mensile	Beta totale, Cs-137
Deposizioni umide e secche al suolo	Mensile	Mensile	Cs-137, Be-7, Sr-90
Acqua potabile*	Semestrale	Semestrale	Cs-137, Sr-90
Matrici dell'ambiente acquatico	Semestrale	Semestrale	Cs-137, Sr-90
Carni	Mensile	Trimestrale	Cs-137
Pesci			Cs-137
Cereali e derivati	Stagionale	Stagionale	Cs-137, Sr-90
Pasta	Trimestrale	Trimestrale	Cs-137
Vegetali	Stagionale	Stagionale	Cs-137, Sr-90
Frutta	Stagionale	Stagionale	Cs-137
Latte	Settimanale/Mensile	Mensile	Cs-137, Sr-90

Andamento del fallout: 1960-2002

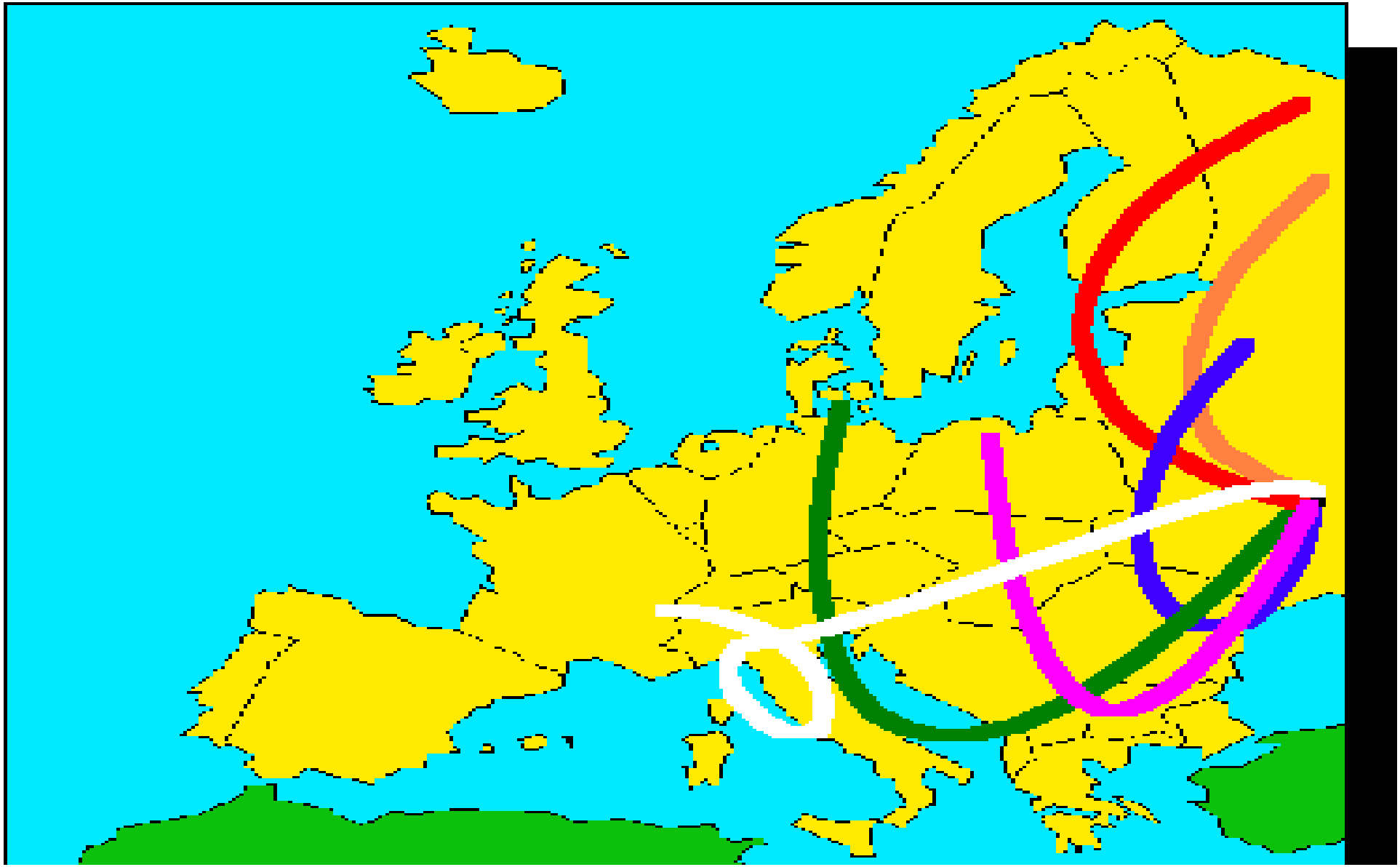


La presenza di Cs -137 in aria è dovuta alla lenta ricaduta di quella parte prodotta durante i test nucleari del dopoguerra e durante l'incidente di Chernobyl che ha raggiunto gli strati più alti dell'atmosfera (stratosfera) e alla risospensione della parte depositata sul suolo nel corso degli anni.

Andamento del particolato atmosferico 1986-2002



Situazione dei venti in quota durante l'incidente di Chernobyl (1986)



9) Attivita’ dell’ARTA-Abruzzo

ATTIVITA' ARTA-ABRUZZO

- Nel quadro della rete RESORAD l'Arta-Abruzzo svolge la sua attività di monitoraggio nel rispetto del programma regionale che prevede i seguenti campionamenti nei due comparti:
- AMBIENTE
- ALIMENTI

(**al fine di poter conoscere la dose individuale assorbita).**

- Analisi di spettrometria gamma per privati
- Controlli sulle acque reflue ospedaliere

Il programma regionale di controllo della radioattività

Spedizione in abbonamento postale - 70% Dir. Corr. D.C.I. - AQ

ANNO XXXVI

N. 71 Speciale (Sanità)

REPUBBLICA ITALIANA

BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE ABRUZZO

PARTE I, II, III, IV - L'AQUILA, 29 GIUGNO 2005 -

DIREZIONE - REDAZIONE E AMMINISTRAZIONE: Corso Federico II, n. 53 - 67100 L'Aquila - Telefono (0862) 3631 (n. 16 linee urbane), 364662 - 364690 - 364660 - Fax 364665

PREZZO E CONDIZIONI DI ABBONAMENTO: Canone annuo: € 77,47 (L. 150.000) - Un fascicolo: € 1,29 (L. 2.500) - Arretrati, solo se ancora disponibili € 1,29 (L. 2.500).

Le richieste di numeri mancanti non verranno esaudite trascorsi 60 giorni dalla data di pubblicazione.

INSERZIONI: La pubblicazione di avvisi, bandi, deliberazioni, decreti ed atti sia in generale (anche quelli emessi da organi regionali) per conto di Enti, Aziende, Consorzi ed altri Soggetti è riservata a pagamento, mentre i casi in cui, tali atti, assumono l'interesse esclusivo della Regione o dello Stato. Le richieste di pubblicazione di avvisi, bandi, ecc. devono essere indirizzate, con sufficienza, esclusivamente alla Direzione del Bollettino Ufficiale, Corso Federico II, n. 53 - 67100 L'Aquila - Il testo da pubblicare, in duplice copia, di cui una in carta da bollo (tranne i casi di esenzione), deve essere inviato unitamente alla ricevuta del versamento in c/c postale dell'importo di € 3,81 (L. 5.500) a rigo (foglio uso bollo massimo 61 battute) per testo e oggetto che vanno in aggiunta e di € 1,29 (L. 2.500) a rigo (foglio uso bollo massimo 61 battute) per il testo di ciascuna inserzione. Per le scadenze da provedere nei bandi è necessario che il termine venga fissato partendo "dalla data di pubblicazione sul B.U.R.A.".

Tutti i versamenti vanno effettuati sul ccp n. 13101873 intestato a: Regione Abruzzo - Bollettino Ufficiale - 67100 L'Aquila.

AVVERTENZE: Il Bollettino Ufficiale della Regione Abruzzo si pubblica a L'Aquila e si compone di quattro parti: a) nella parte prima sono pubblicate le leggi e i regolamenti della Regione, i decreti del Presidente della Giunta e del Consiglio e gli atti degli Organi regionali - integralmente o in sintesi - che possono interessare la generalità dei cittadini; b) nella parte seconda sono pubblicate le leggi e gli atti dello Stato che interessano la Regione, c) nella parte terza sono pubblicati gli avvisi e gli atti aventi di interesse della Regione e di terzi la cui inserzione - gratuita o a pagamento - è prevista da leggi e da regolamenti della Regione e dello Stato (quelli liberamente richiesti dagli interessati), d) nella parte quarta sono pubblicati per estratto i provvedimenti di scioglimento e di carica dei Consiglio e delle Sezioni di controllo sugli atti degli Enti Locali. - [illegible] vengono pubblicati gli atti riguardanti il personale, gli avvisi e i bandi di concorso della Regione, le ordinanze, i ricorsi depositati, le sentenze [illegible] di legittimità costituzionale interessanti la Regione, nonché le sentenze costituzionali (indeggibili). Incompatibilità del Consigliere [illegible] nei confronti Sanzioni e Spettali.

Data 02 LUG. 2005 Pos.

DIPARTIMENTO PROVINCIALE DI PESCARA

SOMMARIO

Parte I

Leggi, Regolamenti ed Atti della Regione

ATTI

DELIBERAZIONI DELLA GIUNTA REGIONALE

DELIBERAZIONE 23.05.2005, n. 481:
Approvazione del Piano di Controllo Radioattività da Matrici Alimentari della Regione Abruzzo. Programma 2005. ..... **Pag. 3**

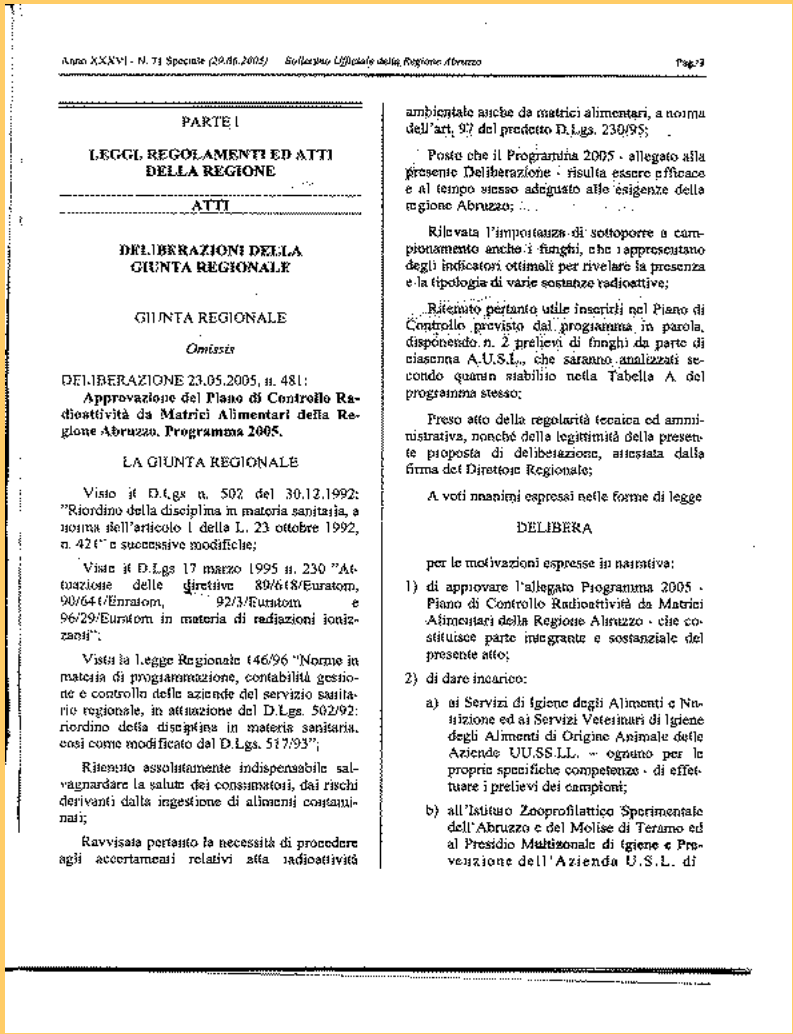
DELIBERAZIONE 07.06.2005, n. 512:
Presentazione delle istanze per la predisposizione dell'Elenco, a valenza Regionale, degli Aspiranti alla nomina a Direttore dell'Agenzia Sanitaria Regionale Abruzzo "ASR Abruzzo". ..... **Pag. 12**

