

Stage estivo 2004
INFN-LNF-Fisica sanitaria
Il Radon e la radioattività



Stage estivo 2004

Il Radon e la radioattività

Montesanti Alessio

Tutori LNF L. Casano, M. Chiti, A. Gentile
INFN-LNF Fisica Sanitaria

Indice:

Introduzione sul tema delle radiazioni ionizzanti

1. Il Radon
2. Dove “nasce”
3. Dove si trova
4. Perché è dannoso
5. Normativa
6. Come si misura
7. Scintillatori
8. Fotomoltiplicatore
9. Tipologie di scintillatori
10. Esperienza

10

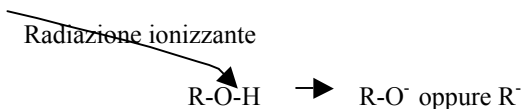
Le radiazioni

Le radiazioni possono essere definite come onde elettromagnetiche che si muovono nello spazio senza il bisogno di mezzo e quindi il loro movimento è consentito anche nel vuoto, ma possono essere considerate anche come particelle visto che, ad esempio, come vedremo più in là, le radiazioni α sono costituite da due atomi di He^{++} .

Le radiazioni vengono dette ionizzanti quando hanno sufficiente energia per ionizzare gli atomi su cui incidono.

Questo fenomeno di ionizzazione è molto pericoloso se la superficie ionizzata è la pelle o qualsiasi altra parte del nostro corpo.

Il perché della loro pericolosità è dato dal fatto che se l'energia della radiazione supera quella, ad esempio, di un legame O-H (tipicamente presente nelle macro-molecole organiche) vengono a formarsi radicali liberi: pericolosi composti intermedi ad alto potere ossidativo e quindi in grado di “attaccare” qualsiasi molecola organica.

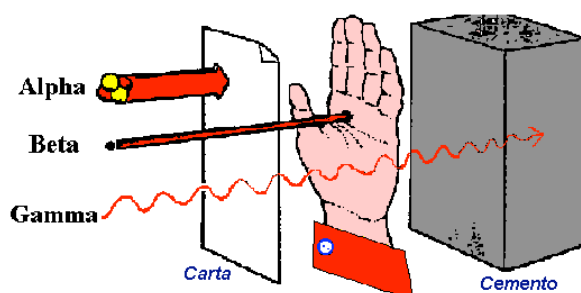


I danni più frequenti infatti si presentano sotto forma di ustioni o sotto forma di ulcere quando la particella viene ingerita. Questi effetti comunque giungono quando si supera una soglia ben definita di circa 10 eV; la dose di radiazioni viene misurata in μSv (micro-Sivert).

Le radiazioni si dividono in tre grosse tipologie α, β, γ . Le nostre conoscenze in merito ci giungono dagli studi condotti dai coniugi Curie i quali studiarono approfonditamente il tema, ma avvisaglie che esistessero onde invisibili e misteriose si avevano già al tempo di Rutherford.

Le radiazioni ci arrivano ogni giorno sotto forma di raggi cosmici e a causa del decadimento costante di tutti i materiali radio-attivi che si trovano in natura.

Le radiazioni α hanno un basso potere di penetrazione e vengono schermate da fogli di carta; le β invece vengono schermate da sottili fogli di metallo; le γ invece hanno un elevato potere di penetrazione vengono schermate solamente da grossi spessori di metallo o calcestruzzo.



Il Radon

Il radon Rn^{222} è l'isotopo di radon instabile presente in natura in maggior quantità, secondo stime recenti risulta che l'esposizione al radon rappresenta circa il 50% dell'esposizione totale a fonti radioattive.

