



UNA RETE ESTESA PER LA MISURA DEL RADON NELLE SCUOLE

RITA TERLIZZI

Introduzione

Nel panorama della Scuola e dell'Università italiana da molti anni gli addetti ai lavori registrano un sempre minore interesse dei ragazzi verso lo studio della Matematica e delle Scienze Naturali come Fisica, Chimica, Biologia, Geologia etc. . . . Questo disinteresse, oltre che penalizzante da un punto di vista culturale, ha enormi ripercussioni nella vita economica e nel progresso del nostro Paese.

Per ovviare a questa situazione si è pensato di elaborare una proposta che ha l'ambizione di ridestare nei ragazzi la curiosità verso queste discipline, di migliorare le loro capacità Logico-deduttive e allo stesso tempo di studiare il nostro ambiente. Lo sviluppo di un progetto dedicato all'approfondimento scientifico nelle Scuole Superiori ha numerosi risvolti positivi. La fisica, la chimica, la biologia e la geologia sono tra le materie più affascinanti che si insegnano al Liceo in quanto cercano di spiegare i fenomeni della natura in maniera rigorosa ovvero mediante l'utilizzo di modelli matematici. Questi modelli debbono riprodurre le evidenze sperimentali già note e allo stesso tempo devono predire nuovi fenomeni. A differenza della matematica, le scienze si prestano a numerose applicazioni di tipo tecnico-pratico che le rendono meno astratte e più vicine alla nostra quotidianità fatta di misurazioni (le nuvole sono lontane), di previsioni (tra poco piove) e di domande (perchè certe volte piove e certe volte grandina?) talvolta senza risposta. Per queste ragioni le Scienze Naturali incuriosiscono maggiormente gli studenti rispetto alla matematica considerata a torto più arida.

In particolare la nostra idea consiste nel creare una rete di scuole presenti nell'ambito di territori geograficamente adiacenti per effettuare le misure di un elemento, il Radon, presente a temperatura e pressione ambiente in fase gassosa. La scelta del Radon non è casuale ma è propedeutica al raggiungimento di tre obiettivi: una diversa pratica didattica a Scuola, lo studio di importanti problematiche riguardanti le scienze applicate e infine la loro divulgazione presso l'opinione pubblica. Il Radon infatti è un gas nobile che discende dalla progenie del Torio e dell'Uranio e che risulta essere radioattivo; esso decade principalmente per emissione di particelle α . Questa duplice caratteristica (gas

nobile e radioattivo) rende lo studio del Radon particolarmente interessante per gli studi di geologia, di sismologia, di idrologia, di qualità dell'aria, dell'acqua, dei suoli e dal punto di vista sanitario. Queste investigazioni risultano avere una grande eco nel dibattito pubblico in quanto sono legate all'incidenza di malattie come il cancro e alla qualità dell'ambiente che ci circonda. Per le stesse ragioni queste tematiche devono entrare a far parte del bagaglio culturale dell'opinione pubblica, sia tramite i ragazzi, sia per mezzo di opportune campagne di informazione. Tutti questi aspetti concorrono, secondo noi, a rendere questo progetto completo sotto molti punti di vista. Esso infatti coniuga in maniera significativa la problematica didattica con la ricerca scientifica finendo per divulgare le proprie scoperte all'opinione pubblica.

Dal punto di vista squisitamente didattico gli studenti avrebbero la possibilità di acquisire abilità che difficilmente vengono insegnate nel corso delle tradizionali lezioni in classe. In primis essi possono migliorare la loro capacità critica distinguendo tra ciò che è spiegabile attraverso le precedenti conoscenze e quello che invece rimane inspiegabile e quindi da "scoprire". In secondo luogo si vuole che i ragazzi facciano delle misurazioni di varia natura, in modo da migliorare le loro abilità tecnico-pratiche. Questo esercizio li aiuterà a capire cosa significhi fare ricerca e quali sono i problemi d'esecuzione di una pratica strumentale irta di composite difficoltà (manuali, intellettuali financo sociali quando si lavora in gruppo). Per concludere gli studenti dovranno cercare di dare una sistemazione logica ai dati che hanno acquisito riconoscendo quali sono i fenomeni ben conosciuti e quali sono invece gli aspetti da approfondire.

La presente proposta si articola come segue. Nella seconda sezione è illustrato in dettaglio quale sia lo stato dell'arte circa la conoscenza del Radon e le ragioni scientifiche per cui le misure che proponiamo, risultano interessanti. Nelle sezioni terza e quarta vengono sottolineate le implicazioni che questo tipo di misure hanno in medicina e nello studio dell'ambiente. Nelle sezioni cinque e sei vengono indicate le motivazioni didattiche, e per finire quelle divulgative che ci hanno spinto a proporre queste misure. Nella settima sezione vengono illustrate con maggior dettaglio quali sono le principali misure da eseguire e soprattutto quali sono le accuratezze ottenibili in questi esperimenti. Vengono inoltre indicati quali sono le competenze richieste ai partecipanti, i mezzi già disponibili e quali sono le risorse (hardware, software e umani) da acquisire per sviluppare il progetto. Nelle conclusioni si riassumeranno gli aspetti salienti della proposta e si tireranno le somme circa la fattibilità del progetto.

