

PRIMI RISULTATI DELLE MISURE DI RADON

G. DI STASO, G. GORGOGNONE, S. MARRONE E F. REGANO

Introduzione

Nel numero 3 del Dicembre 2007 di questa rivista la D.ssa R. Terlizzi aveva presentato un progetto molto interessante sia dal punto di vista scientifico che dal punto di vista didattico¹. Aveva proposto alla nostra come ad altre scuole l'idea delle misure di un gas nobile e radioattivo: il Radon. Il Radon è un elemento che a pressione e temperatura ambiente si presenta in forma gassosa. Esso proviene dagli strati più interni del nostro pianeta e deriva dalla progenie del Torio, dell'Uranio e dell'Attinio². Il progetto essenzialmente consiste nell'installare una rete di strumenti posizionati in varie scuole, localizzate in territori adiacenti, in modo da monitorare l'abbondanza assoluta e le variazioni relative di abbondanza di questo gas. Dopo molti mesi di lavoro e tentativi talvolta infruttuosi, i primi risultati didattici e scientifici di questo intenso lavoro cominciano a vedersi. Il primo nodo della rete di misura del Radon è pronto e funzionante nell'I.I.S.S. "Staffa" di Trinitapoli e con esso i risultati delle prime misure del gas. Un altro nodo è in fase di allestimento presso l'I.T.I.S. "Luigi di Maggio" di San Giovanni Rotondo.

L'idea di questo progetto nasceva dall'osservazione che gli studenti delle nostre scuole superiori mostrano evidenti lacune nello studio e nella comprensione delle discipline scientifiche (matematica, fisica e chimica), insieme ad un preoccupante disinteresse per questo tipo di materie. Si vuole, pertanto, riguadagnare l'interesse e al contempo la comprensione dello studio di queste materie. Le ragioni didattiche più specifiche del progetto sono la relativa semplicità di questo tipo di misure, unita alla necessità di avere numerosi localizzazioni di misura del gas. L'insieme di queste considerazioni fa delle scuole il luogo ideale per la realizzazione di questo tipo di esperimento. Dal punto di vista culturale è importante sottolineare che la radioattività dei nuclei rappresenta il primo esempio di osservazione "quantistica" della natura. In natura la maggior parte dei fenomeni che osserviamo sono deterministici. Il determinismo è semplice da spiegare: data una causa (o meglio un insieme

¹ R. Terlizzi, "Una rete estesa per la misura del Radon nelle Scuole", in "Ipogei⁰⁶", 3, Dicembre 2007.

² Visita il sito: www.webelements.com/elements/text/Rn/key.html.

di cause) si genera un “determinato” effetto. L’effetto che si genera è univocamente stabilito dalle leggi della natura. Nella Meccanica Quantistica questo è in parte vero. Dato un insieme di cause, si possono generare diversi risultati. Ogni risultato ha una diversa probabilità di accadere. Formulando un esempio fantasioso, la fisica deterministica afferma che un pulcino di gallina crescendo diventerà sempre una gallina. La fisica quantistica ci dice che il pulcino ha una certa percentuale di probabilità di trasformarsi in una gallina, una certa probabilità di trasformarsi in cigno e una certa probabilità di rimanere pulcino. Ovviamente questo meccanismo non va applicato ad esseri viventi, ma ai mattoni microscopici e fondamentali della materia ovvero le radiazioni e le particelle. La Meccanica Quantistica insieme alla Teoria della Relatività rappresentano a parere della comunità scientifica, le scoperte più importanti del XX secolo e segnano l’inizio di una vera e propria rivoluzione del pensiero umano non solo scientifico.

Questo progetto ha anche altri obiettivi. Dal punto di vista mediatico una tragica serie di notizie hanno fatto sì che il gas Radon assurgesse agli onori della cronaca. In particolare il terremoto de L’Aquila del 6 Aprile 2009 insieme ad altri eventi sismici meno drammatici hanno portato a chiedersi se la rilevazione di questo gas possa essere utile nel prevedere eventi di tipo sismico. Per gli addetti ai lavori questo interesse non è mai scemato. Le proprietà di questo elemento e le ragioni di interesse scientifico della sua misura sono state ampiamente illustrate dalla D.ssa Terlizzi nell’articolo già citato, cui rinviamo per seguire meglio le argomentazioni che svilupperemo in questo lavoro. Il Radon può essere utilizzato per monitorare gli elementi inquinanti in atmosfera³. Inoltre ricordiamo che il Radon è di fondamentale importanza dal punto di vista sanitario e di sicurezza sui luoghi di lavoro, in quanto si tratta della maggior sorgente di radiazione. Più del 50% della radiazione sia naturale (minerali radioattivi o raggi cosmici) che artificiale (raggi X, TAC, radio farmaci et cet. . .) proviene dal Radon.