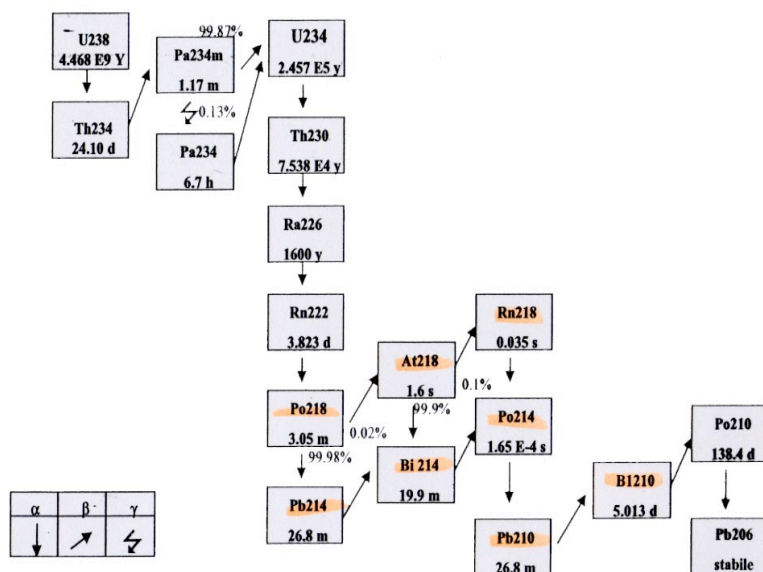
Il radon si presenta sotto forma di gas: incolore, inodore, insapore e chimicamente inerte quindi può essere considerato con buona approssimazione, un gas nobile.

Il problema del radon è proprio quello di non essere rilevabile per misure dirette, a causa del modo in cui si presenta, ma per rilevarlo bisogna misurare i suoi effetti.

Dove "nasce"

Il Rn^{222} appartiene alla famiglia dell' U^{238} , il quale a causa di successivi decadimenti che durano molti anni arriva prima al radio e successivamente al radon. Viene considerato solamente il Rn^{222} perché è l'isotopo che ha il tempo di decadimento più lungo 3.86 giorni, anche se esistono isotopi che derivano dal trizio ecc. ma hanno tempi di decadimento nell'ordine dei secondi.

Famiglia Radioattiva Naturale dell' U^{238} ($4n+2$)



Dove si trova

Il radon è presente ovunque e può essere considerato come parte integrante dell'aria e del pulviscolo aereo che ci circonda.

Come già detto in precedenza il radon deriva dal decadimento dell' U^{238} il quale è presente in piccole quantità in ogni tipo di roccia. Questo gas quindi si forma all'interno della roccia e rimane tra gli interstizi all'interno della stessa fin quando per diffusione riesce a fuoriuscire e immettersi nell'aria.

Quindi in generale proviene in maggior misura dal suolo o da materiali da costruzione tufacei. Metodi di mitigazione per allontanare il radon possono essere operazioni di rimedio che consistono in una semplice ventilazione del locale, mentre azioni preventive possono essere ad esempio la costruzione di un massetto a nido d'ape per favorire l'allontanamento del radon all'esterno dell'edificio, oppure un'impermeabilizzazione delle pareti e dei pavimenti, metodi questi ultimi francamente eccessivi. La quantità di radon presente nell'ambiente viene misurata in Bq/m^3 (becquerel al metro cubo) corrisponde ad una disintegrazione al secondo per metro cubo.

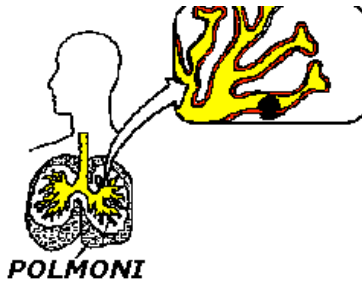
Perché è dannoso

Il radon è pericoloso per la nostra salute perché è un nemico invisibile presente ovunque, in particolar modo nel luogo dove noi ci sentiamo più protetti: la casa.

Il radon agisce secondo uno schema ben preciso:

- decade il radio e avviene la produzione di radon
- per diffusione esce dalla roccia che l'ha "prodotto"
- si immette nell'aria
- viene respirato
- si fissa negli alveoli polmonari

- decade producendo particelle α che a lungo andare danneggiano il tessuto polmonare sia con danni fisici che con danni chimici (danneggiando il DNA e modificandone la sua capacità riproduttiva facendo così “impazzire” la cellula e portando quindi alla formazione di tumori).



