



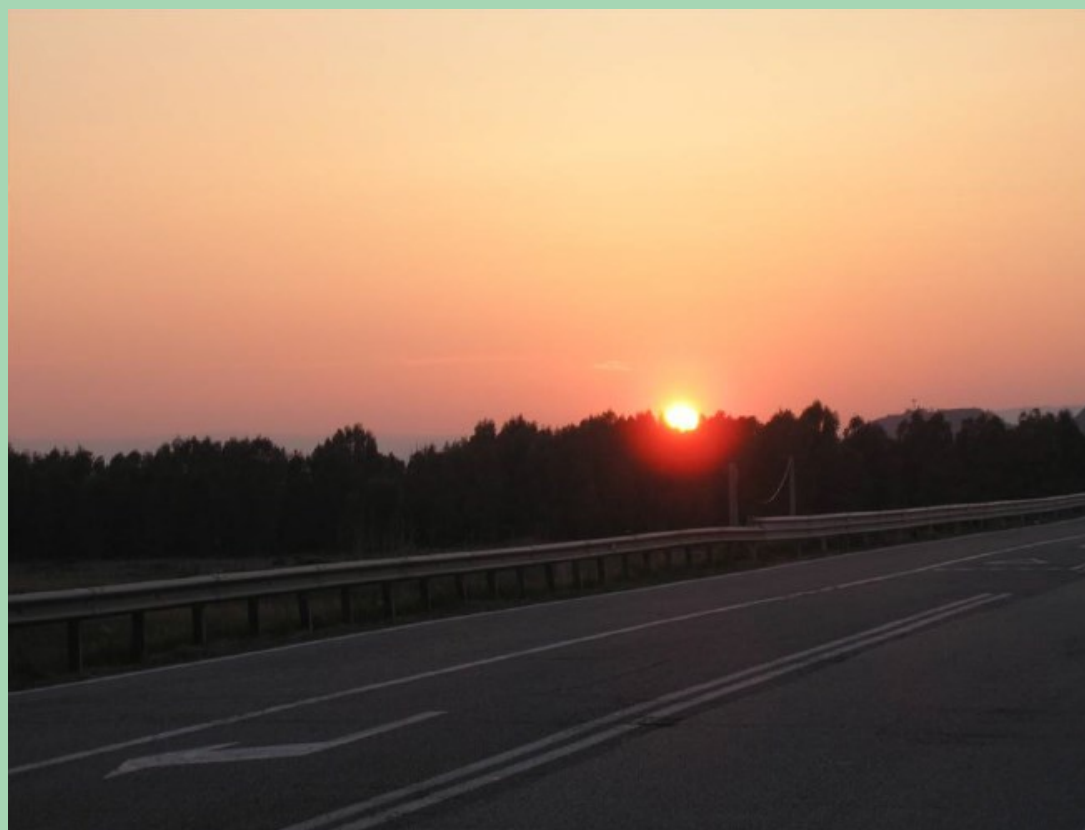
Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

Direzione Scientifica

CENTRO REGIONALE COORDINAMENTO MONITORAGGI AMBIENTE E SALUTE

LA CONTAMINAZIONE DA NORM E TENORM NELLA REGIONE CALABRIA

MAPPA DEI SITI CARATTERIZZATI DA RADIOATTIVITÀ NATURALE IMPROPRIA



RADIAZIONI IONIZZANTI



INDICE

PREMESSA	5
MATERIALI E METODI	14
LE OSSERVAZIONI SPERIMENTALI E I RISULTATI	16
BIBLIOGRAFIA.....	19

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: <i>principali processi produttivi che hanno caratterizzato il territorio crotonese</i>	7
Figura 2: <i>fondo radioattivo nel territorio crotonese (ultimi cinque anni)</i>	8
Figura 3: <i>valori di fondo mese di novembre 2018 rete Ispra – ARPA.Cal</i>	8
Figura 4: <i>influenza dell'attività solare alla radiazione cosmica</i>	9
Figura 5: <i>rateo di dose - altitudine e latitudine</i>	10
Figura 6: <i>porto industriale di Crotona molo Giunti</i>	11
Figura 7: <i>archivio storico ARPACAL, metasilicati contenenti TENORM</i>	12
Figura 8: <i>carotaggio nella città , profilo verticale di un carotaggio</i>	12
Figura 9: <i>ritrovamento nel 2016, vespaio di un capannone industriale</i>	13
Figura 10: <i>livelli di concentrazione di attività di radon</i>	13
Figura 11: <i>concentrazione di attività di isotopi radioattivi presenti nei residui contenenti TENORM</i>	14
Figura 12: <i>contaminometro superficiale</i>	15
Figura 13: <i>Scintillatore plastico e spettrometro da campo</i>	15
 Carta 1: <i>prima mappa delle aree contaminate nel territorio crotonese</i>	 17
Carta 2: <i>livelli di radioattività ambientale nelle aree interessate</i>	17
Carta 3: <i>area contaminata in provincia di Crotona</i>	18
Carta 4: <i>area contaminata in provincia di Crotona</i>	18

IL GRUPPO DI LAVORO

ARPACAL

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

Via Lungomare snc – Loc. Giovino, 88100 Catanzaro Lido - www.arpacal.it;

tel. 0961731268 int.20, fax. 096173868;

Supervisione:

Dr. Francesco Nicolace – Direttore Centro Regionale Coordinamento e Monitoraggi Ambiente e Salute

Autori:

LABORATORIO FISICO ETTORE MAJORANA DI CATANZARO (fisico.cz@arpacal.it)

- ☐ Salvatore Procopio, s.procopio@arpacal.it;
- ☐ Salvatore Coppola, s.coppola@arpacal.it;

DIPARTIMENTO PROVINCIALE ARPACAL DI CROTONE (dip.Kr@arpacal.it)

- ☐ Rosario Aloisio, r.aloisio@arpacal.it;

Prefazione

Il Centro Regionale Coordinamento e Monitoraggi Ambiente e Salute, istituito in seno alla Direzione Scientifica di ARPACal, svolge funzioni di coordinamento regionale, di studio e di ricerca volti alla conoscenza dello stato dell'ambiente e delle possibili connessioni tra i fattori di pressione ambientale e la salute collettiva promuovendo, fra l'altro, anche la diffusione di dati tecnico scientifici sullo stato dell'ambiente. In questo contesto il "Centro" ha promosso lo studio, di seguito presentato, poiché le attività lavorative che prevedono l'impiego, il deposito e la produzione di materiali contenenti NORM ^[1] possono determinare un aumento dell'esposizione radiologica dei lavoratori e/o della popolazione. L'impatto ambientale delle "attività contenenti NORM" è stato in passato lungamente sottovalutato, con conseguente contaminazione chimica e radiologica di vaste aree del territorio nazionale. La zona di Crotone costituisce un' importante caso studio della tematica affrontata poiché, la città Ionica è stato polo dell'industria chimica italiana fino all'inizio degli anni '90; in quest'area sono stati dispersi residui di lavorazione e materiali contenenti NORM e TENORM, in particolare fosforiti e palte fosfatiche. Ad aggravare ulteriormente la situazione, l'utilizzo di una grande quantità di questi materiali, per il riempimento di strade, piazzali e cortili scolastici viste le loro buone proprietà meccaniche. Pertanto, essendo la tematica affrontata nel presente documento di grande interesse in termini di salvaguardia dell'ambiente e della Salute Pubblica, il Centro Regionale Coordinamento e Monitoraggi Ambiente e Salute ha inteso sostenere lo studio: " Contaminazione da NORM e TENORM nella Regione Calabria - mappa dei siti caratterizzati da radioattività naturale impropria", coordinando un azione sinergica tra i dipartimenti provinciali ARPACal di Catanzaro e di Crotone i cui risultati si sono concretizzati nel documento di seguito presentato.