A questo proposito oggi in Italia il D. Lgs. 81/2008 prevede l’applicazione di norme di tutela della salute sia degli operai, sia di quanti sono presenti negli ambienti di lavoro: cantieri, pubblici uffici (scuole, ospedali, caserme) ed altro. Si sviluppa sempre di più la sensibilità verso le criticità legate alla sicurezza, che statisticamente determinano gravi incidenti mortali e disabilità permanenti. Anche per l’eventuale presenza di eccessivi valori di Radon le norme prescrivono interventi tecnici per portare tali valori al di sotto di quei valori minimi fissati dalle norme. Il D. Lgs. n. 230/1995, modificato dal successivo D.Lgs. n. 241/2000, detta i principi generali di protezione dalle radiazioni ionizzanti per la tutela

³C. S. S. Dudley et al., Radiation Protection and Dosimetry 56: 247-250 (1994).

dei lavoratori. Per i luoghi di lavoro il livello di azione è fissato in valore a 500 Bq/m^3 di concentrazione di attività di radon media in un anno. Questo livello è pertanto il limite massimo a cui riferirsi nelle misurazioni, superato il quale occorre adottare dei provvedimenti efficaci a ridurlo. La grandezza che viene presa come riferimento per la misura dell'entità del problema è la concentrazione del radon espressa in numero di disintegrazione nucleare per ogni secondo per ogni metro cubo di aria. In pratica una concentrazione di 500 Bq/m^3 vuol dire che vengono emesse 500 radiazioni ogni secondo in ogni metro cubo di aria.

Lo scopo di questo articolo è di presentare i risultati preliminari delle misure effettuate allo "Staffa" con un evidente taglio didattico e divulgativo, rimandando agli approfondimenti su altre riviste la pubblicazione dettagliata dei risultati scientifici. Partendo da uno sguardo agli strumenti di misura e alle relative procedure, analizzeremo poi i dati e le località dove abbiamo effettuato le misure, con particolare riferimento alle condizioni geologiche e metereologiche in cui queste sono state effettuate, e discuteremo di quali sono le prime e più generali conclusioni. Infine descriveremo brevemente alcune tecniche per difendersi da ambienti ricchi di Radon.

Strumenti di Misura

Le strumentazioni utilizzate in questa campagna di monitoraggio sono essenzialmente due: i dosimetri a film e la camera ad ionizzazione. I dosimetri a film sono dei dispositivi estremamente economici di piccole dimensioni (da una moneta ad una scatola di fiammiferi), che vengono posizionati all'interno degli ambienti da misurare o vengono indossati dal personale esposto a radiazioni. In Figura 1 sono indicati diversi tipi di dosimetri: attivi e passivi,

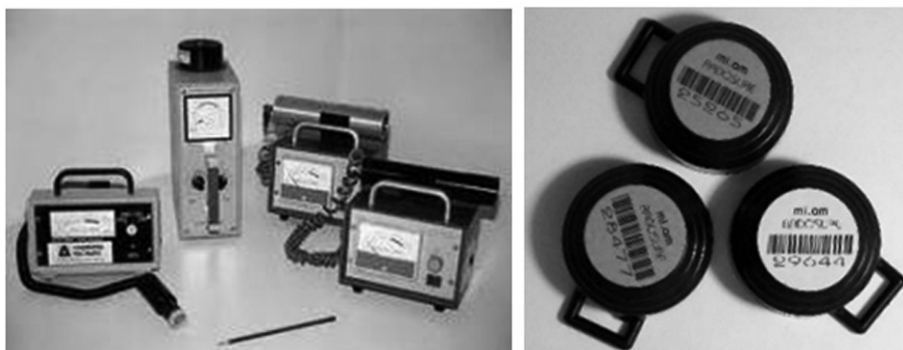


Figura 1. Diversi tipi di dosimetri attivi (a sinistra) e di dosimetri passivi (a destra).

104

necessari per la rivelazione delle particelle e per la stima della dose (energia) irradiata. Essi provvedono alla misura accurata del tipo di radiazioni e della loro energia durante intervalli di tempo (da poche ore sino ad un anno solare) relativamente duraturi. I dosimetri attivi hanno un dispositivo (suono, contatore, led luminoso) che avverte in tempo reale della presenza di radiazioni. Questi dosimetri solitamente funzionano tramite un meccanismo di tipo elettronico e sono utilizzati negli ambienti ad alto rischio di esposizione alle radiazioni e/o di contaminazioni radioattive (centrali nucleari, per esempio) per avvertire il personale della presenza di radiazioni e per lanciare segnali di allarme. I dosimetri passivi sono di tre tipi: a film, a termoluminescenza e di tipo chimico. Essi sono utili per la dosimetria ambientale e per quella personale in quelle aree dove si osservano dosi di radiazioni basse ma costanti. Queste dosi devono essere monitorate, in quanto complessivamente possono risultare dannose per l'uomo e per l'ambiente. I dosimetri che utilizzeremo nelle nostre misure sono i dosimetri a film.

