



SEZIONE B CONDIZIONI AMBIENTALI

SEZIONE B Condizioni Ambientali

Radiazioni Ionizzanti



CAPITOLO 6 - RADIAZIONI IONIZZANTI

Autori:

Anna CALLEGARI⁽²⁾, Sabrina CHIOVARO⁽²⁾, Barbara DALZOCCHIO⁽³⁾, Sandro FABBR⁽²⁾, Mario DIONISI⁽¹⁾, Mario PAGANINI⁽¹⁾, Pietro PETRI⁽¹⁾, Roberto SOGNI⁽²⁾, Giancarlo TORRI⁽¹⁾, Flavio TROTTI⁽³⁾, Paolo ZEPPA⁽¹⁾.

1) APAT, 2) ARPA Emilia Romagna (CTN_AGF), 3) ARPA Veneto (CTN_AGF).

6. Radiazioni ionizzanti

Q6: Quadro sinottico indicatori per le radiazioni ionizzanti							
Tema SINAnet	Nome Indicatore	Qualità Informazione	Copertura Spaziale	Copertura Temporale	Stato e Trend	Rappresentazione Tabelle	Figure
Radiazioni Ionizzanti	Attività lavorative con uso di materiali contenenti radionuclidi naturali (NORM)	★★	I	2001	☹	6.1-6.2	
	Strutture autorizzate all'impiego di radioisotopi	★★★	R 16/16	2002	☹	6.3-6.4	6.1
	Impianti per trattamento dei rottami metallici (raccolta, deposito, fusione)	★★	I R	2001	☹	6.5	
	Impianti nucleari: attività di radioisotopi rilasciati in aria e in acqua	★★	I	2001	☹	6.6	
	Quantità di rifiuti radioattivi detenuti	★★★	I R 10/10	2001	☹	6.7	6.2
	Concentrazioni di attività di radon <i>indoor</i>	★★★	I R	1989-1997	☹	6.8	6.3
	Dose gamma assorbita in aria per esposizioni a radiazioni cosmica e terrestre	★★★	I R 15/20	1970-1971; 1986-2001	☹	6.9-6.10	6.4
	Concentrazione di attività di radionuclidi artificiali in matrici ambientali e alimentari (particolato atmosferico, deposizioni umide e secche, latte)	★★	I	1986-2001	☹	6.11-6.13	6.5-6.7
Dose efficace media individuale in un anno	★★	I	2001	☹	6.14	6.8	

Per la lettura riferirsi al paragrafo "Struttura del documento" pag.17

Introduzione

Le radiazioni ionizzanti sono particelle e/o energia di origine naturale o artificiale in grado di modificare la struttura della materia con la quale interagiscono. Nel caso dei tessuti biologici tale interazione può portare a un possibile danneggiamento delle cellule. Nella maggior parte dei casi il danno viene riparato dai normali meccanismi di difesa dell'organismo, ma, in alcuni casi, in funzione anche dell'entità e della durata dell'esposizione, le cellule interessate possono risultare compromesse, e possono verificarsi effetti sanitari sugli individui esposti. Allo scopo di quantificare il rischio derivante dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti si usa una specifica grandezza, denominata "Dose efficace" che esprime la possibilità di effetti avversi sugli individui esposti. L'unità di misura derivata è il Sievert (Sv).

Effetti certi, detti "deterministici", si riscontrano al di sopra di soglie di esposizione molto elevate quali, ad esempio, quelle ricevute a seguito dell'incidente di Chernobyl dagli operatori dell'impianto (> 4.000 milliSievert) e inducono lesioni anatomiche e perdita di funzionalità d'organi e tessuti; altri effetti, nell'intervallo di esposizioni che si ricevono nella vita comune (alcuni milliSievert), sono di natura "stocastica" ovvero non certi, ma affetti da una probabilità più o meno elevata di verificarsi. questi si dividono in effetti stocastici "somatici" che ricadono eventualmente sull'individuo esposto, ed effetti stocastici "genetici" che ricadono eventualmente sulla discendenza dell'individuo esposto.

6.1 Radiazioni Ionizzanti

L'obiettivo generale è la valutazione dell'esposizione della popolazione italiana a sorgenti di radiazioni ionizzanti per consentire l'applicazione del modello DPSIR al fine di una corretta gestione delle attività riguardanti questa tematica.

Le sorgenti di radiazioni ionizzanti possono essere suddivise in due principali categorie: sorgenti naturali e artificiali. In assenza di specifici eventi (esplosioni nucleari o incidenti) la maggior parte dell'esposizione della popolazione a radiazioni ionizzanti è di origine naturale, le cui principali componenti sono dovute ai prodotti di decadimento del radon, ai raggi cosmici e alla radiazione terrestre. Un caso particolare riguarda le attività lavorative con uso - stoccaggio di materiali, o produzione di residui, contenenti radionuclidi naturali (NORM) che, proprio per le caratteristiche del tipo di lavorazione, possono comportare una non trascurabile esposizione a radiazioni (sempre di origine naturale) dei lavoratori e della popolazione. Tra le esposizioni dovute a sorgenti artificiali, la principale è legata alla diagnostica medica.

Riguardo gli indicatori selezionati, si sottolinea che, pur nel tentativo di equilibrare la scelta sulla base del modello DPSIR, sono assenti indicatori di risposta. Ciò è dovuto al fatto che alcune cause primarie o alcune pressioni sono difficilmente controllabili in termini di risposta (quali ad esempio esposizione a raggi cosmici, a radiazioni terrestri e a seguito del "fallout" di esplosioni negli anni '60), mentre per altre fonti di pressione (radon e NORM) la recente introduzione nella normativa delle problematiche rende, al momento, non identificabili o popolabili opportuni indicatori.

E' stata fatta una stima della dose efficace alla popolazione, che è ritenuto l'indicatore più adatto a stimare il rischio derivante dall'esposizione a radiazioni e che consente un confronto tra le diverse sorgenti, i tipi di radiazioni e gli effetti. Tale valutazione è affetta da alcune incertezze dovute principalmente al fatto che alcuni dati sono stati assunti sulla base di stime a livello mondiale piuttosto che nazionale. Tuttavia, è un utile esercizio per pianificare future azioni e soprattutto per rendere più efficace e razionale la raccolta delle informazioni.

I dati riguardanti i radionuclidi artificiali e naturali nella biosfera sono stati prodotti prevalentemente dal sistema delle agenzie APAT - ARPA - APPA all'interno del quale operano i Centri Regionali di Riferimento della Radioattività Ambientale (CRR).

Nel quadro Q6.1 che segue vengono forniti, per ciascun indicatore, le finalità, la classificazione nel modello DPSIR e i riferimenti normativi.

Q6.1: Quadro delle caratteristiche degli indicatori per le radiazioni ionizzanti

Nome Indicatore	Finalità	DPSIR	Riferimenti Normativi
Attività lavorative con uso di materiali contenenti radionuclidi naturali (NORM)	Quantificare le 'fonti di pressione ambientale relative ai NORM'	D	D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni
Strutture autorizzate all'impiego di radioisotopi	Documentare il numero e la distribuzione nazionale delle strutture autorizzate all'impiego di sorgenti di radiazioni (impiego di categoria A)	D	D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni
Impianti per trattamento dei rottami metallici (raccolta, deposito, fusione)	Monitorare il numero di impianti per il trattamento dei rottami metallici	D	D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni
Impianti nucleari: attività di radioisotopi rilasciati in aria e in acqua	Monitorare l'emissione di radioattività in aria e in acqua	P	D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni
Quantità di rifiuti radioattivi detenuti	Documentare tipologia e quantità di rifiuti radioattivi secondo la distribuzione nei siti di detenzione	P	D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni
Concentrazioni di attività di radon indoor	Monitorare una delle principali fonti di esposizione alla radioattività per la popolazione	S	Raccomandazione Europea 90/143/Euratom del 21/02/1990 D.lgs. 230/1995 e successive modifiche ed integrazioni
Dose gamma assorbita in aria per esposizioni a radiazioni cosmica e terrestre	Documentare entità e distribuzione della dose efficace per esposizioni a radiazioni cosmica e terrestre	S	D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni
Concentrazione di attività di radionuclidi artificiali in matrici ambientali e alimentari (particolato atmosferico, deposizioni umide e secche, latte)	Monitorare le ricadute radioattive da eventi di contaminazione in atmosfera e la presenza di radionuclidi artificiali nel latte e il conseguente livello di alterazione ambientale	S	D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni Raccomandazione Europea 2000/473/Euratom dell'8 giugno 2000 Regolamento CEE 737/90 e successive proroghe
Dose efficace media individuale in un anno	Stimare i contributi delle fonti di esposizione alla radioattività (origine naturale e antropica) della popolazione	I	D.lgs. 230/1995 e successive modifiche ed integrazioni D.lgs. 187/00 (art. 12)

INDICATORE

ATTIVITÀ LAVORATIVE CON USO DI MATERIALI CONTENENTI RADIONUCLIDI NATURALI (NORM)

SCOPO

Valutare le fonti di pressione ambientale relative ai NORM.

DESCRIZIONE

L'indicatore, qualificabile come indicatore di causa primaria, caratterizza la presenza nel territorio nazionale delle attività lavorative con uso - stoccaggio di materiali, o produzione di residui, che contengono radionuclidi naturali (*"Naturally Occurring Radioactive Materials"*, NORM) in quantità non trascurabili dal punto di vista dell'esposizione dei lavoratori e di persone del pubblico alle radiazioni ionizzanti.

L'approfondimento *"Impatto radiologico dovuto alla lavorazione dei minerali fosfatici e alle centrali a carbone"* presenta stime di valutazioni dosimetriche eseguite su gruppi di riferimento della popolazione in situazioni specifiche.

UNITÀ di MISURA

Numero di attività

FONTE dei DATI

APAT/CTN_AGF, Gruppo ENEL, Agip, Assofertilizzanti, Enichem.

NOTE TABELLE e FIGURE

Sono state individuate alcune tipologie di attività lavorative fra quelle sottoposte a specifiche disposizioni dall'art. 10 bis del D.lgs. 17 marzo 1995 n. 230, introdotto in virtù dell'art. 5 del D.lgs. 26 maggio 2000 n. 241, e altre (miniere di uranio e centrali termoelettriche a carbone) per le quali esistono studi che ne documentano il potenziale impatto radiologico.

Su tale insieme di attività è in corso un censimento specifico da parte dell'APAT/CTN_AGF finalizzato a quantificarne la pressione sull'ambiente. Nella tabella 6.1 si riportano, per ogni tipologia selezionata, il numero di attività/impianti nel territorio nazionale, le fonti e la data di aggiornamento delle informazioni, la disponibilità dei dati del CTN_AGF.

Va sottolineato che la ricognizione è preliminare e le cifre che vengono presentate sono suscettibili di revisioni. Si accenna, per ogni tipologia, agli aspetti per i quali essa è fonte potenziale di pressione radiologica sull'ambiente: sono elementi di sintesi e come tali approssimativi.

Si riportano nella tabella 6.2 dati di dettaglio (relativi al 2001) sulle centrali termoelettriche a carbone del Gruppo ENEL. Si tratta di centrali *"poli-combustibile"*, atte cioè a utilizzare indifferentemente il carbone e almeno un altro combustibile (olio combustibile, gas naturale, lignite).

OBIETTIVI FISSATI dalla NORMATIVA

Il D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni estende il campo di applicazione alle attività lavorative che comportano la produzione di residui, l'uso o lo stoccaggio di materiali, abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali (NORM) e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e di persone del pubblico.

PERIODICITÀ di AGGIORNAMENTO

Annuale.

QUALITÀ dell'INFORMAZIONE

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	2	2	2

L'indicatore è rilevante ai fini della domanda di informazione proveniente dalle normative nazionali. Dovrebbe essere migliorata la completezza dell'informazione attraverso la ricerca di ulteriori fonti. La recente introduzione della problematica nella normativa rende la comparabilità temporale limitata (a partire dal 1999). Anche in termini di comparabilità spaziale i dati risentono di una omogeneità non sufficiente.



