

# Metodi di prova: correttezza, riferibilità e confrontabilità dei risultati

Valerio Barbina

SINAL Sistema Nazionale Accreditamento Laboratori, valerio.barbina@nablaprogetti.it

## 1- RIASSUNTO

I laboratori che si occupano del controllo dei livelli di radioattività ambientale svolgono un compito particolarmente complesso, sia per la molteplicità dei metodi di prova che devono essere impiegati, che per la criticità dei risultati. Basti pensare alle diverse tecniche di misura della concentrazione di radon in aria, alla complessità dei metodi radiochimici di determinazione del plutonio in matrici solide, alla difficoltà di valutazione del fondo naturale di riferimento delle radiazioni gamma; inoltre in alcuni casi queste valutazioni devono essere assicurate per valori di concentrazione o di intensità prossimi ai limiti di sensibilità dei metodi di prova impiegati ed i risultati delle prove eseguite da laboratori diversi devono poter essere oggetto di confronto.

I requisiti di qualità delle prove – validazione, confrontabilità dei risultati, rintracciabilità dei dati, corretto campionamento, corretta presentazione dei rapporti di prova - sono quindi essenziali e sono oggetto di norme che stabiliscono specifiche clausole per la competenza dei laboratori [1], pongono un punto fisso sull'espressione dell'incertezza di misura [2], trattano la valutazione quantitativa dell'accuratezza dei risultati dei metodi di prova [3], definiscono il limite di rivelazione e la soglia di decisione dei metodi di misura delle radiazioni ionizzanti [4].

Che la qualità delle misure costituisca un problema attuale ed importante nel caso che ci riguarda – la misura dei livelli di radioattività e dei campi di radiazioni – è reso evidente dal fatto che dal 2005 ad oggi l'AIIRP ha dedicato all'argomento molteplici incontri e giornate di studio [7, 8, 9, 10, 11]. In questi incontri sono già stati esaurientemente affrontati i problemi metrologici relativi ad un'ampia gamma di misure, e sarebbe superfluo ripeterli o riassumerli. Inoltre i requisiti di competenza dei laboratori imposti dalla UNI 17025 [1] sono già stati illustrati al convegno AIRP di Vasto [9], sia pure succintamente, e sarebbe di scarso interesse elencarli.

In questo intervento voglio invece trattare alcuni aspetti particolari dei requisiti di qualità delle misure che a volte possono essere non del tutto correttamente interpretati od applicati, ma che sono importanti per la adeguatezza dei metodi di prova e per la confrontabilità delle misure. Essi sono: la corretta definizione di soglia di decisione, limite di rivelazione, minima attività rivelabile, per la quale si fa riferimento alle ISO 11929 [4]; la valutazione della accuratezza dei risultati, in particolare la ripetibilità e riproducibilità, per la quale si fa riferimento alle UNI ISO 5725 [3].

## 2 – SOGLIA DI DECISIONE, LIMITE DI RIVELAZIONE, INTERVALLO DI FIDUCIA

La definizione di queste grandezze statistiche è definitiva e la loro determinazione è stata oggetto di una vasta analisi metrologica. Tuttavia per le ragioni cui ho accennato, ritengo sia opportuno ripeterne sia la definizione che il corretto uso. Usiamo i simboli delle ISO 11929:

- La **SOGLIA DI DECISIONE** (decision threshold) di un metodo di prova è il rateo di conteggio  $R_n^*$  oltre il quale si decide, con una data probabilità di errore  $\alpha$ , che vi è un contributo al conteggio da parte del campione in esame. In termini statistici: è il valore critico di un test per decidere tra l'ipotesi nulla (nessun contributo di conteggio da parte del campione) e l'ipotesi alternativa (vi è un contributo al conteggio da parte del campione) con una data probabilità di errore  $\alpha$ . In termini pratici: se il rateo di conteggio è pari alla soglia di decisione si decide che vi è un contributo da parte del campione, con probabilità  $\alpha$  di avere preso la decisione sbagliata (errore di prima specie, falso positivo); se il conteggio è inferiore alla soglia di decisione si decide che non vi è alcun contributo da parte del campione, con una elevata probabilità  $1-\alpha$  di avere preso la decisione giusta.
- **LIMITE DI RIVELAZIONE** (detection limit) di un metodo di prova è il minimo contributo del campione  $p_n^*$  che può essere rivelato con una data probabilità di errore  $\beta$ . In termini statistici: valore critico di un test per decidere tra l'ipotesi nulla (conteggio netto del campione maggiore di zero) e l'ipotesi alternativa (conteggio netto del campione uguale a zero) con una data probabilità di errore  $\beta$ . In termini pratici: se un

campione dà un conteggio netto pari al limite di rivelazione si decide che vi è un contributo da parte del campione, con una piccola probabilità  $\beta$  di aver preso la decisione sbagliata (errore di seconda specie: falso negativo)