DETERMINAZIONI

Dirigenziali

DIREZIONE SANITÀ
SERVIZIO ASSISTENZA DISTRETTUALE, MEDICINA DI BASE E SPECIALISTICA

SF 1)



Anno XXXVI - N. 71 Speciale (29.06.2005) Bollettino Ufficiale della Regione Abruzzo Pag. 3

PARTE I

LEGGI, REGOLAMENTI ED ATTI DELLA REGIONE

ATTI

DELIBERAZIONI DELLA GIUNTA REGIONALE

GIUNTA REGIONALE

Omissis

DELIBERAZIONE 23.05.2005, n. 481:
Approvazione del Piano di Controllo Radioattività da Matrici Alimentari della Regione Abruzzo. Programma 2005.

LA GIUNTA REGIONALE

Visto il D.Lgs n. 502 del 30.12.1992: "Riordino della disciplina in materia sanitaria, a norma dell'articolo 1 della L. 23 ottobre 1992, n. 421" e successive modifiche;

Visto il D.Lgs 17 marzo 1995 n. 230 "Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti";

Vista la Legge Regionale 146/96 "Norme in materia di programmazione, contabilità gestione e controllo delle aziende del servizio sanitario regionale, in attuazione del D.Lgs. 502/92: riordino della disciplina in materia sanitaria, così come modificato dal D.Lgs. 517/93";

Ritenuto assolutamente indispensabile salvaguardare la salute dei consumatori, dai rischi derivanti dalla ingestione di alimenti contaminati;

Ravvisata pertanto la necessità di procedere agli accertamenti relativi alla radioattività ambientale anche da matrici alimentari, a norma dell'art. 97 del predetto D.Lgs. 230/95;

Posto che il Programma 2005 - allegato alla presente Deliberazione - risulta essere efficace e al tempo stesso adeguato alle esigenze della regione Abruzzo;

Rilevata l'importanza di sottoporre a campionamento anche i funghi, che rappresentano degli indicatori ottimali per rivelare la presenza e la tipologia di varie sostanze radioattive;

Ritenuto pertanto utile inserirli nel Piano di Controllo previsto dal programma in parola, disponendo n. 2 prelievi di funghi da parte di ciascuna A.U.S.L., che saranno analizzati secondo quanto stabilito nella Tabella A del programma stesso;

Preso atto della regolarità tecnica ed amministrativa, nonché della legittimità della presente proposta di deliberazione, attestata dalla firma del Direttore Regionale;

A voti unanimi espressi nelle forme di legge

DELIBERA

per le motivazioni espresse in narrativa:

1) di approvare l'allegato Programma 2005 - Piano di Controllo Radioattività da Matrici Alimentari della Regione Abruzzo - che costituisce parte integrante e sostanziale del presente atto;
2) di dare incarico:
   a) ai Servizi di Igiene degli Alimenti e Nutrizione ed ai Servizi Veterinari di Igiene degli Alimenti di Origine Animale delle Aziende UU.SS.LL. - ognuno per le proprie specifiche competenze - di effettuare i prelievi dei campioni;
   b) all'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise di Teramo ed al Presidio Multizonale di Igiene e Prevenzione dell'Azienda U.S.L. di

TABELLA A

TIPOLOGIA DEGLI ALIMENTI E QUANTITA' DI ESAMI DA EFFETTUARSI A CURA DELL'A.R.T.A. DI PESCARA E DELL'I.Z.S. DI TERAMO

	Agenzia Regionale Tutela **Ambientale- Pescara**	**Istituto Zooprofilattico Sperimentale di Teramo**
ALIMENTI	Numero esami	Numero esami
Latte vaccino	12	-
Latte in polvere	1	-
Carne bovina	8	8
Carne suina	2	4
Pollame	2	2
Lattuga	1	3
Patate	-	1
Frutta fresca	4	12
Grano duro	2	2
Grano tenero	2	2
Farina grano tenero	8	4
Pasta alimentare	4+4	4+4
Omogeneizzati	1	-
Pastina neonati	-	1
Particolato atmosfer.	365	-
Deposizione al suolo	12	-
Molluschi	-	4
Funghi	4	8
TOTALE	**432**	**59**

Immagini del CRR di Pescara

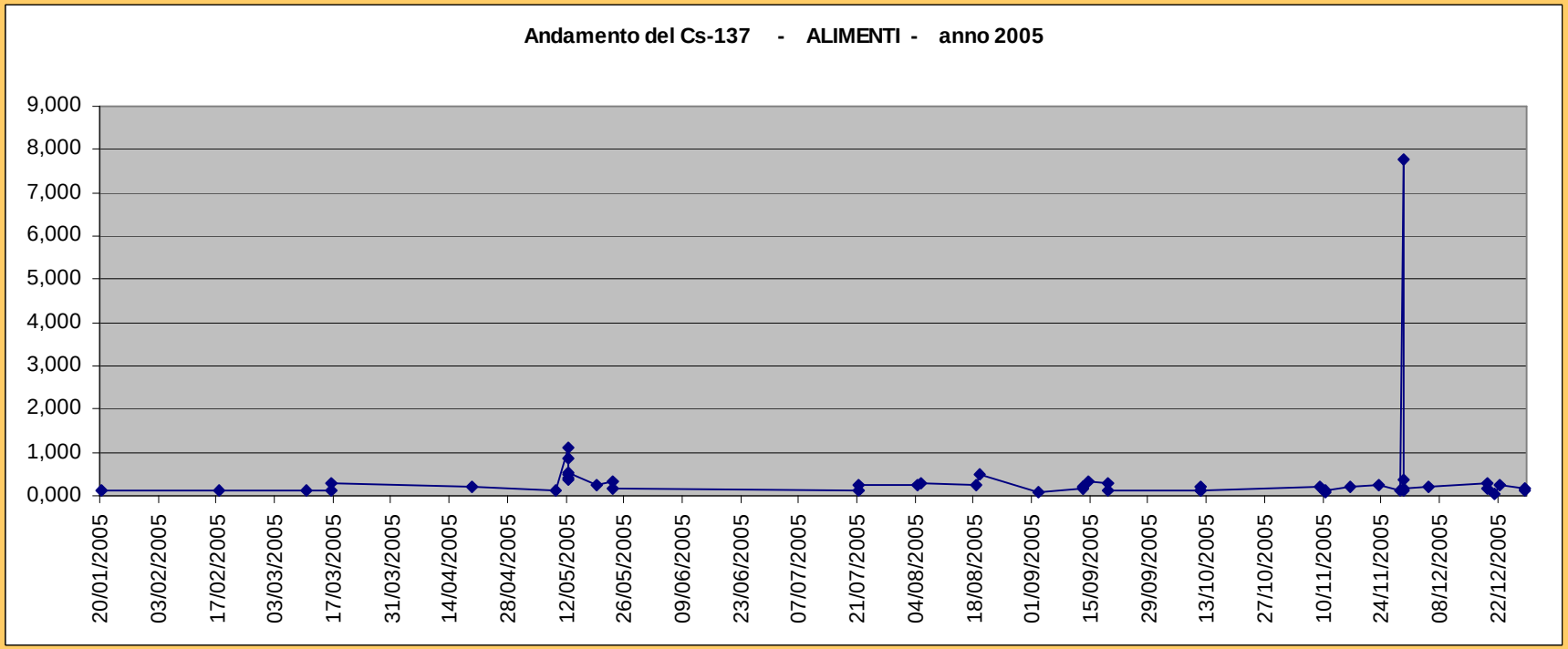
Posizionamento dei filtri per la misura di radioattività in aria

Ricarica dell'azoto liquido

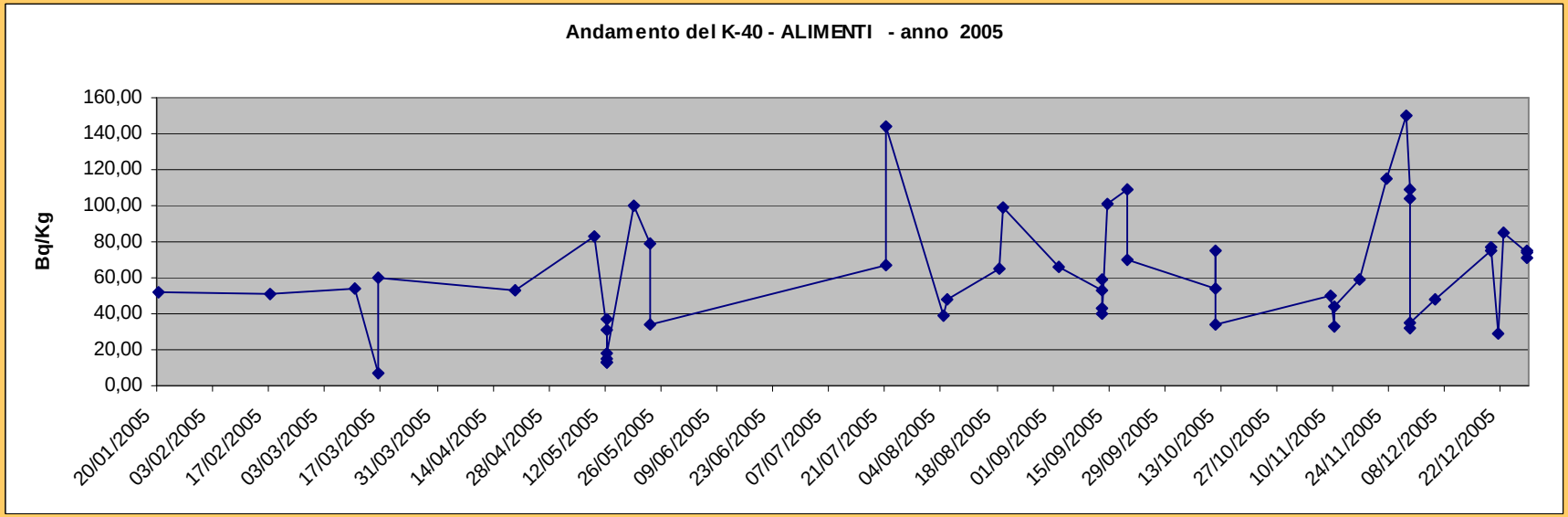
Vasche di decantazione del particolato per la misura di radioattività nel fallout