Tabella 6.1: Attività lavorative con uso e/o produzione di NORM

Tipologia attività (impianto)	n. attività	Fonte dati	Disponibilità/aggiornamento dati	Potenziale pressione sull'ambiente
Estrazione gas e petrolio (AGIP) ⁽¹⁾	7619 pozzi 34 campi a terra 38 piattaforme 53 centrali	Comunicazione AGIP	Per singola attività 1999	Possibili problemi per smaltimento incrostazioni di parti dell'impianto (potenziale presenza di Ra-226, Pb-210, Po-210) e delle acque di formazione (potenziale presenza di Ra-226).
Raffinerie di petrolio ⁽²⁾	18 stabilimenti	Ministero Ambiente	Per singola attività 2002	Possibili problemi per smaltimento incrostazioni di parti dell'impianto.
Miniere di uranio ⁽³⁾	2 siti	APAT	Provinciale 2000	Problemi per eventuale accesso della popolazione e riutilizzo dell'area.
Produzione di silicati di zirconio macinati ⁽⁴⁾	6 stabilimenti	Comunicazione produttori	Nazionale 2000	I minerali di partenza hanno elevati contenuti di U-238 e Th-232. Problemi per dispersione delle polveri, irradiazione in trasporto e stoccaggio e per la gestione residui (processi a umido).
Produzione di materiali refrattari ⁽⁵⁾	36 stabilimenti	Assopiastrelle	Per singola attività 2002	Immissione parziale in atmosfera di Pb-210 e Po-210 durante la combustione delle sabbie.
Produzione di piastrelle ⁽⁶⁾	253 stabilimenti	Assopiastrelle	Per singola attività 2002	Sono potenziali NORM le polveri raccolte dai depuratori e i fanghi dei reparti di produzione smalti, smaltatura e levigatura grès porcellanato.
Acciaierie a ciclo integrale ⁽⁷⁾	4 stabilimenti, 2 dei quali con impianti di agglomerazione minerale	Federacciai, siti web dei gruppi industriali	Per singola attività 2001	Nella combustione dei minerali (sinterizzazione, soprattutto) immissione parziale in atmosfera di Pb-210 e Po-210. Possibili problemi per lo smaltimento e il riciclaggio dei residui.
Centrali termoelettriche a carbone (Gruppo ENEL)	13 stabilimenti	Società Gruppo Enel	Per singola attività 2001	La combustione del carbone porta all'immissione parziale in atmosfera di Pb-210 e Po-210. Problemi per il riutilizzo in edilizia delle ceneri leggere (irradiazione esterna ed esalazione di radon), e lo smaltimento in discarica delle ceneri pesanti.
Lavorazione dei minerali fosfatici	3 stabilimenti di produzione di per-fosfati, 25 principali produttori di fertilizzanti composti e fosfatici semplici	Assofertilizzanti	Per singola attività 2002	Il minerale di partenza (fosforite) ha elevate concentrazioni di U-238. Problemi per esposizione dei lavoratori dell'industria di fosfati e fertilizzanti e degli utilizzatori in agricoltura.
Discariche di fosfogessi ⁽⁸⁾	5 siti	Comunicazione referenti locali Enichem	Per singola attività 2002	Elevati contenuti di Ra-226, Pb-210 e Po-210. Possibile rilascio in fiumi, mari e acque sotterranee.

Fonte: APAT/CTN_AGF

LEGENDA:

⁽¹⁾ I dati si riferiscono unicamente agli impianti AGIP per la non disponibilità di dati relativi ad Edison Gas e Società Petrolifera Italiana.

⁽²⁾ Si tratta delle raffinerie soggette a notifica secondo l'art. 6 del D.lgs. 334/99 sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante.

⁽³⁾ Le miniere, entrambe chiuse, si trovano in Val Seriana (provincia di Bergamo) e Val Vedello (provincia di Sondrio).

⁽⁴⁾ Si tratta di attività che, a partire da sabbie ad alto contenuto di zirconio, producono polveri di silicati di zirconio destinate all'industria delle ceramiche, dei refrattari, alla produzione di smalti, vetri speciali, mattonelle. Il dato deriva da una comunicazione personale ed è probabilmente deficitario.

⁽⁵⁾ Il 50% circa di queste aziende utilizza sabbie zirconifere o loro derivati.

⁽⁶⁾ Il 70% circa di queste aziende ha il ciclo produttivo completo (che include la preparazione degli smalti spesso contenenti composti dello zirconio), il 50% produce grès porcellanato (il grès porcellanato bianco contiene le sabbie zirconifere nell'impasto).

⁽⁷⁾ Il ciclo integrale parte dalle materie prime, costituite principalmente da minerali di ferro e carbon coke e copre il 40% della produzione complessiva di acciaio in Italia. La restante produzione avviene con forno elettrico a partire dal rottame di ferro.

⁽⁸⁾ Si tratta di siti (tutti di proprietà ENICHEM) in cui venivano depositati i fosfogessi, quali residui delle attività finalizzate alla produzione di fertilizzanti o detergenti (Venezia, Crotone, P.to Torres e Gela).

Tabella 6.2: Centrali termoelettriche a carbone del Gruppo ENEL (2001)

Denominazione centrale	Comune	Produzione lorda di energia elettrica da carbone (GWh)	Consumo di carbone (t x 10 ³)
Bastardo	Gualdo Cattaneo (PG)	1.131	417
Brindisi	Brindisi (BR)	1.576	672
Brindisi sud	Cerano (BR)	9.300	3.340
Fusina	Malcontenta (VE)	6.038	2.114
Genova	Genova (GE)	2.097	826
La Spezia	La Spezia (SP)	1.683	591
Monfalcone	Monfalcone (GO)	2.414	861
Pietrafitta	Panicale (PG)	0	0
Porto Marghera	Venezia (VE)	889	376
Santa Barbara	Cavriglia (AR)	0	0
Santa Gilla	Cagliari (CA)	0	0
Sulcis	Portoscuso (CA)	1.635	649
Vado Ligure	Valleggia di Quiliano (SV)	4.202	1.440
TOTALE		30.965	11.286

Fonte: ENEL Produzione, Interpower, Elektrogen/Endesa Italia, Eurogen

Impatto radiologico dovuto per alcune esposizioni a NORM

Impatto radiologico dovuto alla lavorazione dei minerali fosfatici

L'impatto radiologico dell'industria dei fertilizzanti è connesso con l'elevata concentrazione di U-238 nelle fosforiti (minerali di partenza costituiti da fosfati di calcio) e nei loro derivati (UNSCEAR, 1982, *Sources and Effects of Ionising Radiation, United Nations, New York*).

In passato erano presenti in Italia diversi impianti che producevano acido fosforico attraverso il processo a umido, con la formazione di fosfogesso come sottoprodotto; impianti che hanno cessato l'attività. Sono comunque presenti alcune aree in cui sono stoccati e smaltiti i rifiuti (fosfogessi o altri residui) che possono rappresentare una potenziale sorgente di esposizione della popolazione. Ad oggi infatti risultano tre aree di stoccaggio dei gessi (Veneto, Sicilia, Sardegna), un'area industriale certa ove è stato prodotto acido fosforico (Calabria) e una da verificare (Liguria). Gli impianti del Veneto e Sicilia operavano nel campo della produzione di fertilizzanti, quelli della Sardegna e Calabria nelle lavorazioni di detergenti. In alcune situazioni, prima della realizzazione della discarica, i fosfogessi erano direttamente sversati in mare. La tabella 6.a riporta informazioni sui siti di stoccaggio dei fosfogessi in Italia, desunte da un'attività di censimento e studio eseguita dal CTN_AGF nel corso del 2001.

Tabella 6.a: Informazioni sui siti di stoccaggio dei fosfogessi in Italia (referenti Enichem locali)

Sito (m ³)	Volume alimentazione	Periodo di	Collocazione	Bonifica	Note
Veneto (Campalto-Venezia)	200.000-250.000	1965-80	Prospiciente la laguna	Avanzata	Altre 3 località in corso di verifica
Calabria (Crolone)					Impianto operativo nel 1926-1986 (scarico in mare)
Sardegna (Porto Torres)	800.000	1972-82	Ex cava 1 km dal mare	Conclusa	
Sicilia (Gela)	6.000.000	1981-92	1 km dal mare	Programmata	

A partire dal 1998 l'APAT sta studiando il sito di Campalto (Laguna di Venezia) con misure di concentrazione di attività di Ra-226, Pb-210 e Po-210 nelle acque, nei sedimenti e nei molluschi della laguna prospiciente il sito. L'erosione dei fosfogessi, dovuta agli agenti meteorici e alle maree, causa un livello più alto di Pb-210 e Po-210 nei sedimenti lagunari prossimi alla discarica, mentre non è chiaro se la concentrazione nei molluschi sia correlata o meno alla distanza dalla discarica. La dose efficace per la popolazione che consuma i molluschi provenienti dall'area studiata, dovuta all'ingestione di Po-210, è stata stimata in circa 50-250 mSv/anno.

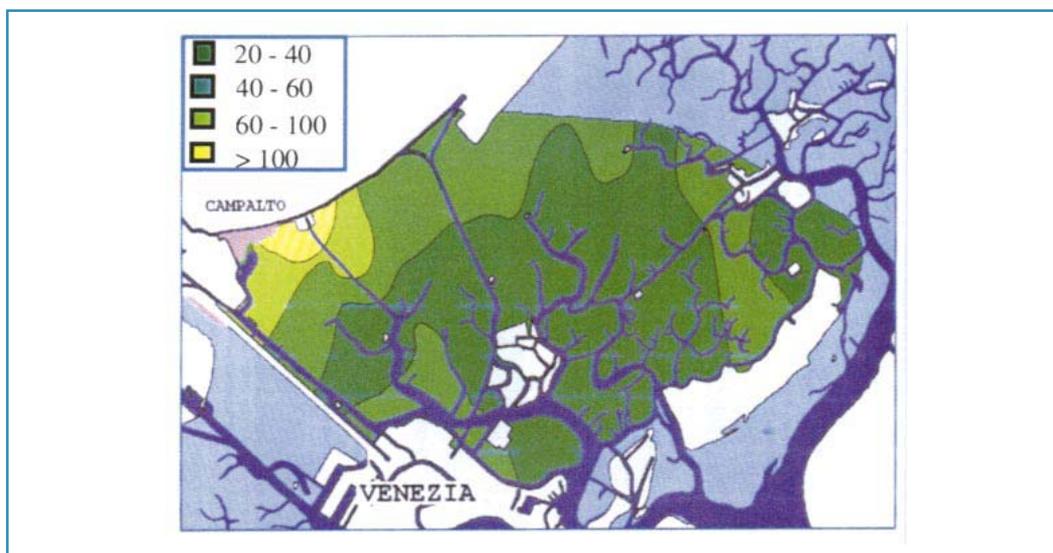


Figura 6.a: Concentrazione di attività di Pb-210 (Bq/kg peso secco) nei sedimenti superficiali del sito di Campalto

Impatto radiologico sulla popolazione italiana dovuto alle centrali a carbone

Nell'ambito della estesa attività di censimento e studio del CTN_AGF riguardante alcune attività produttive che esercitano pressione ambientale in quanto impiegano o producono NORM, l'ARPA Toscana ha effettuato nel 2001 una prima valutazione dell'impatto radiologico sull'ambiente causato dalle centrali a carbone, anche se queste non sono al momento incluse nell'elenco riportato nell'Allegato I-bis del D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni. L'obiettivo del lavoro è stato la messa a punto di una metodologia di valutazione di tipo modellistico e la raccolta dei dati e degli strumenti necessari ad applicarla alla realtà italiana.

Il carbone contiene bassi livelli di radionuclidi naturali, ma le ceneri derivanti dal processo di combustione sono arricchite in radionuclidi e usate come materiale da costruzione. L'impatto radiologico di questi impianti non-nucleari dipende, quindi, dalla frazione di ceneri e di radionuclidi gassosi rilasciati nell'ambiente e dalla quantità di ceneri usate nei materiali da costruzione.

La valutazione dell'impatto ambientale delle centrali a carbone è stata effettuata utilizzando una versione adattata del modello PC-CREAM (*Consequence of Releases to the Environment Assessment Methodology*), sviluppato dal *National Radiological Protection Board*.

La valutazione d'impatto è stata effettuata su 6 centrali, in quanto per esse è possibile utilizzare le griglie di distribuzione della popolazione e della produzione agricola: Brindisi Sud, Fusina e Vado Ligure, per cui si dispone di griglie specifiche dei rispettivi siti; Porto Marghera, Genova e La Spezia, per cui le griglie suddette possono essere utilizzate per una valutazione approssimata, data la vicinanza di queste centrali alle precedenti.

I dati specifici dei siti d'interesse introdotti nel modello sono la produzione di energia dell'impianto e la densità di popolazione del comune in cui si trova la centrale; per quanto riguarda la concentrazione di attività del carbone e delle ceneri, sono stati usati valori mediati su diversi campioni provenienti da differenti impianti italiani. Sono stati altresì utilizzati dati meteorologici standard.