Il Direttore Scientifico f.f.
Il Direttore del Centro Regionale Coordinamento
e Monitoraggi Ambiente e Salute
Dr. Francesco Nicolace

[¹] Naturally Occurring Radioactive Materials: materiali con un contenuto importante di radioattività naturale

PREMESSA

Le attività lavorative che prevedono l'impiego, il deposito e la produzione di materiali e/o di residui contenenti NORM^[2] possono determinare un aumento dell'esposizione radiologica dei lavoratori e/o della popolazione. Le "attività NORM" sono quindi disciplinate dalla normativa italiana sulle radiazioni ionizzanti (Decreto Legislativo n. 230/95 e s.m. e i.), in cui sono previsti controlli e valutazioni dell'esposizione alle radiazioni ionizzanti per i lavoratori e la popolazione, per le attività lavorative elencate nell'Allegato I – bis dello stesso decreto.

In questo documento, sulla base di osservazioni sperimentali già effettuate e in fase di aggiornamento, è stata disegnata una mappa sullo stato della contaminazione del territorio di Crotone e provincia. Allo stato questa parte della superficie calabrese risulta interessata da questo tipo di contaminazione, non si esclude ovviamente nessuna possibilità di trovare aree contaminate al di fuori della provincia crotonese. Con questi dati sono state effettuate stime dosimetriche per la popolazione, in particolare in alcuni punti "caldi" del territorio e in vaste aree dove è presente un'elevata concentrazione di residui soggetti all'azione degli agenti atmosferici. Vengono inoltre esposte delle procedure ormai consolidate di tipo radioprotezionistico finalizzato al contenimento del rischio derivante dall'esposizione durante le operazioni di rimedio e tutt'ora praticate soprattutto in ambito territoriale: capping o bonifica.

Sin dal 1928 le attività industriali di Crotone, la città di Pitagora, sono state caratterizzate dalla presenza delle più importanti industrie chimiche italiane. A partire dalla prima produzione di acido solforico, per ossidazione del solfuro di ferro ricavato dalle pirite, con il quale venivano attaccate le *fosforiti* (fosfati di calcio, ricche di ²³⁸U – uranio, ²³²Th – torio). La materia prima importata prevalentemente dall'Algeria, veniva impiegata per produrre il perfosfato di calcio a basso tenore di anidride fosforica (Fig. 1). L'estrazione e la lavorazione del difosfato (fosforite) era la base per la produzione di prodotti fosforosi, tra cui fertilizzanti fosfatici, detersivi, mangimi, additivi elementari e pesticidi. Le lavorazioni che più destano interesse radioprotezionistico, a causa della precipitazione di residui NORM come i fosfogessi, sono la produzione di acido fosforico per via umida, alcuni tipi di produzione che prevedono l'attacco nitrico delle fosforiti e la produzione di fosforo elementare per via termica.

Nell'industria dei fertilizzanti dell'impianto di Crotone sono stati prodotti circa $5 \cdot 10^3$ tonnellate di fosfogessi e, in quantità sicuramente inferiore ma non nota, silicati di colore grigio azzurro. Questi sono stati in parte smaltiti in "discariche per inerti", in prossimità della costa e della foce del fiume Esaro, discariche a mare Ex Armeria e Farita Trappeto (ex Fosfotec) e in parte, per via delle buone proprietà meccaniche, utilizzati come materiale di riempimento per strade, porti e piazzali. Nello studio vengono classificate e censite "nuove" aree oltre a quelle già note che ospitano gli impianti e le cosiddette discariche a mare, Ex Armeria e Farita Trappeto (ex fosfotec), ormai codificate per la presenza di contaminanti di tipo chimico e fisico. L'elenco dei siti è stato passo dopo passo aggiornato, a seguito delle attività congiunte di numerosi enti

oltre ad Arpacal, come la Provincia e il comune di Crotone, la Prefettura di Crotone che a partire dall'anno 2016 ha istituito con decreto prefettizio, un'apposita commissione tecnica permanente per la valutazione dei progetti di messa in sicurezza o di bonifica su aree contenenti NORM. Il censimento di queste aree che è destinato purtroppo ad assumere sembianze di incompletezza, contempla superfici del territorio crotonese, come per esempio il porto industriale della città di Crotone (Molo Giunti) dove sono state rinvenute quantità importanti di metasilicati contenuti TENORM, utilizzati massicciamente come materiale di riempimento sotto uno strato di circa 20 cm di calcestruzzo. Ogni area di cui si dà menzione è stata sottoposta ad una caratterizzazione per definirne l'estensione della contaminazione e approntare un piano di messa in sicurezza in emergenza come nel caso del porto, o in alternativa sottoposto ad un progetto di bonifica; esempio, il vespaio di una ex cabina Enel in prossimità del porto di proprietà di Syndial.

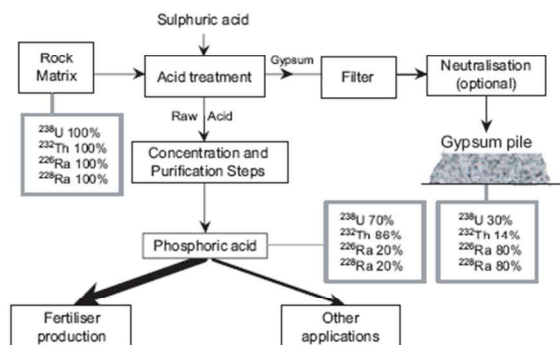


FIG. 25. Flow diagram of the sulphuric acid phosphorus extraction process.

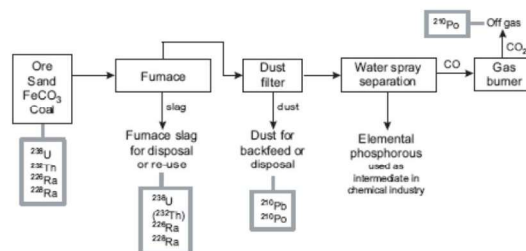


FIG. 26. Flow diagram of thermal production of elemental phosphorus.