Il pozzetto per il posizionamento dei campioni

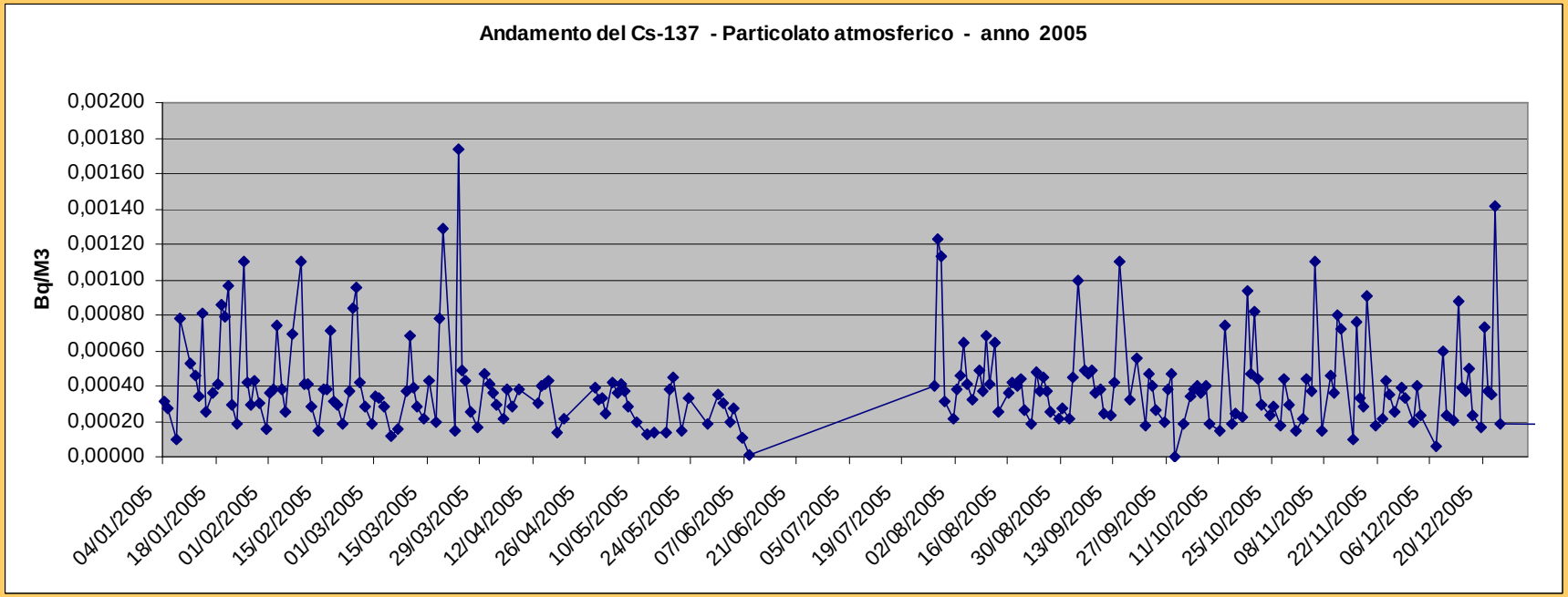
Cesio-137 in alimenti



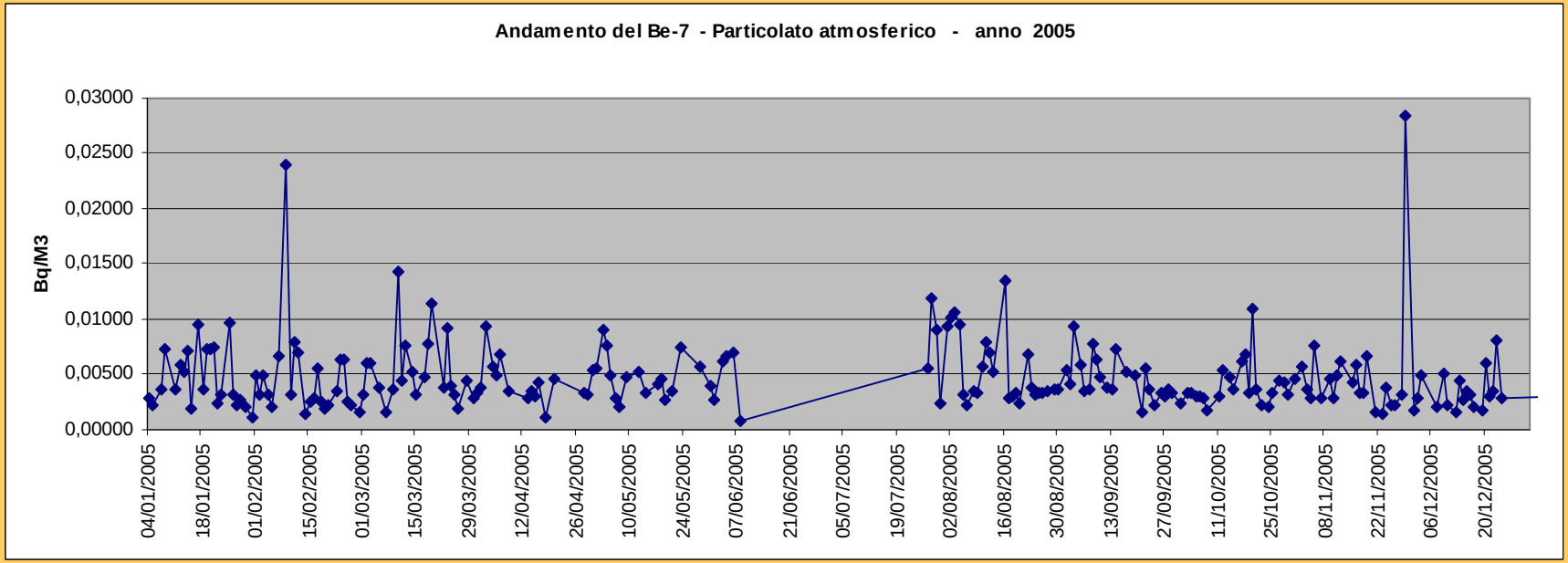
K-40 in alimenti



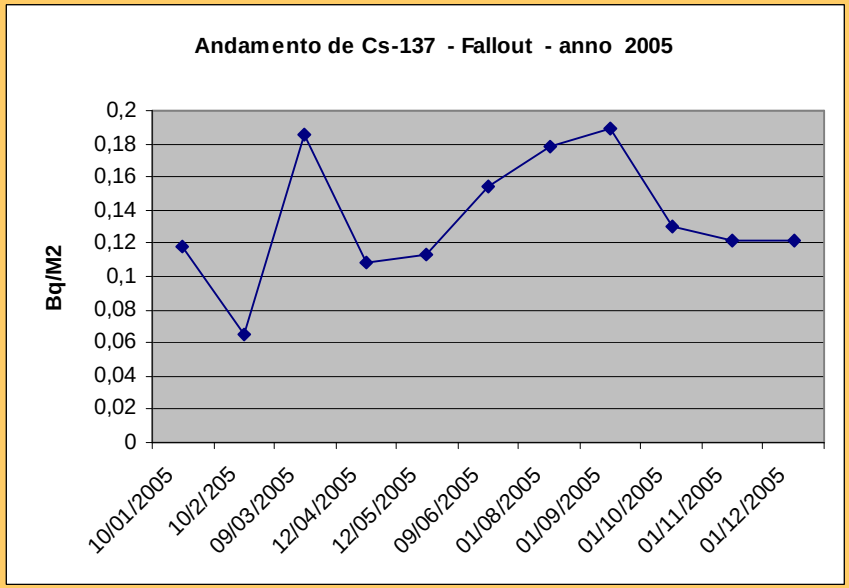
Cs-137 nel particolato



Be-7 nel particolato



Cs-137 nel fallout



Due esempi di campionamento: Lazio e Friuli

In attesa della commissione…

- Il D.Lgs. 241/2000 **prevede che un'apposita commissione tecnica definisca criteri e modalità di definizione di tali radon prone areas oltreché le modalità di misura della concentrazione di radon indoor**. In assenza non solo delle indicazione di tale commissione, ma anche dell'insediamento della commissione stessa, a tutt'oggi non ancora avvenuto, gli unici documenti al momento pubblicati sono: una bozza del piano nazionale radon (ultima versione aprile 2003) e "le linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei" approvate dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano il 6 febbraio 2003.

Indagine nel Lazio

Nel corso del 2004 è stata avviata un'indagine nelle province di Roma e Viterbo per la caratterizzazione del territorio ai fini dell'identificazione delle aree a maggior probabilità di alte concentrazioni di radon e per la valutazione dell'esposizione dei cittadini.

In tale contesto il campionamento dei siti di misura, rappresentati dalle abitazioni, riveste un ruolo fondamentale: è necessario distribuire i rivelatori in modo da ottenere un insieme di dati rappresentativo non solo del territorio ma anche della popolazione.

La strategia del campionamento seguita si è basata sulla sovrapposizione di due tipologie di campionamento: uno definito anagrafico ed uno geografico.

Definizione di “campione”

- Il campionamento "anagrafico" consiste nella estrazione casuale di nominativi dalle anagrafi di tutti i comuni delle due province. Questa operazione produce un insieme di dati che individua altrettanti siti di misura i quali, per la natura casuale del campionamento, si addenseranno laddove vi è una maggiore densità di popolazione. Ciò produce un'analisi più accurata nelle zone ad elevata densità di popolazione ma allo stesso tempo risulta carente l'informazione relativa alle aree meno densamente abitate.
- Il campionamento "geografico" è una metodologia studiata per produrre un insieme di siti di misura distribuiti in maniera pressoché uniforme sul territorio. Basato sull'utilizzo delle tecnologie di gestione dell'informazione geografica (GIS), consiste nella sovrapposizione di due reticoli regolari di passo 2 e 6 Km rispettivamente. Campionando casualmente un'abitazione in ogni cella 2x2 Km si ottiene distribuzione dei siti di misura che non privilegia nessuna area rispetto alle altre ma copre tutto il territorio indiscriminatamente, consentendo correlazioni di tipo geologico a posteriori
- Due rivelatori sono stati posizionati in ognuna delie abitazioni campionate e i dati sono stati inseriti in un Sistema Informativo Territoriale dedicato, che permette la gestione dei dati in maniera georeferenziata ed aggiomabile (concentrazioni misurate, informazioni sulle tipologie costruttive delle abitazioni, posizionamento dei rivelatori ecc.), e le analisi spaziali e geostatistiche.

STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO (1)

- Al fine di distribuire i rivelatori rispettando gli obiettivi e i requisiti precedentemente discussi, è stata sviluppata una particolare strategia di campionamento basata sulla sovrapposizione di due diverse tecniche: una definita anagrafica ed una geografica.
- Le due differenti metodologie sono basate su uno stesso schema logico di costruzione del campione. Ad ogni famiglia è associata un'abitazione; partendo dall'insieme di tutte le abitazioni disponibili sul territorio (Universo) viene dapprima definito un Campione Obiettivo costituito dalle abitazioni presso le quale si ritiene di effettuare la misura. Trattandosi di misure all'interno di abitazioni private, si tiene conto di una certa percentuale di rifiuto da parte delle famiglie a aderire all'indagine. Stimando questa percentuale pari al 50%, si costruisce un Campione Esteso, pari quindi a circa il doppio del Campione Obiettivo. Vengono quindi definite delle regole di reclutamento attraverso le quali si ottiene il consenso delle famiglie alla partecipazione e si giunge al Campione Effettivo, ossia alle famiglie che effettivamente partecipano all'indagine.