La dose individuale è stata calcolata per gli adulti residenti a tre diverse distanze dall'impianto: 500 m, 5 km e 10 km. È stato inoltre considerato un tasso di permanenza in locali chiusi dell'80%. In generale si è considerato che il consumo alimentare degli individui in esame sia al 100% di produzione locale. Questa assunzione permette di calcolare la dose massima assunta per ingestione e può essere pertanto considerata come caratteristica dell'individuo appartenente al "gruppo di riferimento". La dose collettiva è stata valutata per gli adulti e la popolazione considerata è quella dell'Unione Europea. La tabella 6.b riassume i risultati delle stime di dose individuale e collettiva, che appaiono modeste.

Tabella 6.b: Stime di dose individuale e collettiva da rilascio di ceneri di centrali a carbone

	valore max	radionuclidi significativi	vie di esposizione significative	valore minimo
Dose individuale	0,42 μ Sv	Pb-201, Po-210	Ingestione di cibi contaminati	< 0,1 μ Sv (90%)
Dose collettiva	0,055 manSv	Pb-201, Po-210	Inalazione da nube	0,013 manSv (45%)

Dall'assunzione della proporzionalità evidenziata fra la dose collettiva dovuta a ciascuna centrale e la produzione di energia elettrica (0,1 manSv/Gwa), è stato possibile stimare la dose collettiva dal rilascio di ceneri delle centrali a carbone italiane nel corso degli ultimi anni (Figura 6.b).

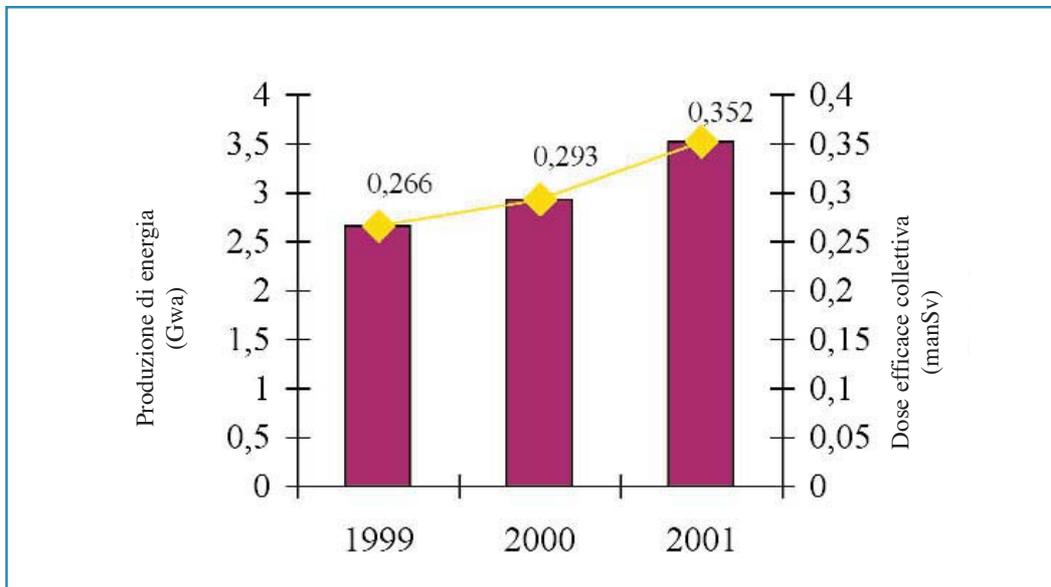


Figura 6.b: Trend della dose efficace collettiva da rilascio di ceneri per tutte le centrali a carbone italiane

INDICATORE

STRUTTURE AUTORIZZATE ALL'IMPIEGO DI RADIOISOTOPI

SCOPO

Documentare il numero di strutture, suddivise per tipologia d'impianto, autorizzate all'impiego di sorgenti di radiazioni, limitatamente all'impiego di categoria A (per la cui definizione si rimanda al D.lgs. 230/1995 e successive modifiche ed integrazioni), e loro distribuzione sul territorio nazionale.

DESCRIZIONE

L'indicatore è classificabile come indicatore di causa primaria; documenta il numero e la distribuzione sul territorio delle strutture autorizzate (categoria A) all'utilizzo di sorgenti radioattive fornendo una sommaria descrizione delle attività svolte e delle sorgenti utilizzate.

UNITÀ di MISURA

Numero strutture/impianti, percentuale

FONTE dei DATI

Settore Radioisotopi e Macchine Radiogene del Dipartimento Rischio Nucleare e Radiologico dell'ANPA. I dati sono aggiornati al 2001.

NOTE TABELLE e FIGURE

Nella tabella 6.3 sono sommariamente descritte le tipologie degli impianti, le attività condotte e le sorgenti di radiazione utilizzate. Nella tabella 6.4 è riportato, suddiviso per tipologia di impianto, il numero di strutture presenti nelle singole regioni. In figura 6.2 è riportata, sempre per le diverse tipologie di impianto, la percentuale delle strutture presenti a livello nazionale.

OBIETTIVI FISSATI dalla NORMATIVA

L'autorizzazione per l'installazione di impianti, stabilimenti, istituti, gabinetti medici, laboratori adibiti ad attività comportanti la detenzione, l'utilizzazione, la manipolazione di materie radioattive, prodotti, apparecchiature è disciplinata dal D.lgs 230/95 e successive modifiche e integrazioni, specificatamente al Capo VI (art. 27 e 28).

PERIODICITÀ di AGGIORNAMENTO

Annuale

QUALITÀ dell'INFORMAZIONE

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	1	1	1

L'indicatore risponde alla domanda di informazione. Buona accuratezza, comparabilità nel tempo e nello spazio.



RADIAZIONI IONIZZANTI

Tabella 6.3: Strutture autorizzate all'impiego di sorgenti radioattive suddivise per tipologia di impianto, attività condotta e sorgenti radioattive utilizzate

Codice	Tipologia impianto	Attività svolte/ caratteristiche	Sorgenti di radiazioni	Caratteristiche delle sorgenti
A	Impianti di irraggiamento	Sterilizzazione vari materiali come semi, cipolle, aglio, legni, vetri, ma soprattutto attrezzature medicali come siringhe, protesi, strumentazione chirurgica	Sorgenti di Co 60	Attività che varia da circa 10^{13} a circa 10^{16} becquerel
B	Impianti di sterilizzazione	Sterilizzazione attrezzature medicali come siringhe, protesi, strumentazione chirurgica.	Acceleratori di elettroni da 8 - 10 MeV, con potenze di alcuni kW	--
C	Acceleratori per usi industriali	Polimerizzazione di plastiche, controlli di cavi, controllo di missili	Acceleratori di elettroni da 8 -10 MeV, con potenze di alcuni kW	
D	Ciclotroni per PET	Ad essi è associata una medicina nucleare, per la somministrazione dei radioisotopi prodotti ai pazienti. Alcuni ciclotroni sono anche autorizzati al commercio del F-18, che viene prodotto per conto di ASL vicine	Ciclotroni che accelerano protoni e deutoni: le energie variano da 10 MeV fino a 40 MeV	--
E	Acceleratori per ricerca scientifica	Sono impianti che prevedono l'impiego di fasci di particelle per gli scopi più diversi	Le particelle accelerate, le energie, le potenze dei fasci sono molto variabili	--
F	Impianti per la fusione	Hanno rilevanza radioprotezionistica solo per la detenzione di sorgenti di trizio	Sorgenti di trizio	--
G	Grandi laboratori che impiegano sorgenti non sigillate	--	--	--
H	Depositi di rifiuti radioattivi	--	--	--
I	Impianti per il commercio di sorgenti radioattive	Non tutti gli impianti hanno la stessa rilevanza radioprotezionistica	--	--
L	Ospedali con attività tali da comportare la necessità dell'autorizzazione ex art. 13 della L 1860 del 31 dicembre 1962. Sono inclusi anche alcuni ospedali che sono stati oggetto di ispezione, anche se non sono stati autorizzati ex art. 13 L 1860/62	Gli ospedali inclusi in genere hanno almeno una telecobaltoterapia, un impianto LDR e/o HDR, una medicina nucleare, un reparto di terapia metabolica, alcuni reparti con laboratori RIA, un deposito temporaneo di rifiuti radioattivi ed un sistema di vasche per il decadimento dei rifiuti liquidi	--	--

Fonte: ANPA, Settore Radioisotopi e Macchine Radiogene del Dipartimento Rischio Nucleare e Radiologico

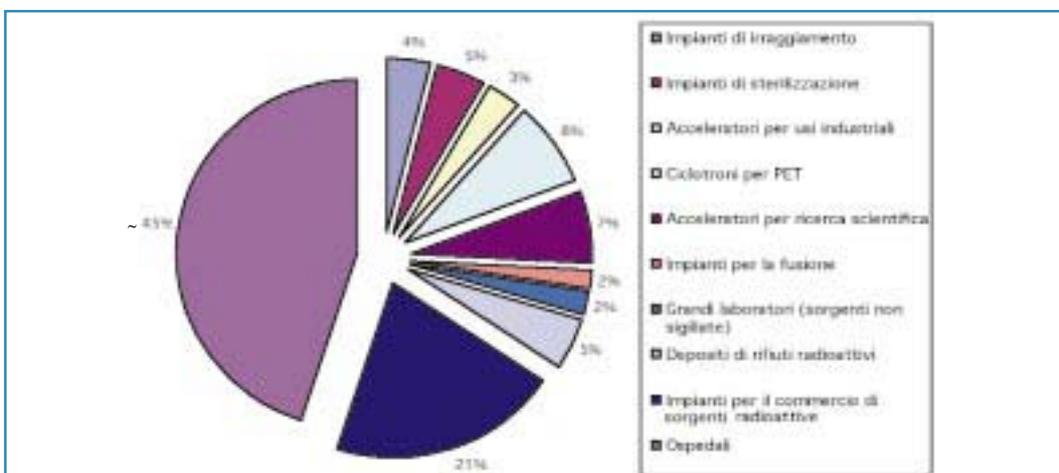
Tabella 6.4: Strutture autorizzate all'impiego di sorgenti radioattive per regione di ubicazione e tipologia di impianto

Regione	Codice tipologia impianto										Totale
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	
Piemonte							2	1	3	7	13
Valle d'Aosta											0
Lombardia	1	3	2	4	1			1	19	10	41
Trento										1	1
Bolzano											0
Veneto		1		1	1	1					8
Friuli Venezia Giulia					1					1	3
Liguria										1	4
Emilia Romagna	1	1		1	1			1	1	9	15
Toscana				1							2
Umbria			1								1
Marche	1										2
Lazio	2		1		4	1	1	1	2	6	18
Abruzzo											2
Molise											0
Campania				1							1
Puglia								1			2
Basilicata											0
Calabria											0
Sicilia				2	1			1			5
Sardegna		1									1
TOTALI	5	6	4	10	9	2	3	6	27	59	131

Fonte: ANPA, Settore Radioisotopi e Macchine Radiogene del Dipartimento Rischio Nucleare e Radiologico.

LEGENDA:

A: Impianti di irraggiamento; B: Impianti di sterilizzazione; C: Acceleratori per usi industriali; D: Ciclotroni per PET; E: Acceleratori per ricerca scientifica; F: Impianti per la fusione; G: Grandi laboratori che impiegano sorgenti non sigillate; H: Depositi di rifiuti radioattivi; I: Impianti per il commercio di sorgenti radioattive; L: Ospedali con attività tali da comportare la necessità dell'autorizzazione ex art. 13 della L 1860 del 31 dicembre 1962. Sono inclusi anche alcuni ospedali che sono stati oggetto di ispezione, anche se non sono stati autorizzati ex art. 13 L 1860/62.



Fonte: ANPA, Settore Radioisotopi e Macchine Radiogene del Dipartimento Rischio Nucleare e Radiologico.

Figura 6.1: Strutture autorizzate all'impiego di sorgenti radioattive a livello nazionale, suddivise per tipologia

INDICATORE

IMPIANTI PER TRATTAMENTO DEI ROTTAMI METALLICI (RACCOLTA, DEPOSITO, FUSIONE)

SCOPO

Monitorare il numero di impianti per il trattamento dei rottami metallici e valutare la quantità trattata.

