

Il rinvenimento di ^{226}Ra in un'area industriale con l'applicazione di una procedura preventiva di gestione del rischio radiometrico senza l'ausilio dei portali radiometrici o dei collaboratori di giustizia

Procopio S.¹, Capone P.², Borrello F.², Chiodo P.³, Casaburi F.¹, Iannone M.⁴

¹ Lab. Fisico E. Majorana ArpaCal di Catanzaro, via Lungomare snc Catanzaro, s.procopio@arpacal.it

² Servizio Agenti Fisici di Arpacal Vibo Valentia, zona Industriale Vibo Valentia, p.capone@arpacal.it

³ Cons. Geologo, Proc. della Repubblica di Vibo Valentia C.so Umberto I 44, pasq.chiodo@gmail.com

⁴ Direttore Scientifico ArpaCal via Lungomare snc Catanzaro, iannone@arpacal.it

Una procedura di contenimento del rischio radiologicopotenziale, applicata sistematicamente, alle attività di campionamento e di sopralluogo in aree prive di conoscenze ambientali, ha consentito il rinvenimento di otto sorgenti di radio 226 sepolte sotto il manto stradale, in un'area industriale del territorio calabrese. Il personale ArpaCal esegue ordinariamente una verifica radiometrica di tipo campale, osservando preventivamente i livelli di radioattività ambientale dei siti oggetto di interesse. Questa operazione può essere codificata come una mera attività di prevenzione del rischio dei lavoratori: un rischio radiologico potenziale associato ai lavoratori dei servizi territoriali e laboratoristici che svolgono attività di campionamento in porzioni di territorio dove non ci sono informazioni sull'eventuale presenza di materiale ostile e che, abitualmente vengono classificati come lavoratori appartenenti alla popolazione e quindi non esposti. Su una porzione di circa 30 metri quadrati di strada bitumata e ricadente in un perimetro industriale più ampio, circa 10 ettari, sono state rinvenute otto capsule di radio 226, disseminate e sepolte, senza supporto metallico, ricoperte con pietre da fiume e bitume, in un buon stato di conservazione. In questo lavoro vengono presentate le complesse attività di dissepolitura delle sorgenti, la valutazione della dose per i lavoratori impegnati nelle operazioni di rinvenimento, la gestione del materiale ritrovato e l'opportunità ed efficacia di una procedura di contenimento del rischio per i lavoratori e la popolazione.

INTRODUZIONE

La genesi dell'accaduto, così come racconta il titolo di questa analisi, non è da ricercarsi nelle note potenzialità del controllo radiometrico automatico, con l'uso dei più noti portali radiometrici installati negli impianti dedicati al riposo dei rifiuti pericolosi. E ancor meno, pur operando in un territorio dove il crimine organizzato non è in sintonia con la natura e anche se marginale, esiste la probabilità di incrociare il cammino delle confidenze di qualche criminale passato a nuova vita. Nulla di tutto questo, essa è semplicemente il risultato di un'attività di prevenzione, sistematica e routinaria, che il personale dell'Arpacal attua preventivamente ed in particolar modo nei siti industriali o aree dismesse, potenzialmente contaminate. Il controllo preventivo della radioattività ambientale è un'azione di protezione al servizio dei lavoratori e della popolazione, soprattutto quando il personale è impegnato in attività di monitoraggio e campionamento di aree industriali abbandonate, dove incerta è la tipologia e la natura di eventuali contaminazioni. Nel caso di specie infatti, assistendo gli organi di polizia giudiziaria, come supporto tecnico (ex art.348 c.p.p), è stato realizzato un controllo preventivo dei livelli di radioattività ambientale in un'area industriale ricadente nel comune di Vibo Valentia. L'area (fig.1), circa 10 ettari, si presentava in un evidente e avanzato stato di abbandono, ospitando rifiuti di diversa origine e pericolosità e per questo sottoposta a sequestro cautelativo. Il complesso industriale indagato è composto da capannoni industriali, circa 7500 m², piazzali bitumati e aree non pavimentate che permettono l'accesso ad altri stabili presenti nel sito e infine una parte edificata destinata agli uffici amministrativi. La procedura di controllo applicata e denominata, **BONRAD – Bonifica radiometrica** - si basa sulla verifica preventiva dei livelli di radioattività ambientale, nei punti frequentati dal personale impegnato, attraverso misure del rateo equivalente di dose ambientale e della contaminazione superficiale con l'intento di:

1. stimare il fondo di radioattività ambientale dell'area calpestata dal personale;
2. accertare la presenza (eventuale) di hot spot con la registrazione di anomalieradiometriche;
3. eseguire le misure di spettrometria gamma in campo per l'identificazione dei radionuclidi che generano l'eventuale anomalia;
4. gestione del rischio radiologico.