STRATEGIA DI CAMPIONAMENTO (2)

- Le due diverse tecniche di campionamento hanno posto differenti problematiche e per entrambe è stato necessario stringere una serie di contatti con le famiglie al fine di ottenerne l'adesione. Si è ritenuto di agevolare questo aspetto attraverso il coinvolgimento delle istituzioni: Regione Lazio e Comuni. Le famiglie appartenenti al Campione Esteso sono state informate e coinvolte tramite lettere e, successivamente, la loro disponibilità è stata verificata attraverso contatti telefonici. La collaborazione di APAT, Regione Lazio e dei Comuni ha conferito ai vari contatti il dovuto carattere istituzionale. Si è ritenuto che la partecipazione della Regione e dei Comuni, consentisse attraverso un contatto diretto con i cittadini una maggiore percentuale di adesioni.
- Ulteriori contatti telefonici con le famiglie appartenenti al Campione Effettivo sono stati necessari durante il corso dell'indagine al fine di assicurare il corretto posizionamento dei rivelatori all'interno delle abitazioni e di fornire un supporto tecnico e scientifico agli interessati. Un numero verde è stato messo a disposizione dei cittadini per qualsiasi tipo di dubbio o chiarimento

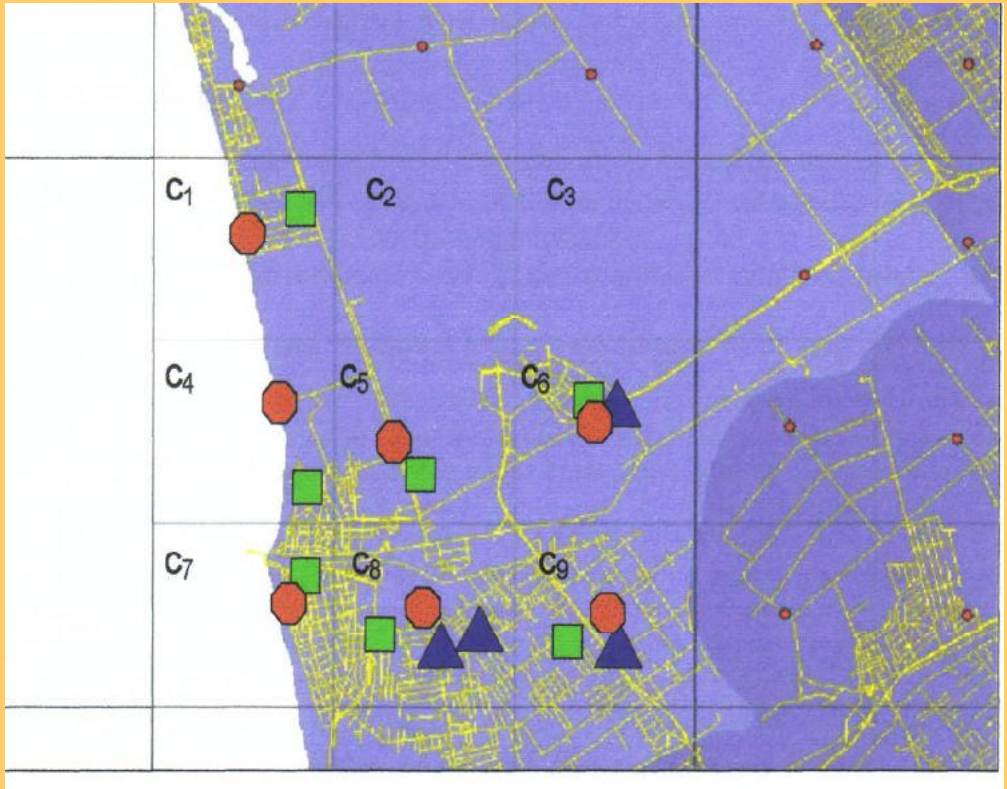
CAMPIONAMENTO ANAGRAFICO

- Il Campionamento Anagrafico si è basato sull'insieme di dati di partenza costituito dalle famiglie iscritte alle anagrafi comunali (Universo).
- Il metodo di campionamento delle famiglie è stato l'estrazione casuale dalle liste anagrafiche. Il numero del Campione Obiettivo per ogni comune è stato costruito in base ad un algoritmo dipendente dalla popolazione, al fine di soddisfare i requisiti dell'indagine. In pratica il numero delle famiglie residenti del singolo comune è stato elevato ad una potenza pari a 0.27, dipendente anche dal vincolo del numero di rivelatori massimo a disposizione. E' stato fissato un numero minimo di famiglie per comune pari a 5; al comune di Roma, dato l'elevato numero di famiglie, sono state assegnate 150 abitazioni da campionare, senza tenere conto dell'algoritmo. In tal modo si arriva a un numero complessivo del Campione Obiettivo pari a 1512 famiglie.
- Per ogni comune il Campione Esteso è rappresentato dal doppio del Campione Obiettivo. I Comuni hanno provveduto a sorteggiare le famiglie del Campione Esteso e anche a reperire i relativi numeri di telefono. Le famiglie appartenenti al Campione Esteso sono state precedentemente avvisate dell'indagine attraverso una lettera del Sindaco e successivamente telefonicamente (anche più di una volta in caso di non risposte e in orari diversi) per confermare l'eventuale adesione all'indagine. Nei casi di mancanza di telefono i referenti comunali hanno provveduto a verificare l'adesione delle famiglie all'indagine.
- Il reclutamento viene interrotto nel momento in cui le adesioni raggiungono il Campione Obiettivo o all'esaurimento del Campione Esteso.

CAMPIONAMENTO GEOGRAFICO

- Il Campionamento Anagrafico, basato sull'estrazione casuale, produce un Campione Obiettivo che per sua natura si addensa laddove vi sono centri abitati più grandi. Ciò significa conferire un minore peso al territorio periferico generalmente meno densamente abitato.
- Il Campionamento Geografico ha come obiettivo quello di ottenere un campione pressoché uniforme sul territorio.
- Il metodo si basa sull'utilizzo di un reticolo composto da celle quadrate di 6 km di lato che rappresentano le unità elementari di territorio (definite celle "C" di riferimento), alle quali saranno applicati i criteri e gli algoritmi di calcolo per la classificazione.
- A questo reticolo èstato sovrapposto un ulteriore reticolo di passo 2x2 Km che suddivide la celle C in 9 sottocelle c utili per una migliore distribuzione del campione

Griglia 2x2



Campionamento Geografico all’interno delle sottocelle 2x2

QUALITÀ DEI DATI, LIMITI E PROBLEMI

- Il procedimento di costituzione del Campione Effettivo dal Campione Esteso, e di quest'ultimo dall'insieme dei dati di partenza, passa attraverso il trattamento dei dati e pone alcune riflessioni sulla loro qualità.
- L'affidabilità delle informazioni disponibili riveste un'importanza fondamentale, la qualità dei dati può rivelarsi determinante per il risultato.
- I limiti maggiori sono derivati dall'accuratezza temporale dei dati. Il problema ha riguardato in modo particolare i limiti amministrativi comunali, il grafo stradale e la banca dati delle utenze telefoniche. Le difficoltà dovute alla presenza di limiti amministrativi di nuovi comuni non si sono rivelate determinanti, ma differente è stata la situazione per le altre fonti di informazione.
- La numerazione civica non puntuale, ed in molti casi non presente, contenuta negli attributi del grafo stradale ha complicato notevolmente il campionamento. Non disporre di questa informazione significa non conoscere con precisione i punti in cui le abitazioni si collocano nel mondo reale, con una conseguente approssimazione nel modello concettuale.
- Anche l'accuratezza del database delle utenze telefoniche ha posto numerosi problemi. Il nome di molte strade è cambiato nel tempo e diversi errori sono stati riscontrati nei numeri civici e telefonici. L'aggiornamento di questi dati è stato realizzato durante il campionamento grazie alle informazioni fornite dai contatti diretti con i cittadini, costituendo una banca dati delle famiglie aderenti all'indagine molto più accurata rispetto alle informazioni di partenza.

CONCLUSIONI

- Il sistema di campionamento per un'indagine volta alla individuazione delle zone a maggiore probabilità di elevate concentrazione di attività di radon risente fortemente di una serie di scelte strategiche iniziali dipendenti dal contesto territoriale e anche dalle disponibilità operative e finanziarie del momento. E' stata descritta una possibile modalità di esecuzione di indagine e in particolare la relativa fase di campionamento di un insieme di punti il più possibile rappresentativo della distribuzione spaziale, della esposizione della popolazione e di eventuali correlazioni con la geologia del territorio.
- A seguito del reclutamento del campione di abitazioni nelle quali effettuare le misure è possibile affermare che il tipo di contatto con le famiglie utilizzato, prima postale, poi telefonico porta ad un elevata percentuale di rifiuto, in totale superiore al 50 %. Delle iniziali 1512 famiglie del Campione Obiettivo anagrafico (3024 del Campione Esteso) hanno aderito 1127 famiglie, mentre delle iniziali 1952 famiglie del Campione Obiettivo geografico (3904 del Campione Esteso) hanno aderito 1422 famiglie. Pertanto si ritiene opportuno prevedere un campione esteso in misura più che doppia rispetto al campione obiettivo.
- L'utilizzo di tecnologie GIS ha consentito una rapida identificazione del campione geografico e la georeferenziazione di quello anagrafico. Nell'utilizzo del grafo stradale e della banca dati delle utenze telefoniche sono state riscontrate anomalie conrette a seguito del contatto telefonico diretto con le famiglie campionate.
- Le informazioni sono state inserite in un Sistema Informativo Territoriale nel quale i sati delle misure del questionario e geologici possono essere gestiti in modo georeferenziato ai fini dell’elaborazione in relazione al teritorio.

Indagine nel Friuli

Il progetto, avviato nei primi mesi del 2005, può essere suddiviso essenzialmente in tre fasi:

1) studio preliminare per la scelta delle modalità di definizione delle radon prone areas, di misura delle concentrazioni del radon indoor e dell'analisi dei risultati (durata prevista 12 mesi circa);
2) misura della concentrazione di radon indoor (durata prevista 16 mesi circa);
3) analisi dei risultati e definizione delle radon prone areas (durata prevista 12 mesi circa).

Le tre fasi, pur essendo una conseguente all'altra avranno dei momenti comuni e, con l'avvio della campagna di misura nel settembre del 2005, sarà possibile la definizione delle radon prone areas per la regione Friuli Venezia Giulia a partire da **giugno 2007**.