DESCRIZIONE

L'indicatore (numero di impianti e quantità trattata) è qualificabile come indicatore di causa primaria e costituisce una delle informazioni atte al dimensionamento del problema afferente all'eventuale/ipotetico ritrovamento di sorgenti radioattive o di metalli contaminati nel riciclo dei rottami metallici.

Le conseguenze dell'introduzione di sorgenti e di rottame contaminato nel ciclo produttivo di un impianto di riciclaggio (le cui dimensioni variano da quelle di una grande acciaieria a quelle di una piccola azienda di fusione di metalli pregiati), possono essere sanitarie (lavoratori e popolazione) e ambientali (territorio circostante l'impianto); inoltre è prevedibile un danno per l'economia dell'azienda.

Il tipo di rottame utilizzato in un impianto di riciclaggio dipende dalle sue dimensioni, dal tipo di fornace, dalle caratteristiche chimiche del prodotto finito e inoltre dal costo di mercato. Il rottame è una materia prima fondamentale per la produzione di acciaio, infatti si valuta un consumo globale di circa 300 milioni di tonnellate sull'intero pianeta, per produrre acciaio pari al 30% della produzione mondiale. Il fabbisogno di acquisto di rottame delle acciaierie italiane ammonta a circa 15 milioni di tonnellate, reperiti per circa 11 milioni sul mercato nazionale e circa 4 milioni da importazioni. La raccolta nazionale passa attraverso i depositi dei commercianti, mentre l'importazione avviene tramite agenti e rappresentanti di case estere. Per i rottami non ferrosi il consumo nazionale ammonta a circa 1,6 milioni di tonnellate, di cui circa 1 milione provenienti dalla raccolta nazionale.

Generalmente, il materiale che costituisce il composito mondo dei rottami viene fatto transitare attraverso un deposito per essere sottoposto a operazioni di cernita e preparazione indispensabili per conferirgli le caratteristiche qualitative e quantitative richieste dalle industrie fusorie, in relazione al tipo di produzione cui è destinato.

UNITÀ di MISURA

Numero di impianti

FONTE dei DATI

I dati relativi agli impianti sono stati forniti dalle associazioni: Assofermet, Federacciai, Assofond, Assomet.

NOTE TABELLE e FIGURE

Nella tabella 6.5 sono riportati i dati sul numero di impianti per il trattamento dei rottami metallici per regione di ubicazione degli stessi, distinti per tipologia di impianto: acciaierie, fonderie (di rottame/materiale ferroso e non) e depositi presso commercianti. I dati si riferiscono al dicembre 2001.

OBIETTIVI FISSATI dalla NORMATIVA

L'attività di sorveglianza radiometrica su rottami o altri materiali metallici di risulta è prevista dal D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni, specificatamente al Capo XII, art. 157, ancorché non disciplinata compiutamente in carenza del Decreto applicativo previsto.

PERIODICITÀ di AGGIORNAMENTO

Annuale.

QUALITÀ dell'INFORMAZIONE

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	2	2	2

L'indicatore risponde alla domanda di informazione e deve essere migliorata la sua completezza. Il dato sul numero delle fonderie di rottami metallici ferrosi, non è completo con dettaglio regionale.

★★

Tabella 6.5: Numero di impianti per il trattamento dei rottami metallici nelle regioni italiane

Regione	Numero di impianti		
	Fusione		Depositi
	Acciaierie	Fonderie	
Piemonte	3	122	31
Valle d'Aosta	1	3	1
Lombardia	20	656	147
Trentino Alto Adige	2	13	12
Veneto	5	138	53
Friuli Venezia Giulia	2	23	15
Liguria	0	5	13
Emilia Romagna	1	143	52
Toscana	0	47	32
Umbria	1	7	5
Marche	0	36	6
Lazio	0	13	16
Abruzzo	0	11	4
Molise	0	4	0
Campania	0	13	13
Puglia	0	11	13
Basilicata	1	3	2
Calabria	0	6	0
Sicilia	0	5	5
Sardegna	0	5	2
Totale	36	(*) 1.300	422

Fonte: dati trasmessi da Assofermet, Federacciai, Assofond, Assomet.

LEGENDA:

(*) Il dato complessivo nazionale comprende 36 fonderie di metalli ferrosi non attribuibili in maniera specifica ad alcuna regione.

INDICATORE

IMPIANTI NUCLEARI: ATTIVITÀ DI RADIOISOTOPI RILASCIATI IN ARIA E IN ACQUA

SCOPO

Monitorare l'emissione di radioattività in aria e in acqua nelle normali condizioni di esercizio degli impianti nucleari.

DESCRIZIONE

L'indicatore, classificabile come indicatore di pressione, documenta la quantità di radioattività rilasciata annualmente nell'ambiente, confrontandola con i limiti di scarico autorizzati.

UNITÀ di MISURA

Bequerel, per cento di formula di scarico (% F.d.S.)

FONTE dei DATI

APAT, su informazione degli esercenti degli impianti nucleari, in ottemperanza alle prescrizioni autorizzative.

NOTE TABELLE e FIGURE

Stato attuale degli impianti nucleari italiani: il referendum del 1987 sui quesiti relativi alle Centrali nucleari prima, e la successiva decisione del CIPE del 1990 di annullamento del programma energetico nucleare in Italia, hanno determinato sia la chiusura definitiva delle quattro Centrali in esercizio e degli impianti di fabbricazione del combustibile a esse collegati, sia l'abbandono dell'attività di ricerca nel campo del ciclo del combustibile che ha comportato, anche in questo caso, la chiusura dei relativi impianti.

Diversi impianti di ricerca erano già stati chiusi, ma solo per aver esaurito i loro programmi sperimentali; ci si riferisce ad alcuni reattori dell'ENEA installati presso il Centro della Casaccia e presso i Laboratori di Montecuccolino. Alcuni impianti del ciclo del combustibile, eserciti da società private, erano stati parimenti chiusi per motivi legati essenzialmente al riassetto di tali società.

Oggi sono in esercizio in Italia solo quattro reattori di ricerca, installati il primo presso il Politecnico dell'Università di Palermo (il reattore AGN 201 "Costanza", di bassissima potenza termica, pari a pochi watt, utilizzato per scopi didattici), altri due presso il C.R. Casaccia dell'ENEA (il reattore termico TRIGA RC-1 ed il reattore sorgente veloce TAPIRO, aventi potenza rispettivamente di 1 MW e di 5 kW termici, impiegati per ricerche nel campo della fisica dei solidi e della fisica nucleare e per applicazioni nel campo medico - biologico) e, infine, l'ultimo presso il L.E.N.A dell'Università di Pavia (un reattore tipo TRIGA MARK II, della potenza termica di 250 kW in regime stazionario e di 250 MW in regime pulsato, utilizzato per irraggiamenti neutronici di materiali).

A detti reattori va aggiunto il Deposito Avogadro, di proprietà della FIAT - AVIO, ubicato sul sito di Saluggia, nel quale sono immagazzinati tutti gli elementi di combustibile irraggiato provenienti dalla Centrale del Garigliano e parte di quelli della Centrale di Trino.

Con la necessità di operare sui reattori TRIGA e TAPIRO (Casaccia) e di gestire gli impianti del ciclo del combustibile (EUREX a Saluggia, ITREC alla Trisaia, IPU e OPEC alla Casaccia), l'ENEA è attualmente il maggiore esercente nazionale di impianti nucleari non energetici. La Fabbricazione Nucleare S.p.A., partecipata dall'ENEA, esercisce inoltre un impianto industriale di fabbricazione del combustibile nucleare attualmente in corso di disattivazione.

Gli altri impianti nucleari sono tutti in fase di disattivazione più o meno avanzata, sia sotto l'aspetto operativo sia autorizzativo, o di cessato esercizio. Per fare un solo esempio, le Centrali del Garigliano e di Latina sono del tutto prive di combustibile nucleare, sia irraggiato che fresco, mentre tale combustibile è

ancora presente negli appositi depositi delle Centrali di Trino e di Caorso.

Nella tabella 6.6 sono riportati per ciascun impianto nucleare, relativamente all'anno 2001, i valori dell'impegno annuale delle formole di scarico e le quantità dei radionuclidi più significativi rilasciati nell'ambiente.

Le formole di scarico stabiliscono le quantità massime di radioattività e le modalità di scarico autorizzate per il rilascio nell'ambiente.

OBIETTIVI FISSATI dalla *NORMATIVA*

Gli scarichi nell'ambiente di effluenti radioattivi da parte degli impianti nucleari, sono soggetti ad apposita autorizzazione. In essa sono stabiliti, tramite prescrizione tecnica allegata all'autorizzazione e all'esercizio dell'impianto (D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni), i limiti massimi di radioattività rilasciabile nell'ambiente e le modalità di scarico (formola di scarico).

PERIODICITÀ di AGGIORNAMENTO

Annuale

QUALITÀ dell'*INFORMAZIONE*

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	2	1	1

L'indicatore risponde alla domanda di informazione. Alcune riserve vanno poste sulla non completa documentazione dell'indicatore.



Tabella 6.6: Quantità di radioattività scaricata negli effluenti liquidi e aeriformi nell'anno 2001 (Bq)

Centrale di Caorso (PC)								
Scarichi liquidi								
Nuclide	Co60	Cs137	H3	Fe55	%F. d. S.			
Attività (Bq)	5.02E+07	1.05E+07	2.72E+08	1.74E+05	3.30E-01			
Scarichi aeriformi								
Nuclide	Co60	Cs137	H3	%F. d. S.				
Attività (Bq)	1.4E+04	3.33E+03	8.2E+08	4.1E-01				
Centrale di Trino Vercellese (VC)								
Scarichi liquidi								
Nuclide	Co60	Cs134	Cs137	Sr90	Fe55	H3	% F. d. S.	
Attività (Bq)	3.06E+08	3.01E+06	2.26E+08	4.56E+06	1.31E+07	3.34E+08	4.4	
Scarichi aeriformi								
Nuclide	Co60	Cs134	Cs137	Sr90	Pu239	Kr85	H3	% F.d.S.
Attività (Bq)	1.6E+04	(*)	2.8E+04	3.7E+03	(*)	(*)	5.0E+09	1.12
Centrale di Latina (LT)								
Scarichi liquidi								
Nuclide	Co60	Cs134	Cs137	Sr90	Pu239	H3	% F.d.S.	
Attività (Bq)	3.23E+06	3.36E+06	1.19E+08	1.36E+08	1.50E+05	9.45E+07	7.38	
Scarichi aeriformi								
Nuclide	Co60	% F.d.S.						
Attività (Bq)	2.03E+02	0.01						
Centrale del Garigliano (CE)								
Scarichi liquidi								
Nuclide	Co60	Cs134	Cs137	Sr90	α	H3	% F.d.S.	
Attività (Bq)	2.83E+08	(*)	1.71E+09	2.20E+08	(*)	7.82E+06	1.13	
Scarichi aeriformi								
Nuclide	Co60	Cs134	Cs137	Sr90	H3	% F.d.S.		
Attività (Bq)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	-		
Centro EURATOM di Ispra (VA)								
Scarichi liquidi								
Nuclide	α totale	β totale	Co60	Cs137	H3		% F.d.S.	
Attività (Bq)	5.40E+05	2.99E+07	2.3E+05	1.28E+07	1.50E+08		1.47	
Scarichi aeriformi								
Nuclide	H3						% F.d.S.	
Attività (Bq)	4.73E+11						0.64	
Centro ENEA della Casaccia (RM)								
Scarichi liquidi								
Nuclide	α totale	β/γ totale	I131	Cs137	Sr90	Pu	% F.d.S.	
Attività (Bq)	7.70E+05	7.40E+09	(*)	6.30E+07	6.73E+06	1.50E+02	43.5	
Scarichi aeriformi								
Nuclide	Ar41	Kr88	I131	Pu	β/γ		% F.d.S.	
Attività (Bq)	1.5E+12	(*)	(*)	<9.37E+03	<1.50E+05		(**)	
Impianto ENEA ITREC della Trisaia Rotondella (MT)								
Scarichi liquidi								
Attività scaricata (Bq)	1.40E+09						% F.d.S.	
							3.78	
Scarichi aeriformi								
Attività scaricata pulviscolo	% F.d.S.				Attività scaricata gas	% F.d.S.		
2.18E+06	7.0E-02				4.73E+12	3.2		

continua

RADIAZIONI IONIZZANTI

segue

Reattore TRIGA L.E.N.A. dell'Università di Pavia (PV)						
Scarichi liquidi						
Nuclidi	Co60	Cr51	Mn54	Zn65	Eu152	% F.d.S.
Attività (Bq)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	-
Scarichi aeriformi						
Nuclidi	Ar41					% F.d.S.
Attività (Bq)	1.34E+10					(+)

