

# ATTIVITÀ NUCLEARI E RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE

## Introduzione

Come è noto, le centrali nucleari e le altre installazioni italiane connesse al ciclo del combustibile nucleare non sono più in esercizio da anni. Restano tuttavia in corso le attività finalizzate alla messa in sicurezza dei rifiuti radioattivi derivanti dal pregresso esercizio e quelle connesse alla disattivazione delle installazioni suddette. Permangono, inoltre, in esercizio alcuni piccoli reattori di ricerca presso Università e Centri di ricerca. Continua altresì a essere diffuso l'impiego delle sorgenti di **radiazioni ionizzanti** nelle applicazioni mediche, nell'industria e nella ricerca scientifica, con le necessarie attività di trasporto delle sorgenti stesse e dei rifiuti da esse derivanti. Occorre, inoltre, considerare le sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti quali il gas **radon**, che rappresenta la principale fonte di esposizione per la popolazione e i materiali radioattivi di origine naturale presenti o derivanti da alcune lavorazioni industriali. Le pressioni sull'ambiente da radiazioni ionizzanti rimangono pertanto rilevanti e molteplici ed esigono che la radioprotezione rimanga elemento centrale della salvaguardia ambientale e della protezione della popolazione e dei lavoratori.

Nel nostro Paese, la protezione della popolazione dalle radiazioni ionizzanti presenti nelle installazioni nucleari o utilizzate per vari scopi e dalla radioattività ambientale è, in particolare, regolamentata dalla Legge 31 dicembre 1962, n. 1860, dal Decreto legislativo del 17 marzo 1995, n. 230 e successive modifiche e dal Decreto legislativo dell'8 febbraio 2007, n. 52.

La legislazione nazionale vigente assegna precisi obblighi agli esercenti delle attività che rientrano nel campo di applicazione delle norme stesse, ma anche compiti di controllo alle amministrazioni nazionali (Enti e Ministeri) e alle amministrazioni locali (Prefetture, Regioni e Province autonome).

Il controllo delle attività nucleari e il monitoraggio della radioattività ambientale sono funzioni prioritarie per assicurare un elevato livello di protezione della popolazione e dell'ambiente dai rischi associati all'esposizione a radiazioni ionizzanti.

## ATTIVITÀ NUCLEARI

### Le principali problematiche

In relazione alle attività di disattivazione nelle principali installazioni nucleari, per la gran parte del **combustibile nucleare irraggiato** è in atto la campagna di trasferimento in Francia nel quadro definito dall'accordo intergovernativo stipulato nel 2006. Nell'ambito di tale campagna sono già state trasferite 190 tonnellate di combustibile della centrale di Caorso ed è in corso, con la previsione che venga completato nel 2014, il trasferimento delle rimanenti 45 tonnellate presenti nel Deposito Avogadro e nella Centrale di Trino.

*Disattivazione delle principali installazioni nucleari.*

Per quanto attiene ai **rifiuti radioattivi**<sup>1</sup> attualmente presenti in Italia, essi derivano, per la gran parte, dal pregresso programma nucleare e si trovano nelle installazioni gestite dalla Sogin S.p.A. e nelle installazioni del Centro Comune di Ricerche di Ispra (VA) della Commissione Europea, e ammontano a circa 22.000 m<sup>3</sup> per la I e II categoria e 1.700 m<sup>3</sup> per la III. A tali rifiuti andranno ad aggiungersi circa 30.000 m<sup>3</sup>, prevalentemente di II categoria, derivanti dalle operazioni di disattivazione delle installazioni.

I rifiuti immagazzinati presso i siti sopra citati (centrali nucleari, impianti sperimentali, centri di ricerca) sono, per la gran parte, ancora da sottoporre a operazioni di **trattamento** e di **condizionamento**, necessarie per la loro trasformazione in manufatti durevoli che assicurino un idoneo isolamento della radioattività dall'ambiente, atti al trasporto, allo stoccaggio e allo smaltimento definitivo.

Oltre ai rifiuti radioattivi cosiddetti energetici, prosegue la produzione di rifiuti provenienti da applicazioni mediche, industriali e di ricerca. Per tali rifiuti, il cui ammontare ad oggi è pari a circa 5.000 m<sup>3</sup>, si registra una produzione di alcune centinaia di metri cubi l'anno.

A livello nazionale il Servizio Integrato di gestione delle sorgenti dismesse e dei rifiuti radioattivi, il cui gestore è l'ENEA, garantisce tutte le fasi del ciclo di gestione (raccolta, trattamento, condizionamento e lo stoccaggio provvisorio) delle sorgenti radioattive non più utilizzate e dei rifiuti radioattivi da attività medico-sanitarie, industriali e di ricerca.

Tenuto conto della realtà italiana, nella quale le attività di tipo nucleare riguardano la disattivazione delle installazioni e la gestione dei rifiuti radioattivi, i trasporti nell'ambito del ciclo del combustibile sono numericamente molto limitati, essendo riconducibili alle operazioni di trasferimento all'estero del combustibile nucleare irraggiato a fini di ritrattamento o di alienazione del materiale fissile, operazione, peraltro, in fase di completamento nei prossimi anni.