Figura 1:principali processi produttivi che hanno caratterizzato il territorio crotonese

Il campo di radioattività naturale nel territorio crotonese può essere assunto come il valore medio del rateo di dose in aria, calcolato su una popolazione di oltre $61 \cdot 10^3$ dati, registrati negli ultimi cinque anni, ed è pari a 109 ± 3 nGy h^{-1} [Figura 2]. Con frequenza oraria stabilita, ogni giorno viene registrato il fondo ambientale in più punti del territorio calabrese, come per esempio si evince dalla Figura 3, i livelli di rateo di dose in aria annotati nel mese di novembre 2018 a diverse altitudini sopra il livello del mare nelle città di Mongiana e Crotone.

Dalla rete di sorveglianza per la radioattività ambientale Ispra–Arpacal, impiegata e gestita dall'Arpacal in Calabria dal 2010, *il territorio calabrese* è interessato da un campo ambientale radioattivo che ricade in un intervallo di valori compreso tra i 96 -126 nGy h^{-1} .

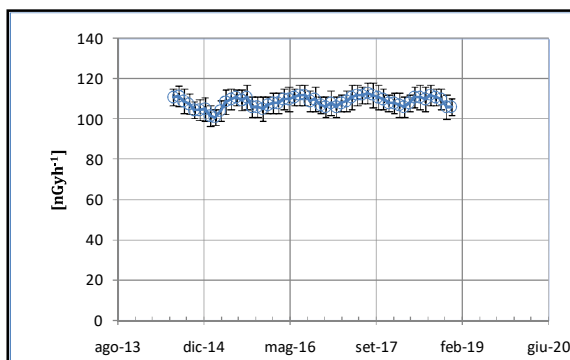
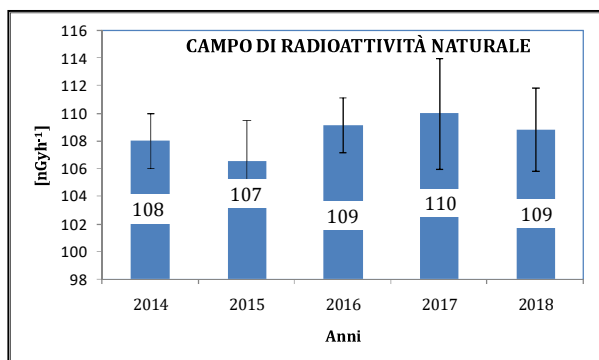


Figura 2: fondo radioattivo nel territorio crotonese (ultimi cinque anni)

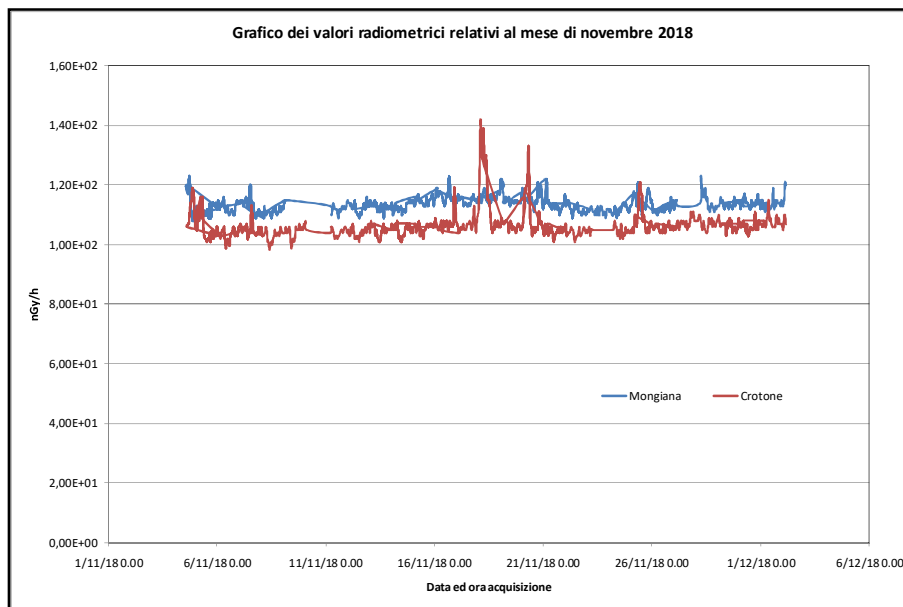


Figura 3: valori di fondo mese di novembre 2018 rete Ispra – ARPA.Cal

Il campo radioattivo naturale^[i] è generato da due principali componenti che si differenziano per l'origine: cosmica e terrestre. Una componente extraterrestre dei raggi cosmici e l'altra dovuta alla geologia del territorio. La componente cosmica diviene importante ad una altezza sopra il livello del mare, intorno ai 1000 metri. A livello del mare, la radioattività dipende soltanto dalla componente generata dal suolo. Negli ambienti confinati, si può considerare un altro contributo prodotto dai materiali da costruzione. La prima componente di tipo spaziale è funzione dell'altitudine e della latitudine, l'altra quasi esclusivamente di tipo gamma^[ii] dipende dalle caratteristiche del suolo. Una relazione semplice con cui è possibile stimare il flusso di ioni radiativi che possono investire un soggetto presente sulla Terra nell'unità di tempo e per unità di massa è data dall'equazione [1]:

$$\Psi_{Naturale} \left(h; \frac{Bq}{kg}; t \right) = \Psi_{Cosmica}(h, t) + \Psi_{Terrestre} \left(\frac{Bq}{kg}, t \right) \quad [1]$$

La popolazione mondiale a seconda delle diverse regioni della Terra è sempre e comunque esposta a radiazioni ionizzanti da sorgente naturali. La Terra è continuamente bombardata da particelle ad alta energia, cariche positivamente (protoni, alfa, nuclei pesanti), che risentono dell'azione del campo magnetico terrestre. In particolare vi è, una componente solare fatta quasi per intero da protoni generati dalle esplosioni nucleari del Sole. La parte esterna del Sole, la fotosfera, è caratterizzata da una violenta attività dovuta all'interazione dei gas solari con il campo magnetico solare. La superficie brillante^[iii] della fotosfera non è omogenea ma costellata da macchie, variabili per dimensioni, forma e soprattutto per numero. Tra il 1645 e il 1715 poche macchie solari coincisero con un abbassamento della temperatura terrestre di circa 1°K (*Minimo di Maunder*). Queste macchie, sono piccole aree scure rispetto alla superficie circostante nelle quali si

distingue una zona centrale detta ombra, circondata da una fascia più chiara denominata penombra. Le macchie solari sono punti freddi della fotosfera, la loro temperatura è circa 1500°K inferiore rispetto a quella solare. Il numero di macchie presenti sulla fotosfera non è costante e passa da valori minimi a volte assenza di macchie, fino a valori massimi con una periodicità che ha permesso di individuare un ciclo di undici anni (ciclo di Schwabe). La presenza di macchie sul disco solare viene rappresentata con il numero di Wolf (R). La variazione dell'attività solare, la sua ciclicità e l'influenza sulla irradiazione solare è confermata da misure effettuate direttamente con radiometri spaziali durante gli anni di massima attività solare (1980-1990, corrispondente al 21° e 22° ciclo solare). La strumentazione spaziale ha registrato un incremento dello 0,1% dell'irradiazione solare rispetto al 1986. L'influenza della variazione dell'attività solare sulla produzione di raggi cosmici è dimostrata da una valutazione di dose ricevuta durante un viaggio di ritorno transoceanico tra New York e Francoforte^[iv](Fig.4).