Figura 1-area di intervento



PortoSalvo - Vibo Valentia

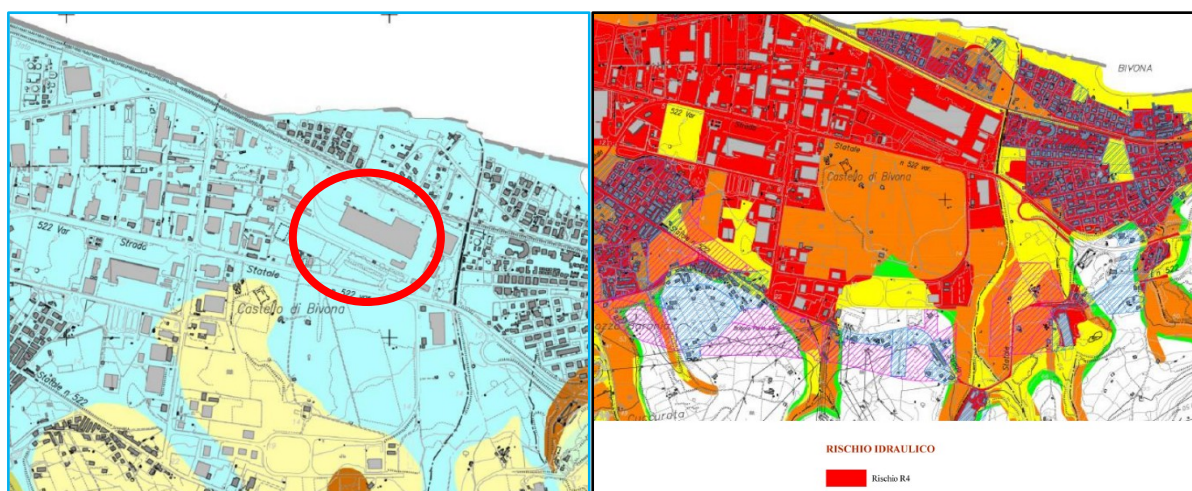
Il campo medio di radioattività naturale dell'area, osservato in condizioni di temperatura, umidità e pressione atmosferica ideali nel periodo di intervento era pari a $96 \pm 7 \text{ nGy h}^{-1}$, con un fondo beta in aria di $10 \pm 2 \text{ cps}$, compatibile con i valori medi $[96, 129] \text{ nGy h}^{-1}$ che si registrano abitualmente nel territorio vibonese -rete di sorveglianza per la radioattività ambientale di ISIN-ArpaCal (Mongiana) (BONRAD 1). L'applicazione della BONRAD ha permesso di individuare una parte di strada bitumata, circa 30 m^2 interessata da un'importante anomalia radiometrica: tre strumenti atti alla rivelazione radiometrica, con caratteristiche ed efficienze diverse hanno registrato un incremento significativo del fondo di radioattività ambientale, oltre un fattore 10^3 (BONRAD 2). Il livello più alto del rateo di dose gamma registrato a contatto, dell'asfalto era intorno a $25 \mu\text{Gy h}^{-1}$. La individuazione dei punti caldi, inizialmente 3 e poi 8, nella porzione di strada indicata ha aperto le porte alla fase 3 della BONRAD: approfondimento con la strumentazione campale idonea all'identificazione dei radioisotopi responsabili dell'incremento radiometrico. L'analisi spettrale in campo ha accertato il ritrovamento di 8 sorgenti di ^{226}Ra (Fig.2). Si è proceduto, dunque, con l'interdizione immediata dell'area, classificata come contaminata da radionuclidi (BONRAD 4).