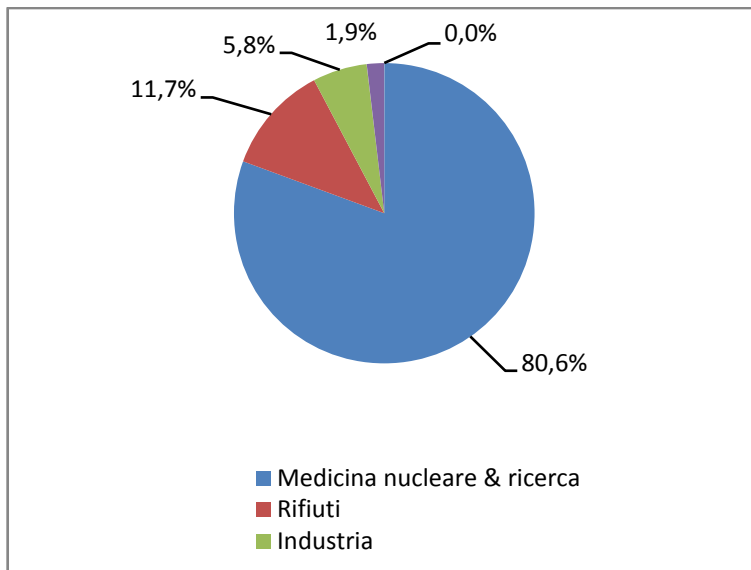
La gran parte dei trasporti di materie radioattive effettuati sul territorio nazionale riguarda, pertanto, sorgenti utilizzate in campo industriale, nella ricerca e, soprattutto, in campo medico (Figura 7.1).

*La produzione di rifiuti provenienti da applicazioni mediche, industriali e di ricerca ammonta ad alcune centinaia di metri cubi l'anno.*

*I trasporti nell'ambito del ciclo del combustibile sono numericamente molto limitati.*

---

<sup>1</sup> Denominati di origine energetica e classificati in relazione alle caratteristiche e alle concentrazioni dei radionuclidi presenti, secondo i criteri di classificazione definiti nella Guida Tecnica n. 26 dell'ENEA-DISP (oggi ISPRA)



*Il trasporto di materie radioattive riguarda soprattutto sorgenti utilizzate in campo medico e ricerca (80,6%), industriale (circa il 6%) e per una percentuale limitatissima il ciclo del combustibile.*

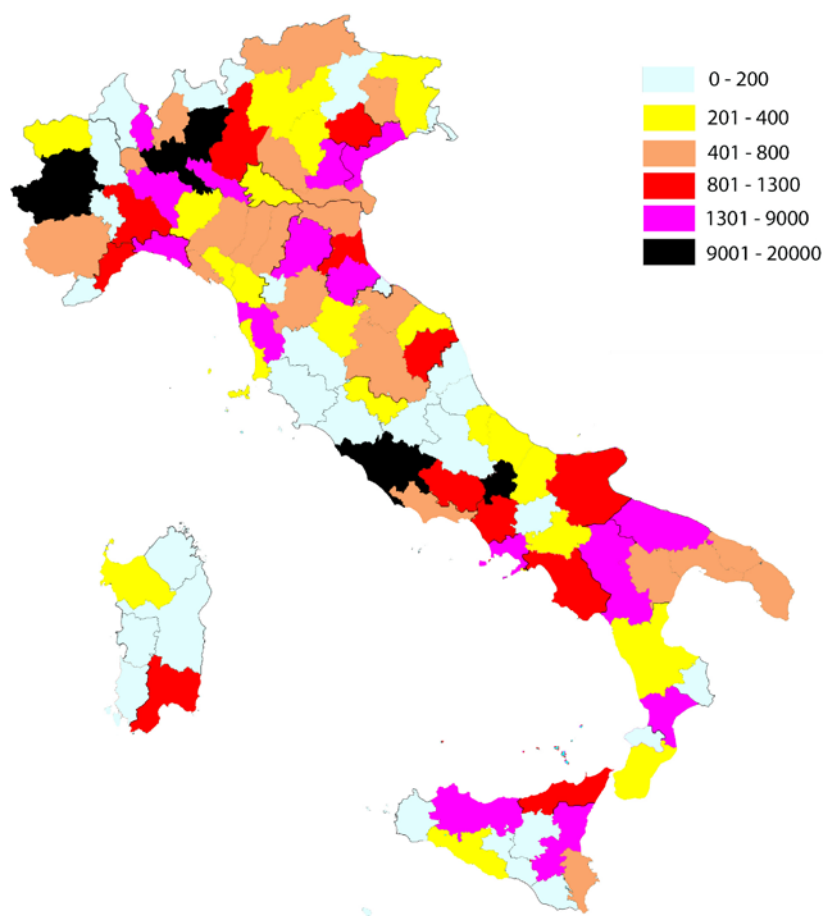
**Figura 7.1: Distribuzione percentuale dei colli trasportati in Italia in base all'impiego della materia radioattiva (2012)<sup>2</sup>**

La modalità stradale è quella maggiormente utilizzata per il trasporto di colli contenenti materie radioattive, a seguire quella aerea. Quest'ultima è utilizzata, in particolare, per il trasporto di radioisotopi con tempo di dimezzamento molto breve. I trasporti via mare e ferroviario sono molto limitati.

La possibile esposizione alle radiazioni ionizzanti associata al trasporto delle materie radioattive si manifesta anche in condizioni normali di trasporto, e cioè in assenza di eventi incidentali. Dopo l'introduzione del sistema di acquisizione telematico dei dati delle spedizioni di materie radioattive effettuate dai vettori autorizzati, avvenuta nel 2009, il *trend*, strettamente legato al numero dei colli trasportati ogni anno, alla loro tipologia e al tipo di radioisotopo trasportato, è piuttosto stabile, anche se negli ultimi anni si manifesta una diminuzione del numero dei colli trasportati, in particolare nel campo della medicina nucleare.