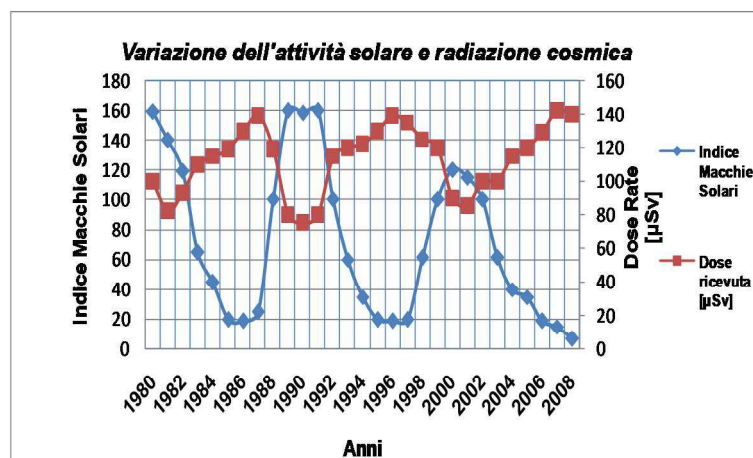


Figura 4: influenza dell'attività solare alla radiazione cosmica

I raggi, denominati cosmici, interagiscono con i nuclei dei costituenti atmosferici producendo una cascata di interazioni e reazioni secondarie. I più noti radionuclidi cosmogenici prodotti sono il ^3H ed il ^{14}C . Quasi tutti i raggi cosmici primari vengono assorbiti dallo strato più alto dell'atmosfera e quelli che giungono sulla Terra, i raggi cosmici secondari, sono costituiti da mesoni, elettroni, fotoni, neutroni e protoni. L'intensità dei raggi cosmici è minima nelle aree equatoriali e massima ai poli. A causa dell'esistenza del campo magnetico della Terra l'intensità dei raggi cosmici cambia a seconda della latitudine. Per esempio, a circa 50 gradi di latitudine nord, l'esposizione da raggi cosmici è di circa 30 - 40% superiore rispetto alle aree con 15 gradi di latitudine su entrambi i lati dell'equatore (Fig.5). In generale è stato dimostrato che il livello di dose aumenta con l'altitudine e con la riduzione dello spessore d'aria che funge da schermo. Al top della troposfera l'esposizione alla radiazione cosmica è mediamente circa 150 volte^[v] più elevata rispetto al livello del mare. La radiazione cosmica è importante per i lavoratori e le persone del pubblico che utilizzano gli aerei, in particolare per i voli a lunga percorrenza. La normativa italiana per esempio nell'allegato I bis del decreto legislativo n.241/00 ha stabilito i criteri per la valutazione della dose al personale navigante che sia suscettibile di ricevere, per i voli effettuati, una dose efficace superiore a 1 mSv per anno solare. Nel caso in cui vengano di regola, effettuati voli a quote uguali o superiori a 15.000 metri, la valutazione della dose efficace ricevuta dal personale navigante è eseguita oltre che avvalendosi di codici di calcolo, mediante dispositivi di misura attivi in grado di rivelare variazioni significative di breve durata dei livelli di radiazioni ionizzanti dovuti ad attività solare.

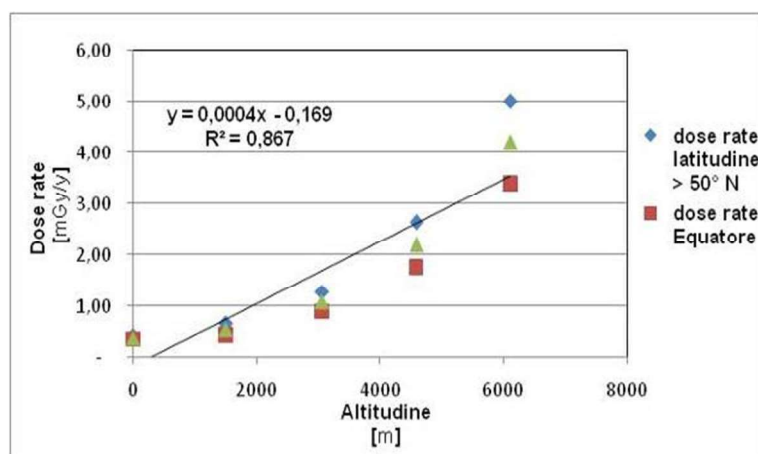


Figura 5:rateo di dose - altitudine e latitudine

La componente terrestre della radioattività naturale è misurabile nei terreni, nelle rocce e nei minerali così come nelle matrici ambientali dove vi è presenza di radionuclidi naturali sia di origine cosmica e che terrestre come il ^{40}K (Potassio) o quelli appartenenti alle tre catene di decadimento radioattivo naturale del ^{238}U (Uranio), ^{232}Th (Torio) e ^{235}U (Uranio). La radioattività naturale abitualmente intesa come fondo ambientale radioattivo dipende dalla presenza di radionuclidi naturali nei primi strati della superficie della Terra ed è dovuta agli emettitori gamma. In generale è stato dimostrato che la radioattività naturale presente negli ambienti confinati è maggiore rispetto a quella che si misura in ambiente esterno. È noto che i materiali da costruzione degli edifici e come gli stessi ambienti abitativi sono costruiti rispetto al suolo, possono determinare un incremento dei livelli di radioattività naturale.

Si stima che la popolazione mondiale in media per effetto della radioattività naturale (terrestre e cosmica) può essere esposta ad una dose media efficace annua per via esterna pari a 0,9 mSv. La radiazione naturale provoca anche una esposizione interna quando alcuni radionuclidi naturali entrano nel corpo umano per inalazione e/o ingestione. Quella generata dal radon (^{222}Rn) in particolare, si stima essere pari a 1,2 mSv all'anno. Da qui, la media mondiale per la dose annua effettiva sia da esposizione esterna ed interna generata dal fondo radioattivo naturale in un anno è pari a 2,4 mSv^[vi].

Ci sono popolazioni della Terra, esposte a fondi naturali che generano una dose annua circa 20-30 volte il valore di quella calcolata per la popolazione mondiale. Recenti studi^[vii,viii] epidemiologici, su popolazioni esposte a fondi di radioattività naturale elevati tra i 70 e 260 mSv all'anno, soprattutto in alcune aree della Cina, Iran e India, non evidenziano correlazioni con patologie tumorali. Nel caso per esempio degli abitanti di Ramsar, in Iran, discendenti di numerose generazioni esposte ad altissimi fondi radioattivi naturali, le analisi citogenetiche mostrano differenze cromosomiche tra gli abitanti dell'area rispetto a quella parte di popolazione esposta a fondi radioattivi più bassi e meno interessanti. In nessun caso però, si registra un aumento dei tumori per la popolazione ma una risposta adattativa delle cellule viventi all'esposizione di fondo radioattivo più elevato. Non vi è differenza alcuna tra i sistemi immunitari comparati e non ci sono alterazioni ematologiche tra i gruppi di persone studiati. Ciò presuppone

che vi sia stata nel corso dei secoli una risposta adattiva del sistema immunitario delle popolazioni che sono esposte a fondi ambientali radioattivi.