Motivazioni Scientifiche

Rammentiamo brevemente che ogni atomo è formato da protoni e neutroni che compongono il nucleo e gli elettroni orbitanti intorno al nucleo. I protoni e gli elettroni hanno carica opposta (uguale in valore assoluto ma con segno diverso) mentre i neutroni sono elettricamente neutri. Complessivamente gli atomi sono neutri elettricamente avendo lo stesso numero di elettroni e protoni. Il Radon (Rn) è tra i gas nobili come l'Helio, il Neon, il Kripton e lo Xenon, il più pesante essendo formato da 86 protoni, vedi Fig. 1, e a seconda dell'isotopo¹, da diversi neutroni: da 124 a 140. I vari isotopi del Radon sono descritti sinteticamente in Tabella 1. La sua scoperta è avvenuta nel 1900 da parte di E. Dorn mentre studiava i decadimenti di un altro elemento il Radio. In condizioni standard (temperatura e pressione ambiente) il Radon è tra i gas più pesanti presenti in natura, è solubile e inoltre è inodore ed insapore; per queste ragioni può essere ingerito o inalato facilmente.

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
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 Ds								
			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	

Figura 1: Tabella degli elementi. Si è evidenziata la posizione del Radon (Rn)

¹ Si definisce Isotopo di un elemento, il nucleo avente stesso numero di protoni e diverso numero di neutroni. Gli atomi si indicano con il simbolo dell'elemento (Rn per il Radon, H per l'Idrogeno etc...) ed il numero di massa (somma del numero di protoni e neutroni). Ad esempio il ²²²Rn è composto da 86 protoni e 136 neutroni; il ²²³Rn, formato da 86 protoni e 137 neutroni, è un isotopo differente.

La sua configurazione elettronica (l'orbitale più esterno è al completo come per gli altri gas nobili) mostra una struttura a "shell" (a gusci letteralmente) vedi Fig. 2. A causa di questa disposizione, le reazioni chimiche, basate essenzialmente sull'interazione elettromagnetica degli elettroni più esterni, hanno scarsa probabilità di avvenire e quindi gli atomi di Radon non interagiscono tra loro e/o con molecole di altri elementi [1]. Viceversa da un punto di vista nucleare il Radon è un elemento radioattivo [2]. Non è semplice spiegare perché alcuni elementi siano radioattivi mentre altri con caratteristiche molto simili (e.g. numero di protoni e neutroni all'incirca uguale) non lo sono; per molti aspetti queste differenze non sono state ancora spiegate. Quello che si può affermare con certezza è che non esistono in natura isotopi stabili di questo elemento ma tutti decadono emettendo una particella α (nucleo di ^4He) o β (elettroni) con tempi di dimezzamento² relativamente brevi da 2 milionesimi di secondo per il ^{215}Rn a 3,82 giorni per il ^{222}Rn . La Tabella 1 illustra le principali caratteristiche degli isotopi del Radon.

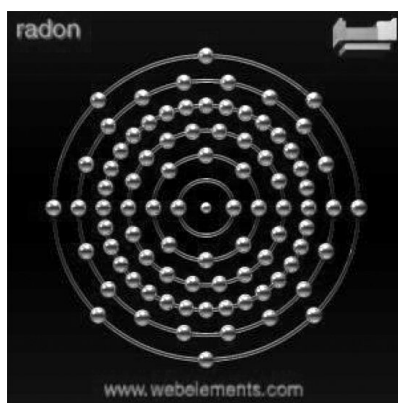


Figura 2: Configurazione elettronica del Radon a "shell".

A causa della sua estrema instabilità non esiste Radon in natura ma questo viene prodotto nel sottosuolo a partire da due elementi Torio (Th) e Uranio (U). Le catene di decadimenti che da questi due elementi portano al Radon sono diverse e tutte complesse; un esempio è mostrato in Fig. 3. Si noti come, a partire dal ^{238}U , si produca dopo sei decadimenti il ^{222}Rn che è l'isotopo più abbondante del Radon. Il ^{222}Rn essendo a sua volta instabile decade provocando

² Il tempo di dimezzamento ($t_{1/2}$) di un isotopo radioattivo è definito come il tempo in cui il numero di nuclei di quell'isotopo si dimezza.

una catena di decadimenti che termina con il ^{208}Pb che è un isotopo stabile. L'isotopo del Radon più abbondante presente in natura è il ^{222}Rn per via del suo lungo tempo di dimezzamento, gli altri isotopi sono scarsamente presenti nell'ambiente perché hanno tempi di vita più bassi.

Tabella 1: Caratteristiche degli isotopi del Radon. I vari isotopi decadono nelle particelle α , β e γ ; EC (Electron Capture) indica un altro processo di decadimento, la cattura elettronica.

Isotopo	Massa	$t_{1/2}$ *	Decadimento Radioattivo
^{210}Rn	209.98968	2.4 o	EC in ^{210}At ; α in ^{206}Po
^{211}Rn	210.99059	14.6 o	EC in ^{211}At ; α in ^{207}Po
^{212}Rn	211.99069	24 m	α in ^{208}Po
^{213}Rn	212.99387	0.025 s	α in ^{209}Po
^{214}Rn	213.99535	0.000027 s	α in ^{210}Po
^{215}Rn	214.99873	0.0000023 s	α in ^{211}Po
^{216}Rn	216.00026	0.000045 s	α in ^{212}Po
^{217}Rn	217.00391	0.0006 s	α in ^{213}Po
^{218}Rn	218.00559	0.035 s	α in ^{214}Po
^{219}Rn	219.00948	3.96 s	α in ^{215}Po
^{220}Rn	220.01138	55.6 s	α in ^{216}Po
^{221}Rn	221.0156	25 m	α in ^{217}Po ; β^- in ^{221}Fr
^{222}Rn	222.017571	3.8235 g	α in ^{218}Po
^{223}Rn	223.0218	23.2 m	α in ^{219}Po ; β^- in ^{223}Fr
^{224}Rn	224.0241	107 m	β^- in ^{224}Fr
^{225}Rn	225.0284	4.5 m	β^- in ^{225}Fr
^{226}Rn	226.0309	7.4 m	β^- in ^{226}Fr