Questi dosimetri sono formati da una parte contenitiva e da una parte sensibile denominata genericamente "film". La parte contenitiva è solitamente in plastica antiurto e serve per contenere e proteggere dall'ambiente esterno (urti meccanici, condizioni meteo, ambienti chimicamente ostili), mentre il film è la parte sensibile alle radiazioni. Il film è una pellicola speciale che presenta varie forme e dimensioni a seconda delle radiazioni che si debbono rivelare. Durante il periodo di misura i dosimetri vengono lasciati in una posizione fissata nell'ambiente o in un punto del corpo dell'operatore esposto a radiazioni. Trascorso il tempo di esposizione, il dosimetro viene rimosso. Le particelle o le radiazioni, quando attraversano i film, lasciano una traccia dovuta alla ionizzazione, che viene conservata come in una pellicola fotografica. Per contare il numero di tracce rilasciate dalla radiazione all'interno della stessa si devono utilizzare o potentissimi microscopi oppure sistemi di marca-mento chimico: in pratica lo sviluppo della pellicola. La vecchia pellicola fotografica, in fondo, è un dosimetro sensibile alla radiazione luminosa. Contando il numero di tracce e al contempo stimando la quantità di aria che lo attraversa si ha una stima della concentrazione di radioattività nell'ambiente. Il sistema di misura è cumulativo nel tempo ovvero le tracce rilasciate dalle varie radiazioni si accumulano all'interno del dosimetro e vengono conteggiate solo alla fine del periodo di esposizione. Non è quindi possibile con questo tipo di strumento individuare l'istante esatto in cui viene rivelata la radiazione, ma solo effettuare una misura cumulativa di tutte le radiazioni che sono rivelate nel periodo di esposizione del dosimetro. I materiali sensibili di cui sono costituiti i film più comuni sono il CR-39 e il LR-115. Il primo è un polyallyglycol carbonato, mentre il secondo è un composto da nitrato di cellulosa.



Figura 2. Dosimetro tipo CR-39 utilizzato nelle misure presso l'Istituto "S. Staffa".

Il dosimetro di Radon utilizzato nel nostro caso ha il nome commerciale di CR-39 ed è mostrato in Figura 2⁴. Il contenitore è un cilindro in plastica delle dimensioni 3 cm di diametro e 6 cm di altezza e all'interno è presente un film di CR-39 (Figura 2). Il risultato dell'esposizione del film è mostrato in Figura 3. Questo tipo di dosimetro è particolarmente adatto al Radon in quanto rivela le particelle α che sono i prodotti di decadimento più abbondanti e diretti del Radon. Nel nostro caso abbiamo

posizionato i primi dosimetri nel Luglio del 2010 in 20 punti del nostro Istituto scelti in posizioni che non interferiscano con le normali attività scolastiche e amministrative: 3 nel seminterrato, 10 a piano terra e 7 al primo piano. I dosimetri saranno recuperati dopo sei mesi (Febbraio 2011) e spediti ad una azienda del settore, la Tecnorad, per essere sviluppati. Dopo lo sviluppo l'azienda certificherà la dose che è stata rivelata durante questi sei mesi.

Al contempo si è acquistato un sistema di misura in tempo reale del Radon che è costituito da una camera a ionizzazione. Questo tipo di strumento è formato da una camera dove sono posizionati due elettrodi che servono per raccogliere le cariche ionizzate. Una radiazione o delle particelle cariche elettricamente, che entrano nella camera, produco-

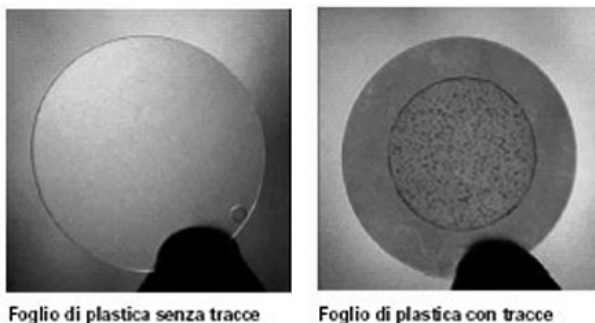


Figura 3: Esempio di un film dosimetrico di CR-39 prima e dopo l'esposizione al Radon.

⁴R. Terlizzi, "Misure di concentrazione dell'attività di Radon con rivelatori passivi di tracce nucleari CR-39", APAT 2005/2006.

no una ionizzazione dell'aria ovvero una formazione di ioni carichi positivamente e di elettroni carichi negativamente. Nel caso del Radon la ionizzazione è provocata dal decadimento dei nuclei di Radon nelle particelle: α , β e γ . Queste particelle producono ioni ed elettroni che una volta raccolti dagli elettrodi producono un segnale di corrente elettrica. Questo segnale elettrico è convertito in un segnale digitale tramite opportuni dispositivi, gli ADC (acronimo inglese che indica i convertitori analogico-digitali) e quindi registrato da una memoria. Una delle proprietà notevoli delle camere a ionizzazione è che il segnale elettrico raccolto dagli elettrodi è proporzionale alla carica elettrica raccolta (ioni) e quindi al numero di eventi radioattivi che hanno raggiunto la camera. Questa proprietà è fondamentale perché tramite un procedimento di calibrazione ci permette di stimare il numero di particelle insieme alla loro energia.