Nel territorio crotonese interessato da anomalia radiometrica generata dalla presenza di scarti di lavorazione derivanti dalla industria chimica e contenenti radioattività naturale, in alcuni punti si arriva a 6-7 volte il fondo naturale; trattandosi di radioattività naturale derivante da attività antropiche, l'interazione con l'organismo umano è abbastanza diversa e non facilmente codificata. Questa è la ragione per cui si parla in genere di *radioattività naturale impropria*, cioè non tipica del luogo, ma prodotta da attività umane dedite alla trasformazioni di materie prime ricche di uranio (^{238}U), e torio (^{232}Th). Uno dei primi ritrovamenti di aree contaminate da TENORM, fu intorno al 2011, proprio il *molo giunti*. Durante alcune operazioni di controllo *in situ* con strumentazione portatile, sono stati verificati ratei di dose gamma in aria in una area franata del porto industriale attorno al molo d'ingresso. Erano presenti dei silicati di diversa pezzatura, inizialmente parte integrante del calcestruzzo, che costituisce la banchina del molo soggetta all'attività di erosione del mare. I silicati, come confermato dalle analisi successive, presentavano un contenuto di radioattività naturale più elevato rispetto a quello del suolo nella zona di Crotone. Nell'area della frana (circa 550 m²) la presenza massiccia di questi materiali determinava un rateo di dose in aria ad un metro di $590 \pm 39 \text{ nGy h}^{-1}$ e, in tutta la parte di molo recintata per impedire l'accesso al pubblico, un valore medio di $266 \pm 12 \text{ nGy h}^{-1}$, da confrontare con il fondo medio della zona di $95 \pm 15 \text{ nGy h}^{-1}$. Le misure a contatto con i silicati di diversa pezzatura presenti nell'area recintata, hanno rivelato in media incrementi di dose gamma superiori a 5 volte il fondo. Analoghe misure effettuate con la sonda beta – gamma hanno dato un conteggio doppio rispetto a quello del fondo medio del territorio (19 cps).

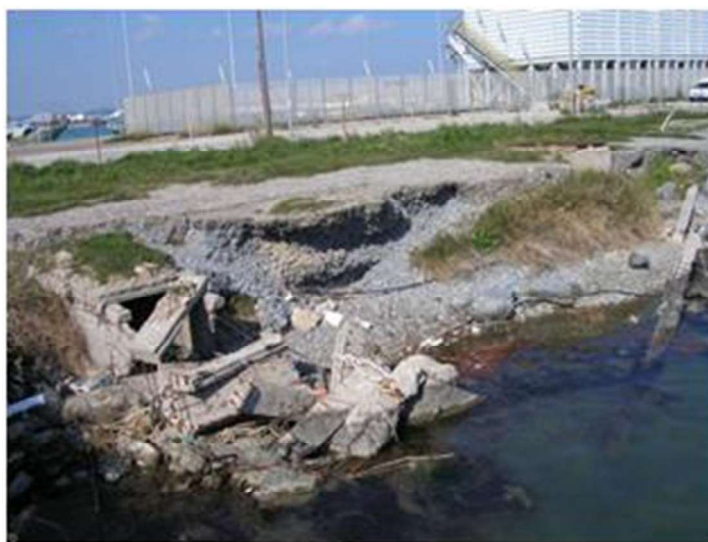


Figura 6: porto industriale di Crotone molo Giunti

Le Figure 6,7,8 mostrano le diverse forme in cui è possibile trovare i residui contenenti TENORM, in grado di determinare un' anomalia radiometrica, intesa come un aumento dei livelli di fondo ambientale oltre due – tre volte il valore di $109 \pm 3 \text{ nGy h}^{-1}$, assunto come valore medio di riferimento.

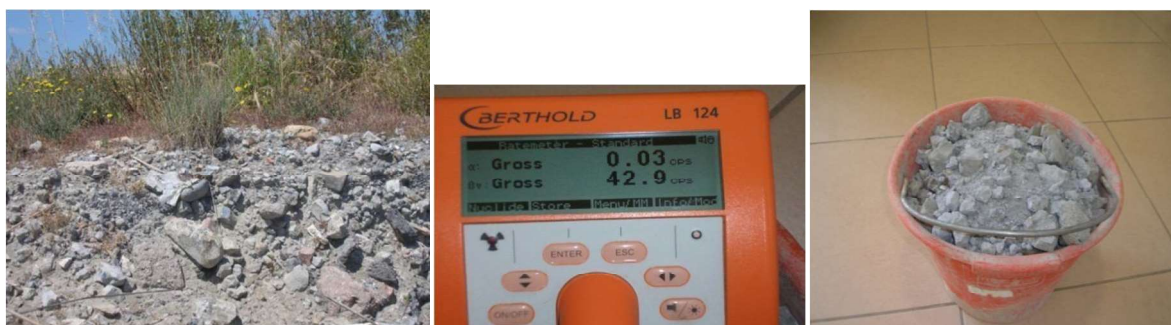


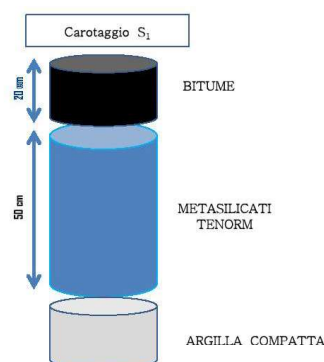
Figura 7:archivio storico ARPACAL, metasilicati contenenti TENORM

Di seguito viene proposto il primo dei due schemi di impiego del residuo di lavorazione più largamente usato come riempimento di un fondo scavo (Figura 8). Dal profilo verticale di un carotaggio delle vie o strade dove è stato impiegato, si trova uno strato di bitume, lo spessore dei metasilicati, contenente TENORM e poi uno strato di argilla compatta.

1° schema d'impiego



Figura 8: carotaggio nella città



profilo verticale di un carotaggio

2° schema d'impiego: metasilicati impiegati per il riempimento del vespaio di ambienti confinati indoor, con un conseguente aumento dei livelli di radon negli ambienti di vita.

Fino al 2015, il ritrovamento di metasilicati fosforici e l'acquisizioni di informazioni relative, era stata per il laboratorio Fisico Ettore Majorana dell'Arpocal una vera attività di tipo istituzionale, Tuttavia, erano già noti diversi elementi e curiosità scientifiche per allestire un esperimento, denominato poi *Mary's House*. Un modello di abitazione in scala, ottenuto con criteri costruttivi in voga alla fine degli anni 70 nella città di Crotone, il cui vespaio era stato riempito con metasilicati di fosforite^[ix], prelevati dall'area industriale. L'obiettivo era quello di stimare l'incremento dei livelli di concentrazione di radon in ambienti indoor, dove era stato impiegato materiale uranifero, essendo l'uranio il progenie del radon. I risultati dimostrarono che l'impiego di metesilicati fosforici in ambienti indoor, generano un incremento improprio della concentrazione di attività di radon. Nell'anno 2016, invece è stato applicato questo risultato per individuare una

contaminazione da TENORM, proprio nel capannone richiamato in figura 9. Da qui il secondo schema di impiego dei residui fosforici dell'industria chimica, usati come riempimento dei vespai degli ambienti confinati.