* In $t_{1/2}$ s indica i secondi, m i minuti, o le ore, g i giorni

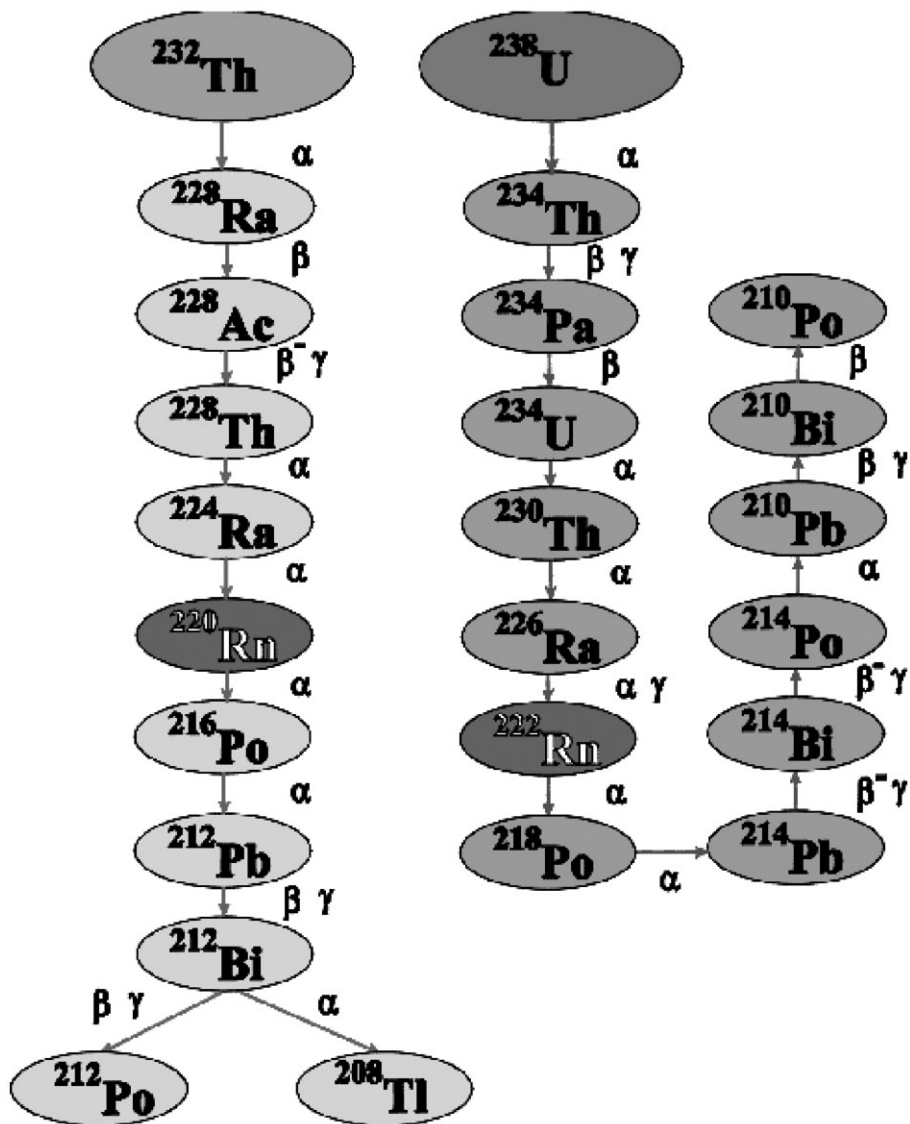


Figura 3: Catena dei decadimenti del ^{232}Th e ^{238}U . In ordinata è indicato il numero atomico (Z) ovvero il numero di protoni che contiene ciascun nucleo. Il Radon è indicato in rosso.

Implicazioni in Medicina

Il Radon è prodotto nelle profondità della terra, nelle cave, nelle miniere o nelle zone vulcaniche, in quanto in questi siti sono presenti più abbondantemente il Torio (Th) e l'Uranio (U). A questo proposito si noti, vedi Tabella 1, che l'U ma ancora di più il Th hanno tempi di dimezzamento lunghissimi dell'ordine di miliardi di anni e quindi possono essere assimilati ad isotopi stabili. La lunga vita media di questi isotopi ci permette, ad oggi, di osservare la maggior parte di isotopi radioattivi tra cui il Radon.

Sebbene prodotto in profondità, il Radon raggiunge facilmente la superficie, sia perchè presente in fase gassosa sia perchè interagisce scarsamente con tutti gli altri elementi [3]. Un altro mezzo di diffusione del Radon è l'acqua. Infatti il Radon è solubile e quindi può contaminare la falde acquifere, può essere trasportato dai fiumi e può penetrare e quindi fuoriuscire dal terreno. Inoltre essendo presente in concentrazioni bassissime nell'aria, le acque ricche di Radon quando vengono a contatto con l'aria rilasciano atomi di questo gas. Questo effetto di diffusione è rilevabile in maniera significativa nelle acque termali a Misasa in Giappone e a Bad Kreuznach in Germania. All'aria aperta il Radon emesso dal suolo viene disperso a concentrazioni generalmente basse; viceversa, i livelli di Radon indoor sono sempre più elevati di quelli rilevati all'esterno. Infatti, dato che è circa otto volte più pesante dell'aria, che invece è composta principalmente da ossigeno e azoto (vedi Fig. 1) il Radon si può accumulare all'interno di ambienti chiusi guidato dalla differenza di pressione o di temperatura fra il suolo che circonda una struttura e l'interno della costruzione. In inverno questo flusso di pressione è ulteriormente accresciuto sia a causa della continua ascesa dell'aria calda e sia della minore possibilità di arieggiare i locali. Oltre a ciò, fattori di variabilità dei livelli di Radon indoor, sono le caratteristiche geologiche del suolo, le caratteristiche costruttive (permeabilità delle solette e dei muri), materiali edilizi impiegati, numero di abitanti e abitudini di vita eccetera. Dato che non è possibile effettuare una stima attendibile della concentrazione di Radon all'interno di un edificio in base alla conoscenza delle caratteristiche di cui sopra (suolo, materiali costruttivi, pressione ecc.), solo una misurazione fornisce dati sicuri.