Gli intervalli assunti dall'indicatore sul trasporto delle materie radioattive (Figura 7.2) evidenziano in modo univoco le province che ospitano importanti e numerosi centri ospedalieri e diagnostici (Roma, Milano, Torino, Napoli ecc.), oltre i centri di smistamento dovuti anche al trasporto aereo.

<sup>2</sup> Fonte: ISPRA



*L'indice di trasporto è un indicatore del livello di radiazione presente nelle vicinanze dell'imballaggio che contiene il materiale radioattivo. È usato per predisporre le misure di radioprotezione da attuare, da parte del vettore, per minimizzare le dosi da radiazione durante il trasporto.*

**Figura 7.2: Carta tematica della somma degli indici di trasporto per provincia (2012)<sup>3</sup>**

#### Le azioni di controllo e monitoraggio

I controlli sulle attività nucleari che possono comportare un'esposizione della popolazione italiana alle radiazioni ionizzanti si attuano, in via preventiva, attraverso la formulazione di pareri tecnici vincolanti da parte dell'autorità di sicurezza nucleare e di altre amministrazioni, ove previsto dalla legislazione vigente, alle amministrazioni procedenti per il rilascio delle autorizzazioni (Ministero dello sviluppo economico, Prefetture, ecc.). Per le installazioni nucleari, i pareri riguardano le autorizzazioni per eventuali modifiche o particolari operazioni, anche connesse alla disattivazione, in attesa dell'autorizzazione alla disattivazione oppure pareri per il rilascio dell'autorizzazione stessa. Tali pareri sono rilasciati dall'ISPRA. Va citato che nel corso del 2012 sono stati emanati, su parere finale dell'ISPRA, acquisite le osservazioni di altre amministrazioni, i decreti di autorizzazione per le operazioni di disattivazione delle centrali di Trino e del Garigliano.

<sup>3</sup> Fonte: ISPRA

## RADIOATTIVITÀ AMBIENTALE

### Il problema

Al termine “radioattività” è spesso associato, nell’opinione pubblica, il timore degli effetti che questa provoca sulla salute. La prima evocazione che suscita tale parola riguarda effetti diretti, simili a ustioni, riconducibili a esposizioni acute; un esempio è quello delle esplosioni nucleari di Hiroshima e Nagasaki. Tali effetti sono tecnicamente definiti “**deterministici**” e si hanno a seguito di esposizioni molto intense. Altri timori sono legati agli effetti di esposizioni meno intense, effetti che “non si vedono” subito, ma che si evidenziano a distanza di tempo o sulle generazioni future e che sono spesso associati al rischio di insorgenza di tumori. Un esempio è rappresentato dalle conseguenze dell’esposizione della popolazione a seguito dell’incidente alla centrale sovietica di Chernobyl. Tali effetti sono definiti “**stocastici**”, ossia probabilistici, con una probabilità che dipende dall’intensità e dalla durata dell’esposizione. Da non sottovalutare anche la preoccupazione sociale in occasione di eventi che, seppur con nessuna conseguenza di tipo sanitario a livello nazionale (ad esempio l’incidente alla centrale di Fukushima), destano un forte interesse e necessità di informazione. È, pertanto, fondamentale attuare un adeguato sistema monitoraggio ambientale e una corretta e trasparente comunicazione dei risultati ottenuti.

Occorre, inoltre, sottolineare che nonostante nell’immaginario collettivo la radioattività sia essenzialmente associata alla produzione di energia nucleare, incluso il trattamento e il deposito delle scorie, vi sono molte altre fonti di radiazioni che sono comunemente accettate, ad esempio le esposizioni a scopo medico, diagnostico o terapeutico. In tali casi i rischi che ne derivano sono giustamente avvertiti come ampiamente giustificati dai benefici per le persone che si sottopongono a questi trattamenti.

Un’ulteriore considerazione riguarda l’entità delle esposizioni naturali alle quali la popolazione è generalmente esposta. Se si escludono le esplosioni atomiche e gli incidenti nucleari, le esposizioni derivanti dalle attività produttive sono di gran lunga inferiori rispetto alle esposizioni a sorgenti naturali. Sia nel cosmo sia nel suolo terrestre, nell’aria e anche nel nostro stesso organismo, sono presenti **radionuclidi** responsabili della maggior parte dell’esposizione alla radioattività.

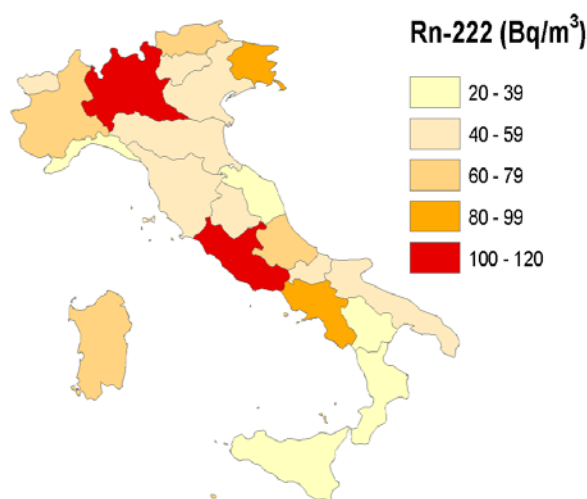
La principale esposizione avviene tra le mura domestiche, nei luoghi di lavoro e negli altri ambienti chiusi, detti “*indoor*”, nei quali si trascorre la maggior parte del tempo. In tali luoghi è presente nell’aria un gas naturale, il radon, che rappresenta la principale fonte di rischio da radiazioni ionizzanti per la popolazione. In alcuni casi, il gas può raggiungere concentrazioni tali per cui, il rischio che ne deriva si ritiene inaccettabile e si raccomandano, o addirittura s’impongono, risanamenti degli ambienti. L’esposizione al gas radon negli ambienti residenziali e nei luoghi di lavoro è stata associata all’insorgenza di tumori