La camera a ionizzazione utilizzata dal nostro gruppo è una AlphaGuard PQ 2000PRO prodotta dalla SAPHYMO, vedi Figura 4. Essa misura la concentrazione (densità) di radioattività nell'aria in Bq/m^3 ovvero il contenuto di radioattività in un determinato volume di aria. A questo proposito va ricordato che la concentrazione di Radon dipende dalle condizioni meteo e quindi per completezza il nostro strumento rileva allo stesso tempo: la temperatura dell'aria in $^{\circ}\text{C}$, la pressione atmosferica in mBar e l'umidità relativa dell'aria in rH %. Questo strumento è inoltre corredato di una serie di dispositivi per la misura del Radon nel terreno, in acqua e in contenitori di piccole dimensioni. Per



Figura 4. Camera a Ionizzazione AlphaGuard PQ 2000PRO collegata ad un Notebook.

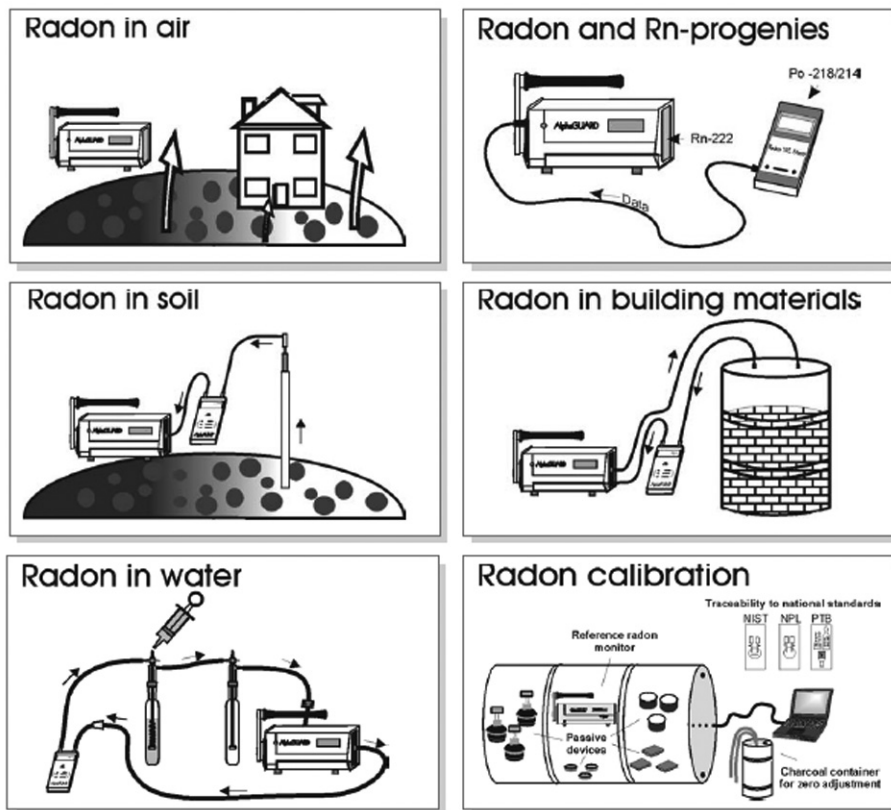


Figura 5: Modalità di misura del Radon nelle varie modalità: aria, suolo, acqua, misura della progenie, negli edifici e procedura di calibrazione.

effettuare una misura assoluta ovvero una misura che fornisca un risultato in una grandezza fisica, gli strumenti vanno calibrati e queste procedure di calibrazione vanno ripetute a scadenza fissate. Questo strumento è già stato calibrato dalla ditta costruttrice e quindi non ci dobbiamo preoccupare di farlo noi. Il dato fornito dalla calibrazione dura nel caso di questo strumento cinque anni. La sensibilità dello strumento è di 1 Bq/m^3 , il valore minimo dell'errore è di 2 Bq/m^3 , il fondo scala è di 2 milioni Bq/m^3 . Come per la maggior parte dei rivelatori, maggiore è la durata temporale della misura, minore è l'errore, in quanto maggiore è il numero di conteggi rilevati. Per misure della durata di un'ora che è l'intervallo temporale massimo di presa dati dello strumento, l'errore è di 2 Bq/m^3 . Lo schema del dispositivo è mostrato nella Figura 5. L'aria introdotta nella camera viene analizzata. L'analisi consiste nel valutare la carica prodotta dal decadimento del Radon e dei suoi figli ovvero le particelle