Fase 1 (1)

- In accordo con quanto già fatto dai colleghi italiani e stranieri, si è ritenuto di effettuare la definizione delle radon prone areas attraverso la misura della concentrazione radon indoor in

Fase 1 (2)

- abitazioni scelte con criteri statistici all'interno di una griglia. E' stato anche previsto un breve studio preliminare per la valutazione di eventuali correlazioni della concentrazione di radon indoor con la presenza di alcune strutture geologiche importanti. Sulla base delle informazioni note (vedi indagini precedenti svolte da ARPA FVG su tutte le strutture scolastiche della regione e campagne nazionali e regionali svolte dal Centro di Riferimento Regionale per il controllo della radioattività ambientale del Friuli Venezia Giulia (oggi ARPA FVG)) e di quelle ottenute nello studio preliminare, verrà definito il numero di maglie in cui suddividere il territorio, la loro dimensione ed il numero di misure da effettuare all'interno di ogni maglia. La dimensione delle maglie ed il numero di misure all'interno delle maglie stesse dipenderà, quindi, dalle caratteristiche geologiche e dalla concentrazione di radon nelle diverse zone del territorio del Friuli Venezia Giulia. La scelta del piano, o dei piani, dell'edificio e del locale, o dei locali, in cui effettuare la misura viene definita in questa fase.

Fase 1 (3)

- In via del tutto indicativa è stato previsto che vengano posizionati circa 10000 dosimetri passivi a tracce. Con questo numero di dosimetri è indicativamente possibile effettuare 10 punti di misura per ogni maglia di circa 50 km2.
- In questa fase è previsto che venga valutata la possibilità di effettuare alcuni progetti collaterali e complementari allo studio che possano completare il quadro della distribuzione della concentrazione del radon nel Friuli Venezia Giulia. In particolare verrà valutata la possibilità di effettuare:
- una campagna per la misura della distribuzione della concentrazione di radon nel suolo del
  Friuli Venezia Giulia;
- un piccolo progetto per la valutazione di eventuali effetti dei caratteri geomorfologici sulla
  distribuzione locale di radon indoor;
- uno studio dedicato alla misura di radon indoor all'interno di abitazioni multipiano allo scopo di definire eventuali fattori di correzione per piano da applicare ai risultati della campagna regionale per una valutazione della dose da esposizione al radon alla popolazione
  del Friuli Venezia Giulia.

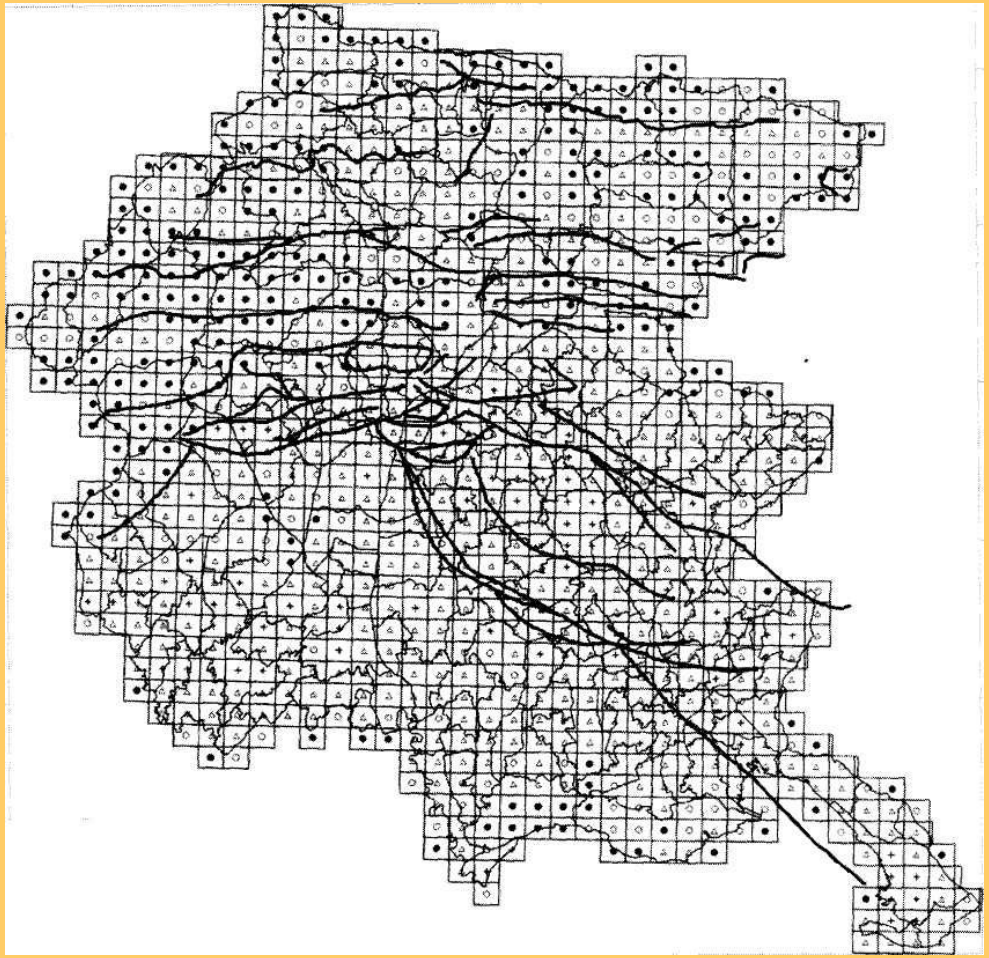
Fase 2

- Le misure verranno effettuate per mezzo di rivelatori passivi a tracce CR-39 in configurazione Radosys, che resteranno esposti, due per ogni abitazione, per un periodo di 6 mesi, dopodiché verranno sostituiti da altri 2 rivelatori per i successivi 6 mesi, in modo da poter considerare, per la definizione delle radon prone areas e come previsto dalla normativa, la media annua della concentrazione radon indoor. Al momento del posizionamento dovranno essere compilate apposite schede riguardanti gli edifici ed i singoli locali dove verranno posizionati i dosimetri, oltre alle modalità di occupazione dei locali stessi da parte degli abitanti. Poiché sia il posizionamento, che il cambio ed il ritiro dei dosimetri, dovrebbero essere effettuati in contemporanea su tutta la regione e nel più breve tempo possibile, si prevede che tali azioni vengano effettuate localmente da unità afferenti ad ogni comune debitamente istruite. Le stesse unità dovranno definire le eventuali abitazioni "riserve", nelle quali posizionare i dosimetri, secondo i criteri statistici definiti nella fase precedente. La determinazione della concentrazione in laboratorio sarà effettuata subito dopo il ritiro dei dosimetri e richiederà un tempo di circa tre mesi per ciascun semestre di misura.

Fase 3

- La banca dati che verrà utilizzata come base per l'analisi dei risultati delle misure, ai fini della definizione delle radon prone areas, verrà costruita prima della misura della prima serie dei dosimetri, in modo tale che i dati provenienti dalle misure del primo semestre possano essere subito inseriti nel data base ed immediatamente analizzati. Naturalmente tutti i siti di misura verranno georeferenziati, e quindi, entro agosto 2006, sarà possibile avere una prima indicazione della situazione in regione e entro giugno 2007, dati sufficienti per la definizione delle radon prone areas. Nel caso in cui la commissione di cui al decreto già citato, nel frattempo, emanasse indicazioni precise per la misura e la definizione delle radon prone areas, per quanto possibile a progetto già avviato, di rispettare tali indicazioni.
- Le maglie saranno definite secondo un reticolo di circa 3x3 Km
- Il totale di edifici da indagare è così risultato a 2500, in ognuno dei quali saranno posizionati 2 dosimetri, uno per ogni semeststre e tutti a piano terra.

Mappa del Friuli



Estrazione degli edifici, posizionamento, cambio e ritiro dei dosimetri

- Una volta stabilito il numero di edifici per maglia, si è proceduto all'estrazione degli edifici, con apposite modalità statistiche, direttamente dal formato digitalizzato della carta tecnica regionale. Dall'estrazione sono stati esclusi gli edifici con superficie inferiore a 50 m2. In figura 5 è riportato il risultato dell'estrazione effettuata all'interno di un comune ed in figura 6 il dettaglio dell'estrazione di un edificio.
- L'edificio estratto potrebbe non essere un'abitazione o non avere le altre caratteristiche richieste per il posizionamento dei dosimetri. In questo caso verrà scelta, al momento del posizionamento del dosimetro, l'abitazione con le caratteristiche necessarie più vicina a quella estratta, nell'ambito della stessa maglia e dello stesso comune.
- Sulla base di un accordo tra ARPA ed assessorato regionale all'ambiente, lavori pubblici e protezione civile, il posizionamento dei dosimetri verrà effettuato in contemporanea su tutta la regione da personale volontario appartenente alle squadre comunali della protezione civile, opportunamente addestrato. L'inizio del posizionamento è previsto nella seconda metà di settembre e dovrà essere completato entro 15 giorni. Lo stesso personale, all'atto del posizionamento, compilerà le apposite schede di caratterizzazione dell'abitazioni.

CONCLUSIONI

- L'attuazione completa del progetto presentato, comprensiva degli studi complementari programmati, renderà possibile, oltre alla definizione delle radon prone areas, la rivalutazione della dose da esposizione a radon alla popolazione del Friuli Venia Giulia, a quindici anni di distanza dalla prima valutazione effettuata nell'ambito della campagna nazionale radon.

- Sarà inoltre possibile effettuare una serie di analisi statistiche, anche con analisi multivariate, che potranno permettere una maggiore conoscenza dei caratteristiche edilizie e d'uso degli edifìci che influenzano maggiormente la concentrazione di radon indoor.

- Inoltre, con la georeferenziazione precisa di ogni punto di misura e l'ausilio di alcuni studi di dettaglio, sarà possibile condurre raffinate indagini geostatistiche per l'individuazione dei parametri geomorfologici, geologici ed idrogeologici, che più influenzano il contenuto di radon nei suoli della regione e che regolano l'emanazione da essi e quindi la concentrazione di radon indoor.

- Sulla base di questi risultati sarà possibile individuare precise indicazioni da inserire all'interno dei piani regolatori comunali per la prevenzione del rischio radon.

La zonizzazione da Radon in Abruzzo

Le regioni devono zonizzare

- Esse mirano a prevenire situazioni di rischio soprattutto in materia di tutela del lavoratore in luoghi sotterranei o seminterrati. Tuttavia le regioni competenti devono provvedere a " Individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon" (art. 10.sexies D.Lgs. n. 241 del 26/05/2000). " ***Le regioni e le provincie autonome effettuano apposite campagne di indagine nei rispettivi territori***". Obiettivo di tale campagna di misure atte a "zonizzare" il territorio abruzzese è la successiva identificazione di attività lavorative in condizioni di rischio e per le quali l'esercente deve garantire la sicurezza del personale dopo una adeguata campagna di misure effettuate da esperti qualificati e strutture competenti (art. 61 D.Lgs. n.241 del 26/05/2000). Le scadenze fissate nel D.Lgs. n. 230/1995 prevedono nell' art. n.35 **l'individuazione da parte di regioni e provincie autonome delle aree ad elevato rischio radon dove estendere le misure a luoghi di lavoro diversi dagli interrati entro il 31/8/2005.**

ZONIZZAZIONE ABRUZZO

- Un valore medio non elevato, che non esclude però il pericolo dell'esistenza di specifiche aree con elevate concentrazioni, legate alle caratteristiche geologiche, meteorologiche, climatiche, ambientali e di tipologie costruttive. Per questo motivo è necessario promuovere una campagna di rilevamenti sul territorio regionale per individuare le aree con elevati livelli di radon "indoor" e poter focalizzare su queste zone a rischio futuri interventi di risanamento e prevenzione.