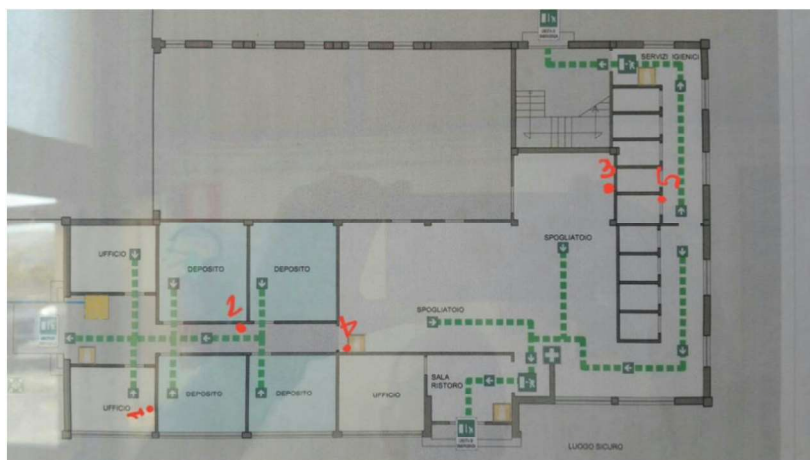


Figura 9: ritrovamento nel 2016, vespaio di un capannone industriale

La figura 10, mostra come la concentrazione di attività di radon, registrata nell'ambiente indoor sopra richiamato, raggiunga livelli di concentrazione di radon maggiori di quelli tipici del luogo $50 - 70 \text{ Bq/m}^3$. Come è noto, il radon è un gas radioattivo naturale, appartenente alla catena dell'uranio ^{238}U ed è classificato dalla Organizzazione Mondiale della Sanità come cancerogeno certo di gruppo 1. Negli ambienti di vita, luoghi di lavoro o abitazioni private, ove è stato impiegato materiale contenente TENORM vi è un aumento considerevole della radioattività naturale.

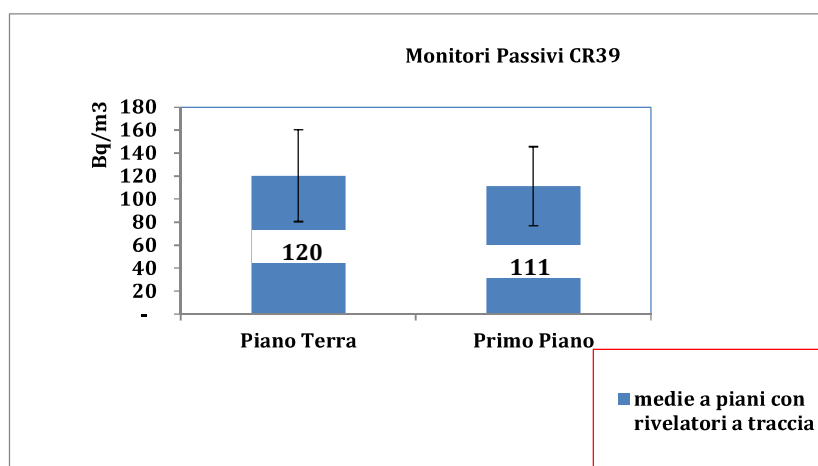


Figura 10: livelli di concentrazione di attività di radon

In generale il materiale contenente TENORM è presente in tutti i siti censiti e ha caratteristiche di radioattività ambientali simili. La figura 11 mostra alcune analisi di laboratorio realizzate su campioni di un ritrovamento (complesso ex Ciapi Regione Calabria) con due tecniche di analisi da laboratorio diverse ma confrontabili. Salvo in alcuni casi specifici dove si sono verificate precipitazioni chimiche particolari, o con solubilità in ambiente a pH acido, si possono

raggiungere valori di concentrazione di attività superiore ai 1200 – 1300 Bqkg⁻¹ di ²³⁸U e/o di radio ²²⁶Ra, considerato che per quanto attiene ai metalisilicati quasi sempre viene conservato l'equilibrio secolare, tra il capostipite e la progenie.

Campioni (61): fosforosi prelevati Ciapi - Crotone	silicati Scuola ex	ICP- Massa [Bq/kg]	Spettrometria Gamma [Bq/kg]
Concentrazione di attività ²³⁸ U		1253±182	940±45
Concentrazione di attività ²³² Th		30±4	10±2

Tab.1:caratteristiche radiometriche dei silicati fosforosi

Figura 11: concentrazione di attività di isotopi radioattivi presenti nei residui contenenti TENORM

MATERIALI E METODI

Le misure sono state realizzate adoperando la seguente strumentazione (figure 12,13):

- ✓ Automess - Scintillatore Plastico rivelatore Sonda N.159906 con Certificato di Taratura N.LAT 013 2016 del 11/01/2016;
- ✓ Misuratore universale tipo BERTHOLD modello LB123 con le seguenti sonde:
 - Contaminometro per la rivelazione delle radiazioni beta-gamma tipo LB6357;
 - Contatore proporzionale per la rivelazione della radiazione gamma tipo LB6006 con range di misura $[10^{-2}, 10^4]$ µSv/h. Certificato di Taratura n. LAT 256 2016 rilasciato dal Politecnico di Milano in data 23/03/2016;
- ✓ Contaminometro, LB 124 Scint della Berthold;
- ✓ GPS V Satellitare, Garming;
- ✓ Spettrometri da campo: INspector 1000, ioduro di sodio.

Nelle aree nel primo intervento sono state sempre effettuate misure di tipo campale:

- rateo equivalente di dose gamma a contatto e ad un metro dal suolo;
- contaminazione superficiale di tipo alfa/beta/gamma.