I primi studi in ambito medico sono stati condotti negli anni '50 in miniera dove si osservavano elevate concentrazioni di questo gas. Queste ricerche mostravano che tra i minatori vi era una elevata incidenza di cancro al polmone, decine di volte superiore rispetto a quella della normale popolazione. Questa differenza fu quasi subito imputata al Radon la cui pericolosità è infatti connessa con la sua radioattività. Come detto il principale isotopo del Radon, il ^{222}Rn , è un emettitore di particelle α . Le α sono nuclei di ^4He formati da due protoni

e due neutroni e a causa della loro struttura queste particelle non riescono a penetrare in profondità ma rilasciano l'energia che possiedono in qualche micrometro³ nei tessuti degli esseri viventi. Questa caratteristica è fondamentale per capire cosa accade. Se la sorgente α è esterna al corpo umano, allora non ci sono problemi; questi nuclei saranno schermati dai vestiti o dai primi strati di pelle, vedi Fig. 4. Se viceversa la sorgente α , ovvero il Radon, penetra nel corpo, questa provvederà a distruggere le cellule che formano i tessuti nel raggio di un millimetro da dove avviene il decadimento. Tornando ai minatori, coloro che inalano o ingeriscono grandi quantità di Radon, distruggono e o modificano geneticamente le cellule dei polmoni o dell'intestino aumentando la probabilità di contrarre tumore e varie altre malattie. I sistemi di ventilazione nelle miniere, fino agli inizi del '900 e in certe realtà fino agli anni '60, erano scarsi e si può così supporre che in queste vi fossero dei livelli di Radon piuttosto alti. Solitamente, i minatori erano forti fumatori ed inoltre, essendo esposti a fumo, a polvere durante il lavoro ed a sostanze chimiche cancerogene, hanno contratto, con maggior frequenza più di altri gruppi della popolazione, malattie polmonari che, spesso, li hanno portati alla morte. Una ricerca epidemiologica [4] svolta negli USA ha mostrato che, a livelli di esposizione inferiori a 80 Bq/m^3 (Becquerel⁴ per metro cubo), un gruppo di minatori non fumatori presentava un rischio di cancro ai polmoni equivalente a quello della normale popolazione non fumatrice. Esiste una correlazione invece tra l'alta incidenza di decessi per cancro ai polmoni nei minatori e l'effetto combinato del Radon e del fumo. Si è riscontrato, infatti, che il minatore fumatore di sessanta sigarette al giorno ha probabilità sessanta volte maggiori di contrarre il cancro al polmone rispetto al minatore non fumatore, entrambi soggetti quotidianamente alla stessa dose di Radon. Il fumo, in quanto costituito da particelle in sospensione, è in grado di veicolare il Radon; si è poi notato che in alcuni fumatori, aumentando il muco polmonare (che provoca la tosse del fumatore) le particelle α vengono ostacolate nella loro penetrazione nell'epitelio basale degli alveoli polmonari. Infine per sottolineare la pericolosità degli emettitori α , si ricordi come un anno fa circa una famosa ex-spia russa (A. Litvinenko) sia stata avvelenata facendogli ingerire a sua insaputa del Polonio, un potentissimo emettitore α .

Viceversa le particelle β (elettroni) e γ (fotoni di alta energia) sono più penetranti, vedi Fig. 4, e quindi sono maggiormente pericolose quando irradiano dall'esterno il corpo umano. Per completezza bisogna ricordare che le radiazioni, utilizzate con tutte le precauzioni del caso, sono uno strumento potentissimo nella diagnosi (TAC, PET, Radiografie) e nella cura (Radioterapia, Brachiterapia

³ Un micrometro è pari a un milionesimo di metro.

⁴ Un Becquerel è pari ad una disintegrazione del nucleo radioattivo al secondo.

eccetera . . .) delle più gravi malattie dei nostri tempi.

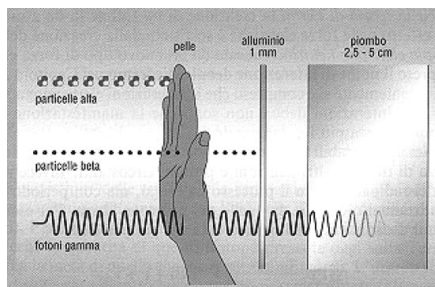


Figura 4: *Potere di penetrazione delle tre particelle: α , β , γ , in cui decadono prevalentemente i nuclei radioattivi. Si noti che le particelle α penetrano difficilmente nel corpo umano mentre le β e le γ necessitano di strati sempre più spessi di Alluminio e di Piombo (più pesante dell'Alluminio) per essere fermate.*