α rilasciate dal Radon. Queste particelle sono dei nuclei di Helio, hanno un breve cammino di assorbimento in aria laddove rilasciano tutta la loro carica elettrica pari a due elettroni (un elettrone ha carica elettrica pari a $1,9 \cdot 10^{-19}$ Coulomb). Gli elettrodi hanno il ruolo di creare un campo elettrico che permette di raccogliere la carica prodotta dalle α . Questa carica produce un segnale di corrente elettrica che opportunamente analizzato ci fornisce le informazioni sull'elemento Radon. L'analisi viene condotta da un micro-chip installato sullo strumento. Essa consiste essenzialmente nel confrontare l'intensità di carica elettrica rivelata durante la misura con le intensità di cariche memorizzate durante il processo di calibrazione. Molto spesso a causa di altri processi fisici (raggi cosmici, effetti termici, effetti dell'elettronica) si produce della carica elettrica spuria che viene registrata e analizzata dallo strumento. Tuttavia il contenuto di carica e la scansione temporale di questi eventi è di gran lunga diversa da quella prodotta dalle α del Radon. In particolare il contenuto di carica elettrica è più basso e la loro durata temporale è più breve. D'altra parte il numero di questi eventi, che vengono detti "fondo di radiazione", sono più frequenti temporalmente e devono essere scartati nel conteggio delle concentrazioni di Radon. Il compito dello sperimentatore nel caso generale è discriminare tra il fondo di radiazione e gli eventi veri. Nel caso di questo strumento gran parte della discriminazione è operata dallo strumento stesso. Allo sperimentatore è demandato il compito di effettuare di tanto in tanto delle misure di verifica per controllare che il fondo di misura sia il più basso possibile (tendente a zero). Queste misure devono essere effettuate in recipienti di piccole dimensioni il cui contenuto di Radon è così basso da essere praticamente non rilevabile. Questo genere di ambiente può essere creato isolando per diversi giorni dell'aria in un contenitore costruito con materiale che non lasci penetrare il Radon. L'eventuale contenuto di Radon presente nell'aria dopo un paio di giorni decade e a questo punto si può effettuare la misura del fondo. Lo sperimentatore, inoltre, deve controllare che nelle vicinanze della camera non ci siano sorgenti di altre radiazioni naturali (ad es. miniere di Torio, Uranio o altri materiali radioattivi) o artificiali (ad esempio macchine a Raggi X utilizzate in diagnostica medica o nell'industria)⁵.

⁵ Per maggiori dettagli tecnici visita il sito della SAPHIMO: www.saphymo.de.

Procedure di Misure

La procedura di misura della dose di radiazione per i dosimetri CR-39 è semplice. Bisogna collocare i dosimetri nei vari punti di interesse, attendere un periodo di sei mesi, infine rimuoverli e spedirli alla ditta che effettua lo sviluppo. Come già indicato, questa ultima fase sarà svolta a cavallo di Febbraio e Marzo 2011.

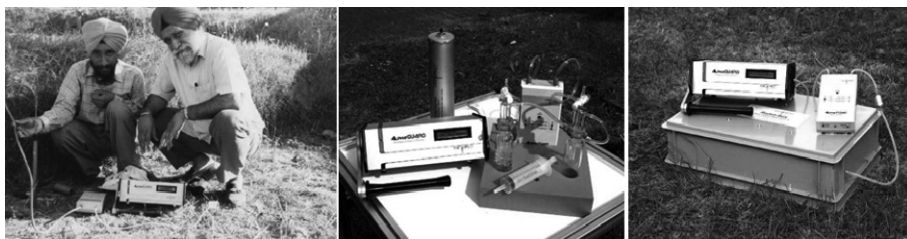


Figura 6. Misure del Radon con l'AlphaGuard PQ 2000PRO nel terreno (a sinistra), in acqua (al centro) e in una scatola contenente oggetti (a destra).

Le modalità di misura della camera a ionizzazione sono essenzialmente due: a flusso e a diffusione. In diffusione l'aria entra liberamente da fori laterali posti sulla camera e viene fatta defluire naturalmente all'interno della camera stessa. Nella misura a flusso invece la camera è attaccata ad una piccola pompa (vedi Figura 6), che provvede a far fluire l'aria con una capacità che va dagli 0.03 ai 3 Litri/minuto. All'aria aperta o in ambienti di dimensioni grandi (una stanza) la modalità in diffusione è sufficiente in quanto il contenuto d'aria esterno è grande, ci sono significative variazioni di pressione (venti o correnti d'aria) e quindi possono essere analizzati facilmente grossi volumi di aria. Viceversa, se stiamo misurando la concentrazione di Radon nel terreno, in una scatola di piccole dimensioni o nell'acqua, è necessario l'ausilio della pompa che provvede a far circolare forzatamente l'aria. A questo proposito si deve ricordare che la camera a ionizzazione analizza sempre le concentrazioni del Radon in aria.

Le misure nel terreno vengono eseguite utilizzando una sonda (Figura 6), che penetra nel terreno per circa 1 metro. Questa sonda è essenzialmente un tubo che ha una piccola apertura nell'estremità conficcata nel terreno, mentre nell'estremità superiore vi è un ugello che convoglia l'aria in un tubicino che viene attaccato alla pompa. Quest'ultima è attaccata alla camera a ionizzazione e serve per circolare forzatamente l'aria dal terreno verso la camera stessa.

Nella misura del Radon in acqua, si utilizzano due ampolle di vetro ed un litotritore piezoelettrico (Figura 6). Un'ampolla raccoglie il liquido da analizzare,

il litotritore viene inserito in questa ampolla e serve a rompere i legami delle molecole di liquido per permettere la transizione del liquido nella sua fase gassosa. L'altra ampolla raccoglie il gas creato dalla prima, che viene quindi inviato nella camera a ionizzazione per mezzo della pompa.

Per la misura con la scatola si deve provvedere affinché la scatola abbia due valvole una di ingresso e una di uscita collegate alla pompa. In questo modo si può flussare l'aria in modo forzato nella camera. Nella scatola possono essere misurati oggetti di cui si vuol conoscere la concentrazione del Radon oppure può essere utilizzata per le misure di esalazione del Radon dal terreno.