Figura 2-sorgenti di radio 226 sepolte



La carta geolitologica (fig.3),estrapolata dal piano strutturale comunale (PSC) incorpora l'area industriale del rinvenimento nella superficie dei depositi alluvionali, colluviali e litorali marini del Olocene - Pleistocene Medio Superiore. E ancora più allarmante è la previsione sul rischio idraulico dell'intera area alluvionale. Infatti come risulta sempre dalla figura 3, l'area è classificata con il livello di rischio R4, in una scala di 4 livelli (d.lgs. n.49/2010)^[1]. La pericolosità è la probabilità che un fenomeno avverso potenzialmente distruttivo si verifichi entro un dato tempo e su una area. Dunque R4, inteso come una funzione della pericolosità di un fenomeno e dei danni potenzialmente generati è un rischio molto elevato, per il quale sono possibili: la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e ai beni ambientali e culturali e la distruzione delle funzionalità delle attività socio-economiche. Le vocazioni idrauliche del sito dove è avvenuto il rinvenimento hanno fortemente condizionato e giustificato dal punto di vista radiologico, l'intervento di messa in sicurezza e la dissepolitura delle sorgenti.

Figura 3- Carta geolitologica



Carta del rischio idraulico

L'anomalia radiometrica è stata accertata impiegando la seguente strumentazione: uno scintillatore plastico portatile, una camera a ionizzazione e un rivelatore al ioduro di sodio 2"x2". L'identificazione del radionuclide è stata effettuata con due spettrometri da campo impiegando una sonda al bromuro di lantanio e uno ioduro di sodio 2"x2". Entrambi, gli strumenti hanno confermato la presenza, sotto il bitume, di materiale contenente radio 226, classificabile solo successivamente come sorgente orfane. Nella procedura BONRAD, ispirandosi alla norma UNI 10897 2016 si definisce l'anomalia radiometrica Δ [1], un incremento significativo del livello di fondo ambientale:

$$\Delta \left(\frac{nGy}{h} \right) = \dot{D}_{fondo} + 3\sigma_{fondo} \quad [1]$$

$\dot{D}$, valore del rateo equivalente di dose gamma in aria, nGy/h e σ lo scarto del fondo ambientale. Dopo aver stabilito la non naturalità dell'incremento radiologico, si è proceduto all'identificazione del radionuclide e successivamente è stata tracciata una mappatura più definita dei punti caldi, disegnando sul pavimento bitumato, degli intorni circolari di circa 30 cm di diametro in cui il rateo equivalente di dose a contatto risultava essere più intenso (fig.4). L'identificazione del radionuclide forse ha rappresentato la fase più semplice ed immediata. Tuttavia, la BONRAD prevede almeno due incognite da risolvere: la tipologia di sorgente e stabilire la posizione della stessa sia rispetto allo schermo che alla falda acquifera. Pertanto, con l'ausilio dei Vigili del Fuoco del Gruppo NBCR Calabria, desiderosi di osservare direttamente, è stata realizzata preventivamente una ricerca di parti metalliche con un metal detector per escludere la presenza di carcasse in acciaio, fusti e

avvalorare l'ipotesi di sorgenti libere disseminate su un'area di 30 m², visto che i ratei equivalenti di dose registrati non incoraggiavano la presenza di morchie dell'industria petrolifera o residui TENORM^[ii], più volte ritrovate soprattutto nel territorio crotonese.

Figura 4 – 30 m² dei punti caldi



Se si applicano i dettami della radioprotezione^[iii,iv,v] e si considera un coefficiente di attenuazione massico (μ/ρ) per bitume/calcestruzzo pari a 0,175 cm²g⁻¹, una densità massica pari a 2.3 g·cm⁻³ con uno spessore (x) stimato di 15 cm - bitume e uno strato minimo di materiale inerte-e applicando la relazione [2] per il radioisotopo ²²⁶Ra, ipotizzando una sorgente puntiforme e in buona geometria^[vi] con un'energia pari a 186 keV (tabella 1, ICRP71, Pellicioni), si può stimare il rateo di dose equivalente della sorgente posta sotto al manto stradale.

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} [2]$$

Nel punto di massimo irraggiamento (I) è stato stimato un rateo di dose orario pari a 68.0 μSv/h, che alla distanza ipotizzata corrisponde ad un'attività inferiore a 10 MBq [3].

$$\dot{D} = \frac{\gamma}{d^2} \cdot A [3]$$

Dove D è il rateo equivalente di dose gamma, γ è la costante gamma in aria relativa ad uno specifico radionuclide [Gym²/hBq] e A è, l'attività della sorgente in Bq.