In Fig. 5 si mostra l'incidenza delle principali fonti di radioattività, naturali e non, presenti sulla superficie terrestre [5]. L'unità di misura nel grafico, dato in percentuale, è il rem. Quest'unità rappresenta la dose di radiazione assorbita per unità di massa moltiplicata per un coefficiente detto fattore di qualità. Il fattore di qualità rappresenta la pericolosità della radiazione emessa per l'uomo. Come si può osservare il Radon è di gran lunga la prima fonte di radiazioni presente sulla superficie terrestre e rappresenta circa il 43% della radioattività totale, includendo anche quella prodotta artificialmente dall'uomo. Ad oggi si stima che il Radon, dopo il fumo, sia la principale fonte di cancro al polmone mentre è al sesto posto per incidenza di tumori mortali nell'uomo [6-8]. L'allarme Radon è divenuto generalizzato quando nei primi anni ottanta si è scoperto che poteva concentrarsi negli edifici soprattutto negli scantinati, impregnare i muri e i suoli. Tutte queste evidenze hanno spinto i legislatori in Europa, negli Stati Uniti e in Giappone a emanare delle direttive specifiche per la prevenzione dei rischi di contaminazione da Radon. Anche l'Italia ha seguito questa strada stabilendo con la legge N° 241 del 2000 i limiti di Radon che devono essere presenti in aria o in acqua nelle abitazioni, negli ospedali, nei luoghi di lavoro come esercizi commerciali o studi professionali. Le scuole sono considerate luoghi di lavoro.

La situazione nella regione Puglia è per certi versi ideale. Non essendo presenti installazioni nucleari di alcun tipo ed essendo relativamente limitato il ricorso a pratiche di derivazione nucleare, le principali fonti di radiazione dovrebbero essere il Radon, le analisi mediche ed in minima parte i raggi cosmici. L'effetto dei raggi cosmici può essere quantificato sulla base della

posizione geografica e dell'irradiazione media di questa sorgente e quindi scorporato. Il contributo indotto dalle analisi mediche riguarda una piccola parte della popolazione, solo i soggetti che si sono sottoposti a cure intensive o il personale medico e paramedico che lavora a contatto con queste attrezzature mentre non ha alcun effetto sulla maggior parte della popolazione. Altri effetti che dovrebbero essere tenuti in conto sono la presenza di siti inquinanti di altra natura, stabilimenti chimici per esempio.

Secondo l'UNSCEAR (il comitato scientifico delle Nazioni Unite sugli effetti della radiazioni atomiche), a livello mondiale la concentrazione media di Radon in ambienti esterni varia tra 5 e 15 Bq/m³. Per quanto riguarda invece i livelli medi degli ambienti chiusi, si stima un valore medio mondiale di 39 Bq/m³, con grandi variazioni tra un edificio e un altro. Dove gli edifici sono costruiti su terreni permeabili e in cui c'è una forte presenza di uranio, si arriva a registrare anche concentrazioni di molte migliaia di Bq/m³. In Europa il livello medio di Radon nell'aria indoor è di circa 59 Bq/m³. In Italia, secondo un'indagine fatta tra il 1989 e il 1996, coordinata dall'APAT e dall'Istituto Superiore di Sanità e realizzata con gli assessorati alla sanità e con quelle che oggi sono le Agenzie per la protezione dell'ambiente regionali e provinciali (ARPA e APPA), il valore della concentrazione media è 70 Bq/m³. La situazione varia da una Regione all'altra [9]:

- tra i 20 e i 40 Bq/m³: Liguria, Marche, Basilicata, Calabria e Sicilia;
- tra i 40 e i 60 Bq/m³: Valle d'Aosta, Trentino, Veneto, Emilia Romagna, Toscana, Umbria, Molise, Puglia;
- tra i 60 e i 80 Bq/m³: Alto Adige, Piemonte, Sardegna, Abruzzo;
- tra i 80 e i 100 Bq/m³: Friuli Venezia Giulia, Campania;
- tra i 100 e i 120 Bq/m³: Lombardia, Lazio.

È importante comunque ricordare che ci sono molte variazioni anche all'interno delle Regioni e all'interno di singoli Comuni.

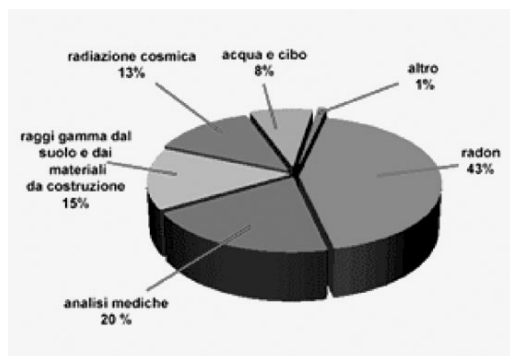


Figura 5: I vari contributi, naturali e artificiali, della radioattività misurata sulla superficie terrestre. Si noti che il Radon con il 43% contribuisce maggiormente alla radioattività terrestre.

Monitoraggio dell' Ambiente e del Territorio

Come accennato nell'Introduzione accanto all'interesse sanitario ci sono motivazioni di altro tipo che ci spingono a studiare la presenza di questo elemento nell'ambiente. Alcuni ricercatori hanno investigato la possibilità di utilizzare il Radon come precursore dei terremoti [10]. Una elevata concentrazione di questo elemento o meglio una variazione repentina della sua concentrazione in superficie potrebbe essere correlata con l'attivazione di una faglia in profondità, cioè con il meccanismo che è all'origine di un sisma. C'è tuttavia da sottolineare che le ricerche condotte al riguardo hanno fornito risultati contraddittori. In realtà per uno studio più accurato, è fondamentale mettere in evidenza quali siano le percentuali di concentrazione nel suolo, acqua e aria dell'elemento in riferimento alla struttura geologica del territorio ed in relazione alle condizioni meteorologiche. Dopo aver studiato accuratamente queste relazioni, si potrà condurre un'analisi di tipo sismologico e cercare di correlare le variazioni di concentrazione del Radon con i movimenti che deformano la litosfera.