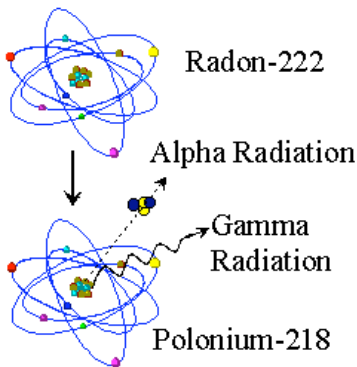
Normativa

Il radon come già detto è un gas ubiquitario e perciò non è possibile eliminarlo totalmente. Di conseguenza tutte le normative in materia hanno come caratteristica generale quella di fissare dei cosiddetti livelli di azione o intervento, ossia dei valori di concentrazione di radon superati i quali raccomandare (o imporre) delle azioni di rimedio per ridurre la concentrazione. Sotto questi livelli il potenziale rischio è considerato “accettabile”. In edifici residenziali a livello europeo è in vigore la raccomandazione 90/143/Euratom del 21/02/90 che per gli edifici residenziali esistenti consiglia una soglia d'intervento di 400 Bq/m₃, per quelli nuovi (ancora in fase di progetto) di 200 Bq/m₃. In caso di superamento è raccomandata l'adozione di contromisure per abbassare la concentrazione di radon. In Italia a riguardo non esiste ancora un limite di legge. Mentre per gli ambienti di lavoro vengono imposte restrizioni se il lavoro si svolge in catacombe, miniere, locali interrati anche riguardo al tempo d'esposizione.

Come si misura

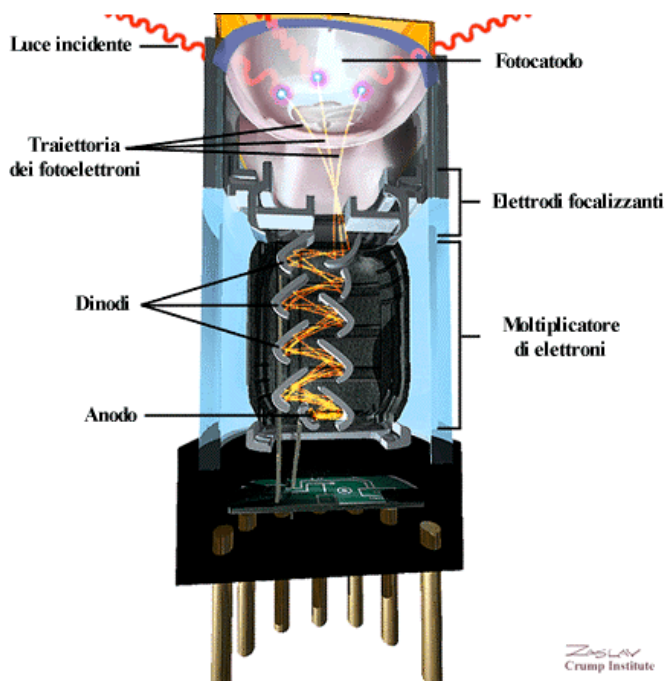
Il radon non essendo reattivo non possedendo caratteristiche organolettiche non può essere rilevato con misure chimico-fisiche dirette.

Quindi per determinarne la concentrazione sono necessarie misure sugli effetti da lui prodotti: si parte dal fatto che il Rn²²² decadendo in polonio-218 emette particelle α le quali vengono misurate da appositi strumenti che reagiscono emettendo luce quando vengono colpiti da particelle α e sono chiamati scintillatori



Scintillatori

Gli scintillatori quindi sono apparati che se stimolati, nel nostro caso con le particelle α , danno un fenomeno conosciuto come luminescenza il quale è spiegato col fatto che la radiazione ionizzante colpisce gli atomi dello scintillatore facendo eccitare un elettrone, che salta temporaneamente da un livello energetico ad un altro superiore, quando torna al suo stato iniziale restituisce energia sotto forma di un fotone. Questo fotone viene poi fatto passare attraverso una lente polarizzata che concentra e “purifica” la luce per essere poi analizzata dal fotomoltiplicatore.