Tutti i dati (concentrazione Radon, temperatura, pressione e umidità) sono visualizzati sul Display digitale dell'apparecchio e vengono registrati per un certo tempo nella sua memoria interna. Tuttavia, gli stessi dati possono essere trasmessi su un Personal Computer opportunamente collegato con la camera tramite un cavo ed un software fornito dalla stessa casa costruttrice. Tramite questo software l'apparecchio può essere altresì comandato a distanza. In questo modo si possono variare le modalità di acquisizione. Questa possibilità permetterà in un prossimo futuro di creare una rete di apparecchi installati in diverse scuole o istituti che essendo collegati tramite rete Internet, potranno dialogare tra loro e scambiarsi i dati delle misure in tempo reale.

Risultati Preliminari

Come già menzionato, i risultati dei dosimetri saranno a disposizione dal Marzo 2011. Per quanto riguarda la camera a ionizzazione, dopo aver collaudato in collaborazione con la RadTech il funzionamento di tutti i dispositivi atti alla misura. Le prime misure sviluppate sono state raccolte in modalità diffusione in tre località: Trinitapoli-Margherita di Savoia, San Giovanni Rotondo e tra San Ferdinando di Puglia e Canosa (Figura 7). A Trinitapoli la prima misura in assoluto è stata svolta presso la sede centrale dell'Istituto "S. Staffa" in via



Figura 7: Collage di Foto delle misure eseguite dal gruppo di docenti e studenti dell'I.I.S.S. "S. Staffa" di Trinitapoli e dell'I.T.I.S. "L. di Maggio" di San Giovanni Rotondo.



Cappuccini sia all'interno che all'esterno dell'edificio scolastico; queste misure saranno contraddistinte nei grafici dall'indicazione *IISS-Staffa*. Un'altra serie di misure è stata svolta lungo la via Trinitapoli-Mare, che costeggia le vasche della Salina tra Trinitapoli e Margherita di Savoia nei pressi del parco ambientale di Trinitapoli e nei pressi della stazione di movimentazione delle acque della Salina. Questa misura è contraddistinta dalla indicazione *Zona Umida*. Due serie di misure sono state svolte a San Giovanni Rotondo. La prima nella cava di "Via Bianca" in località "Via Bianca"; la seconda presso l'edificio scolastico dell'Istituto Tecnico Industriale "Luigi di Maggio" di San Giovanni Rotondo situato in via Roma (indicate sommativamente come *San Giovanni Rot*). L'ultima serie di misure è stata svolta in una cava di pietra in località San Samuele di Cafiero tra San Ferdinando di Puglia e Canosa, indicata come *San Samuele*. Si deve annotare, infine, che una misura per problemi tecnici non ha conseguito i risultati sperati. Non si è potuto effettuare la misura dell'acqua del fiume Ofanto in quanto, in prossimità della foce, l'acqua risulta essere molto melmosa e quindi si rischiava di rovinare le ampolle ed il litotritore. I valori medi di queste misure con i relativi errori sono rappresentati in Figura 8.

I grafici di Figura 9 mostrano i valori medi con la deviazione standard rispettivamente della concentrazione di Radon, della temperatura, della pressione e dell'umidità misurati nei vari punti dell'Istituto Staffa. Si sono effettuate misure sia all'interno dell'edificio scolastico: piano terra, interrato, primo piano; sia immediatamente fuori dello stesso. La media di ciascun valore è stata calcolata nei vari punti dell'edificio. Queste misure sono contrassegnate rispettivamente dalle indicazioni nella Legenda di Figura 9: *LAB. EEE- Piano 1, 1A - Piano 1, 3B - Piano T, 1H - Piano T, Interrato ed Esterno*.

Discussione

In generale si può osservare che lo strumento dimostra una sufficiente sensibilità per le varie situazioni di misura. In particolar modo si osserva che all'interno e nei sotterranei le misure danno una concentrazione del Radon più alta mentre all'esterno o in locali che sono più in alto la concentrazione del gas si abbassa. I risultati mostrano altresì dei valori di concentrazione del Radon pienamente accettabili dal punto di vista sanitario sia all'interno dei locali che all'aria aperta. Il limite di Legge (Decreto Legislativo 230/95) all'interno dei locali di lavoro (500 Bq/m^3) viene pienamente rispettato in tutti i casi. A questo proposito è bene ricordare che quando i valori di Radon superano quelli previsti dalle norme è possibile intervenire con la realizzazione di

opportuni lavori che consistono essenzialmente in: ricambi dell'aria e pressurizzazione per l'intero edificio con impianto di ventilazione; realizzazione di pozzetti interrati con sistema di aspirazione diretto dal terreno (depressurizzazione diretta). In sede di progetto è necessario anche calcolare i parametri relativi a: numero di ventilatori da installare; portata e prevalenza dei ventilatori; numero e grandezza dei pozzetti; superficie di efficacia del sistema di estrazione di ogni pozzetto; tipologia e lunghezza delle tubazioni interrate.