*Le radiazioni ionizzanti sono quasi sempre associate alla produzione di energia nucleare, incluse le scorie prodotte; tuttavia vi sono molte altre applicazioni, ad esempio a scopo medico, diagnostico o terapeutico o in campo industriale.*

polmonari. Inoltre, il rischio di contrarre un tumore per esposizione a radon per i fumatori è circa venti/venticinque volte superiore rispetto ai non fumatori. Poiché non è nota una soglia al di sotto della quale l'esposizione al radon sia priva di rischi, si assume che a una diminuzione di concentrazione di radon corrisponda un'equivalente diminuzione del rischio. Questo tipo di esposizione è in qualche misura controllabile, infatti è possibile adottare strategie e provvedimenti atti a ridurre l'esposizione della popolazione nel suo insieme e in particolare nei casi di più elevata concentrazione.

La scelta delle strategie di prevenzione e di riduzione del rischio corrispondente dipende da molti fattori, quali la diffusione sul territorio, l'impatto globale delle eventuali azioni correttive, tutte, a loro volta, pesate sui fattori socio economici.

Da queste considerazioni emerge la necessità di approfondire e di diffondere la conoscenza sull'impatto delle esposizioni a sorgenti di radiazioni ionizzanti, con l'obiettivo di rendere più comprensibile e più consapevole una valutazione dei rischi e dei benefici associati a tutte le fonti di radiazioni.



*Nel Lazio e nella Lombardia si evidenzia un'elevata concentrazione di radon (Rn-222). La differenza con le altre regioni è dovuta al diverso contenuto di uranio nelle rocce e nei suoli e alla loro differente permeabilità.*

**Figura 7.3:** Carta tematica delle concentrazioni di attività di Rn-222 nelle abitazioni, per regione e provincia autonoma (la scelta degli intervalli ha valore esemplificativo) (1989-1997)<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Fonte: Bochicchio, F. et al., *Results of the national survey on radon indoors in the all the 21 italian region, Proceedings of Radon in the Living Environmental Workshop*, Atene, Aprile 1999

## FOCUS

### Il Trattato per la Messa al Bando Totale degli Esperimenti Nucleari (CTBT)

#### Introduzione

La storia dei test nucleari ebbe inizio in una località desertica del New Mexico, il 16 luglio del 1945, quando gli Stati Uniti fecero esplodere la prima bomba atomica.



**Figura 7.4: “The Gadget” la prima bomba atomica esplosa nel New Mexico il 16 luglio 1945 (a sinistra). Esplosione in atmosfera della bomba britannica Grapple X da 1,8 megatoni, di potenza equivalente a 140 bombe atomiche di Hiroshima. L’esplosione fu innescata a circa 1.000m di quota, sopra l’Isola Kiritimati (Christmas Island), nell’arcipelago delle Sporadi equatoriali (a destra)<sup>5</sup>**

Questo esperimento fu il risultato di un’intensa e segreta attività di ricerche scientifiche condotta nell’ambito del famigerato “Progetto Manhattan”<sup>6</sup>, nel corso della Seconda guerra mondiale. Com’è noto, due diversi ordigni furono utilizzati nel 1945 contro le città giapponesi di Hiroshima e Nagasaki e ciò valse a porre tragicamente fine alla Seconda guerra mondiale. Da allora fino ai nostri giorni non sono state più utilizzate armi nucleari nel corso di un conflitto; ciononostante si sono susseguite più di duemila esplosioni nucleari con finalità di sperimentazione. Temporalmente questi esperimenti si sono maggiormente concentrati durante i primi decenni del dopoguerra, in un periodo in cui due blocchi strategici si sono aspramente contrapposti, nella mutua rincorsa per la supremazia tecnologica e militare. Tuttavia, anche in tempi più recenti sono stati condotti test nucleari: sia il Pakistan sia l’India hanno fatto esplodere ordigni nucleari nel 1998, mentre la Repubblica Democratica

<sup>5</sup> Fonte: <http://www.osti.gov/manhattan-project-history/Events/1945/trinity.htm>

<sup>6</sup> <http://www.ctbto.org/nuclear-testing/history-of-nuclear-testing/manhattan-project/>

Popolare della Corea ha condotto test nucleari nel 2006 e ha dichiarato di averne svolti anche nel 2009 e nel 2013<sup>7</sup>.



Figura 7.5: Test sottomarino “Baker”, atollo di Bikini 25 luglio 1946<sup>8</sup>

Storicamente, la maggior parte degli esperimenti ha avuto finalità militari, anche se non sono mancati test eseguiti con finalità pacifiche, quali, ad esempio, l’esecuzione “rapida” di scavi per la realizzazione di grandi bacini artificiali o canali. Oltre 60 siti, sparsi su tutto il pianeta, sono stati utilizzati per far esplodere ordigni nucleari in atmosfera, nel sottosuolo o sotto la superficie del mare, con gravi ricadute ambientali e, talvolta, con conseguenze pesanti anche per la salute degli esseri umani esposti. Nel corso degli anni '60, all’inizio dei quali (1962) si sfiorò il conflitto nucleare, a causa della cosiddetta “Crisi dei missili cubani”<sup>9</sup>, gli Stati Uniti e l’Unione Sovietica, separatamente, avanzarono proposte per il bando dei test nucleari. In effetti, nel 1963 si riuscì a stipulare un Trattato trilaterale tra Stati Uniti, Gran Bretagna e Unione Sovietica, per un Bando Parziale dei Test Nucleari (PTBT). Il trattato impegnava i firmatari dell’accordo a eseguire esclusivamente test nucleari sotterranei; lo scopo era di limitare la diffusione nell’ambiente di radionuclidi e le conseguenti ricadute (*fallout*) di particolato radioattivo. I tempi, però, erano prematuri per un accordo sul bando totale dei test nucleari, poiché il clima delle relazioni internazionali non era favorevole all’accettazione di efficaci protocolli di verifica. Agli inizi degli anni '90, dopo la caduta del muro di Berlino e la cessazione delle ostilità della “guerra fredda”, la Conferenza sul Disarmo<sup>10</sup> riuscì a ottenere un importante risultato, conducendo in