Figura 12:contaminametro superficiale



Figura 13: Scintillatore plastico e spettrometro da campo

LE OSSERVAZIONI SPERIMENTALI E I RISULTATI

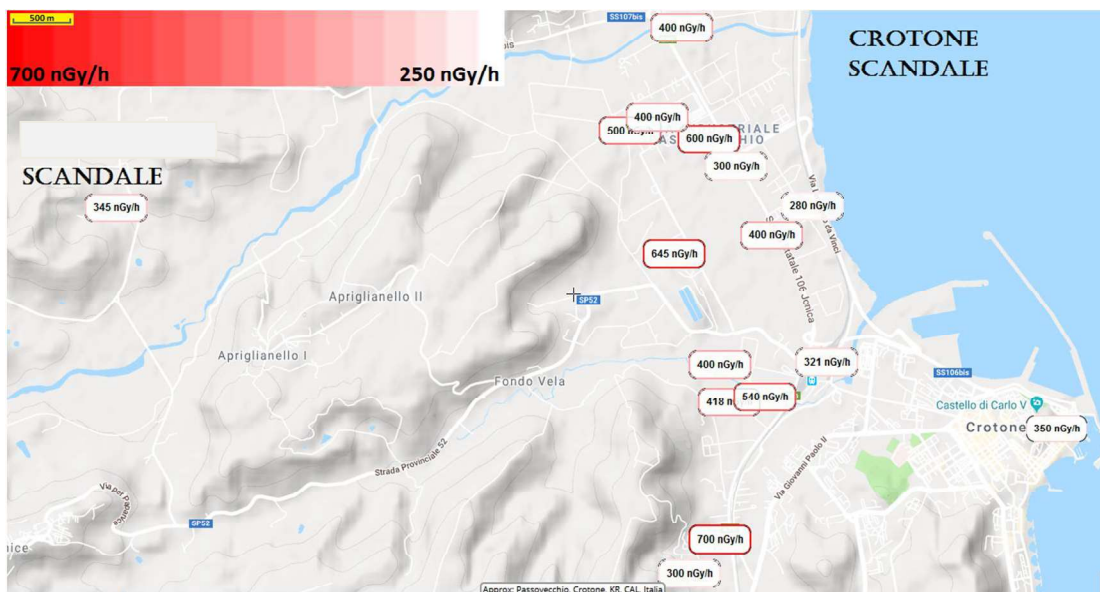
I siti censiti sono stati tutti sottoposti alle procedure d'identificazione, caratterizzazione e dimensionamento della contaminazione. In particolare, allo stato risultano a questo laboratorio censite 18 aree contaminate:

- 16 siti nel comune di Crotone;
- 2 siti in provincia di Crotone;

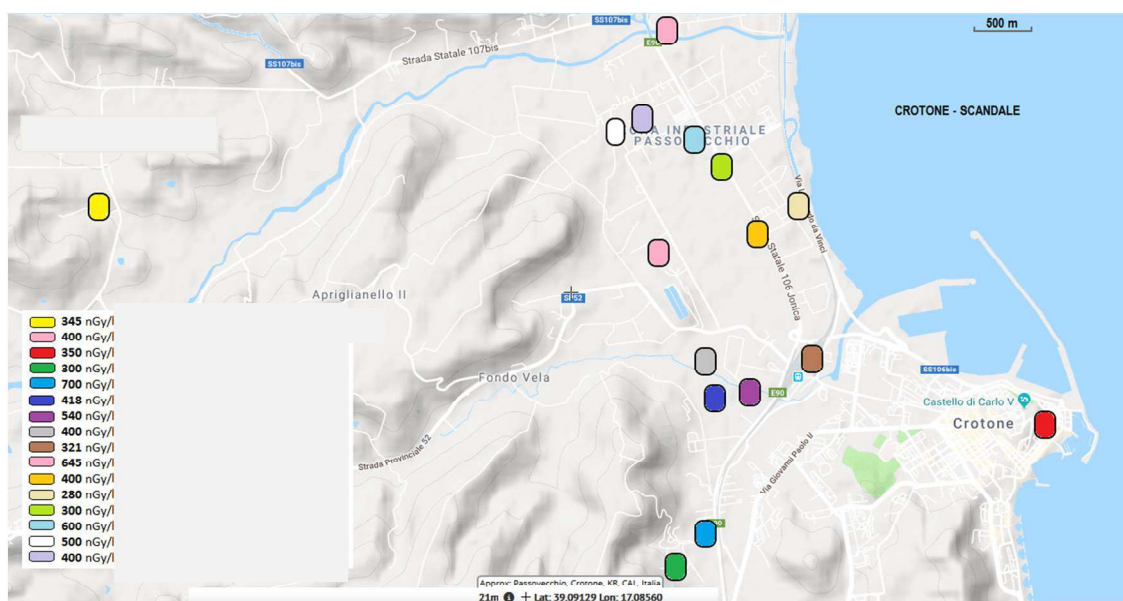
Le disposizioni normative territoriali, circolare provinciale n.3766 del 25.01.2011 e la direttiva prefettizia del 22.12.2010 e tutt'ora valide nel territorio della Provincia di Crotone, di fatto obbligano la verifica radiometrica di eventuali scavi che vengono praticati sul territorio crotonese. Le mappe proposte per ragioni evidentemente condivisibili, riportano le aree e i livelli di radioattività della contaminazione, escludendo ogni riferimento ai soggetti e alla posizione geografica propriamente detta. Le disposizioni normative territoriali impongono al datore di lavoro o al proprietario di un bene immobile su cui è necessario praticare un'attività di rimozione di suolo, una verifica radiometrica di tipo preliminare. In caso di esito positivo, si procede con una caratterizzazione del sito contaminato da TENORM, attraverso la nomina di un Esperto Qualificato, conoscitore della radioprotezione che è in grado di valutare il rischio radiologico per i lavoratori e per la popolazione derivante da una esposizione a radiazioni ionizzanti. Sia la fase di carotaggio e quelle successive di messa in sicurezza e/o bonifica vengono valutate preliminarmente dagli organi di vigilanza, ai fini di contenere il rischio radiologico derivante dalle operazioni necessarie e previste. Così come la produzione dei rifiuti nelle diverse fasi viene gestita e controllata fino al destino ultimo.

La carta 1 riporta le aree interessate, circoscritte ed in sicurezza, ove allo stato comunque non vi è un rischio reale per le popolazioni. Le aree infatti sono comunque inibite, alcune messe in sicurezza in emergenza, altre sottoposte alla fase di bonifica. Si precisa infatti che il rischio sanitario propriamente detto, per questo tipo di contaminazione può derivare da un contatto diretto con il materiale contenente TENORM o da una eccessiva inalazione durante le fasi di scavo o movimentazione dovute per esempio allo posa di tubature per realizzare servizi quali, acqua, gas o fognature.

Nella carta 2 inoltre, si riportano i livelli di radioattività naturale che sono stati registrati durante le operazioni di certificazione della contaminazione. L'intervallo di valori registrato è compreso tra i 250 nGyh⁻¹ e i 700 nGyh⁻¹, da confrontare sempre con il fondo ambientale di 109 nGyh⁻¹.