La problematiche da affrontare (1)

La definizione di tali zone da parte delle Regioni è dunque un compito molto importante e impegnativo per i prossimi anni. E' evidente che tale eventuale definizione presuppone a monte un grosso lavoro conoscitivo del territorio ed attente valutazioni tecnico-scientifiche.

Per quanto riguarda l'Abruzzo, una parte minima dello sforzo conoscitivo (campagne di misura) è già stato fatto negli scorsi anni, mentre è in corso una vasta campagna di misure (circa 3000 misure) del territorio regionale e molto ancora resta da fare. D'altra parte il D. L.vo 241/2000 stesso, riconoscendo implicitamente le difficoltà e l'inadeguatezza dell'attuale conoscenza del rischio radon su tutto il territorio nazionale, prevede esplicitamente che le Regioni promuovano campagne di misura, laddove necessario.

La problematiche da affrontare (2)

Del tutto nuova e quindi tutta ancora da attuare è invece la fase di valutazione tecnico-scientifica dei dati disponibili. A questo proposito, occorre però ricordare che questa fase di valutazione necessita del pronunciamento, su varie questioni tecniche, di un'apposita commissione nazionale stabilita dalla legge stessa (art. 10- septies del D. L.vo 230/95, previsto ai sensi dell'art. 5 del D. L.vo 241/00), in procinto di insediarsi; è quindi realistico attendersi che le prime indicazioni sui criteri generali a cui ci si dovrà attenere per la valutazione dei dati a disposizione e per la definizione delle "aree a rischio radon" non potranno essere disponibili prima della fine dell'anno in corso.

In questo quadro, il ruolo dell'ARTA-Abruzzo è anzitutto quello di fornire alla Regione una base conoscitiva adeguata che, al momento opportuno, allorché saranno noti i criteri generali di valutazione definiti dalla citata commissione nazionale, le consenta di compiere efficacemente quelle scelte e quegli atti di governo che le competono.

Quali saranno i criteri?

- Due sembrano comunque i criteri a disposizione di detta commissione, uno basato sulla scelta di caratterizzazione del territorio (**si delimita una zona se la concentrazione media in essa è superiore all'80% della soglia del livello di azione** di 500 Bq/m3 indicata dalla legge per i luoghi di lavoro) a prescindere della densità abitativa, l'altro invece tenendone conto e valutando quindi **la dose collettiva.**
- Oppure ci sarà "la terza via?" ossia un criterio misto?

Radon e Caratteristiche Geologiche del Territorio Regionale

In Abruzzo i gruppi montuosi sono in prevalenza rocce calcaree, dolomitiche e carbonatiche di età mesozoica. Numerosi sono i meccanismi di migrazione ed i fattori che influenzano il raggiungimento della superficie da parte del radon.

Criteri dell’indagine (1)

- . L’indagine sarà effettuata attraverso rilevamenti di radon in abitazioni distribuite su tutto il territorio regionale ad esclusione, in prima analisi, della zona costiera che presenta infatti un modesto potenziale di radon, grazie alla sua composizione geologica, di depositi fini e poco permeabili, quindi poco favorevoli alla fuoriuscita del gas. All’interno delle maglie sono state scelte principalmente abitazioni al piano terra, a più diretto contatto con il suolo. Le informazioni sulle caratteristiche delle abitazioni e della zona saranno raccolte attraverso la compilazione di un questionario, con lo scopo di conoscere gli elementi necessari per l’elaborazione dei dati successivamente raccolti.

Criteri dell’indagine (2)

- In tal modo sarà costruita la mappa, che indica le percentuali di abitazioni in cui il livello di radon supera i 200 Becquerel per metro cubo, valore indicato come livello di riferimento da adottare per intraprendere azioni di rimedio per le nuove abitazioni. In ogni caso le metodologie di esecuzione e di analisi delle misure saranno in sintonia con le Linee-guida diffuse dal “Coordinamento delle regioni e delle Provincie autonome” ed in particolare con le regioni che per prime hanno effettuato la “zonizzazione” fissandone le metodologie di misura.

Nuova campagna di misure di Radon in regione – 2005/2007

- Misure indoor in abitazioni al piano terreno o in seminterrato (su indicazioni di APAT, ISS e Coordinamento Regioni)
- Pianificazione delle misure sulla base della natura geologica del territorio e dei risultati delle precedenti misure

Nuova campagna di misure di Radon in regione

- Circa 5000 misure in più anni nei 305 Comuni
- Misure georeferenziate mediante sistema GPS
- Schede di caratterizzazione delle abitazioni :
  - Piano abitativo / locale dosimetro
  - Volumi degli ambienti
  - Materiali da costruzione e tecniche impiegati
  - Tipologia di aerazione / condizionamento / isolamento termico / gas / condutture idriche / ecc….

Il questionario informativo (1)

ABRUZZO
ARTA
AGENZIA REGIONALE PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE

RILEVAZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DI RADON IN AMBIENTI ABITATIVI DELLA REGIONE ABRUZZO

1		2			3					4				

CODICE MAGLIA 6x6 _____

CODICE MAGLIA 2x2 _____

SCHEDA INFORMATIVA

Data di compilazione: ___ / ___ / 200_

Generalità del compilatore: _____

(Note: 1) Cod. Area; 2) Cod. Comune; 3) Cod. primo dominio; 4) Cod. secondo dominio

A1) Dati anagrafici – Generalità del capo famiglia e indirizzo:

Cognome _____ Nome _____

Via _____ n. _____

Località _____ CAP _____

Comune _____ Provincia _____

Telefono _____ / _____ Lat. _____ Long. _____

A2) Dati anagrafici – Componenti della famiglia:

n°	Sesso (M o F)	Età (anni)	Professione
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Pag. 1/4

Il questionario informativo (2)

B) Dati ubicazione edificio:

a) Tipologia dell'area: 1: Urbana 2: Piccolo agglomerato 3: Isolata

b) Nelle immediate vicinanze sono presenti cave, grotte, doline? 1: SI 2: No

c) L'edificio è posto in 1: Prossimità di un bacino idrico di importanza rilevante
2: Montagna 3: Collina 4: Pianura

d) L'esposizione al vento è: 1: Scarsa 2: Modesta 3: Elevata

C) Dati edificio:

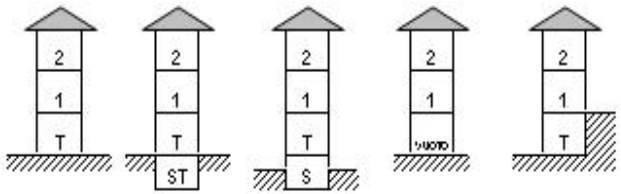
a) Tipologia dell'edificio: 1: Monofamiliare 2: A schiera 3: A torre (poco confinato)

b) Anno di costruzione del fabbricato: _____

c) L'edificio è stato oggetto di interventi di ristrutturazione? 1: SI 2: No Anno: _____

d) Numero di piani dell'edificio (dal piano terra incluso): _____

e) Posizione, rispetto al terreno, del piano più basso dell'edificio (1):



1: Sopra il terreno 2: Sotterraneo 3: Seminterrato 4: Su pilastri 5: Interrato (semint.) su alcuni lati 6: Altro _____

f) Utilizzo del seminterrato o del sotterraneo (1):

1: Vespaio di fondazione 2: Cantina/Deposito 3: Garage

4) Abitazione 5: Luogo di lavoro 6) Altro _____

D) Dati abitazione:

a) Piano dell'abitazione (piano inferiore se su piani): 1: Piano terra 2: Piano ____

b) Superficie coperta _____ m² c) Altezza media _____ m

d) Numero di piani su cui si sviluppa l'abitazione: _____

e) Impianto idrico da: 1: Acquedotto 2: Pozzo 3: Altro _____

f) Impianto di riscaldamento: 1: Autonomo 1.1) Legna 1.2) Gas Città 1.3 Metano
1.4) Kerosene 1.5)Carbone 1.6) Altro _____

g) Impianto di condizionamento: 1: Presente 2: Assente

Il questionario informativo (3)

E) Dati locale posizionamento dosimetro:

a) Piano dell'edificio ove è situato il dosimetro: 1: Piano terra 2: Piano _____

b1) Tipologia locale del dosimetro: 1: Cucina 2. Camera da letto 3: Sala 4: Studio/Laboratorio 5: Bagno 6: Altro _____

b2) Altezza del locale: _____ metri

b3) Superficie del locale: _____ metri quadri

c) Materiale prevalente di costruzione delle pareti:

1: Laterizi 2: Cemento 3: Laterizio cemento

4: Pietra 5: Altro _____

d) Nel caso di locale al piano terra, esiste una cantina di separazione dal terreno? 1: SI 2: No

d1) Rivestimento pavimento: 1: Maioliche 2: Legno 3: Moquette 4: Linoleum 5: Granito 6: Marmo 7: Altro

e1) Sono presenti finestre/porte finestre? 1: SI 2: No

e2) Se sì, quante ore rimangono aperte in una giornata?

periodo Autunno/Inverno: _____ ore periodo Primavera/Estate: _____ ore

e3) Stato di conservazione degli infissi: 1: Scadente 2: Buono

f1) Sono presenti nel locale porte di accesso diretto all'esterno? 1: SI 2: No

f2) Se sì, sono usate abitualmente? 1: SI 2: No

g) Sono presenti camini/caldaie che bruciano aria nel locale? 1: SI 2: No
(privi cioè di una presa che aspira aria dall'esterno)

h1) Sono presenti prese per l'immissione forzata di aria del locale? 1: SI 2: No

h2) Sono presenti prese per l'estrazione forzata di aria dal locale? 1: SI 2: No

i) Stato di conservazione del locale: 1: Scadente (crepe nel muro nel pavimento)
2: Buono (pavimento e pareti in buono stato)

l) Si osservano infiltrazioni d'acqua nel locale? 1: SI 2: No

m) Sono presenti tubazioni a vista/lavandini? 1: SI 2: No

n) Una o più pareti, oppure il pavimento, sono in diretto contatto col terreno? 1: SI 2: No

Il questionario informativo (4)

F) Dati Dosimetro:

a) Dosimetri radon annuale:

Codice primo dosimetro: _____

Codice secondo dosimetro: _____

Punto di collocazione dei dosimetri: _____

Inizio Esposizione:

data: _____/ _____/ 200___ ora: _____ : _____

operatore (1): _____

Fine Esposizione:

data: _____/ _____/ 200___ ora: _____ : _____

operatore (1): _____

(1) Si intende per operatore colui che consegna o ritira il dosimetro.