<sup>7</sup> Per maggiori approfondimenti sul numero e la natura dei test nucleari condotti dalle varie nazioni tra il 1945 al 2006 si può consultare: “Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI) – Nuclear Testing Tally table”. Si veda anche il sito web: <http://www.sipri.org/media/expert-comments/12-feb.-2013-testing-times-in-north-korea>

<sup>8</sup> Fonte: <http://www.ctbto.org/the-treaty/history-1945-1993/1963-77-limits-on-nuclear-testing/>

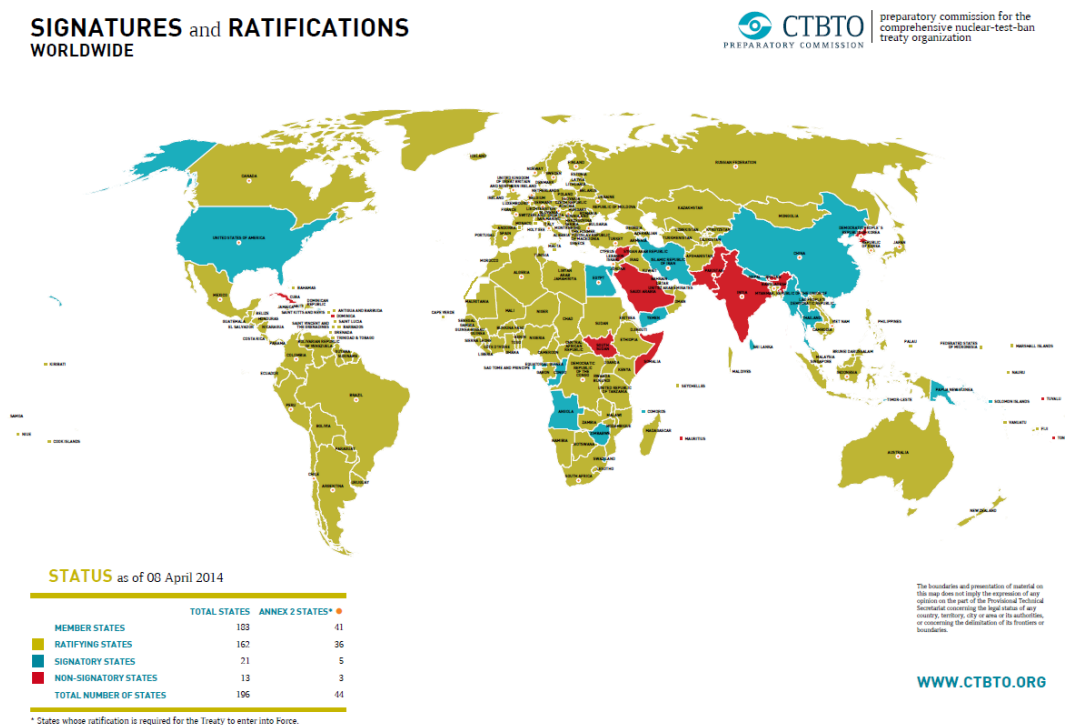
<sup>9</sup> [http://www.ctbto.org/index.php?id=280&no\\_cache=1&letter=c#cuban-missile-crisis](http://www.ctbto.org/index.php?id=280&no_cache=1&letter=c#cuban-missile-crisis)

<sup>10</sup> Conferenza sul Disarmo: Istituita dalla Comunità internazionale nel 1979, a Ginevra, per il negoziato sul controllo multilaterale degli armamenti e del disarmo.

<http://www.unog.ch/80256EE600585943/%28httpPages%29/BF18ABFEFE5D344DC1256F3100311CE9?OpenDocument>



porto la Convenzione per il Divieto dello Sviluppo, Produzione, Stoccaggio e Uso delle Armi Chimiche (CWC<sup>11</sup>). Questo primo risultato del “disgelo” tra i blocchi lasciò intravedere la possibilità di un accordo internazionale per il bando globale dei test nucleari. Il 24 settembre 1996 il Segretario Generale delle Nazioni Unite, Boutros Ghali, aprì formalmente agli Stati della Comunità internazionale la firma del Trattato per il Bando Totale dei Test nucleari (*Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty – CTBT*). Poche nazioni si rifiutarono di firmare il CTBT, tuttavia, fino ad oggi, alcuni dei firmatari non lo hanno ancora ratificato in via definitiva, accettandone, quindi, i vincoli legislativi.



**Figura 7.6: Nazioni che hanno ratificato il CTBT (in verde), che lo hanno solo firmato (in azzurro) o che non lo hanno firmato (in rosso)<sup>12</sup>**

### Le conseguenze dei test nucleari

Le conseguenze ambientali nei siti che hanno ospitato i test nucleari sono state, comprensibilmente, molto pesanti<sup>13</sup>. Si deve altresì considerare che, soprattutto nei test superficiali, si sono diffusi in atmosfera radionuclidi che, attaccati al particolato fine sospeso in aria, sono stati trasportati dai venti e sono ricaduti a grandi distanze dai siti originari (*fallout* radioattivo). Nel caso di esplosioni nella stratosfera, i radionuclidi rilasciati sono rimasti sospesi nell’atmosfera per decenni. Ad oggi, su tutto il pianeta, è possibile rilevarne le tracce; parimenti, è possibile individuarne la deposizione sulla superficie del suolo e nei sedimenti delle acque superficiali.