- MINIMA ATTIVITÀ RIVELABILE è il limite di rivelazione tradotto in Bq (Bq/g, Bq/l, Bq/cm<sup>2</sup>, ...).

La soglia di decisione deve essere confrontata *a posteriori* con il risultato di una prova per stabilire se sia stato rivelato un contributo da parte del campione: essa deve quindi essere specificata sul rapporto di prova, eventualmente tradotta in Bq (Bq/g, Bq/l, Bq/cm<sup>2</sup>, ...). Invece la minima attività rivelabile è una caratteristica del metodo di prova valutata *a priori* e deve essere confrontata con i limiti di legge, o di norme cogenti, o di linee guida applicabili: essa costituisce quindi il criterio in base al quale si stabilisce se il metodo è adeguato, se cioè soddisfa i requisiti di sensibilità richiesti [4] e deve essere specificata sulla procedura di dettaglio del metodo di prova [1].

- INCERTEZZA ESTESA o INTERVALLO DI FIDUCIA (confidence interval)

è l'intervallo attorno al valore misurato entro il quale si stima possa cadere il valore vero con probabilità  $1-\gamma$ . Per la valutazione dell'incertezza estesa, che pure deve essere specificata sulla procedura di dettaglio del metodo di prova, valgono le considerazioni generali in materia di stima delle incertezze di misura [2] ed i rapporti di prova, nel caso in cui la soglia di decisione sia superata, devono indicare il valore misurato e la relativa incertezza estesa.

Le formule di calcolo della soglia di decisione, del limite di rivelazione e dell'intervallo di fiducia devono sempre essere definite; se il metodo di prova normato non le contiene devono essere riferite ad una norma specifica od essere oggetto di una specifica procedura di dettaglio. Nella maggior parte delle prove che ci riguardano la distribuzione di probabilità dei conteggi può essere approssimata dalla distribuzione normale e come è noto, salvo siano richiesti requisiti di adeguatezza particolari, è prassi comune assumere  $\alpha = \beta = 0,05$  e  $1-\gamma = 0,95$ .

### 3 - ACCURATEZZA DEI RISULTATI DEI METODI DI MISURAZIONE

L'accuratezza di un metodo di prova è data dall'esattezza (*trueness*) e dalla precisione (*precision*), come definite dalla UNI ISO 5725:

- PRECISIONE: grado di concordanza tra i risultati di prova indipendenti; dipende solo dalla distribuzione degli errori casuali e non è in relazione con il valore di riferimento accettato.
- ESATTEZZA: grado di concordanza tra il valore medio ottenuto a partire da un *grande numero* di risultati di prova e il valore di riferimento accettato.

Quando un laboratorio adotta un metodo di prova, sia esso normato o sviluppato internamente, deve comunque garantire che sia eseguito con caratteristiche di accuratezza adeguate agli scopi dichiarati. Non basta dunque che soglia di decisione, limite di rivelazione ed intervallo di fiducia siano stimati attraverso formule definite, ma è necessario che il laboratorio *dia prova* che i risultati sperimentali sono coerenti con queste stime; deve cioè eseguire, attraverso una serie di risultati di prova, un esperimento di accuratezza [3]. Questo esperimento, che come vedremo può essere condotto in diversi modi, costituisce l'aspetto essenziale del requisito che la UNI 17025 definisce "validazione".

Dunque, validare un metodo di prova vuol dire valutarne la accuratezza: precisione ed esattezza. Tuttavia condurre un esperimento di accuratezza secondo la UNI 5725 è piuttosto complicato e, in alcuni casi, troppo oneroso, tanto da essere poco realistico in termini pratici. Cercheremo quindi di esaminare i metodi indicati dalla norma, di metterne in evidenza alcune difficoltà pratiche e di indicare, ove possibile, un'alternativa accettabile.