Fotomoltiplicatori

I fotomoltiplicatori sono oggetti che si trovano a valle dello scintillatore che appunto contano i fotoni emessi dallo scintillatore. Il loro funzionamento si deve ad un particolare effetto detto fotoelettrico, il quale consiste nella produzione di un elettrone (fotoelettrone), quando un materiale a bassa energia di emissione d'elettroni, viene colpito da un fotone. Il fotoelettrone così generato nel fotomoltiplicatore viene focalizzato e poi proiettato su una serie di "specchi" chiamati dinodi che grazie ad una differenza di potenziale tra l'uno e l'altro sempre crescente "incanalano" (accelerano) e moltiplicano gli elettroni per poter essere poi analizzati da un sistema elettronico.

Tipologie di scintillatori

Gli scintillatori possono essere suddivisi in varie categorie, ma la suddivisione principale è quella tra scintillatori organici e inorganici.

Gli scintillatori organici a loro volta possono essere liquidi o solidi: gli scintillatori solidi si presentano sotto forma di cristalli un esempio è l'antracene costituito da tre anelli benzenici in forma lineare, ha un tempo di risposta breve ≈ 30 ns, ma è uno dei più lenti nella sua categoria; il problema di questo tipo di scintillatore è che avvengono fenomeni di channelling (fenomeno che riduce l'interazione tra luce ed elettroni in molecole con forma lineare) e quindi la risposta non è sempre costante dipende dall'inclinazione del cristallo.

I liquidi organici invece sono soluzioni organiche nelle quali l'assorbimento d'energia avviene con metodi ancora sconosciuti, comunque si sa che l'energia si trasferisce dal solvente al soluto che poi emette luce, hanno un tempo di reazione $\approx 4-5$ ns molto breve.

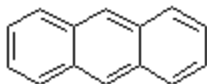
Gli scintillatori plastici sono invece, soluzioni organiche polimerizzate, il loro vantaggio è il basso costo e la facile manipolazione, alcuni contengono polimeri contenenti fluori e generalmente i polimeri si presentano sotto forma di poli-vinil-toluene. Il tempo di reazione è $\approx 2-3$ ns.

Gli scintillatori inorganici invece sono solidi si presentano sotto forma cristallina e sono trasparenti rispetto alla luce da loro emessi sono molto rapidi, ma hanno il problema dell'igroscopicità cioè si umidificano con facilità quindi devono essere adottati particolari accorgimenti.

Ci sono inoltre altre tipologie di scintillatori: quelli a vetro e quelli a gas.

Gli scintillatori a vetro sono particolarmente usati per la loro resistenza agli agenti chimici, hanno un tempo di reazione intermedio tra quelli ad antracene e quelli plastici inoltre hanno una luminosità del 25% più bassa degli scintillatori all'antracene; per lo più sono costituiti da sali di silicio.

Il tipo a **gas** invece è molto usato per la rivelazione dei raggi cosmici. I gas utilizzati sono gas inerti: i gas nobili nonché l'azoto, il loro funzionamento è dovuto alla singola eccitazione degli atomi quindi la loro risposta è immediata, producono radiazioni nell'ultravioletto quindi un normale fotomoltiplicatore non servirebbe a molto, ma se si riveste con una particolare sostanza funziona.



Antracene

Esperienza

La nostra esperienza consiste nella misurazione del radon utilizzando un rivelatore che funziona con uno scintillatore a celle di Lucas; il modello da noi adoperato è il Pylon mod.AB-5.