<sup>11</sup> <http://www.opcw.org/chemical-weapons-convention/>

<sup>12</sup> Fonte: <http://www.ctbto.org/map/>

<sup>13</sup> Si consulti, ad esempio, <http://www.ctbto.org/nuclear-testing/the-effects-of-nuclear-testing/general-overview-of-the-effects-of-nuclear-testing/>; questa pagina è dedicata alla descrizione degli effetti dei test nucleari; essa è poi collegata ad approfondimenti sui test realizzati da ciascuna nazione e sulle situazioni dei relativi siti da esse utilizzati.

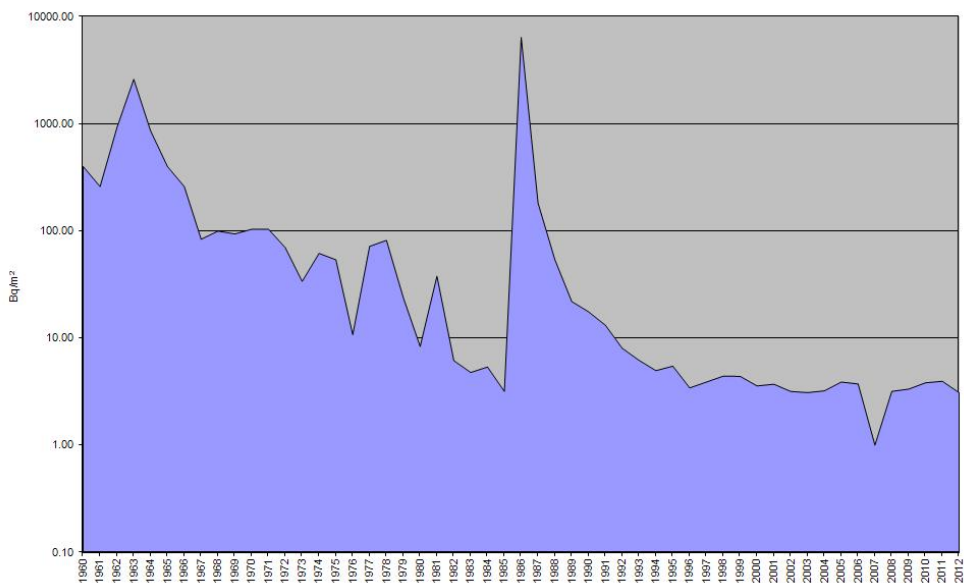


Figura 7.7: Andamento delle deposizioni umide e secche di Cs-137 in Italia<sup>14</sup>

Il rapporto del Comitato Scientifico delle Nazioni Unite sugli effetti delle radiazioni atomiche all'assemblea degli Stati Generali del 2000, afferma che: *“Il principale contributo antropico all'esposizione della popolazione mondiale [alle radiazioni] deriva dai test di armi nucleari in atmosfera, dal 1945 al 1980”*.

I livelli di esposizione cui sono state sottoposte le popolazioni residenti in prossimità dei siti di test nucleari erano ritenuti sicuri<sup>15</sup> negli anni '50; oggi, alla luce degli studi successivi, essi sono universalmente riconosciuti come livelli di dose pericolosi per la salute degli esseri umani, di conseguenza, in molti casi, si è stabilita con certezza una correlazione con gli aumenti registrati delle neoplasie di varia natura o delle malformazioni alla nascita. Viceversa, quantificare le conseguenze di esposizioni prolungate negli anni a livelli di dose molto più bassi, quali quelli cui è stata esposta l'intera popolazione mondiale, è un problema molto più complesso. Alcuni studi<sup>16</sup> arrivano, ad esempio, a prevedere che, come effetto a lungo termine, circa 2,4 milioni di decessi in tutto il mondo saranno attribuibili ai *test* atmosferici.

<sup>14</sup> Fonte: Elaborazione ISPRA su dati ISPRA/ARPA/APPA raccolti da ISPRA; OECD-ENEA, 1987, *The Radiological impact the Chernobyl accident in OECD countries*, Parigi

<sup>15</sup> Atomic test effects in the Nevada test site Region – U.S. Atomic Energy Commission - 1955

<sup>16</sup> International Physicians for the Prevention of Nuclear War – (IPPNW) 1991

## La dimensione del fenomeno

Tra il 1945 e 1996 sono stati eseguiti più di 2.000 test nucleari in tutto il mondo.