Il criterio di stima è stato reiterato nei diversi punti della mappa in cui tra l'altro l'incremento di dose risulta distribuito anche se in modalità disomogenea. Pertanto, avendo escluso la presenza di componenti in lega ferro- carbonio, a priori una gamma importante di dispositivi che contengono radio e in uso, sono stati esclusi come per esempio: rivelatori di fumo, testate di apparecchi industriali^[vii], componenti per la Brachiterapia manuale come i semi di radio, misuratori di livello, zavorre per nautica o aeronautica, tubi o condotte contenenti NORM in uso dell'industria fosfatica o petrolifera, generatori di fluidi radioattivi, parafulmini, orologi o parti militari come strumentazione di bordo per veicoli o mirini. I metasilicati fosforici, prodotti dall'industria chimica crotonese^[viii] impiegati come materiale di riempimento delle strade e per la pavimentazione e di nota conoscenza, potevano essere esclusi per due ordini di ragioni: la prima è l'intensità di dose che generalmente non supera mai 1 μSv/h e la seconda perché soltanto una parte di strada bitumata è interessata da contaminazione, nella quasi totalità delle altre parti asfaltate e il piazzale di accesso, era stato registrato solo fondo ambientale. L'area è stata interdetta e sottoposta a sequestro per contenere il rischio di eventuali esposizioni indesiderate, considerato che: dal punto di vista radiologico, le confortanti condizioni dell'asfalto e il fattore di occupazione del sito hanno contenuto notevolmente le valutazioni iniziali. Stante così le cose non vi era un aumento del rischio della componente dell'esposizione radiologica legata all'inalazione e/o ingestione di particolato atmosferico contaminato. Tuttavia, vista la natura radiologica e le attività stimate, il destino ultimo di

smaltimento di tale sorgente non era certamente quello individuato e presentava un elevato rischio potenziale di contaminazione delle persone e della natura dovuto soprattutto al territorio di locazione illecita delle sorgenti (R4).

Dunque, è stato programmato l'intervento di contenimento del rischio radiologico attraverso un'attività di scotico del manto stradale, finalizzata al recupero della sorgente o del materiale radioattivo. Muniti di dispositivi di sicurezza opportuni e noti, sono state eseguite le operazioni di dissepolitura di 8 sorgenti di radio 226, in tre giorni lavorativi, ricavando delle trincee negli intorni circolari precedentemente tracciati. Il ritrovamento (maggio 2020) è stato gestito applicando le disposizioni giuridiche in vigore che definiscono una sorgente orfana^[ix,x,xi] sigillata.

L'attributo orfana, viene conferito ad una sorgente sigillata la cui attività è superiore, al momento della sua scoperta, alla soglia stabilita nella tabella VII-I dell'allegato VII del decreto legislativo n. 230 del 1995, e che non è sottoposta a controlli da parte delle Autorità perché non lo è mai stata, è stata abbandonata, smarrita, collocata in un luogo errato, sottratta illecitamente al detentore o trasferita ad un nuovo detentore non autorizzato o senza che il destinatario sia stato informato. Anche l'art.7 del neo decreto legislativo n.101/2020 al comma 141, mantiene lo stesso impianto delle norme giuridiche di settore vigente all'atto della scoperta. Nel caso di specie le attività stimate (Bq) per le sorgenti rinvenute, hanno un'attività superiore a 10 kBq, pertanto si può parlare di sorgenti orfane: sorgenti di radio (^{226}Ra) ad alta attività, formate da capsule di colore bianco a forma emisferica, con un campo di radiodiffusione omnidirezionale, facilmente confondibile con una pietra di fiume (fig.5).

Figura 5 – capsula di radio 226 appartenente alla testata di un parafulmine Helita G



Viste le caratteristiche dell'area e il buon stato di conservazione dell'asfalto, considerato che trattasi di sorgenti sepolte l'unico rischio attribuibile è quello assegnato alle persone che hanno realizzato lo smaltimento illecito, dopo aver accuratamente separato e differenziato i supporti metallici dalle capsule li hanno affogate nel bitume; e a quanti, sempre presumibilmente, persone appartenenti al mondo del lavoro che hanno frequentato, inconsapevolmente l'area calda. L'esposizione complessiva degli operatori Arpacal durante le operazioni di dissepolitura e pulitura delle sorgenti per individuarne la fonte, ha interessato un valore di dose efficace pari a 3 μSv .