Deposito Avogadro della FIAT AVIO Saluggia (VC)							
Scarichi liquidi							
Nuclidi	Co60	Cs134	Cs137	Sr90	H3	totale	% F.d. S.
Attività (Bq)	2.4E+05	9.0E+04	6.2E+07	2.0E+04	8.9E+06	(*)	0.19
Scarichi aeriformi							
Nuclidi	Kr85	Co60	Cs134	Cs137	Sr90	α totale	% F.d.S.
Attività (Bq)	$\leq 1.29E+10$	$\leq 9.68E+02$	$\leq 4.84E+02$	$\leq 4.84E+02$	$\leq 7.54E+02$	$\leq 7.01E+03$	a) ≤ 1.47 b) ≤ 0.17 c) ≤ 1.28

a) formula di scarico per i gas nobili; b) formula di scarico per i particolati β/γ ; c) formula di scarico per i particolati α

Impianto della F.N. Bosco Marengo (AL)		
Scarichi liquidi		
Nuclide	Uranio	%F.d.S.
Quantità (kg)	0.17	0.88
Scarichi aeriformi		
Nuclide	Uranio	%F.d.S.
Attività (Bq)	1.9E+05	3.8

Impianto EUREX C.R. ENEA Saluggia (VC)										
Scarichi aeriformi										
Nuclide	Cs134	Cs137	H3	Sr90	β/γ totale	α totale	% F.d.S.			
Attività (Bq)	$\leq 1.50E+06$	$\leq 2.49E+07$	$\leq 1.63E+08$	$\leq 5.34E+06$	$\leq 5.78E+07$	$\leq 3.04E+06$	0.03			
Scarichi liquidi										
Nuclide	Kr85	Cs134	Cs137	I129	Sr90	H3	PU	β/γ totale	α totale	% F.d.S.
Attività (Bq)	*	≤ 9.75 E+03	≤ 1.14 E+04	6.3 E+03	≤ 1.56 E+03	5.73 E+08	≤ 5.37	≤ 2.28 E+04	≤ 5.76 E+02	a) 0.0 b) <0.003 c) <0.02

a) formula di scarico per i gas nobili; b) formula di scarico per i particolati β/γ ; c) formula di scarico per i particolati α

Fonte: APAT

LEGENDA:

(*) valori inferiori alla minima attività rivelabile.

(**) per il Centro Casaccia non è stata definita una formula di scarico.

(+) per il reattore TRIGA L.E.N.A. non è stata definita una formula di scarico per gli effluenti aeriformi.

INDICATORE

QUANTITÀ DI RIFIUTI RADIOATTIVI DETENUTI

SCOPO

Documentare tipologia e quantità di rifiuti radioattivi secondo la distribuzione nei siti di detenzione.

DESCRIZIONE

L'indicatore documenta la distribuzione dei siti dove sono detenuti rifiuti radioattivi con informazioni su tipologia e quantità dei medesimi. Si tratta di un indicatore di pressione.

UNITÀ di MISURA

Becquerel, metro cubo

FONTE dei DATI

Banca Dati SIRR (Sistema Informativo Rifiuti Radioattivi) c/o ANPA – Progetto Speciale Rifiuti Radioattivi, sulla base delle informazioni ricevute dagli esercenti.

NOTE TABELLE e FIGURE

Nella tabella 6.7 sono riportati i dati su volumi e attività dei rifiuti (solidi e liquidi), sulle attività delle sorgenti dismesse e del combustibile irraggiato per regione di ubicazione dei siti di raccolta. I dati si riferiscono al dicembre 2001 e si prevede un aggiornamento annuale. In seguito saranno disponibili anche disaggregazioni su altre informazioni importanti, quali la categoria di appartenenza (ai sensi della Guida Tecnica ANPA, n. 26), la quota di rifiuto condizionato sul totale, nonché l'informazione sul singolo recettore.

Nelle regioni che non sono riportate nella tabella non sono previsti siti di detenzione di rifiuti radioattivi, come evidenziato anche dalla figura 6.2, rappresentativa della localizzazione dei siti di detenzione dei rifiuti distinti per tipologia.

OBIETTIVI FISSATI dalla NORMATIVA

L'attività di allontanamento/raccolta/deposito di rifiuti radioattivi è disciplinata dal D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni, specificatamente al Capo VI.

PERIODICITÀ di AGGIORNAMENTO

Annuale

QUALITÀ dell'INFORMAZIONE

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	2	1	1

L'indicatore risponde alla domanda di informazione; alcune riserve vanno poste sull'accuratezza dei dati relativi ad alcuni siti; nessuna riserva sulle comparabilità nel tempo e nello spazio.



RADIAZIONI IONIZZANTI

Tabella 6.7: Caratterizzazione dei rifiuti radioattivi, delle sorgenti dismesse e del combustibile irraggiato suddivisi per regione di ubicazione

Regione	Rifiuti radioattivi		Sorgenti dismesse Attività Bqx10 ⁹	Combustibile irraggiato Attività Bqx10 ¹²	Totale Attività Bqx10 ¹²
	Attività Bqx10 ⁹	Volume m ³			
Piemonte	5.807.743	5.247	5.037	1.346.800	1.352.613
Lombardia	69.191	2.937	107.445	3.694	3.870
Emilia Romagna	3.488	4.660	73.751	1.700.057	1.700.134
Lazio	89.938	6.361	698.239	160.053	160.841
Campania	515.133	2.542	-	-	531
Toscana	14.503	350	419.000	5	439
Basilicata	591.794	3.052	41	4.583	5.175
Molise	46	86	0,30	-	0,046
Puglia	238	1140	1,46	-	0,239
Sicilia	0,88	30	0,01	-	0,001
TOTALI	7.092.075	26.405	1.303.515	3.215.192	3.223.603

Fonte: APAT



Fonte: APAT, Banca dati SIRR (Sistema Informativo Rifiuti Radioattivi)

Figura 6.2: Siti di detenzione dei rifiuti distinti per tipologia: impianti nucleari, reattori di ricerca, depositi, laboratori di ricerca

INDICATORECONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON *INDOOR***SCOPO**

Monitorare una delle principali fonti di esposizione alla radioattività per la popolazione.

DESCRIZIONE

L'indicatore, qualificabile come indicatore di stato, fornisce la concentrazione media di Rn-222 in aria nelle abitazioni. Esso rappresenta il parametro di base per la valutazione del rischio/impatto sulla popolazione e per la pianificazione delle risposte da adottare, anche in relazione alla normativa sull'esposizione negli ambienti di lavoro.

L'approfondimento "*Individuazione delle aree soggette a rischio radon*" sintetizza gli studi/iniziative sviluppati a livello regionale mirati all'identificazione delle aree maggiormente interessate dal problema.

UNITÀ di MISURA

Becquerel per metro cubo (Bq/m³), percento

FONTE dei DATI

I dati sono stati ricavati da un'indagine nazionale, condotta tra il 1989 e il 1997, su un campione rappresentativo di 5361 abitazioni distribuite in 232 comuni italiani. La selezione del campione ha consentito di estendere la rappresentatività anche a livello regionale. L'indagine è stata realizzata, in ciascuna regione, dai laboratori regionali per il controllo della radioattività ambientale (CRR) con il coordinamento dell'APAT e dell'Istituto Superiore di Sanità. I risultati sono riportati in: Bochicchio, F., Campos Venuti, G., Piermattei, S., Torri, G., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, L. "*Results of the national survey on radon indoors in the all the 21 italian regions*" *Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop*, Atene, Aprile 1999.

NOTE TABELLE e FIGURE

In tabella 6.8 sono riportate, le medie regionali della concentrazione di attività di radon *indoor* (vedi anche la figura 6.3) e la frazione di abitazioni che in ogni regione supera i due livelli di riferimento indicati dalla Commissione Europea: 200 Bq/m³ e 400 Bq/m³.

I valori medi nazionali sono stati ottenuti pesando le medie regionali per il numero degli abitanti di ogni regione: la media aritmetica è risultata 70 Bq/m³, la media geometrica è 52 Bq/m³ e la percentuale di abitazioni che eccedono i livelli di riferimento di 200 Bq/m³ e 400 Bq/m³ sono rispettivamente 4,1 % e 0,9%.

OBIETTIVI FISSATI dalla NORMATIVA

La Raccomandazione Europea 90/143/Euratom del 21/02/1990 ha fissato due livelli di riferimento superati i quali sono raccomandate azioni di risanamento: 400 Bq/m³ per edifici esistenti e 200 Bq/m³ (quale parametro di progetto) per edifici da costruire.

In Italia il D.lgs 230/95 e successive modifiche e integrazioni fissa in 500 Bq/m³ il livello di azione per la concentrazione di radon in alcuni ambienti, definiti, di lavoro. Le regioni, entro il 31 agosto 2005, dovranno individuare le zone a elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon.

PERIODICITÀ di AGGIORNAMENTO

Indagini di questo tipo sono "*una tantum*". A seguito delle indagini regionali disposte dalla normativa saranno possibili eventuali aggiornamenti.

QUALITÀ dell'INFORMAZIONE

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	1	1	1

L'indicatore è indispensabile per quantificare la problematica. Il tipo di indagine effettuata rende i dati accurati e comparabili nel tempo e nello spazio.



Tabella 6.8: Quadro riepilogativo dei risultati dell'Indagine Nazionale radon nelle abitazioni nelle regioni e province autonome italiane (indagine condotta nel periodo 1989 - 1997)

Regione	Rn-222 (Bq/m ³) Media aritmetica ± STD ERR	Abitazioni >200 Bq/m ³ %	Abitazioni >400 Bq/m ³ %
Piemonte	69 ± 3	2.1	0.7
Valle d'Aosta	44 ± 4	0.0	0.0
Lombardia	111 ± 3	8.4	2.2
Provincia autonoma di Bolzano ⁽¹⁾	70 ± 8	5.7	0.0
Provincia autonoma di Trento ⁽¹⁾	49 ± 4	1.3	0.0
Veneto	58 ± 2	1.9	0.3
Friuli Venezia Giulia	99 ± 8	9.6	4.8
Liguria	38 ± 2	0.5	0.0
Emilia Romagna	44 ± 1	0.8	0.0
Toscana	48 ± 2	1.2	0.0
Umbria	58 ± 5	1.4	0.0
Marche	29 ± 2	0.4	0.0
Lazio	119 ± 6	12.2	3.4
Abruzzo	60 ± 6	4.9	0.0
Molise	43 ± 6	0.0	0.0
Campania	95 ± 3	6.2	0.3
Puglia	52 ± 2	1.6	0.0
Basilicata	30 ± 2	0.0	0.0
Calabria	25 ± 2	0.6	0.0
Sicilia	35 ± 1	0.0	0.0
Sardegna	64 ± 4	2.4	0.0
MEDIA (pesata per la popolazione regionale)	70 ± 1	4.1	0.9

Fonte: Bochicchio, F., Campos Venuti, G., Piermattei, S., Torri, G., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, L. "Results of the national survey on radon indoors in the all the 21 Italian regions" Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop, Atene, Aprile 1999.

LEGENDA:

(1) Il Trentino Alto Adige è costituito dalle due province autonome di Bolzano e di Trento amministrativamente indipendenti.