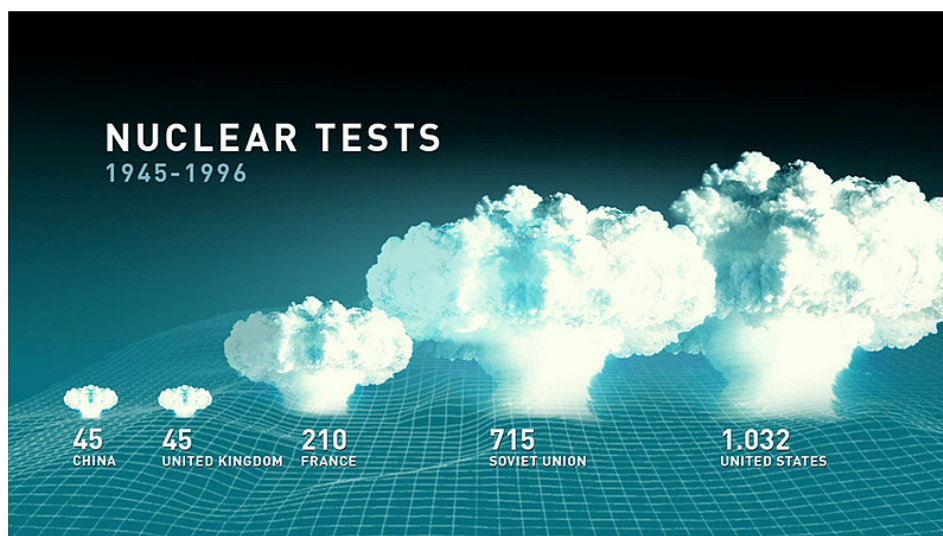


Figura 7.8: Numero di test eseguiti dalle principali potenze nucleari <sup>17</sup>

Le esplosioni sono state eseguite in differenti condizioni ambientali: in bassa atmosfera, a quote più o meno elevate rispetto al suolo; in alta atmosfera, attraverso l'uso di missili; a diverse profondità sotto la superficie del mare; in gallerie nel sottosuolo.

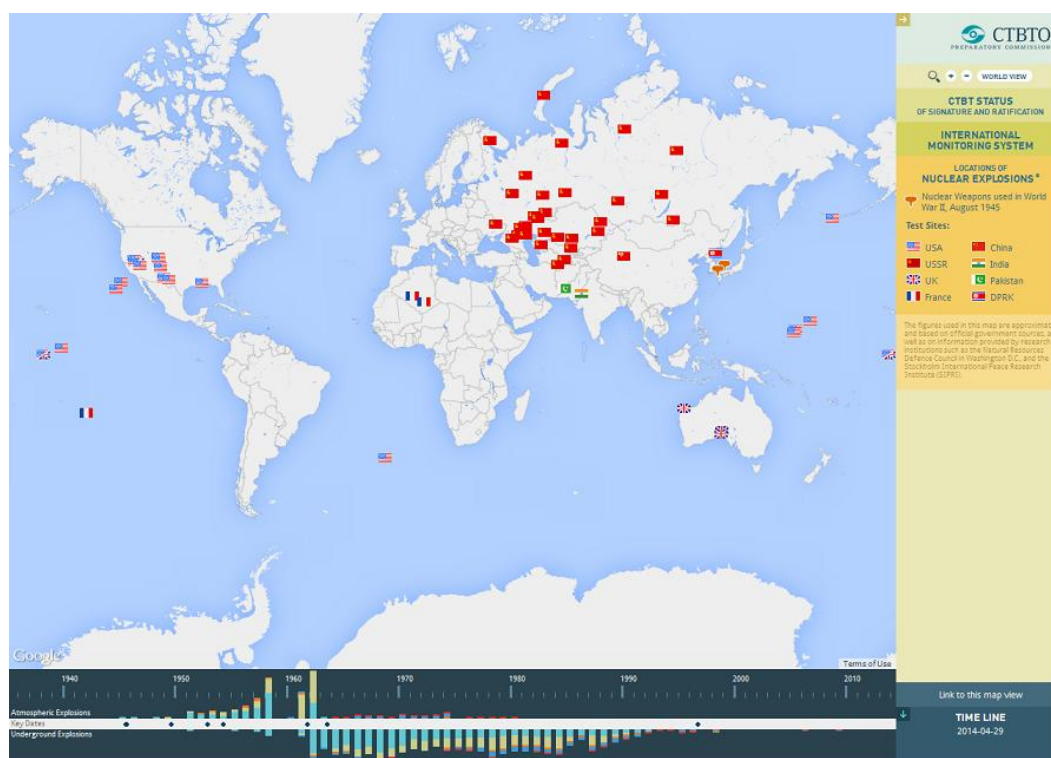


Figura 7.9: Mappa interattiva per la localizzazione dei siti di test nucleari <sup>18</sup>

<sup>17</sup> Fonte: <http://www.ctbto.org>

<sup>18</sup> Fonte: <http://www.ctbto.org/map/#mode=nuclear>

La potenza degli ordigni fatti esplodere è molto variabile ed è compresa in un intervallo che va da alcuni chilotoni (kt)<sup>19</sup> ad alcuni megatoni (Mt)<sup>20</sup>. Si è stimato che l'energia complessiva rilasciata dalle esplosioni tra il 1945 e il 1980 sia pari a 510 megatoni, da notare, comunque, che i soli test in atmosfera ammontano a un totale di 428 Mt, pari a 29.000 bombe di Hiroshima<sup>21</sup>.

La quantità e il tipo di radionuclidi rilasciati nell'ambiente a causa di un'esplosione nucleare dipendono da una quantità di fattori diversi, quali, ad esempio, il tipo di bomba, la sua potenza, il comparto ambientale in cui avviene l'esplosione, le condizioni meteorologiche, ecc. I test sotterranei, potenzialmente, dovrebbero ridurre il rischio di dispersione nell'ambiente di pericolose concentrazioni di radionuclidi. Tuttavia non sono mancati, anche in questo tipo di esplosioni, casi di contaminazioni di falde acquifere profonde, di fratture del suolo artico o di emissioni di intense nubi di gas nobili radioattivi, che hanno reso inefficace il tentativo di confinamento dell'impatto ambientale. Non ultimi, per le conseguenze radiologiche, sono stati gli effetti degli errori e dei problemi tecnici occorsi durante i test medesimi.