RISULTATI

Le sorgenti rinvenute sono tutte della stessa tipologia, sorgenti orfane^[xi] sigillate di radio 226 (Tab.1). Consapevoli di avere rinvenuto sorgenti orfane, sepolte ed opportunamente occultate, posizionate verosimilmente tra 15-20 cm di profondità al di sotto di una strada di servizio ben conservata di una area industriale, è stato attivato il piano di gestione delle sorgenti orfane approvato e condiviso dalla Prefettura di Vibo Valentia.

Tabella 1 – caratteristiche radiologiche delle sorgenti rinvenute

Attività delle sorgenti	Coordinate		Attività MBq	Costante gamma [Gym2/hBq]	distanza (m)	rateo di dose gamma [μGy/h]
	X[E]	Y[N]				
trincea 1 (1 sorgente)	594116	4285246	8,8	2,23E-13	0,15	88±9
trincea 1 (1/2 Sorgente)	594116	4285246	2,2	2,23E-13	0,15	20±4
trincea 2 (2 sorgenti)	594119	4285244	15,4	2,23E-13	0,15	154±17
trincea 3, 4 (5 sorgenti + 8 frammenti)	594119	4285300	26,4	2,23E-13	0,15	266±14
Punti di osservazioni Arpacal						

Nella zona calda dell'area industriale, complessivamente sono state rinvenute (fig.6):

- Nr. 8 sorgenti sigillate in porcellana intrisa di solfato di radio 226 con picchi di energia fotonica che ricadono un intervallo di energia compreso tra 0.186 e 2.2 MeV (fig.re 7 e 8)
- Nr. 9 frammenti di porcellana intrisa di solfato di radio 226;

Si comprende facilmente che le attività delle sorgenti rinvenute sono differenti, in principio quasi certamente uguali, per via delle dimensioni non conformi delle stesse. Il ritrovamento di frammenti ne è una testimonianza.

Figura 6 – complesse operazioni di recupero delle sorgenti e dei frammenti



Si può ipotizzare che in media una sorgente avesse almeno in origine, un'attività compresa tra 8–10 MBq. L'operazione di ricerca dei frammenti di porcellana è stata la parte più complessa, viste le caratteristiche confondenti dell'asfalto.

Figura 7 -Spettro della zona calda 01 – spettrometro Inspector 1000 Canberra

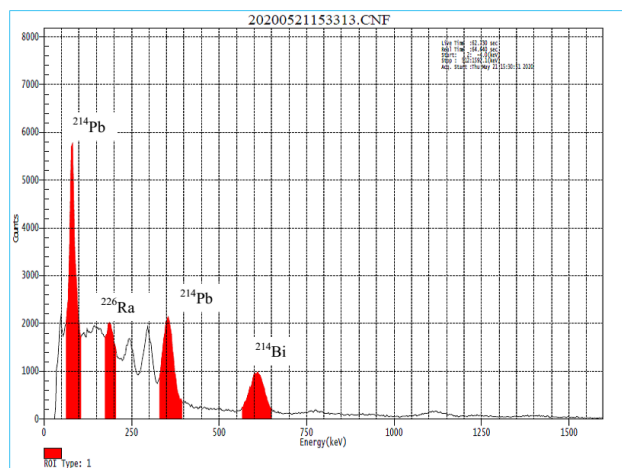
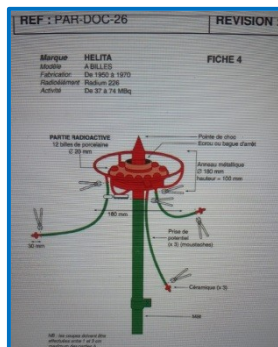