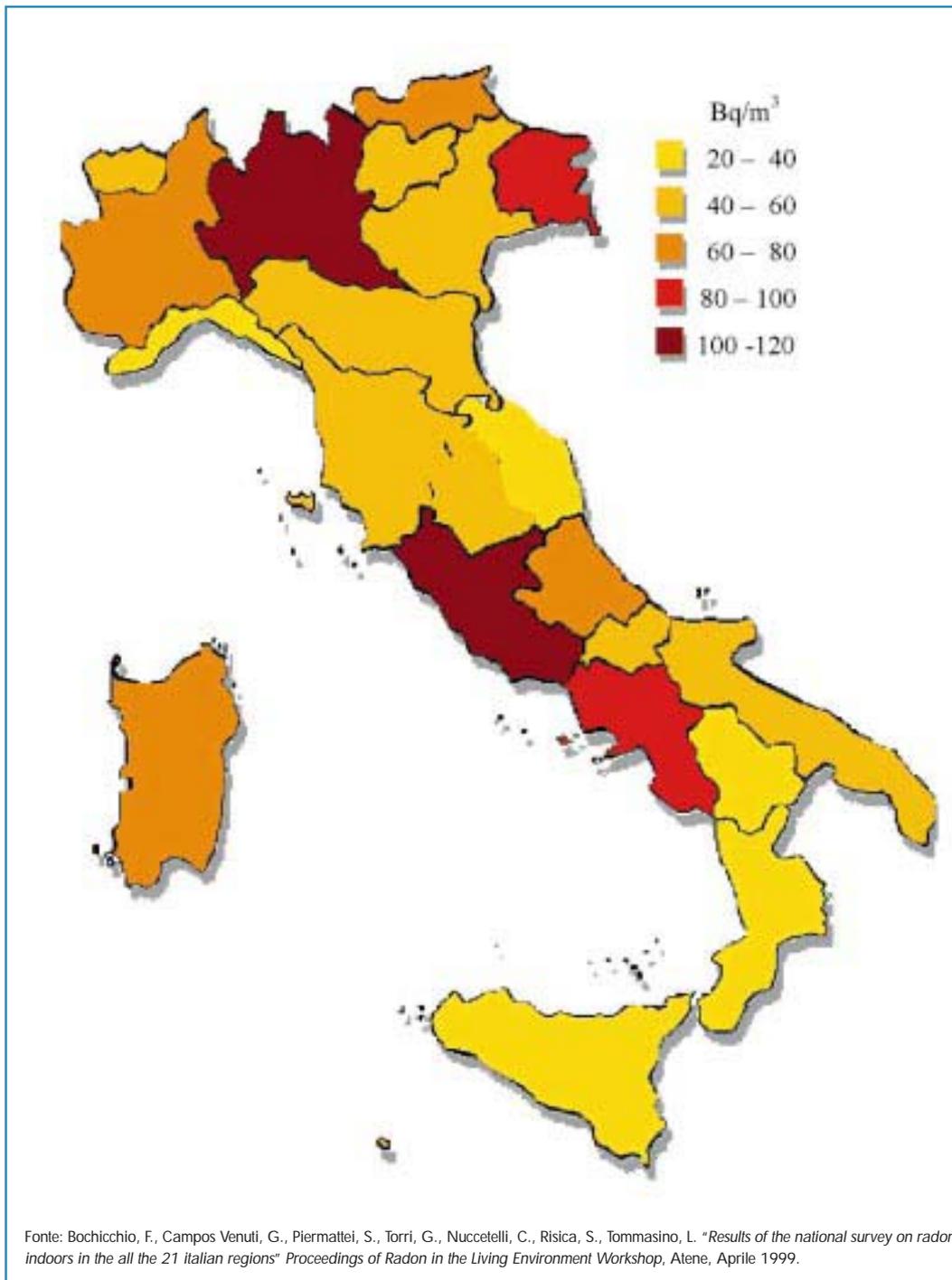


Figura 6.3: Carta tematica per regione delle concentrazioni di attività di Rn222 nelle abitazioni nelle regioni e province autonome italiane (la scelta degli intervalli ha valore esemplificativo) (1989-1997)

Individuazione delle aree soggette a rischio radon

Il radon *indoor* rappresenta la principale sorgente di rischio dovuto a esposizione a radiazioni ionizzanti per la popolazione nel suo insieme. La concentrazione media in Italia è stata stimata in 70 Bq/m³, tuttavia la grande variabilità delle condizioni che influiscono sull'ingresso e l'accumulo negli edifici (dalle caratteristiche del suolo a quelle costruttive, fino alle abitudini di vita) rendono la concentrazione (e l'esposizione) molto variabile con valori che arrivano in casi particolari fino a migliaia di Bq/m³, con conseguenti elevati livelli di rischio individuale. La Commissione Europea ha fissato, nella Raccomandazione 90/143/EURATOM, dei "Livelli di azione" per le abitazioni pari a 400 Bq/m³ per gli edifici esistenti e 200 Bq/m³ (quale parametro di progetto) per edifici da costruire, superati i quali si raccomanda di adottare misure di risanamento.

Il D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni, ha fissato per alcuni luoghi di lavoro un livello di azione di 500 Bq/m³ (nei luoghi di lavoro i tempi di permanenza sono inferiori) superato il quale sono imposte azioni di risanamento.

Sorge allora la necessità, prima di tutto di informare e, in secondo luogo, di assistere la popolazione (nel processo decisionale che va dalla misura all'eventuale azione di risanamento), in particolare coloro che hanno una maggiore probabilità di essere soggetti a una esposizione elevata.

Dagli studi effettuati fino ad oggi in Italia emerge che, come per gli altri paesi, solo una piccola parte (qualche percento) degli edifici si trova nelle condizioni di superare i livelli sopra riferiti e che questa percentuale non è uniforme sul territorio nazionale, ma vi sono aree in cui è notevolmente superiore rispetto ad altre.

Allo scopo di razionalizzare le risorse è utile effettuare quella che viene definita "mappatura" del territorio, ossia l'individuazione delle aree in cui vi è una maggiore probabilità di elevate concentrazioni. Tale azione consente di indirizzare risorse laddove è maggiormente necessario e efficace. Tale processo può essere considerato una prima fase di risposta alla tematica intesa nell'accezione del modello DPSIR.

La *mappatura* è stata riconosciuta un mezzo utile anche dalla legislazione, infatti, il D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni, assegna alle regioni il compito di individuare le zone in cui vi è una maggiore probabilità di elevate concentrazioni, ove, di conseguenza, si renderanno obbligatorie le misure in ambienti di lavoro anche diversi da quelli già individuati. Tale compito deve essere portato a termine entro il 31 agosto 2005. L'elenco delle aree deve essere pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale Italiana. In questo contesto assume ruolo fondamentale il supporto tecnico-scientifico del sistema APAT-ARPA-APPA che in alcune regioni è già stato avviato con iniziative specifiche.

Esistono diversi modi per realizzare una mappatura. Quello più diretto passa attraverso misure in aria *indoor*; altri approcci, basati prevalentemente su informazioni di natura geologica, denotano in genere difficoltà nel convertire dati riguardanti il suolo in concentrazioni del gas negli edifici soprastanti. È importante convergere verso un adeguato indicatore per la classificazione delle aree, principalmente a partire dalle misure *indoor*. La quota di abitazioni che superano un determinato livello di riferimento sembra essere un appropriato indicatore: ha, infatti, un valore operativo ed è adottato in vari contesti. La stessa Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (ICRP) suggerisce questo metodo quale strumento per l'identificazione delle zone a maggiore probabilità di elevate concentrazioni. Questa metodologia è stata adottata nel Regno Unito, in Irlanda, in Danimarca, in Svizzera e in altri paesi.

Nel contesto nazionale sono stati ad oggi sviluppati studi/iniziative a vari livelli nelle regioni Veneto, Friuli Venezia Giulia, Toscana, Piemonte e nelle province autonome di Bolzano da parte delle ARPA/APPA (figura 6.c).

Tutte le indagini sono basate sulla elaborazione di dati di concentrazione di radon *indoor* in vari ambienti, principalmente abitazioni e scuole.

La Regione Veneto ha elaborato, attraverso un'indagine appositamente pianificata su circa 1200 abitazioni, mappe sulla base della percentuale di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m³, suddividendo il territorio in maglie rettangolari di circa 6x5 km².

La Regione Toscana ha elaborato mappe delle percentuali di abitazioni eccedenti i 200 Bq/m³, suddivi-

deno il territorio in classi litologiche, utilizzando i dati di concentrazione di radon relativi a tre indagini condotte dal CRR di Firenze: la campagna nazionale nelle abitazioni rappresentativa a livello regionale, l'approfondimento realizzato nelle aree del Monte Amiata e delle Colline Metallifere, sempre tramite rilevazioni nelle abitazioni, la campagna di misura in asili e scuole materne della regione.

Per classificare i comuni delle province autonome di Bolzano, in ogni comune sono state eseguite misure in almeno 20 edifici privati o pubblici (tra cui anche scuole o asili). Si è scelto di determinare una concentrazione rappresentativa del singolo comune: allo scopo si è preso il 75° percentile dei dati rilevati. Si può ad oggi affermare che circa nel 9% delle case al piano terra si supera il valore indicativo di 400 Bq/m³ raccomandato dalla UE; in circa il 2% delle case i valori misurati risultano addirittura superiori a 1000 Bq/m³.

Le indagini svolte in Friuli Venezia Giulia sono relative a una campagna di misure in tutte le scuole di ogni ordine e grado della provincia di Trieste e ad una campagna condotta in tutte le scuole della provincia di Pordenone. Queste indagini non sono direttamente finalizzate alla mappatura. Ciò nonostante la grande quantità di dati raccolti, analizzata in relazione alla geologia delle zone interessate, ha permesso di ottenere importanti indicazioni per una futura classificazione delle aree.

In Piemonte l'ARPA ha avviato un progetto radon a carattere preliminare che ha, per ora, come obiettivi la raccolta in un unico *database* delle specifiche dei punti di misura della concentrazione di radon effettuate, incluse le relative coordinate geografiche e la promozione/conduzione di campagne di misura del radon *indoor* nelle zone della regione dove è scarsa la conoscenza dei livelli di concentrazione.

Le attività sopra descritte sono tutte finalizzate all'eventuale futura individuazione delle zone a maggiore probabilità di elevate concentrazioni di radon, sia per un'efficace risposta in termini di protezione della popolazione, sia per il rispetto delle disposizioni del D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni per quanto riguarda l'esposizione negli ambienti di lavoro.



Fonte: APAT, su informazioni ARPA-APPA

Figura 6.c: Regioni in cui sono stati sviluppati studi/iniziative mirate all'identificazione delle aree soggette a rischio radon

INDICATORE

DOSE GAMMA ASSORBITA IN ARIA PER ESPOSIZIONI A RADIAZIONI COSMICA E TERRESTRE

SCOPO

Documentare entità e distribuzione della dose efficace per esposizioni a radiazioni gamma di origine cosmica e terrestre, (due delle fonti di esposizione alla radioattività naturale), al fine di valutarne l'impatto sulla popolazione italiana. Documentare eventi o situazioni incidentali che possano comportare un aumento dell'esposizione della popolazione a radiazioni.

DESCRIZIONE

L'indicatore, qualificabile come indicatore di stato, è ricavato dalla misura delle radiazioni gamma in aria. La dose gamma assorbita in aria è dovuta a due contributi principali: la radiazione cosmica e quella terrestre. La componente terrestre varia in funzione del luogo in cui avviene l'esposizione: all'esterno (*outdoor*) o all'interno (*indoor*) degli edifici. In quest'ultimo caso vi è una componente aggiuntiva dovuta alla radioattività naturale contenuta nei materiali da costruzione.

UNITÀ di MISURA

Nanogray/ora

FONTE dei DATI

Cardinale, L. Frittelli, G. Lembo, G. Gera, O. Ilari, "Studies on the Natural Background in Italy", Health Phys. 20, 285, 1971 e A. Cardinale, G. Cortellessa, F. Gera, O. Ilari, G. Lembo, "Absorbed Dose Distribution in the Italian Population Due to the Natural Background Radiation", Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment, J.A.S. Adams, W.M. Lowder and T.F. Gesell eds. Pag. 421, 1972.

Banca Dati della rete automatica dell'APAT di rilevamento della dose gamma in aria (Rete GAMMA) costituita da 50 centraline di monitoraggio, per la maggior parte site in stazioni del Corpo Forestale dello Stato, e di un centro di controllo presso il Centro Emergenze Radiologiche dell'APAT.

NOTE TABELLE e FIGURE

In tabella 6.9 sono riportate le stime dei contributi medi delle diverse componenti della dose gamma assorbita in aria. I dati dei contributi di origine cosmica e di origine terrestre *outdoor* sono stati elaborati dai risultati di un'indagine effettuata tra gli anni 1970-1971 su un reticolo di oltre 1000 punti di misura. I dati della dose gamma di origine terrestre *indoor* sono stati ottenuti nell'ambito dell'indagine nazionale sulla radioattività nelle abitazioni, su campioni di abitazioni rappresentativi a livello regionale. Dall'analisi dei dati si evidenzia la sostanziale uniformità del contributo della radiazione cosmica, mentre il contributo della radiazione terrestre è fortemente dipendente dalla geologia del sito. La dose gamma totale annuale dipende dai tempi di permanenza *indoor* e *outdoor* che sono rispettivamente il 79% e il 21%.