Valutare la precisione vuol dire valutare la ripetibilità, che è espressa come scarto tipo dei risultati di prove ripetute sullo stesso materiale in "condizioni di ripetibilità", cioè nello stesso laboratorio, con lo stesso metodo di prova, lo stesso operatore, la stessa strumentazione, entro un breve periodo di tempo; è dunque un parametro di accuratezza *proprio del laboratorio*. Ma alcune di queste condizioni in certi casi non sono del tutto appropriate poiché, per esempio, un laboratorio nella pratica operativa di uno stesso metodo di prova

può essere indotto a non impiegare sempre la stessa apparecchiatura, o lo stesso operatore: opera cioè non in condizioni di ripetibilità, ma in condizioni che vengono definite di “riproducibilità intermedia”. Forse faremmo meglio a definirla “ripetibilità operativa” o qualcosa di simile ed è il parametro che ci interessa, al quale faremo comunque riferimento con il termine “ripetibilità”.

La riproducibilità invece è espressa come scarto tipo dei risultati di prove ripetute con lo stesso metodo e sullo stesso materiale, ma in laboratori diversi ed in tempi diversi. È dunque un parametro *proprio del metodo di prova* e la sua valutazione richiede un esperimento di accuratezza che includa una campagna di misurazioni interlaboratorio. Le caratteristiche di precisione ed esattezza di un metodo sono il risultato di questa campagna, a conclusione della quale può essere redatta la norma. Ma in generale l'elevato numero di laboratori partecipanti richiesti dalle UNI 5725 (tra 8 e 15) e di risultati di prova a diversi livelli di concentrazione di attività o di rateo di dose costituiscono, in termini di tempo e di costi, un onere sostenibile solo nel quadro di accordi di collaborazione nazionali od internazionali.

Valutare la esattezza vuol dire confrontare la media (speranza matematica) di un *grande numero* di risultati di prova con un valore di riferimento accettato, tenendo conto della riproducibilità. La valutazione dell'esattezza deve quindi essere effettuata dopo o contemporaneamente alla valutazione della precisione. Il valore di riferimento accettato si considera senza scostamento sistematico (vizio) dal valore vero, che è indeterminato, ma deve essere dato con lo scarto tipo di precisione. Il valore di riferimento accettato deve essere un campione od essere ricavato da un campione che assicuri [6]:

- un valore certificato, basato sulle determinazioni sperimentali di una organizzazione EA
- un valore certificato, riferibile a campioni di riferimento nazionali o internazionali
- un valore calcolato, purché il calcolo sia basato su principi scientifici
- un valore medio dei risultati di prova di un esperimento interlaboratorio.

È evidente che in questo ultimo caso le cose si complicano. L'esperimento interlaboratorio per fornire il valore di riferimento accettato può eventualmente essere condotto con un metodo di prova diverso da quello in esame, purché sia lo stesso per tutti i laboratori, sia normato e la ripetibilità sia approssimativamente la stessa per tutti, in modo che sia possibile ottenere uno scarto tipo di ripetibilità medio comune da cui ricavare con valutazioni statistiche un scarto tipo di riproducibilità. Ci si rende conto che anche in questo caso un esperimento interlaboratorio del genere costituisce, in termini di tempo e di costi, un onere sostenibile solo nel quadro di accordi di collaborazione nazionali od internazionali.

Ma spesso - soprattutto per prove metodologicamente complesse e laboriose o per prove su materiali per i quali non è disponibile un campione di riferimento certificato - non vi sono accordi del genere, né è possibile ottenere *un grande numero* di risultati di prova da un elevato numero di laboratori. Si tratterà allora di stabilire alcuni criteri per un esperimento di accuratezza che eviti queste difficoltà, ma che sia comunque valido dal punto di vista metrologico ed accettabile per la certificazione di qualità delle misure, ed è ciò che cercheremo di fare.

#### **4 – VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE: STIMA DELLA RIPETIBILITÀ**

Ricordiamo che nel nostro caso con il termine “ripetibilità” intendiamo tanto la ripetibilità stretta, quanto la riproducibilità intermedia intralaboratorio. La UNI 5725-2 stabilisce un metodo base per la stima della ripetibilità stretta, mentre la UNI 5725-3 nella sezione 8 tratta della stima della riproducibilità intermedia intralaboratorio. Di nuovo, l'elevato numero di prove richieste dal metodo (al minimo 15 suddivise in gruppi) e la complessità metodologica (variazione delle condizioni di prova, tra le quali la data di esecuzione, all'interno di ciascun gruppo) costituiscono, in termini di tempo e di costi, un onere difficilmente sostenibile.