Il territorio della nostra regione presenta una forte varietà paesaggistica che è il risultato dei processi geologici che ne hanno contrassegnato l'evoluzione. In base alle caratteristiche morfologiche è possibile distinguere ben quattro distretti: il Subappennino Dauno, il Tavoliere, il Gargano, le Murge, il Salento. Il Subappennino dauno, che rappresenta il settore della Catena Appenninica ricadente in Puglia, è costituito da successioni di sedimenti argilloso-marnoso arenacei. Il Tavoliere è una vasta area pianeggiante costituita da una spessa successione sedimentaria prevalentemente argillosa cui sono sovrapposti depositi marini e alluvionali. Il Gargano costituisce un poderoso massiccio roccioso carbonatico, elevato oltre i 1000 m sul livello del mare ed emergente con sbalzi di centinaia di metri dal mare e dalla pianura circostanti. Le Murge individuano un vasto altopiano carbonatico. Il Salento è la parte estrema della regione e mostra un paesaggio basso ed uniforme, con quote medie prossime ai 100 m, e dorsali poco elevate, note localmente con il nome di serre. Per quanto riguarda i gradi di sismicità, il Gargano e il Subappennino sono a grado medio-alto, il Tavoliere a grado medio, le Murge e il Salento a grado basso o assente. L'accennata variabilità geologica della Puglia consentiranno di studiare le concentrazioni di Radon e in funzione delle diverse caratteristiche fisiche del territorio. Inoltre come già menzionato, la solubilità del Radon in acqua consente in Idrogeologia di utilizzare questo elemento come tracciante naturale per stabilire i tempi di permanenza delle acque nel sottosuolo. Questo parametro determina strettamente il grado di vulnerabilità dell'acquifero e quindi della risorsa idrica nella faglia. Con questa tecnica sarà quindi possibile monitorare

le caratteristiche e l'inquinamento della faglia stessa.

Per concludere questa parte citiamo l'ultima e più avveniristica applicazione degli studi sul Radon; essa riguarda il monitoraggio degli inquinanti atmosferici. All'Istituto sull'Inquinamento Atmosferico del CNR di Roma hanno infatti sviluppato e applicato in maniera innovativa una metodologia che apre la strada ad una previsione dettagliata di alcune grandezze fisiche che caratterizzano gli strati bassi dell'atmosfera, con immediate ricadute sulla stima della qualità dell'aria in ambiente urbano. Questo studio è apparso sull'ultimo numero della rivista *Geophysical Research Letters* [11]. La concentrazione di Radon si è dimostrata un ottimo indicatore dello stato fisico della bassa atmosfera. Se si riesce a prevedere il ciclo del Radon in atmosfera, si ha la possibilità di verificare l'andamento dell'inquinamento metropolitano. Per ottenere questa stima, i ricercatori hanno sviluppato e applicato un innovativo *software* che simula semplici funzionalità del cervello umano attraverso i modelli a rete neurale. Questi modelli trovano oggi vasta applicazione in molti settori della ricerca di base e di quella applicata. Una volta perfezionato, questo sistema di rilevazione consentirà di fare previsioni anche a 24 ore, permettendo così alle autorità locali di adottare rapidamente i provvedimenti necessari, senza bisogno di svolgere costose e intense campagne di raccolta dati.

Motivazioni didattiche

Come menzionato in precedenza, questo progetto si propone di mettere in rete una serie di scuole per effettuare una campagna di costante e per quanto possibile capillare misurazione del Radon. Le misure dovranno essere eseguite sia all'interno dei locali scolastici sia nell'ambiente circostante. Le scuole dovranno essere dotate delle strumentazioni più innovative e si dovranno a questo scopo formare i tecnici di laboratorio ed i docenti. Saranno a loro volta i docenti a coinvolgere e formare i ragazzi che vorranno partecipare a quest'iniziativa. Ci sono diversi tipi di misure da svolgere periodicamente per la rilevazione del Radon, queste sperimentazioni saranno descritte in dettaglio nella sezione sette. Inoltre per far decollare questo progetto all'interno delle varie scuole, l'idea è quella costituire dei centri pilota e dei centri di misura. I centri pilota dovrebbero dotarsi delle strumentazioni e delle tecnologie necessarie per formare il personale (docente e tecnici) e maturare le esperienze didattico-scientifiche necessarie ad un efficace coinvolgimento dei ragazzi. I centri di misura dovrebbero avere la dotazione strumentale adatta ad effettuare le principali misure che il progetto impone. I centri pilota saranno ovviamente

anche centri di misura.

I ragazzi che saranno coinvolti in questo progetto studieranno in primis in maniera interdisciplinare cosa è il Radon, le sue proprietà fisiche, chimiche, quali sono le sue applicazioni ed in particolare gli effetti sulla salute, l'aspetto geologico e per finire il monitoraggio dei contaminanti dell'atmosfera. In un secondo momento, i ragazzi saranno coinvolti direttamente nelle misure che si svolgeranno sia all'interno dei locali scolastici e quindi all'aperto negli ambienti più vari. Il terzo passaggio di questo progetto sarà la raccolta dei dati e la loro analisi. In particolare si pensa di mostrare ai ragazzi come si sviluppa un programma di analisi utilizzando uno dei più recenti *software* sviluppati ai laboratori del CERN di Ginevra, il programma di analisi ROOT [12] implementato nel linguaggio di programmazione C++ orientato ad oggetti. Quest'ultimo aspetto è legato all'interpretazione dei dati raccolti e potrà vedere il coinvolgimento di ricercatori universitari (ad es. dell'Università di Bari), di altri enti di ricerca (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare Sezione di Bari, Consiglio Nazionale delle Ricerche) e di Ospedali (Casa Sollievo della Sofferenza di S. Giovanni Rotondo). In questa fase si cercherà di sviluppare la capacità critica dei ragazzi, dettagliando cosa risulta una conferma delle conoscenze pregresse e quello che invece rappresenta un risultato innovativo dalla ricerca effettuata. In tutti i passaggi non va trascurato il carattere di gruppo della ricerca. Sia nella fase delle misure che in quella di analisi dati, la collaborazione tra docenti, tra docenti e ragazzi e tra i ragazzi stessi sarà fondamentale per il buon esito dell'intero progetto.