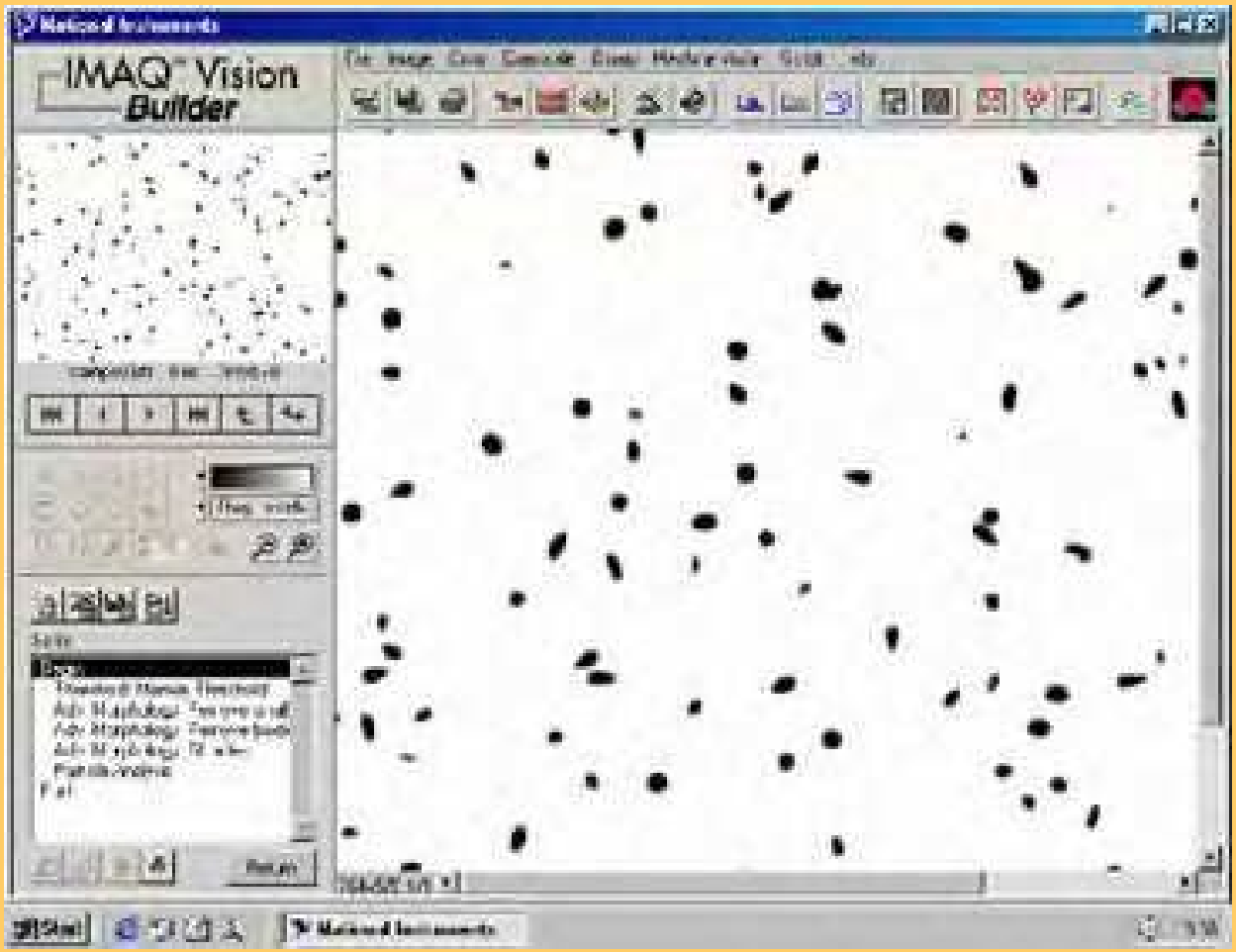
Note: _____

_____

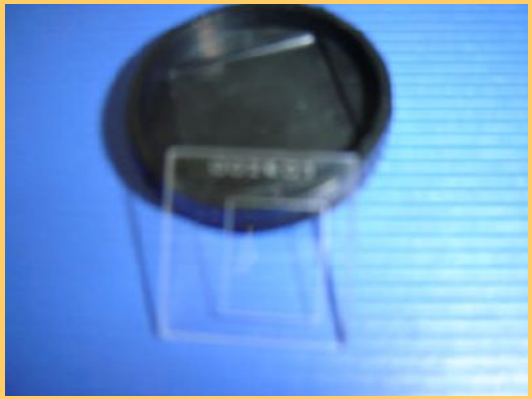
Sistema di misura Radon

- Elevato numero di misure (migliaia all'anno)
- Sistema di lettura automatico di tracce in CR 39, con microscopio e fotocamera computerizzati, già impiegato da APAT, ISS e varie Regioni
- Rivelatori passivi a tracce CR 39 (Columbia Resine 1939) che, previo idoneo trattamento chimico che evidenziano le tracce di interazione (ionizzazione) lasciate dalle particelle α nel mezzo, vengono lette dal sistema TASL (a riconoscimento ottico)
- Facilità di utilizzo (bagno di attacco chimico per circa 300 rivelatori)

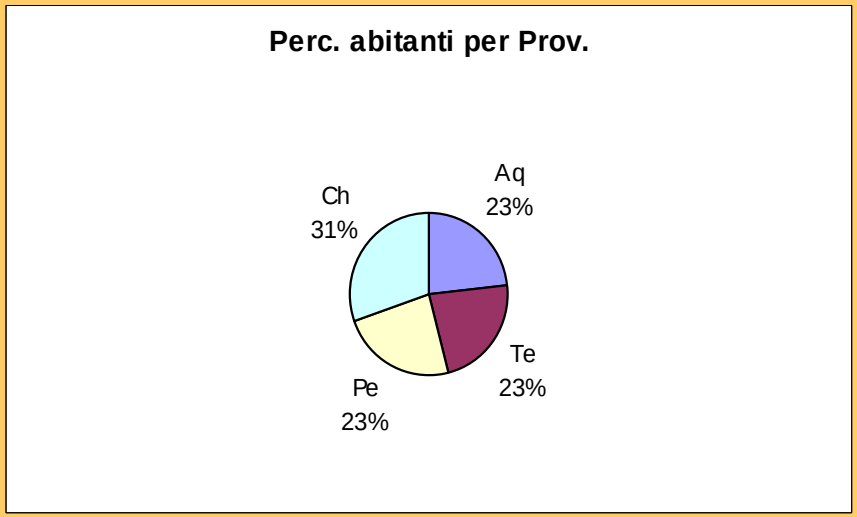
Una videata della misura

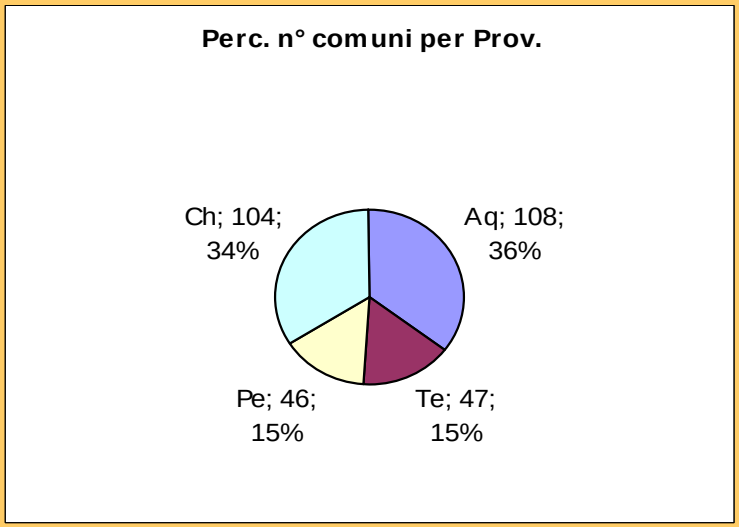


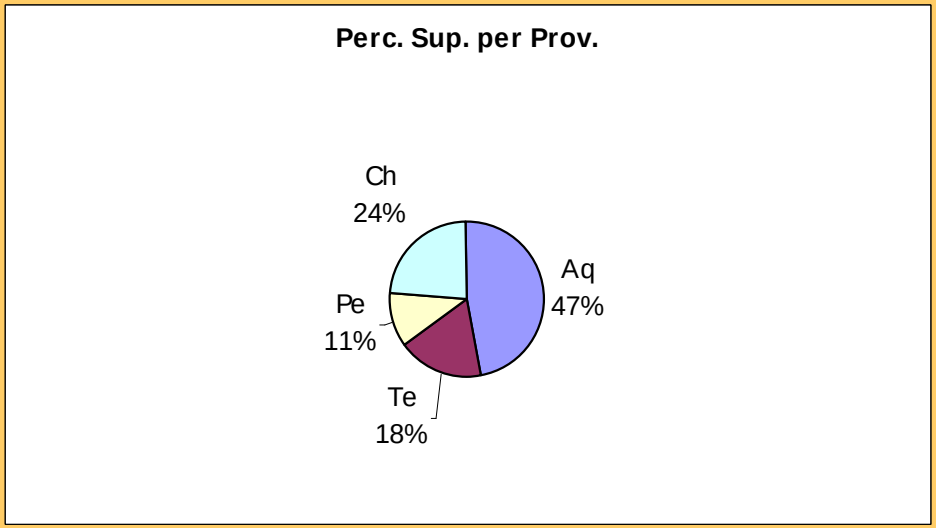
L’apparato di misura



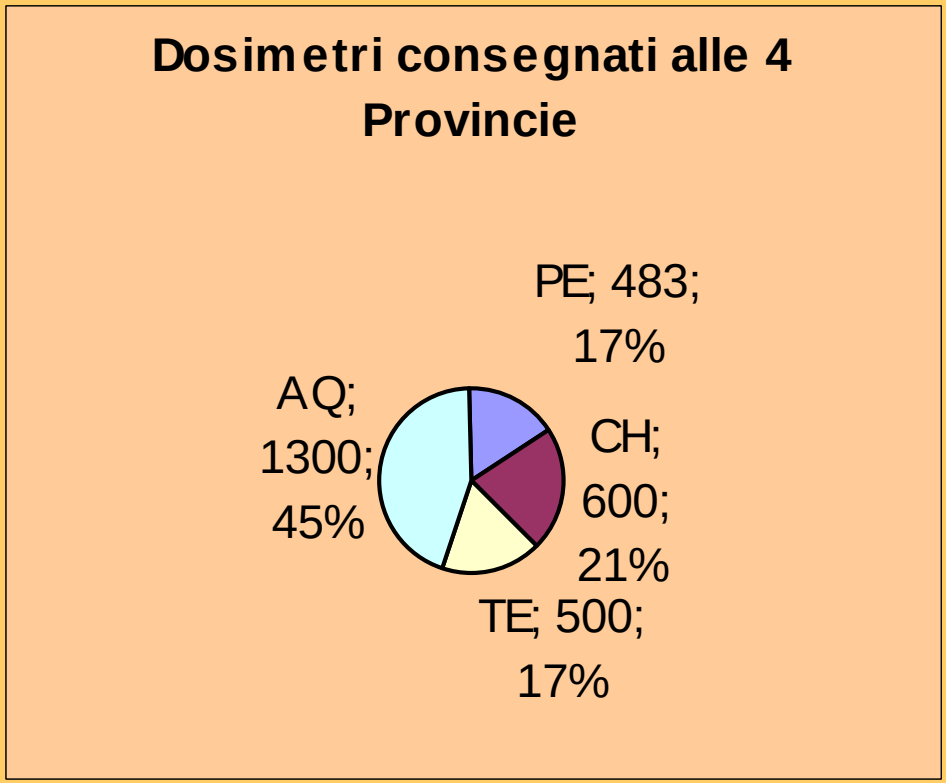
Statistiche province abruzzesi







Dosimetri consegnati alle Provincie



Pescara:

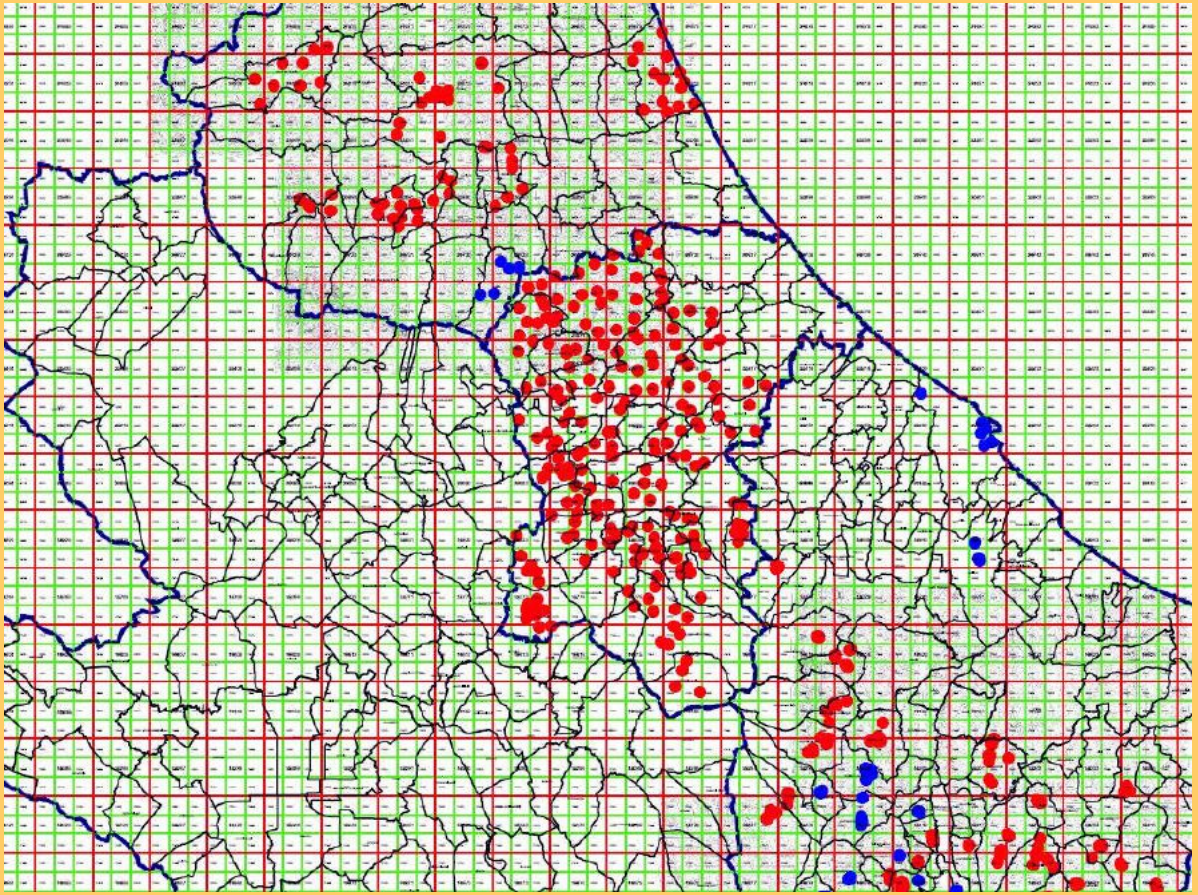
Consegnati 483

Ritirati 464

Dispersi 19

Totale circa 3000 dosimetri

Georefenzazione dei dosimetri posizionati nella provincia di Pescara



Situazione attuale

- Entro giugno 2007 si completeranno le analisi di misura e si dovrà fornire alla Regione una prima zonizzazione del territorio, finora sono stati misurati circa il 60% dei dosimetri con una media della concentrazione (provvisoria) di **60 Bq/m3** che è coincidente con il valore ottenuto dalla campagna nazionale del 1992.

Analisi parziale dei dati

Analisi parziale dei dati finora disponibili:

- sussistono alcune zone calde del territorio (peraltro in numero assai limitato) nelle quali è possibile la classificazione di “area ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon”

Risultati regionali indagini precedenti

Indagine Nazionale Radon 1992
Dati regionali

Provincia	n° siti
PE	11
CH	11
TE	0
AQ	81
Tot. ABRUZZO	103

Media aritmentica 61 Bq/m3

Indagine Regionale Asili 1993/95

Provincia	n° siti
PE	108
CH	163
TE	124
AQ	104
Tot. ABRUZZO	499

Media aritmentica 66 Bq/m3

Indagine nelle Scuole del Comune di Pescara
anno 2000

Pescara	46

Media aritmentica 32 Bq/m3

Precedenti misure in Abruzzo - (1993-1995)

- Misure eseguite in tutti gli asili abruzzesi (oltre 500)
- Concentrazioni più alte di radon misurate nelle zone montane (province di Teramo e L'Aquila)
- Concentrazione media = 60,7 Bq/m^3

Media	Costiera	Collinare	Montana
Inverno:**63,9**	**51,1**	**56,0**	**85,8**
Estate : **57,4**	**45,7**	**54,5**	**71,9**

Bibliografia

- **1)** Brookins D. - Il problema Radon nelle abitazioni - Ed. Celi
  2) National Research Council - 1988 - Health risk of radon and other internally deposited alpha emitters. BEIR IV Report. National A cademy of Science - Washington DC
  3) ICRP - 1987 - Commission on Radiologica Protection - Lung cancer risk on indoor exposure to radon daughters - ICRP publication 50 - Annals ICRP 17 No. 1
  4)Raccomandazione EURATOM 143/90 - G.U. CEE 27/03 L 80 Direttiva del Consiglio in G.U.CEE L40/12 11.2.89
  5) Facchini - Valli - Vecchi - Il Radon nella casa - Univ. di Milano - Ist. di Fisica Generale Applicata
  6) A.N. Nero, W.W. Nazaroff, Characterising the source of radon indoors, Rad. Prot. Dos. 7: 23-39 (1984
- **7)** Altieri A., Catano F., Orlando P., Trevisi R., Diagnostica del rischio Radon negli edifici, Atti del 3° convegno nazionale Aria ‘94, Monteporzio Catone (Roma) 26-28 Ottobre 1994
- **8)** Il radon di Massimo Moroni Ed. “Il Sole 24ORE”

Raccomandazioni e normative

1. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Sources and Effects of Ionizing Radiation 1977 Report to the General Assembly, with scientific annewes, New York, United Nations, 1977
2. ICRP (1981). Limits for inhalation of radon daughters by workers, ICRP Publication 32, Pergamon Press, Oxford
3. ICRP (1986). Lung cancer risk from indoor exposures to radon daughters, ICRP Publication 50, Pergamon Press, Oxford
4. 1990 – Recommendations of the International Commission on Radiological Protection – ICRP Publication 60 (Annals of the ICRP Vol. 21 No 1-3), Pergamon Press, Oxford
5. Protection against Radon-222 at Home and at Work – ICRP Publication 65 (Annals of the ICRP Vol. 23 No 2), Pergamon Press, Oxford, 1995
6. Council Directive 96/29/EURATOM del 13 Maggio 1996 layng down basic safety standards for the protection of the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation. Official Journal of the European Communities. L 159, Vol.39, 1996
7. Decreto Legislativo 26 maggio 2000 n.241, Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti, pubblicato in G.U. n. 203 del 31/08/2000
8. Conferenza dei Presidenti delle regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano “Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei” a cura del Coordinamento delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano, 6/02/2003 (Indirizzo Internet: www.unipv.it/safety/norme/radio/radon.pdf)
9. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) Sources and Effects of Ionizing Radiation 2000 Report to the General Assembly, with scientific annewes, New York, United Nations, 2000
10. Regione Lombardia – Circolare sanità n.103/SAN, 1990
11. Council Directive 90/143/EURATOM del 21 Febbraio 1990 “Recommendation on the protection of the public against indoor exposure to radon”, 1990 (Indirizzo Internet: http://radiopro.biz/normativa/euratom_143-90.pdf)
12. Regione Veneto – Delibera Regionale n. 79, 18/01/2002
13. Regione Veneto – Delibera Regionale n. 1172 del 18/04/2003

Radon indoor - Azioni di rimedio

1. L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente di Bolzano – Laboratorio di chimica fisica "Radon in Alto Adige", Stato delle indagini, L. Minach, 2003 (www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/radon/index_i.htm)
2. "Indicazioni e proposte per la protezione degli edifici dal radon" Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente del Friuli Venezia Giulia
3. F. Bochiccio, G. Campos Venuti, C. Nuccetelli, S. Piermattei, S. Risica, L. Tommasino, G. Torri, "Results of the representative Italian national survey on radon indoors" Health Pyisics 71(15), 743-750, 1996
4. F. Bochiccio, G. Campos Venuti, C. Nuccetelli, S. Piermattei, S. Risica, L. Tommasino, G. Torri, "Results of the National Survey on radon indoors in all the 21 Italian Regions" Proc. Workshop "Radon in the Living Environment", Athens, 19-23 April 1999, 997-1006, 1999
5. F. Bochiccio, S. Risica, "Esposizione della popolazione italiana a radiazioni ionizzanti di origine naturale", AIRP- Convegno Nazionale di Radioprotezione: Dosimetria personale ed ambientale, La Maddalena, 26-28 settembre 2001, ISSN/1120/5555, 2001

- **Studi epidemiologici**

1. Christine A. Stidley, Jonathan M. Samet “A review of ecologic studies of lung cancer and indoor radon” Health Phis., 65(3), 234-235, 1993

- **Protocolli internazionali per la misurazione del radon**

1. http://www.hpa.org.uk/radiation/services/radon/work.htm (protocollo inglese per la misura del radon nei luoghi di lavoro, sito dell’NRPB (dal 1/4/05 HPA: Health Protection Agengy))
2. “Validation Scheme for Laboratories making Measurements of radon in Dwellings: 2000 revision”, J.C.H. Miles, C.B. Howarth, 2000

- **Qualità della misurazione del radon**

1. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. EN ISO/IEC 17025: 2000
2. M.Calamosca, S.Penzo “Servizio di valutazione radon ENEA-IRP - Gli aspetti tecnici del sistema di Garanzia di Qualità ai fini del riconoscimento ai sensi dell'art. 107 D.Lgs. 230/95”, *Atti del XXXII Congresso nazionale di radioprotezione,AIRP, Giovinazzo (Bari), 17-19/09/2003*, ISBN: 88-88648-08-9
3. M. Calamosca, S. Penzo “The technical framework supporting the accreditation action of the ENEA ION-IRP radon service”, Proc. IRPA 11, Madrid, 23-28/05/2004, ISBN: 84-87078-05-2

Siti internet di interesse

- ***Raccomandazioni e normativa***
- http://radiopro.biz/normativa/euratom_143-90.pdf (raccomandazione 90/143/Euratom del 21/02/90)
- ***Protocolli internazionali per la misura del radon***
- http://www.nrpb.org/services/radon/work.htm (protocollo inglese per la misura del radon nei luoghi di lavoro, sito dell'NRPB)
- http://www.epa.gov/radon/pubs/homprot3.html (protocollo americano per la misura del radon nei luoghi di lavoro, sito dell'EPA)
- http://www.epa.gov/radon/pubs/homprot1.html (protocollo americano per la misura del radon nelle abitazioni, sito dell'EPA)
- ***Qualità della misura del radon***
- http://www.epa.gov/radon/pubs/citguide.html (protocollo americano relativo alla garanzia di qualità per la misura del radon, sito dell'EPA)

p

γ

x

Grazie per la cortese attenzione

β

α

n