Una soluzione accettabile per la stima della ripetibilità, applicabile anche alle misure che ci riguardano, può essere quella consigliata dal SINAL [5], che si basa sulla valutazione ed il controllo dello scarto tipo di ripetibilità. Questo dovrebbe essere dato dal metodo normato, ma spesso - almeno per le norme che riguardano prove su radiazioni ionizzanti - non è così ed in tal caso può essere semplicemente prefissato dal laboratorio come obiettivo.

Si può procedere così: si eseguono, compatibilmente con le possibilità del laboratorio, quante più possibile prove ripetute su diversi livelli di prova e siano:

- n il numero di prove ripetute in condizioni di ripetibilità ad un dato livello di prova
- $\sigma_r$  lo scarto tipo di ripetibilità dato dal metodo normato, oppure prefissato come obiettivo, a quel livello
- $s_r$  la stima di  $\sigma_r$  ottenuta da  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$  risultati delle n prove a quel livello

Si deve verificare che  $s_r$  sia compatibile con  $\sigma_r$ , per esempio con il test del  $\chi^2$  sul rapporto  $s_r/\sigma_r$ , che fornisce un limite minimo ed uno massimo del rapporto per un intervallo di probabilità prestabilito, di solito rispettivamente 0,025 e 0,975:

$$\frac{s_r}{\sigma_r} = \sqrt{\frac{\chi^2}{n-1}}$$

È chiaro che nel caso di prove per le quali la sensibilità è funzione della grandezza in esame (concentrazione od energia di un radionuclide) la stima della ripetibilità *deve* essere eseguita per vari livelli di prova, tali da coprire tutti gli intervalli di interesse di concentrazione ed eventualmente di energia.

Dall'esito della verifica si trarrà una delle seguenti conclusioni:

- il test dà un valore contenuto nei limiti: in tal caso si può assumere  $s_r$  come scarto tipo di ripetibilità caratteristico del laboratorio per quel metodo di prova;
- il test dà un valore che supera limite massimo; in tal caso o il metodo, così come eseguito, non risponde alla norma perché non è correttamente applicato, oppure si è prefissato un obiettivo troppo ambizioso;
- il test dà un valore inferiore al limite minimo; in tal caso o si è in grado di giustificare una ripetibilità migliore di quella data dalla norma, oppure si è prefissato un obiettivo troppo riduttivo.

Ma non basta: il laboratorio che ha stimato lo scarto tipo di ripetibilità e lo ha confrontato con esito positivo al valore normato o prefissato come obiettivo deve controllare che esso venga mantenuto nel tempo. Per questo deve essere stabilita una modalità di controllo, deve essere stabilita una frequenza minima dei controlli, deve essere stabilito un limite di ripetibilità, cioè un valore al di sotto del quale dovrebbe cadere, con probabilità del 95%, la differenza assoluta tra due risultati di prova.

La frequenza sarà stabilita in base alle caratteristiche di stabilità del metodo; la modalità meno onerosa è l'esecuzione periodica di una prova in doppio; il limite di ripetibilità può essere, per esempio, dato dal test di Fisher che confronta lo scarto assoluto tra i valori ottenuti dalla prova in doppio con lo scarto tipo di ripetibilità  $s_r$  ottenuto dalla validazione del metodo:

$$|x_1 - x_2| < s_r \cdot \sqrt{2F_{p=0,95, v_1=1, v_2=n-1}}$$

Quanto sopra deve portarci ad una effettiva padronanza dell'esecuzione del metodo. In particolare è importante il confronto con i risultati di altri laboratori, quando fattibile, poiché se il metodo è correttamente applicato, la ripetibilità dovrebbe risultare circa la stessa per tutti ed il suo valore medio potrebbe essere assunto come scarto tipo di riproducibilità del metodo.

## 5 – VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE: STIMA DELLA RIPRODUCIBILITÀ

Questa valutazione riguarda specialmente i metodi di prova non definitivamente normati, eseguiti da più laboratori, o di metodi di prova "interni", cioè sviluppati in proprio da uno o più laboratori, ed è essenziale per giudicare la adeguatezza di un metodo e, di conseguenza, per la successiva normazione.