Figura 8 -spettrometro Verifinder con sonda al bromuro di lantanio



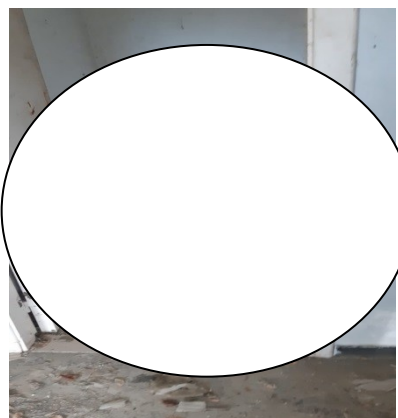
In una delle sorgenti riprovate (fig.5), è stato possibile riconoscere il nome della azienda produttrice, e quindi risalire,verosimilmente al dispositivo industriale costituito da una testata portasorgenti e una struttura in ferro–carbonio non presenti nell'asfalto, che in principio hanno sicuramente ospitato le sorgenti di radio: un parafulmine radioattivo con 8sorgenti di radio 226 della Helita srl.Nella figura 9è stato riportato quello che secondo le nostre ricostruzioni, è lo schema primario del dispositivo primordiale, sottoposto ad una attenda e ci si augura anche consapevole operazione di separazione dei materiali costituenti la struttura portante e la componente radioattiva, che è stata poi sepolta nel tratto di strada indicata come zona calda. Ci sono infatti molti elementi comuni e presenti nel nostro ritrovamento, anche se mancano secondo le nostre ipotesi, altre sorgenti che non sono state rinvenute rispetto allo schema proposto.Tutto il materiale rinvenuto, è stato opportunamente riposto in un pozzetto in cemento, e allocato in un bunker temporaneo in attesa di essere affidato agli operatori di settore per lo smaltimento definitivo. A circa un metro e mezzo di distanza dal pozzetto, si registrano livelli di radioattività pari al fondo ambientale.

Figura 9 – schema primario del parafulmine al radio 226



Gli hot spot dell'area industriale sono stati gestiti. A seguito della rimozione, la zona calda presenta livelli di radioattività tipici del fondo ambientale. Verifiche analitiche su campioni di suolo a contatto con le sorgenti hanno registrato valori di radioattività di fondo. Le operazioni di gestione del rischio radiologico, sono state dichiarate concluse con il confinamento delle biglie di radio(fig.10) e la verifica del bunker provvisorio.

Figura 10 – pozzetto e “bunker temporaneo”
per le biglie radio 226



CONCLUSIONI

Ogni anno nel nostro paese e su tutto il territorio nazionale vengono smaltite un numero imprecisato di sorgenti radioattive, alcune delle quali o quasi tutte formalmente sottoposte a procedimento amministrativo di detenzione, in cui gli enti di controllo hanno l'obbligo di verificare. Il fine vita di queste sorgenti è una fase ben codificata giuridicamente ma la realtà, come dimostra questo esempio, è ben diversa. Pertanto, innalzare i livelli di attenzione anche attraverso, l'applicazione di una procedura di contenimento del rischio radiologico, come BonRad, impiegata in prima istanza per una vera attività di prevenzione per i lavoratori, è un compito delle istituzioni utili a controllare il ciclo di vita di una sorgente radioattiva, dalla culla alla tomba. Una sorgente radioattiva viene progettata e prodotta per nobili funzioni, quando viene riposta a giusto riposo merita un'eguale gestione, altrettanto dignitosa e in sicurezza per la natura e gli uomini.

BIBLIOGRAFIA

-
- [ⁱ] D.lgs n.49/2010, *Attuazione della direttiva 2007/60/CE/relativa alla gestione del rischio alluvioni*
 - [ⁱⁱ] Naturally Occurring Radioactive Materials: materiali con un contenuto importante di radioattività naturale
 - [ⁱⁱⁱ] *Extent of Environmental contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and technological options for mitigation*. Technical Reports series n. 419. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003
 - [^{iv}] IAEA, *Manual on Laboratory Testing for Uranium ore processing*, Technical Reports series n. 313, Vienna 1990
 - [^v] UNSCEAR 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation: Vol I. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes* United Nations, New York, 2000 (www.unscear.org/unscear/en/publications)
 - [^{vi}] Maurizio Pellicioni, *Fondamenti fisici della radioprotezione*, Pitagora Editrice Bologna 1993
 - [^{vii}] Santi Spartà, *Atlante delle sorgenti radioattive*, Campoverde edizione 2008
 - [^{viii}] *Norm nel territorio di Crotone: stato della contaminazione, stime dosimetriche e valutazioni radioprotezionistiche*, S.Procopio, C. Nuccetelli, Congresso Nazionale AIRP di Radioprotezione Venezia 2012
 - [^{ix}] Decreto legislativo n.52/07, ancora in vigore ma abolito dalla direttiva 59/2013/Euratom
 - [^x] Decreto legislativo n.230/95 s.m.e i.(tab.1 del d.lgs.n.230/95)
 - [^{xi}] Task 01.02.02 *Linee guida per la sorveglianza radiometrica di rottami metallici e altri rifiuti*, ISPRA 2002