Da ultimo, si segnala il sito web, <http://www.ctbto.org/specials/1945-1998-by-isao-hashimoto/>, dove è possibile visualizzare un'animazione dal titolo "1945 – 1998", realizzata dall'artista giapponese Isao Hashimoto. Su una scala dei tempi accelerata, vengono rappresentate le esplosioni che si susseguono con ritmo crescente nelle varie parti del globo, fino ad assumere, durante i decenni di più intensa sperimentazione delle armi nucleari, le parvenze di una travolgente raffica planetaria di "fuochi d'artificio".

#### Descrizione delle risposte attuate o attuabili

Sebbene non tutti gli Stati abbiano accettato di ratificare il CTBT, si è concordemente convenuto che la gestione di un problema molto complesso, quale la predisposizione di un regime di verifica imparziale, debba essere affidata a un'organizzazione internazionale permanente che abbia, tra i vari compiti, anche quello di supervisionare la realizzazione e il funzionamento di un Sistema Internazionale di Monitoraggio<sup>22</sup> (IMS) e di un Centro Internazionale Dati (ICD).

La Commissione preparatoria (CTBTO) per l'attuazione del trattato, nel contesto dell'IMS, ha previsto 4 tipi di reti internazionali di monitoraggio permanente:

- Sismico
- Idroacustico
- Infrasonoro
- Radiometrico

Per quanto riguarda il monitoraggio della radioattività, l'obiettivo è la tempestiva rilevazione di particelle radioattive (e/o di gas nobili) presenti in atmosfera in seguito a eventi nucleari verificatisi in qualsiasi parte del mondo.

A tale scopo sono state realizzate circa 90 stazioni automatiche operanti in continuo, di cui 40 sono capaci di rilevare anche i gas nobili. In aggiunta alle stazioni automatiche, sono previsti 16 laboratori di analisi che devono operare, su richiesta del

<sup>19</sup> 1 kt equivale all'energia rilasciata dall'esplosione di 1.000 tonnellate di tritolo.

<sup>20</sup> La bomba termonucleare più potente fu fatta esplodere dall'Unione Sovietica nel 1961, presso l'isola di Novaya Zemlya, nel mare Artico russo. Fu chiamata "Tsar Bomba" e possedeva una potenza pari a 50Mt (3.800 volte più potente della bomba di Hiroshima)

<sup>21</sup> Natural Resources Defense Council

<sup>22</sup> <http://www.ctbto.org/verification-regime/>; Filmato: "How the IMS works"

CTBTO, in varie parti del mondo al fine di verificare le misure effettuate dalle stazioni. Uno di questi laboratori opererà in Italia; l'ISPRA sarà responsabile del suo allestimento e della sua gestione a regime, in maniera rispondente ai severi requisiti tecnici stabiliti dalla Commissione preparatoria del CTBTO. Il Laboratorio sarà accreditato per l'esecuzione di misure di radioattività su filtri provenienti dalle stazioni della rete dedicate al campionamento di particolato atmosferico.

## GLOSSARIO

### **Combustibile nucleare irraggiato**

Combustibile che è stato irraggiato in modo permanente all'interno del reattore.

### **Condizionamento dei rifiuti radioattivi**

L'insieme delle operazioni effettuate sui rifiuti radioattivi atte a produrre un manufatto suscettibile di essere manipolato, trasportato e stoccato temporaneamente oppure definitivamente.

### **Effetti deterministici**

Lesioni anatomiche con perdita di funzionalità d'organi e tessuti, indotte da esposizioni molto elevate, ad esempio quelle ricevute a seguito dell'incidente di Chernobyl dagli operatori dell'impianto. La gravità clinica aumenta con la dose, è impiegata una specifica grandezza denominata "dose assorbita" la cui unità di misura è il Gray (Gy).

### **Effetti stocastici**

Effetti che colpiscono in modo casuale gli individui esposti o i loro discendenti, si suppone possano essere causati anche da dosi basse di radioattività, come quelle tipicamente ricevute nella vita quotidiana. Al fine di quantificare il rischio di incorrere in questo tipo di effetti si utilizza una specifica grandezza, denominata "dose efficace", la cui unità di misura è il Sievert (Sv).

### **Fallout**

Ricaduta di materiale radioattivo a seguito di un'esplosione nucleare.

### **Radiazioni ionizzanti**

Particelle e/o energia di origine naturale o artificiale in grado di modificare la struttura della materia con la quale interagiscono, attraverso l'induzione di fenomeni di ionizzazione.

### **Radionuclide**

Nuclide instabile che decade emettendo energia sotto forma di radiazioni ionizzanti.

### **Radon**

Gas naturale radioattivo prodotto dal radio presente ovunque nei suoli e in alcuni materiali impiegati in edilizia. In assenza di incidenti nucleari rilevanti rappresenta la principale fonte di esposizione a radiazioni ionizzanti per la popolazione. In aria aperta si disperde rapidamente non raggiungendo quasi mai concentrazioni elevate, mentre nei luoghi chiusi (case, scuole, ambienti di lavoro, ecc.) tende ad accumularsi fino a raggiungere, in particolari casi, concentrazioni ritenute inaccettabili per la salute.

### **Rifiuto radioattivo**

Materiale che contiene, oppure è contaminato, da radionuclidi la cui concentrazione di attività o l'attività sono superiori ai livelli di allontanamento stabiliti dall'Ente di controllo.

### **Trattamento dei rifiuti radioattivi**

Il complesso insieme di operazioni effettuate sui rifiuti radioattivi atti a implementare la sicurezza radiologica cambiando le caratteristiche dei rifiuti stessi.