Non è il caso di soffermarci oltre sull'argomento, basterà ribadire che anche in questo caso si ricerca uno scarto tipo di riproducibilità dedotto dall'analisi degli scarti tipo di ripetibilità di ciascun laboratorio e che alla fine si stabilisce un limite di riproducibilità, cioè un valore al di sotto del quale dovrebbe cadere, con probabilità del 95%, la differenza assoluta tra due risultati di prova ottenuti in laboratori diversi.

La UNI 5725-3 nella sezione 9 tratta della stima della riproducibilità interlaboratorio. In questo caso l'elevato numero di prove richieste dal metodo e la complessità metodologica sono giustificati dal fatto che questo esperimento è tipico di un progetto di collaborazione tra più laboratori. Come certamente avrete in qualche

occasione sperimentato, l'organizzazione e l'esecuzione di un tale progetto spesso richiedono alcuni anni di prove e di analisi comparativa dei risultati. A conti fatti è difficilmente realizzabile per prove a loro volta laboriose e complesse, a meno che una istituzione internazionale o nazionale non se ne assuma l'organizzazione ed il controllo, il che non sempre è facile.

## 6 – VALUTAZIONE DELL'ESATTEZZA

Come già accennato, prima di valutare l'esattezza di un metodo di prova deve essere stata eseguita la valutazione della precisione. In pratica possono essere impiegati i risultati delle prove eseguite per valutare lo scarto tipo di ripetibilità, nel caso di una valutazione intralaboratorio, o lo scarto tipo di riproducibilità, nel caso di una valutazione interlaboratorio, purché le prove siano state eseguite su valori di riferimento accettati. Ma materiali di riferimento da cui trarre valori di riferimento accettati potrebbero non essere in alcun modo disponibili, e vanno quindi distinti due casi che esporremo a grandi linee, rimandando alla norma per i dettagli di statistica metrologica.

Primo caso: si ha a disposizione un materiale di riferimento certificato in quantità sufficiente da cui trarre i valori di riferimento accettati. Facciamo riferimento alla UNI 5725-4. Siano:

- $\mu$  un valore di riferimento accettato, ad un dato livello di prova
- $n$  il numero di prove ripetute in condizioni di ripetibilità sul valore di riferimento accettato
- $y_m$  la media degli  $n$  risultati di prova del laboratorio
- $\sigma_r$  lo scarto tipo di ripetibilità dato dal metodo

la stima dello scostamento sistematico *del laboratorio* a quel dato livello è semplicemente

$$\Delta = y_m - \mu$$

e la incertezza nella stima, dovuta alla componente casuale dell'incertezza della misurazione, è

$$s_{\Delta} = \sigma_r / \sqrt{n}$$

che è una delle componenti dell'incertezza composta del risultato di prova.

Secondo caso: *non* si ha a disposizione un materiale di riferimento certificato, ma si deve calcolare ed accettare come valore di riferimento un valore medio  $y_{mm}$  dei risultati di prova di un esperimento interlaboratorio, che evidentemente si deve assumere privo di vizio, cioè di scostamento sistematico. La stima dello scostamento sistematico proprio di un laboratorio sarà quindi  $y_m - y_{mm}$ . Il problema è ottenere un valore di  $y_{mm}$  quanto più preciso possibile. È appena il caso di puntualizzare che un singolo laboratorio non può condurre da solo un esperimento del genere: in altri termini non ha senso accettare come valore di riferimento il valore medio dei risultati delle proprie misure.

Se i laboratori che partecipano all'esperimento sono  $p$ , nell'insieme devono essere analizzati statisticamente  $n \cdot p$  risultati *per ogni livello di prova*. Nel primo e nel secondo caso – ma soprattutto nel secondo – il problema è l'analisi critica dei risultati: quali possono essere accettati per la stima di  $y_m$  ed  $y_{mm}$  e quali debbano essere scartati come incoerenti o anormali. La norma propone due tipi di approccio: la tecnica grafica sulla coerenza e la tecnica numerica per i valori anormali; la prima è basata sul test di Mandel, la seconda sui test di Cochran e di Grubbs.