La rete GAMMA dell'APAT è costituita da 50 centraline di monitoraggio che forniscono in tempo reale una misura del rateo di dose assorbita in aria. Nella figura 6.4 è riportata la localizzazione delle stazioni di monitoraggio della rete GAMMA. Nella tabella 6.10 sono fornite le medie annuali del rateo di dose gamma assorbita in aria, nel periodo 01/01/2000 – 31/12/2001 aggregate per macroregioni: nord, centro e sud. Tali valori sono stati ottenuti dalle medie annuali delle singole stazioni. Le deviazioni standard percentuali si riferiscono alla distribuzione spaziale. Relativamente alle fluttuazioni temporali, esse sono dell'ordine del 3%, desumibile dalla deviazione standard delle misure giornaliere delle singole stazioni.

Sono evidenziati, inoltre, i valori massimi e minimi per ciascuna macroregione. Il valore medio pesato per la popolazione delle tre macro regioni risulta essere pari a 103 nGy/h, dato da confrontare con 112 nGy/h ottenuto dalla tabella 6.9 sommando i contributi cosmico e terrestre.

OBIETTIVI FISSATI dalla *NORMATIVA*

Il monitoraggio dell'intensità di dose gamma in aria è condotto nell'ambito delle attività previste dal D.lgs. 230/1995 e successive modifiche ed integrazioni, sia per scopi di controllo della radioattività ambientale (art. 104) sia a supporto della gestione delle emergenze radiologiche (art. 123).

PERIODICITÀ di *AGGIORNAMENTO*

Il dato per la sua caratteristica rimane stabile nel tempo, a meno di incidenti o esplosioni nucleari che rilascino radionuclidi γ -emittitori in atmosfera. La rete GAMMA è una rete in tempo reale, dalla quale si possono ricavare aggiornamenti annuali.

QUALITÀ dell'*INFORMAZIONE*

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	1	1	1

L'indicatore risponde bene alla domanda d'informazione. La rete GAMMA non è stata disegnata per la valutazione della dose alla popolazione, in quanto le centraline non sono state disposte (non era necessario che lo fossero) per questo scopo. Tuttavia i dati della rete sembrano confrontabili con i dati dell'indagine svolta nel 1972.



Tabella 6.9: Dose gamma assorbita in aria per esposizione a radiazioni cosmica e terrestre (nGy/h)

Regione	Origine cosmica	Origine terrestre	
		outdoor	indoor
Piemonte	40	57	95
Valle d'Aosta	46	10	-
Lombardia	35	57	82
Trentino Alto Adige	49	49	88
Veneto	38	53	46
Friuli Venezia Giulia	40	51	69
Liguria	39	49	116
Emilia Romagna	38	54	50
Toscana	40	53	44
Umbria	45	59	128
Marche	39	58	58
Lazio	39	136	-
Abruzzo	42	51	63
Molise	35	43	64
Campania	37	162	298
Puglia	38	61	46
Basilicata	41	89	-
Calabria	40	65	-
Sicilia	39	68	-
Sardegna	37	31	98
MEDIA			
(pesata per la popolazione)	38	74	104⁽¹⁾

Fonte: Elaborazione APAT su dati A. Cardinale, G. Cortellessa, F. Gera, O. Ilari, G. Lembo, "Absorbed Dose Distribution in the Italian Population Due to the Natural Background Radiation", *Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment*, J.A.S. Adams, W.M. Lowder and T.F. Gesell eds. Pag. 421, 1972.

Esposizione gamma *indoor*: Elaborazione APAT su dati dei Centri Regionali di riferimento per la Radioattività ambientale (CRR) relativi all'indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni.

LEGENDA:

(1) La media pesata per la componente di origine terrestre *indoor* è stata ottenuta attribuendo alle regioni per le quali i dati non sono disponibili, un valore ottenuto dividendo la componente terrestre *outdoor* della regione per il rapporto medio tra componente *outdoor* e *indoor* di tutte le regioni con dati.

Tabella 6.10: Intensità di dose gamma assorbita in aria *outdoor* (cosmica e terrestre) da rete GAMMA APAT

	NORD		CENTRO		SUD	
	2000	2001	2000	2001	2000	2001
media (nGy/h)	103	101	109	109	93	103
S.D. (%)(*)	14,3	14,6	52,8	49,7	26,9	31,7
val.min (nGy/h)	78	77	61	61	59	63
val.max (nGy/h)	130	128	309	302	131	173

Fonte: Banca dati rete GAMMA dell'APAT.

LEGENDA:

(*) I valori si riferiscono alla variazione spaziale. Le variazioni temporali delle medie giornaliere sono dell'ordine del 3%



INDICATORE

CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADIONUCLIDI ARTIFICIALI IN MATRICI AMBIENTALI E ALIMENTARI (PARTICOLATO ATMOSFERICO, DEPOSIZIONI UMIDE E SECCHE, LATTE)

SCOPO

La valutazione della concentrazione di attività di radionuclidi artificiali in matrici ambientali e alimentari (nel particolato atmosferico, nella deposizione al suolo e nel latte) permette il controllo della contaminazione ambientale dei radionuclidi derivanti da sorgenti diffuse di radioattività (reti nazionali, regionali) quali ad esempio le deposizioni al suolo derivanti da test nucleari e da trasporto "trasfrontaliero" di contaminazione dovuta a situazioni incidentali (es. incidente di Chernobyl), o da sorgenti localizzate come gli impianti nucleari ed altri stabilimenti di radioisotopi (reti locali, regionali).

La misura della concentrazione di attività di radionuclidi nel latte fornisce altresì un'informazione utile per due aspetti: dietetico-sanitari, in relazione all'importanza di tale alimento quale componente della dieta, e ambientale, in relazione al rapido trasferimento della contaminazione dai foraggi al latte.

DESCRIZIONE

Si tratta di un insieme di indicatori di stato: presenza di radionuclidi artificiali in campioni di particolato atmosferico corrispondenti a volumi di aria noti, di deposizione umida e secca e di latte vaccino pastorizzato fresco e a lunga conservazione (UHT).

La presenza di Cs-137 nel latte è rivelabile quale residuo della contaminazione di eventi su vasta scala (test bellici degli anni '60, incidente di Chernobyl).

L'approfondimento "Stato di attuazione del monitoraggio della radioattività ambientale" riepiloga, a dicembre 2001, la situazione del monitoraggio relativamente alle reti esistenti: reti locali, regionali e nazionali.

UNITÀ di MISURA

Becquerel per metrocubo, becquerel per metroquadro, becquerel per litro.

FONTE dei DATI

Collacino, Dietrich, Favale, Passamonti, Baldi, 1987, "La radioattività dell'aria in Italia a seguito dell'incidente di Chernobyl", *Gli studi sulla radioattività ambientale e sull'impatto sanitario anche sulla base dell'incidente di Chernobyl*, ENEA.

ENEA-DISP, *Rapporto annuale sulla Radioattività Ambientale in Italia, Reti Nazionali*, 1986-87, 1988, 1989, 1990.

ANPA, *Rapporto annuale delle Reti Nazionali di Sorveglianza della Radioattività Ambientale in Italia*, 1991, 1992, 1993, 1994-97, 1998.

OECD-NEA, 1987, *The radiological impact of the Chernobyl accident in OECD countries*, Parigi.

APAT, relativamente ai dati afferenti alle Reti Nazionali per gli anni 1999-2001.

NOTE TABELLE e FIGURE

I prelievi di particolato atmosferico sono stati storicamente affidati a una rete di stazioni dell'Aeronautica Militare, distinte per quota (alta e bassa) e latitudine (nord, centro e sud), caratterizzate da procedure e sistemi di campionamento omogenei, con determinazioni radiometriche, svolte dal CNR/IFA e, dal 1993, da alcuni Centri Regionali di Riferimento per la radioattività ambientale (CRR) afferenti alle Reti Nazionali; nel tempo si sono aggiunti, alle predette stazioni, ulteriori punti presso i laboratori delle Reti Nazionali, mentre dal 1999 è in atto lo smantellamento di parte delle stazioni dell'Aeronautica. Occorrerebbe pertanto riordinare urgentemente tale importante attività, che ha garantito una serie storica di dati a partire dagli anni '60.

Nella tabella 6.11 vengono presentati i dati delle misure su pacchetti mensili dei filtri di aspirazione, effettuate in accordo al protocollo delle Reti Nazionali, per il 2001, per macroregioni¹ e il numero totale delle stazioni. Si osserva una certa disomogeneità nella copertura territoriale, in particolare il Sud Italia risulta "coperto" da una sola stazione dell'Aeronautica.

Nelle misure effettuate l'attività è spesso inferiore alla minima attività rivelabile. Tali valori sono comunque stati inclusi nel calcolo delle medie mensili. L'andamento temporale (con cadenza mensile) della concentrazione di Cs-137 nel particolato atmosferico per tutte le stazioni italiane è visualizzato in figura 6.5. I dati sono tratti dai Rapporti delle Reti Nazionali; il valore relativo ai primi giorni di maggio dell'86 (arrivo della nube di Chernobyl in Italia) si riferisce alle stazioni attive in quel periodo. Il picco relativo al giugno 1998, più evidente per il Nord Italia, è dovuto ad un incidente di una fonderia spagnola presso Algeciras.

Le misure di deposizione al suolo sono effettuate dai laboratori delle Reti Nazionali di Sorveglianza della Radioattività Ambientale coordinate dall'APAT (secondo gli appositi protocolli) su campioni raccolti mensilmente. È stata effettuata la media per macroregione sulla base dei dati delle singole stazioni di prelievo. L'aggiornamento dei dati è al 2001. Nella tabella 6.12 e nella figura 6.6 sono presentate rispettivamente le concentrazioni mensili di attività di Cs-137 nel 2001 e la serie storica dei dati a livello nazionale. Si osserva una disomogeneità significativa nella copertura territoriale.

Si evidenziano, inoltre, gli eventi di ricaduta associati ai test in atmosfera degli anni '60 e l'episodio dell'incidente della centrale di Chernobyl a partire dal quale l'andamento dei valori di contaminazione segna una sistematica diminuzione (il valore per il 1986 è stato stimato dai dati sperimentali presentati in un rapporto dell'OECD per la somma dei due isotopi dell'elemento, Cs-134 e Cs-137).

I dati di misura del latte sono forniti dai laboratori delle Reti Nazionali di Sorveglianza della Radioattività Ambientale coordinate dall'APAT (la fonte è la raccolta dati delle Reti Nazionali fatta da APAT nel corrente anno relativa agli anni 1999-2001). Campionamento e misura, entrambi mensili, sono svolti generalmente secondo gli appositi protocolli.

Il valore di concentrazione per macroregione riportato nella tabella 6.13 è la media aritmetica dei dati regionali, che si suppone siano rappresentativi a livello locale del territorio interessato. Il dato unico sul latte deriva (regione per regione) dalla media sui campioni di latte fresco pastorizzato e a lunga conservazione.

Nelle analisi effettuate l'attività è spesso risultata inferiore alla minima attività rivelabile².

Futuri approfondimenti potranno prevedere elaborazioni e strategie di campionamento più mirate a rappresentare il dato di contaminazione rispetto al consumo macroregionale. Dal confronto nel tempo del valore medio nazionale (Figura 6.7) si evince ad oggi un abbattimento dei livelli di contaminazione di circa un ordine di grandezza rispetto al dato medio del 1987, anno successivo alla ricaduta di Chernobyl.

OBIETTIVI FISSATI dalla NORMATIVA

L'art. 104 del D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni, individua le reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale come strumento per la stima dell'esposizione della popolazione, dovuta a sorgenti diffuse.

La Raccomandazione Europea 2000/473/Euratom dell'8 giugno 2000 fornisce indicazioni ai paesi membri sulla realizzazione del monitoraggio della radioattività ambientale.

La Regolamentazione Europea (Regolamento CEE 737/90 e successive proroghe) è relativa alla commercializzazione di prodotti fra gli Stati Membri conseguente alla contaminazione di Chernobyl.

¹⁾ La Raccomandazione Europea dell'8 giugno 2000 sull'applicazione dell'art.36 del Trattato Euratom riguardante il controllo del grado di radioattività ambientale allo scopo di determinare l'esposizione dell'insieme della popolazione, prevede la suddivisione dell'Italia nelle seguenti macroregioni (come riportato nella norma ISO 3166/4217):

- Nord: Emilia Romagna, Friuli Venezia Giulia, Liguria, Lombardia, Piemonte, Province di Bolzano e Trento, Valle d'Aosta e Veneto
- Centro: Abruzzo, Lazio, Marche, Molise, Toscana, Umbria e Sardegna
- Sud: Basilicata, Calabria, Campania, Puglia e Sicilia.