Per tornare ai risultati delle nostre misure, vedi Figura 8, i livelli di radioattività sono più elevati sul Gargano. Risultano intermedi a Trinitapoli (IIS-Staffa e Zona Umida), mentre sono decisamente bassi nelle misure a San Samuele. Questi risultati sono coerenti con le caratteristiche geologiche dei territori investigati. Infatti, il Gargano risulta un massiccio roccioso di tipo carbonatico che si eleva per diverse centinaia di metri sul mare. Il Tavoliere, ed in particolar modo la zona delle Saline, era fino a qualche centinaio di anni fa una zona assolutamente paludosa. Si tratta di un terreno di tipo argilloso con spessi sedimenti di tipo marino e alluvionale. Infine la località di San

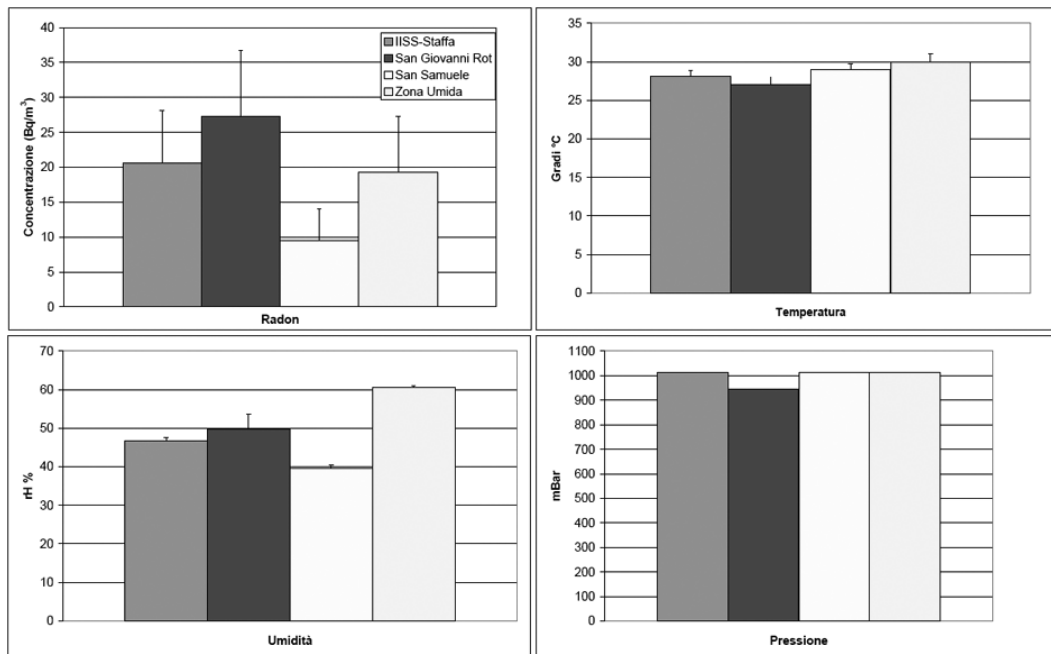


Figura 8. Misure della concentrazione di Radon in Bq/m³, dell'umidità in rH %, della temperatura in °C e della pressione atmosferica in mBar. Le misure sono state effettuate presso l'I.I.S.S. "S. Staffa" di Trinitapoli, presso la località San Samuele di Cafiero, presso la zona umida di Trinitapoli e a San Giovanni Rotondo, vedi Legenda dei colori.