Stage estivo 2004
INFN-LNF-Fisica sanitaria
Il Radon e la radioattività

Questo strumento funziona utilizzando come rivelatore uno scintillatore, detto a “cella di Lucas”, il quale aspira aria dall’ambiente e quindi il radon contenuto in essa. Il radon decadendo emette particelle α che interagendo con il sottile rivestimento della cella, uno scintillatore costituito da ZnS(Ag), emette fotoni (luce). Questi fotoni (luce) sono poi trasformati in elettroni e amplificati da un fotomoltiplicatore che trasferisce il risultato ad un display, che ogni intervallo di tempo impostato dall’operatore, si resetta e invia i dati a una stampante.

Il problema di questo strumento è la scelta del punto di lavoro ottimale, cioè scegliere il giusto equilibrio tra: tensione da applicare al fotomoltiplicatore e il valore da assegnare al discriminatore (che seleziona la banda di segnale che viene analizzata dall’elettronica dell’AB-5, quindi eliminando il rumore di fondo ed eventuali segnali di disturbo).

Per fare ciò ci si deve servire di una fonte nota di particelle α , nel nostro caso abbiamo utilizzato una soluzione gelatinosa di Ra²²⁶ il quale va in equilibrio con il Rn²²² (che secondo il processo di decadimento sopracitato porta all’emissione di α), variando la tensione da 1 a 10 su un potenziometro, per ogni valore del discriminatore, si è scelto un intervallo che (vedi il figura 1) avesse la maggior linearità possibile, questo per evitare che per piccoli cambiamenti di tensione (inevitabili) cambiasse di molto il valore, con lo stesso criterio è stato scelto il discriminatore opportuno.

Dopo aver analizzato i risultati, per lo strumento si sono scelti i seguenti valori: discriminatore 4, voltaggio 7.5; si è passati ad utilizzare lo strumento per effettuare misure in campo. Per prima cosa abbiamo sostituito alla cella per la taratura quella di Lucas standard (costituita da un tubo con il rivestimento descritto in precedenza ma dotata di 2 fori: uno di entrata il quale è dotato di filtro per eliminare le polveri presenti nell’aria, che è stato collegato ad una pompa; e uno d’uscita). Nel week-end (perché nel locale non ci fossero persone e le finestre restassero chiuse così da evitare ogni effetto di mitigazione) si è misurata la quantità di radon presente nel laboratorio di fisica sanitaria acquisendo misure ad intervalli di un ora.

Il risultato con i relativi errori (dovuti allo strumento, calcolati sulle singole misure, sia percentuali che assoluti) e le relative trasformazioni da conteggi al minuto a bequerel al metro cubo (utilizzando un apposita formula di conversione) che tiene conto del rumore di fondo dello strumento, e del fattore di conversione che corrisponde a circa 0.037 ($\text{bq}^{\text{m}^3}/\text{c}^{\text{m}}$); sono riportati in tabella e graficati in figura 2. Il grafico 2 mostra la concentrazione radon in funzione delle ore del giorno, nella quale si può notare che con la notte il valore di concentrazione sale, questo si può spiegare con un aumento della densità dell’aria dovuto al raffreddamento e quindi una minor volume per lo stesso peso d’aria.