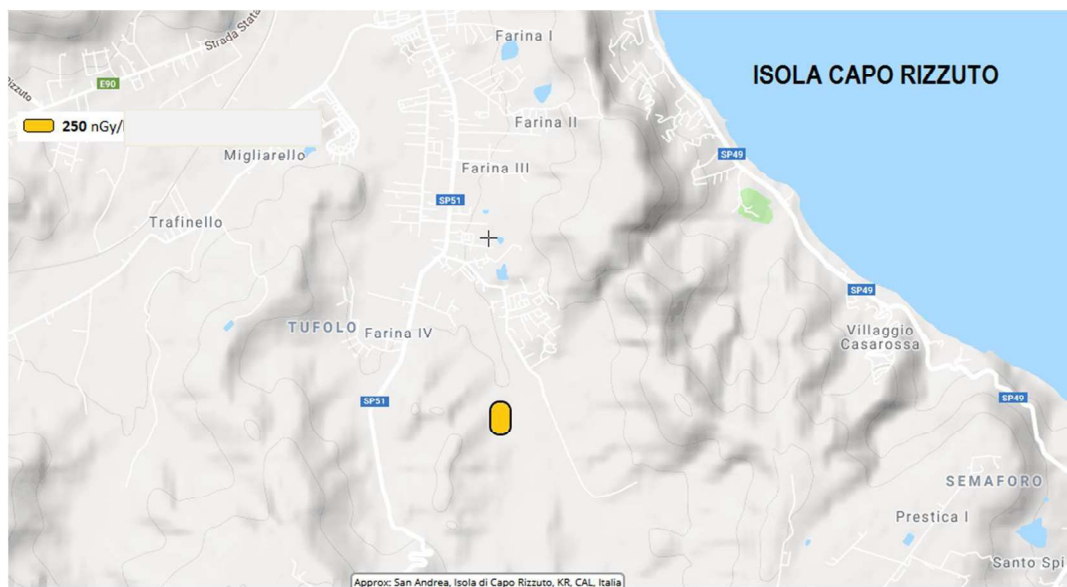


Carta 1: prima mappa delle aree contaminate nel territorio crotonese

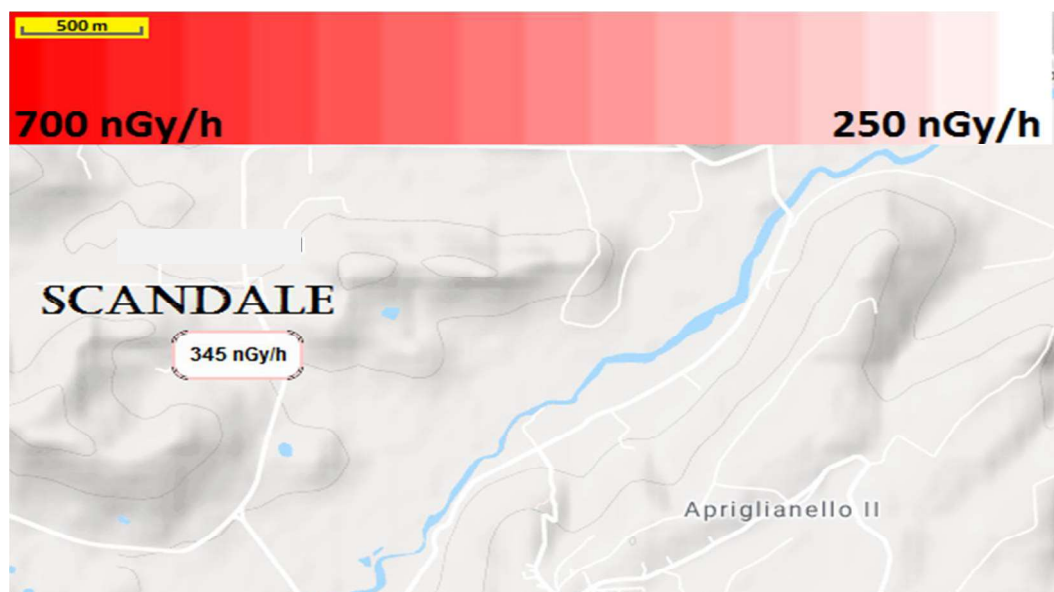


Carta 2:livelli di radioattività ambientale nelle aree interessate

Le carte 3, 4 sono una testimonianza che lo scarto di lavorazione proveniente dall'industria chimica di Crotone è stato impiegato anche in opere opere civili sul territorio della provincia crotonese. Allo stato non risultano rinvenimenti in altre aree della Regione, ciò evidentemente non va inteso come se il crotonese avesse l'esclusiva sull'impiego dei residui di lavorazione.



Carta 3:area contaminata in provincia di Crotone



Carta 4:area contaminata in provincia di Crotone

Negli anni, l'impegno dell'Agenzia Regionale dell'Ambiente della Calabria ed in particolar modo del dipartimento provinciale di Crotone ha valicato ben oltre i confini istituzionali, rappresentando anche per questo tipo di contaminazione endemica un valido riferimento per la comunità, non soltanto per la popolazione e gli operatori, ma anche e soprattutto per gli enti locali e gli altri organi di vigilanza operanti nel territorio.

A tal fine, con il solo intento di fornire elementi a supporto delle comunità locali, in data 28/02/2018 alla prefettura e alla commissione provinciale di Crotone per il rischio radiologico

derivante da NORM e TENORM, è stata proposta una procedura operativa di gestione dei siti potenzialmente contaminati e di quelli già dichiarati contaminati da NORM e TENORM, con l'intento di snellire le procedure di validazione dei progetti di messa in sicurezza e di emergenza che purtroppo nel corso degli anni, potrebbero aumentare.

BIBLIOGRAFIA

-
- [ⁱ] A. Rania, R. Santorelli, S. Procopio, *Le fluttuazione del livello di fondo gamma in Calabria*, Airp, Convegno Nazionale di Radioprotezione 12-14 Ottobre 2011, Auditorium Nicola Calipari, Palazzo Tommaso Campanella - Reggio Calabria
- [ⁱⁱ] M. Magnoni et al., *Misure del profilo verticale della radiazione gamma e beta in troposfera e nella bassa stratosfera: aspetti teorici e impiego pratico nelle situazioni di emergenza*. ARPA Piemonte – Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti. Convegno Airp, Catania 15-17 settembre 2005
- [ⁱⁱⁱ] G. Cini, G. Bonino, P. della Monica, S. Procopio and C. Taricco, *On The Solar Origin of the 200y Suess wiggles. Evidence from Thermoluminescence in sea sediments*. Il Nuovo Cimento Vol. 21C-Marzo-Aprile '98 N.2
- [^{iv}] Unscear 2008, *Sources and effects of ionizing radiation* Volume I
- [^v] Unscear 2000, *Radiation from Sources*, Annex B 1958
- [^{vi}] Unscear 2003, *Exposures from natural radiation sources*, Annex B
- [^{vii}] M. Ghiassi-nejad, S. M. J. Mortazavi,* J. R. Cameron,§ A. Niroomand-rad,_ and P. A. Karam¶ *Very High Background Radiation areas of Ramsar.Iran: preliminary biological studies*. Health Physics, 82 (1): 87-93; 2002
- [^{viii}] Tao Z., Akiba S, Zha Y, Sun Q, Zou J, J Li, Liu Y, Y Yuan, Tokonami S, Morishoma H, Koga T, Nakamura S, T Sugahara, Wei L. *Cancer and non cancer mortality among inhabitants in the high background radiation area of Yangjiang, China (1979–1998)*. HealthPhysics, 2012 Feb; 102 (2): 173-81.
- [^{ix}] Procopio et al, *La concentrazione di attività di radon in un'abitazione contaminata da norm. valutazione e stima del rischio*, Congresso Airp 2015 Matera