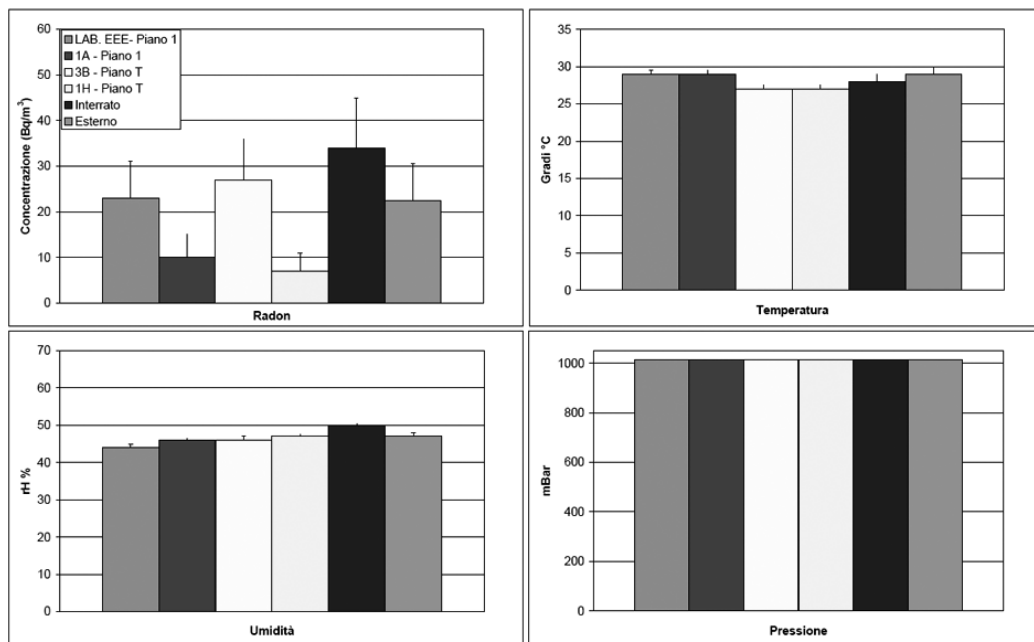


Figura 9. Misure della concentrazione di Radon in Bq/m³, dell'umidità in rH %, della temperatura in °C e della pressione atmosferica in mBar. Le misure sono state effettuate in vari punti dell'edificio scolastico di Via Cappuccini del I.I.S.S. "S. Staffa" di Trinitapoli, vedi Legenda dei colori.

Samuele di Cafiero comincia a presentare le tipiche colline della Murgia, composte anch'esse da un tipico altopiano carbonatico. Sul Gargano la probabilità di osservare il Radon è più alta, in quanto il gas più facilmente riesce ad esalare tra le fessurazioni della roccia in superficie. Nel Tavoliere, invece, questa possibilità è fortemente limitata dagli spessi strati di argilla e sedimenti che si sono formati nelle diverse ere geologiche. A ridosso della Murgia in località di San Samuele, ci saremmo aspettati una concentrazione maggiore di Radon che non viene misurata. La concentrazione più bassa è spiegabile facilmente: la roccia presente nella cava (dolomitea) non è fessurata come la pietra garganica e quindi frappone una sorta di schermo all'esalazione del gas in superficie.

I grafici di Figura 10 mostrano le correlazioni tra concentrazione di radioattività e l'umidità. In particolare si è calcolato il rapporto tra concentrazione di radioattività e la relativa misura di umidità, la qual cosa ci indica che la relazione è di proporzionalità diretta. Si è mostrato che è grosso modo costante entro gli errori di misura. Esso è pari, vedi Figura 10, a un valor medio di (0.39 ± 0.05) Bq/(m³ rH) nel caso delle misure nelle quattro località e di (0.44 ± 0.06) Bq/(m³ rH) nel caso delle misure presso lo "Staffa". Questa è

l'unica correlazione degna di nota osservata dai risultati ed è inaspettata. Si pensava che la concentrazione di Radon crescesse con la pressione ovvero con la temperatura. Il rapporto con la pressione è assolutamente inesistente come dimostrano i grafici di Figura 9, mentre la proporzionalità diretta con la temperatura, se c'è, deve essere molto blanda e non è rilevata dal nostro strumento. Questi dati ci indicano chiaramente che delle due l'una: o il vapor acqueo è un potente collettore di Radon, oppure la presenza di umidità è indicativa di altre condizioni meteo, ad esempio scarsa ventilazione. In queste condizioni la concentrazione di Radon tende ad aumentare indipendentemente dal sito geologico dove si sta effettuando la misura.

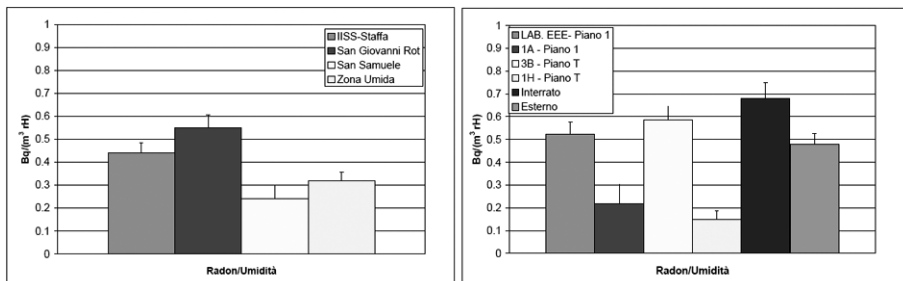


Figura 10. Rapporti tra la concentrazione di Radon e la relativa umidità misurata nel caso delle misure nei vari siti (pannello di sinistra) e nel caso delle misure nei vari punti dell'edificio dello Staffa (pannello di destra). Si può osservare che i rapporti delle diverse misure sono all'incirca costanti e variano intorno ad un valore medio di $0.4 \text{ Bq}/(\text{m}^3 \text{ rH})$.

Conclusioni

Questo progetto ha cominciato ad avvicinare i ragazzi delle scuole secondarie superiori allo studio e alla comprensione delle Scienze Sperimentali. In particolare ha permesso la sperimentazione diretta di un fenomeno fisico significativo come la radioattività, toccando tematiche riguardanti non solo la Fisica, ma anche la Chimica, la Geologia e la prevenzione sanitaria. Le misure qui illustrate sono state acquisite analizzate e discusse dagli studenti dell'Istituto "Staffa" e dell'Istituto "di Maggio". Questo dibattito motiverà ulteriormente i ragazzi, che si sentiranno protagonisti del progresso scientifico in atto. I prossimi passaggi durante questo anno scolastico sono: un monitoraggio costante e per quanto possibile selettivo del territorio che va dal Tavoliere al Gargano. In secondo luogo un monitoraggio temporalmente continuo nei siti scolastici.