Stage estivo 2004
INFN-LNF-Fisica sanitaria
Il Radon e la radioattività

Ricerca punto di lavoro

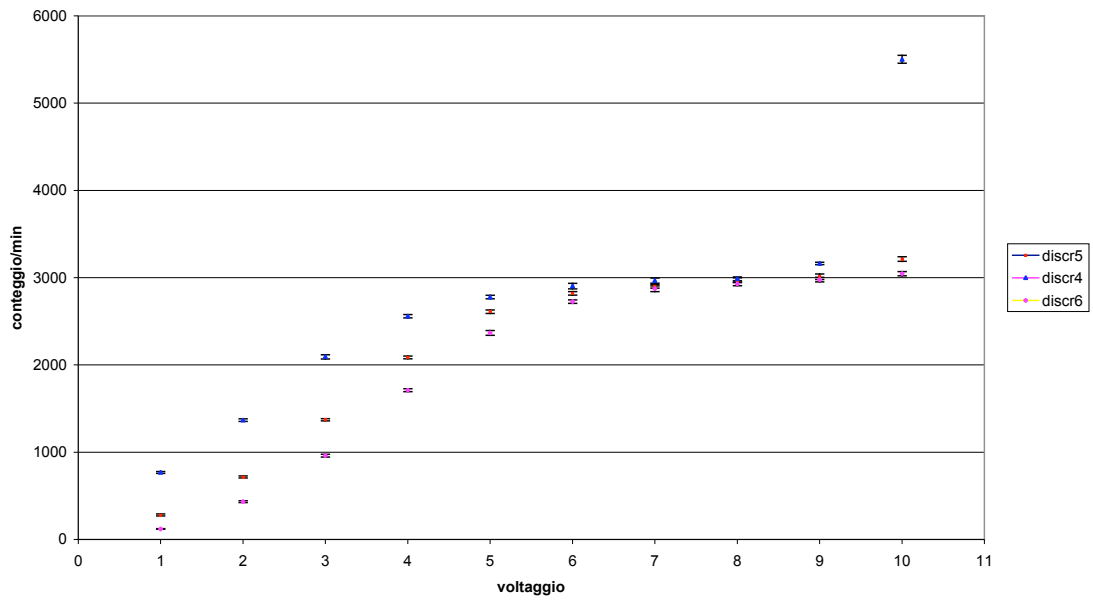


Figura 1

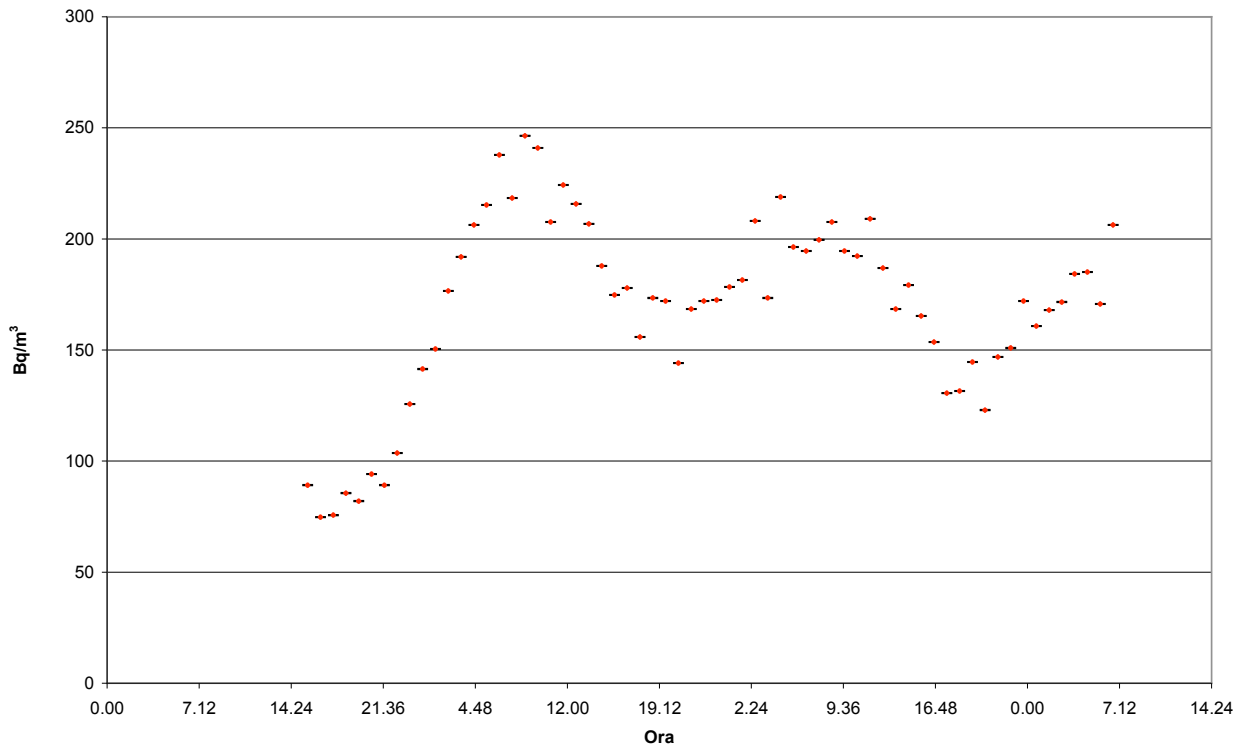


Figura 2

Stage estivo 2004
INFN-LNF-Fisica sanitaria
Il Radon e la radioattività

		Voltaggio 7,5 / Discriminatore 4							
	Ora	c/h	Errore c/h	Errore % c/h	Conc. Radon (Bq/m ³)	Errore % Con.radon	c/m	Errore c/m	Errore % c/m
Venerdì	15.41	240	<u>15</u>	6,5%	<u>89</u>	11,5%	<u>4</u>	0,26	0,11%
	16.41	208	14	6,9%	75	11,9%	3	0,24	0,12%
	17.41	210	14	6,9%	76	11,9%	4	0,24	0,12%
	18.41	232	<u>15</u>	6,6%	<u>86</u>	11,6%	<u>4</u>	0,25	0,11%
	19.41	224	<u>15</u>	6,7%	<u>82</u>	11,7%	<u>4</u>	0,25	0,11%
	20.41	251	16	6,3%	94	11,3%	4	0,26	0,11%
	21.41	240	15	6,5%	89	11,5%	4	0,26	0,11%
	22.41	272	16	6,1%	104	11,1%	5	0,27	0,10%
	23.41	321	<u>18</u>	5,6%	<u>126</u>	10,6%	<u>5</u>	0,30	0,09%
Sabato	0.41	356	<u>19</u>	5,3%	<u>141</u>	10,3%	<u>6</u>	0,31	0,09%
	1.41	376	19	5,2%	150	10,2%	6	0,32	0,09%
	2.41	434	<u>21</u>	4,8%	<u>177</u>	9,8%	<u>7</u>	0,35	0,08%
	3.41	468	<u>22</u>	4,6%	<u>192</u>	9,6%	<u>8</u>	0,36	0,08%
	4.41	500	<u>22</u>	4,5%	<u>206</u>	9,5%	<u>8</u>	0,37	0,07%
	5.41	520	<u>23</u>	4,4%	<u>215</u>	9,4%	<u>9</u>	0,38	0,07%
	6.41	570	<u>24</u>	4,2%	<u>238</u>	9,2%	<u>10</u>	0,40	0,07%
	7.41	527	<u>23</u>	4,4%	<u>218</u>	9,4%	<u>9</u>	0,38	0,07%