Indubbiamente il procedimento proposto è complesso, basta dare un'occhiata alla UNI 5725-4. Va comunque tenuto presente che ogni metodo statistico porta con sé sempre alcuni elementi di convenzionalità, che altri criteri più immediati che garantiscano la coerenza dei risultati sono applicabili e che a conti fatti un criterio vale l'altro, purché sia statisticamente coerente e sia chiaramente specificato nei rapporti dell'esperimento.

## 7 – CONCLUSIONI

Da quanto esposto si può concludere che l'accuratezza dei risultati dei metodi di prova garantisce in ultima analisi riferibilità e confrontabilità. La valutazione dell'accuratezza è quindi un requisito di qualità imprescindibile e se l'analisi dei risultati dovesse mettere in evidenza valori incoerenti o anormali si dovranno compiere tutti i passi necessari per identificarne le cause, ivi compresa, nell'ultimo caso esaminato, una verifica della validità del valore di riferimento accettato.

Inoltre, al fine di assicurare la riferibilità e rintracciabilità, il metodo di prova e le relative procedure di dettaglio dovranno dare completa evidenza dell'esperimento di valutazione dell'accuratezza:

- materiali di riferimento impiegati
- analisi e verifica sperimentale della soglia di decisione e dell'incertezza di misura
- rapporti di validazione intralaboratorio ed interlaboratorio
- valutazione della ripetibilità e dell'esattezza e rapporti di verifica nel tempo

Infine, al fine di assicurare una immediata confrontabilità dei risultati, ogni rapporto di prova dovrà indicare:

- il metodo di prova utilizzato
- la soglia di decisione
- l'incertezza estesa nel caso di risultati misurabili
- ogni riferimento necessario a definire le modalità di campionamento.

Ma quest'ultima clausola qualche volta continua ad essere trascurata dai laboratori e, poiché per il nostro fine è cruciale, credo sia opportuno concludere ripetendo succintamente quanto già altrove precisato [10] sui tre casi che si possono presentare:

- Il metodo di prova, normato o interno, non dà indicazioni procedurali ed il campionamento è eseguito dal committente secondo piani e procedure da lui definiti. Il committente è quindi il solo responsabile della qualità e rappresentatività del campione, mentre il laboratorio è responsabile solo della ricezione, identificazione, eventuale trattamento e conservazione; ma questa limitazione deve essere dichiarata sui rapporti di prova.
- Il metodo di prova dà indicazioni procedurali e fa riferimento a procedure di campionamento normate o ufficiali - che in certi casi possono comprendere un *piano di campionamento* - ed il campionamento è eseguito dal committente. Egli di nuovo è il solo responsabile della correttezza del campionamento, compreso l'eventuale pretrattamento dei campioni; ma il laboratorio deve fornirgli la procedura e, se applicabile, i piani di campionamento; i rapporti di prova dovranno fare chiaro riferimento sia alla procedura che ai piani.
- Il metodo di prova dà indicazioni procedurali ed il campionamento è eseguito dal laboratorio, che è responsabile di tutto. Di nuovo, i rapporti di prova devono fare chiaro riferimento alla procedura e, se applicabile, al piano di campionamento.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2005: Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova
- [2] UNI CEI ENV 13005:2000: Guida all'espressione dell'incertezza di misura
- [3] UNI ISO 5725-1,2,3,4,5,6:2004: Accuratezza (esattezza e precisione) dei risultati dei metodi di misurazione
- [4] ISO 11929-1,2,3:2000: Determination of the detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements
- [5] SINAL DT-0002/6:2007: Guida al calcolo della ripetibilità di un metodo di prova ed alla sua verifica nel tempo.
- [6] ISO GUIDE 33:1989: Uses of certified reference materials
- [7] La qualità della misura in radioprotezione; AIRP e Politecnico di Milano, prima giornata di studio, Milano, giugno 2005
- [8] La qualità della misura in radioprotezione; AIRP e Politecnico di Milano, seconda giornata di studio, Milano, maggio 2006
- [9] XXXIII Congresso nazionale di radioprotezione, VII sessione: Tecniche di misura della radioattività ambientale; AIRP, Torino, settembre 2006
- [10] Sicurezza e qualità in radioprotezione; AIRP, Convegno nazionale di radioprotezione, Vasto Marina, ottobre 2007
- [11] Metodi radiochimici per la caratterizzazione di matrici liquide, II sessione: Qualità delle misure; AIRP e Università di Urbino, Urbino, ottobre 2008.