Per concludere questa parte vogliamo sottolineare come questo progetto intende coinvolgere non solo gli studenti più motivati allo studio e all'approfondimento delle materie scientifiche ma cercherà di incuriosire ed appassionare anche coloro che trovano indigesti questo tipo di studi. In prima istanza i ragazzi amplieranno le loro conoscenze di base in fisica, chimica e scienze. Quindi saranno potenziate le loro abilità tecnico-pratiche attraverso l'utilizzo di materiali e strumentazioni d'avanguardia. Si tratta di strumentazioni complesse che per funzionare correttamente devono essere utilizzate con precisione. Per finire l'utilizzo delle tecnologie informatiche di più moderna generazione, modificherà l'attitudine dei ragazzi ad utilizzare il PC. Questo apparecchio elettronico non servirà solo per giocare o per navigare in Internet ma sarà uno strumento di lavoro. In particolare il programma di analisi dati li introdurrà nel mondo della programmazione strutturata in generale e in particolare in quello della programmazione ad oggetti, potenziando le loro capacità logico-deduttive.

Aspetti divulgativi

Come abbiamo detto questo lavoro ha notevoli possibilità di divulgazione presso il grande pubblico sia locale che nazionale. Le tematiche affrontate riguardano la salute pubblica, la qualità dell'ambiente in cui viviamo, il nostro territorio, e possono dare in prospettiva di lungo periodo una migliore comprensione dei fenomeni sismici. Non va dimenticato anzi andrebbe sottolineata, la possibilità di educare e di appassionare il grande pubblico a quelli che sono i fondamentali e più basilari concetti della fisica, della chimica, della geologia e delle scienze naturali in genere. Sebbene questi temi siano di difficile comprensione per l'opinione pubblica, essi costituiscono una parte fondamentale del bagaglio culturale di ogni individuo. Da questo punto di vista, i ragazzi possono risultare lo strumento più efficace per veicolare in famiglia tutte queste informazioni.

Inoltre sono in corso lodevoli iniziative editoriali nel campo della divulgazione e della didattica scientifica da parte delle scuole e delle università italiane. Una di queste è sicuramente la rivista *Ipopei06* proposta dall'Istituto "S. Staffa" su cui stiamo scrivendo. Queste riviste ben si adattano alla divulgazione dei materiali e delle ricerche che si andranno a sviluppare nel corso degli anni per i progetti sponsorizzati dalla Scuola. Allo stesso tempo queste riviste potranno risultare un buon trampolino di lancio sia per pubblicazioni di carattere specialistico, sia per la divulgazione su altri mezzi di comunicazione come la radio, la televisione ed in particolare Internet.

Le misure del Radon

Ci sono essenzialmente tre tipi di sperimentazioni che possono essere effettuate dai ragazzi ed in generale dai ricercatori per misurare il Radon. Misure accurate con rivelatori attivi costituiti da camere a ionizzazione, misure integrali con rivelatori passivi prolungate nel tempo da 6 mesi a 1 anno, misure in continua con rivelatori attivi composti da silici. Tutte le misure possono essere effettuate in aria, nel suolo e nelle acque. Naturalmente sono di particolare interesse i siti dove ci si aspetta una maggiore presenza di Radon come le cantine, le caverne, le doline, le gravine, i corsi d'acqua etc. In ogni caso ed in ogni sito andranno monitorate attentamente le condizioni meteorologiche prima, durante e dopo la presa dati. Ad esempio un aumento della pressione atmosferica induce naturalmente un aumento del numero di particelle di Radon rivelato e viceversa. Le principali variabili meteo da tenere sotto controllo

sono la pressione, la temperatura, l'umidità, la direzione e l'intensità del vento. Ulteriori analisi chimiche come composizione chimica, acidità, basicità, presenza di inquinanti potranno chiarire altri aspetti di grande interesse del rapporto tra il Radon e l'ambiente circostante.

La camera a ionizzazione è utile per verificare periodicamente e nei siti più diversi quali sono le percentuali di presenza del Radon. La tecnica di tipo fisico consiste nel pompare campioni del materiale in analisi su un filtro e porre questo filtro a contatto con una camera a ionizzazione. Questo rivelatore è particolarmente sensibile alle particelle α emesse dal Radon. Le misure si effettuano solitamente con una sonda che va a pescare nel mezzo che si sta analizzando e deposita il materiale sul filtro che viene poi misurato separatamente. Questa tecnica ha un'ottima accuratezza; gli errori sono nell'ordine di qualche per cento e permette di svolgere in maniera veloce la misura [13]. Questo rivelatore risulta altresì utile per calibrare altri tipi di rivelatori e o altre metodologie di misura. Il problema di questa tecnica è il costo della strumentazione particolarmente elevato alcune decine di migliaia di Euro. Il rivelatore è delicato e va trattato con cura, infine la misura necessita di una certa esperienza nella pratica strumentale. Non tutte le scuole si potranno dotare di questo rivelatore ma solo quelle che vorranno essere centro di riferimento per le altre.