	8.41	589	<u>24</u>	4,1%	<u>246</u>	9,1%	<u>10</u>	0,40	0,07%
	9.41	577	24	4,2%	241	9,2%	10	0,40	0,07%
	10.41	503	<u>22</u>	4,5%	<u>208</u>	9,5%	<u>8</u>	0,37	0,07%
	11.41	540	<u>23</u>	4,3%	<u>224</u>	9,3%	<u>9</u>	0,39	0,07%
	12.41	521	<u>23</u>	4,4%	<u>216</u>	9,4%	<u>9</u>	0,38	0,07%
	13.41	501	<u>22</u>	4,5%	<u>207</u>	9,5%	<u>8</u>	0,37	0,07%
	14.41	459	<u>21</u>	4,7%	<u>188</u>	9,7%	<u>8</u>	0,36	0,08%
	15.41	430	<u>21</u>	4,8%	<u>175</u>	9,8%	<u>7</u>	0,35	0,08%
	16.41	437	<u>21</u>	4,8%	<u>178</u>	9,8%	<u>7</u>	0,35	0,08%
	17.41	388	20	5,1%	156	10,1%	6	0,33	0,08%
	18.41	427	<u>21</u>	4,8%	<u>173</u>	9,8%	<u>7</u>	0,34	0,08%
	19.41	424	<u>21</u>	4,9%	<u>172</u>	9,9%	<u>7</u>	0,34	0,08%
	20.41	362	19	5,3%	144	10,3%	6	0,32	0,09%
	21.41	416	20	4,9%	168	9,9%	7	0,34	0,08%
	22.41	424	<u>21</u>	4,9%	<u>172</u>	9,9%	<u>7</u>	0,34	0,08%
23.41	425	<u>21</u>	4,9%	<u>173</u>	9,9%	<u>7</u>	0,34	0,08%	
Domenica	0.41	438	<u>21</u>	4,8%	<u>178</u>	9,8%	<u>7</u>	0,35	0,08%
	1.41	445	21	4,7%	182	9,7%	7	0,35	0,08%
	2.41	504	<u>22</u>	4,5%	<u>208</u>	9,5%	<u>8</u>	0,37	0,07%
	3.41	427	<u>21</u>	4,8%	<u>173</u>	9,8%	<u>7</u>	0,34	0,08%
	4.41	528	<u>23</u>	4,4%	<u>219</u>	9,4%	<u>9</u>	0,38	0,07%
	5.41	478	22	4,6%	196	9,6%	8	0,36	0,08%
	6.41	474	<u>22</u>	4,6%	<u>195</u>	9,6%	<u>8</u>	0,36	0,08%
	7.41	485	<u>22</u>	4,5%	<u>200</u>	9,5%	<u>8</u>	0,37	0,08%
	8.41	503	<u>22</u>	4,5%	<u>208</u>	9,5%	<u>8</u>	0,37	0,07%
	9.41	474	<u>22</u>	4,6%	<u>195</u>	9,6%	<u>8</u>	0,36	0,08%
	10.41	469	<u>22</u>	4,6%	<u>192</u>	9,6%	<u>8</u>	0,36	0,08%
	11.41	506	<u>22</u>	4,4%	<u>209</u>	9,4%	<u>8</u>	0,37	0,07%
	12.41	457	<u>21</u>	4,7%	<u>187</u>	9,7%	<u>8</u>	0,36	0,08%
	13.41	416	<u>20</u>	4,9%	<u>168</u>	9,9%	<u>7</u>	0,34	0,08%
	14.41	440	<u>21</u>	4,8%	<u>179</u>	9,8%	<u>7</u>	0,35	0,08%
	15.41	409	20	4,9%	165	9,9%	7	0,34	0,08%
	16.41	383	<u>20</u>	5,1%	<u>154</u>	10,1%	<u>6</u>	0,33	0,09%
	17.41	332	<u>18</u>	5,5%	<u>131</u>	10,5%	<u>6</u>	0,30	0,09%
	18.41	334	18	5,5%	132	10,5%	6	0,30	0,09%
	19.41	363	19	5,2%	145	10,2%	6	0,32	0,09%
	20.41	315	18	5,6%	123	10,6%	5	0,30	0,09%
	21.41	368	<u>19</u>	5,2%	<u>147</u>	10,2%	<u>6</u>	0,32	0,09%
	22.41	377	<u>19</u>	5,2%	<u>151</u>	10,2%	<u>6</u>	0,32	0,09%
23.41	424	21	4,9%	172	9,9%	7	0,34	0,08%	
Lunedì	0.41	399	<u>20</u>	5,0%	<u>161</u>	10,0%	<u>7</u>	0,33	0,08%
	1.41	415	<u>20</u>	4,9%	<u>168</u>	9,9%	<u>7</u>	0,34	0,08%
	2.41	423	21	4,9%	172	9,9%	7	0,34	0,08%
	3.41	451	21	4,7%	184	9,7%	8	0,35	0,08%
	4.41	453	21	4,7%	185	9,7%	8	0,35	0,08%
	5.41	421	<u>21</u>	4,9%	<u>171</u>	9,9%	<u>7</u>	0,34	0,08%
6.41	500	<u>22</u>	4,5%	<u>206</u>	9,5%	<u>8</u>	0,37	0,07%	

Stage estivo 2004
INFN-LNF-Fisica sanitaria
Il Radon e la radioattività