Il secondo tipo di misure è di carattere chimico. Si tratta di rivelatori passivi CR-39 [14] che vanno installati in diversi punti del sito da monitorare e lasciati in loco per un lungo periodo da 6 mesi a 1 anno. Il Radon a causa dell'interazione delle α con il materiale plastico del CR-39 rilascia delle tracce nucleari in questo materiale. Il meccanismo è per certi versi analogo a quanto fa la luce su una pellicola fotografica ma il tipo di interazione è molto diversa. Questi campioni, dopo essere stati raccolti, verranno spediti in laboratorio dove verranno analizzati per contare il numero di tracce e stimare quindi il contenuto delle α e quindi del gas che li ha attraversati. Questo sistema ha una buona accuratezza ed è molto economico. Il kit di misura costa qualche decina di Euro compresa l'analisi in laboratorio. Esso tuttavia permette di avere informazioni limitate. Non si possono fare misure in un breve tempo e in siti differenti; non si dispone infine delle informazioni in un intervallo temporale breve. Queste informazioni sono particolarmente utili in ambito sanitario. Esse permettono di monitorare le dosi di Radon a cui è sottoposta una determinata popolazione in una determinata zona e in un intervallo temporale medio-grande.

Il terzo tipo di strumento è per certi versi analoghi a quello del primo. In questo caso le α sono rivelate tramite un rivelatore a silicio [15]. Di solito questo sistema non abbisogna di sonde di filtri o altri accessori ma tutto lo strumento è integrato in un unico pezzo. L'aria o l'acqua vengono posti tramite delle prese a contatto con lo strumento il quale fornisce quasi in intervalli

temporali brevissimi (4 secondi o poco più) le varie letture. Questo rivelatore ha delle buone doti di robustezza e di portabilità, è facile da usare e permette di fare delle misure ragionevoli in intervalli temporali di un ora o poco più. Tuttavia l'accuratezza di questo rivelatore è di gran lunga inferiore rispetto a quella della camera a ionizzazione. L'errore stimato è in media circa il 20% del valore misurato. Inoltre questo rivelatore non ha grosse capacità di misure nel suolo e nelle acque. A differenza del precedente il prezzo è più ragionevole, qualche migliaia di Euro.

Per finire c'è da menzionare la possibilità che i ragazzi interagiscano con le strutture, i laboratori e i ricercatori sia degli istituti di ricerca universitari, nazionali e ospedalieri. In particolare i laboratori del Dipartimento di Fisica dell'Università e del Istituto Nazionale di Fisica Nucleare a Bari sono attrezzati in modo completo per eseguire le prime sperimentazioni comparative con strumentazione ad elevata sensibilità. Mentre alcuni enti di ricerca ospedaliera come la Casa Sollievo della Sofferenza potranno mettere a disposizione le capacità di analisi epidemiologica per verificare se e quali sono i rischi da esposizione a Radon nel nostro territorio.

Conclusioni

Questo progetto ha la grande ambizione di far entrare le Scienze nelle Scuole dalla porta principale. La possibilità di ampliare le conoscenze dei ragazzi in campo scientifico e di divulgarle è un tema molto attuale e molto sentito nel dibattito che coinvolge la scuola e la società italiana. A questo si deve aggiungere che le misure proposte possono contribuire in modo significativo alla crescita personale dei ragazzi, della comunità scientifica locale e all'ampliamento delle conoscenze del nostro territorio. Infatti studiosi di varia estrazione potranno da un lato partecipare alle campagne di misura di questo progetto e dall'altro utilizzare queste misurazioni per svolgere le loro analisi inerenti il territorio, la qualità dell'ambiente, delle acque e dei suoli, per non parlare delle investigazioni in ambito medico. Tutto questo motiverà ulteriormente i ragazzi che si sentiranno protagonisti del dibattito culturale e del progresso scientifico in atto.

Bibliografia

- [1] Visita il sito: www.webelements.com/elements/text/Rn/key.html.
- [2] Visita il sito [it.wikipedia.org/wiki/Radioattivit ](http://it.wikipedia.org/wiki/Radioattivit%C3%A0).
- [3] C. Baird e M. Cann, "Environmental Chemistry", 3^a edizione, Freeman editions.
- [4] K. Danil et al., *A combined Analysis of North American Case-Control Studies, Epidemiology*, Vol. 16: 137-145 (2005).
- [5] C. S. Dudley et al., *Radiation Protection and Dosimetry* 56: 247-250 (1994).
- [6] WHO-IARC (World Health Organization - International Agency for Research on Cancer). *IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic risks to Humans: man made mineral fibres and Radon. IARC Monograph Vol. 43, Lyon, France:1988.*
- [7] NRPB (National Radiological Protection Board). *Health Risks from Radon, ISBN 0-85951-449-8;2000.*
- [8] BEIR-VI (Committee on Health Risks of Exposure to Radon National Research Council). *Health Effects of Exposure to Radon. National Academy Press, Washington, D.C.; 1999*
- [9] G. Torri e V. Innocenzi, *Livello di Esposizione nelle principali aree metropolitane italiane, rapporto APAT.*
- [10] E. Huksson and J.G. Goddard, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, pag. 7073 (1981).
- [11] A. Pasini e F. Ameli, *Geophysical Research Letters*, Vol. 30, pag. 7 (2007).
- [12] Visita il sito web: root.cern.ch
- [13] Per maggiori dettagli tecnici visita il sito: www.genitron.de.
- [14] Tesina di Stage della D.ssa A. Terlizzi, "Misure di concentrazione dell'attivit  di Radon con rivelatori passivi di tracce nucleari CR-39", APAT 2005/2006.
- [15] Per maggiori dettagli tecnici visita: www.randon.at.