²⁾ Nelle medie sui dati non si è distinto tra valori misurati e minime attività rivelabili (MAR); sono state trascurate le analisi con MAR superiori a 0,1 Bq/l.

PERIODICITÀ di AGGIORNAMENTO

Annuale

QUALITÀ dell'INFORMAZIONE

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	3	1	2

L'indicatore risponde alla domanda di informazione; alcune riserve sull'accuratezza dei dati relativi alle diverse matrici trasmesse dai vari laboratori; nessuna riserva sulle comparabilità nel tempo, mentre la comparabilità nello spazio è garantita in modo molto differente, a seconda della matrice considerata. I dati forniti suggeriscono la necessità di riordinare l'attività della Rete Nazionale.

★★

RADIAZIONI IONIZZANTI

Tabella 6.11: Concentrazione di attività di Cs137 ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): media mensile e deviazione standard nel particolato atmosferico nel 2001

Mese	Nord	Centro	Sud
Gennaio	8 ± 14	19 ± 22	5
Febbraio	8 ± 12	14 ± 10	4
Marzo	8 ± 13	16 ± 12	3
Aprile	6 ± 12	17 ± 11	5
Maggio	8 ± 15	29 ± 23	7
Giugno	13 ± 15	34 ± 25	4
Luglio	8 ± 23	30 ± 18	3
Agosto	7 ± 9	34 ± 24	4
Settembre	11 ± 10	33 ± 24	2
Ottobre	7 ± 13	31 ± 23	3
Novembre	11 ± 11	36 ± 25	5
Dicembre	9 ± 16	31 ± 26	7
n. di stazioni	10	4	1

Fonte: APAT

Tabella 6.12: Concentrazione di attività di Cs137 (Bq/m^2): media mensile e deviazione standard nelle deposizioni umide e secche nel 2001

Mese	Nord Cs-137	Centro Cs-137	Sud Cs-137
Gennaio	0,36 ± 0,8	0,62 ± 0,87	-
Febbraio	0,12 ± 0,14	0,24 ± 0,18	-
Marzo	0,62 ± 1,18	0,31 ± 0,18	-
Aprile	0,31 ± 0,37	0,32 ± 0,22	-
Maggio	0,26 ± 0,24	0,18 ± 0,16	-
Giugno	0,35 ± 0,46	0,23 ± 0,21	-
Luglio	0,2 ± 0,16	0,29 ± 0,25	-
Agosto	0,42 ± 0,75	0,16 ± 0,13	-
Settembre	0,27 ± 0,45	0,24 ± 0,19	-
Ottobre	0,14 ± 0,17	0,2 ± 0,13	-
Novembre	0,2 ± 0,25	0,35 ± 0,16	-
Dicembre	0,14 ± 0,07	0,21 ± 0,14	-
n. stazioni	10	4	0

Fonte: APAT

Tabella 6.13: Concentrazione di attività di Cs137 nel latte vaccino: media annua (Bq/l) e numero di regioni/province autonome che hanno effettuato misure

Macroregione	Cs-137 (Bq/l)	n. regioni/province autonome
Nord	0,21 ± 0,09	9
Centro	0,18 ± 0,12	7
Sud	0,24 ± 0,23	3
MEDIA ITALIA	0,20 ± 0,12	
ITALIA		

Fonte: APAT

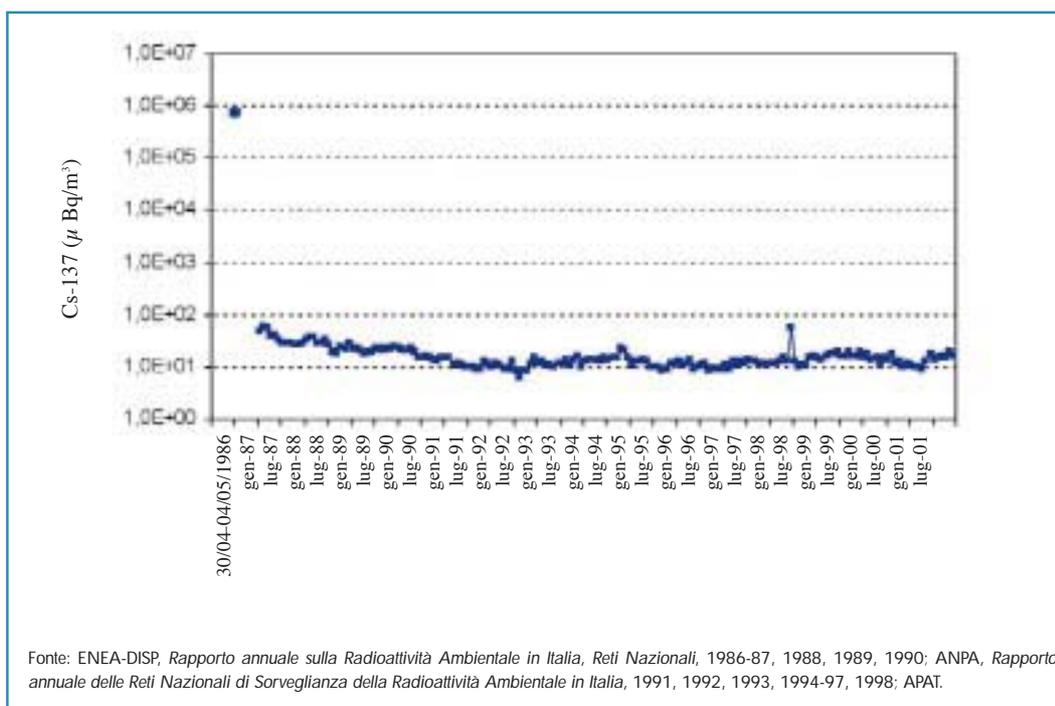


Figura 6.5: Andamento della concentrazione di attività mensile media in Italia di Cs137 ($\mu\text{Bq/m}^3$) nel particolato atmosferico

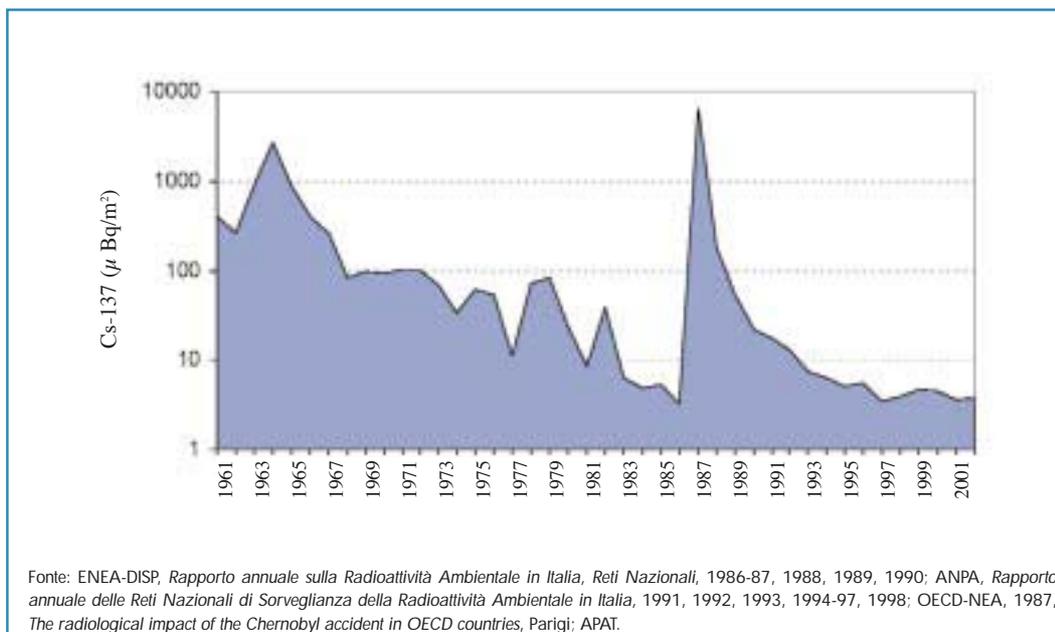
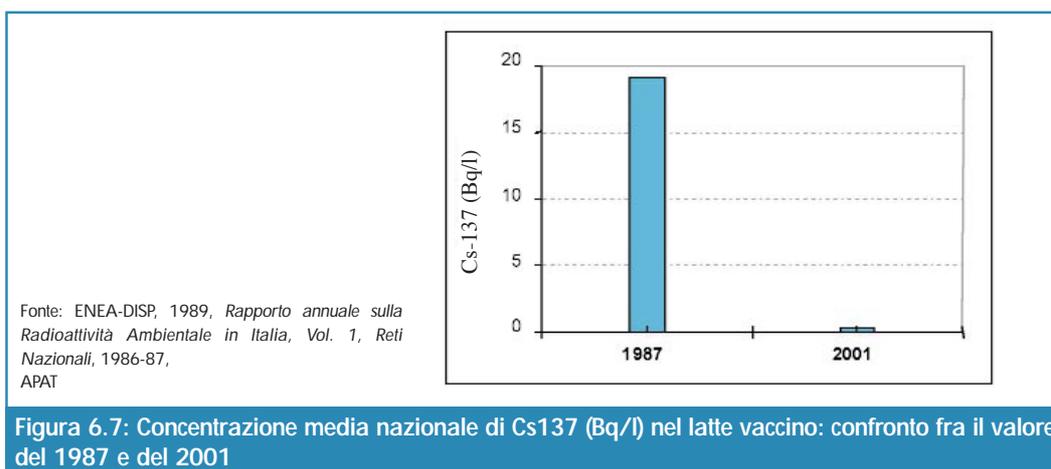


Figura 6.6: Andamento annuale della deposizione totale di Cs137 (Bq/m^2) in Italia



Stato di attuazione del monitoraggio della radioattività ambientale

In Italia, su scala locale, regionale e nazionale sono diffuse reti di controllo disposte dalla normativa.

La struttura attuale (in condizioni ordinarie) prevede infatti tre livelli di controllo ambientale:

- le reti locali, attraverso le quali si esercita il controllo attorno alle centrali nucleari e altri impianti di particolare rilevanza (potenziale) sull'ambiente circostante (*source related*);
- le reti regionali, delegate al controllo generale dei livelli di radioattività sul territorio regionale (*source related/person related*);
- le reti nazionali, con il compito di fornire il quadro di riferimento generale della situazione italiana ai fini della valutazione della dose alla popolazione, prescindendo da particolari situazioni locali (*person related*).

Le reti consistono in un insieme di punti di osservazione utilizzati per analizzare l'andamento spazio-temporale delle concentrazioni dei radioelementi nelle matrici dei diversi comparti ambientali interessati dalla diffusione della radioattività e dal trasferimento di questa all'uomo. Le frequenze di campionamento delle matrici ambientali previste nelle diverse reti, tengono conto dei tempi di accumulo della radioattività nei vari comparti ambientali e dei limiti di rilevabilità delle metodologie di misura impiegate.

In Italia, il quadro normativo che regola l'istituzione delle reti di monitoraggio della radioattività ambientale su scala locale, regionale e nazionale è attualmente così definito:

- D.lgs. 230/95 "Attuazione delle Direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti": il Capo IX "Protezione sanitaria popolazione", art. 104 "Controllo sulla radioattività ambientale", definisce il complesso dei controlli articolato in reti di sorveglianza regionale e nazionale, quest'ultima coordinata dall'APAT, nonché in reti di sorveglianza locali;
- circolare n. 2/87 del Ministero della Sanità "Direttive agli Organi Regionali per l'esecuzione di controlli sulla radioattività ambientale": emanata al fine di attivare in tutte le Regioni iniziative concrete e coordinate volte a realizzare un controllo efficace su scala regionale della radioattività ambientale.

La tabella 6.c riassume lo stato di attuazione del monitoraggio della radioattività ambientale (reti nazionali e reti regionali) al 31/12/2001 ottenuto attraverso una consultazione delle Agenzie Ambientali/Centri Regionali di Riferimento per la radioattività ambientale e i dati trasmessi ad APAT al 2001 relativi alle Reti Nazionali. Nello specifico lo stato di attuazione del monitoraggio per la rete nazionale è considerato esclusivamente tramite le determinazioni radiometriche eseguite per l'insieme degli indicatori considerati (particolato atmosferico, deposizione al suolo e latte).

La tabella 6.d riporta lo stato di attuazione del monitoraggio della radioattività ambientale a livello delle reti locali. È riportata la presenza o meno della rete del gestore e dell'ente locale ARPA-APPA.

Tabella 6.c: Stato di attuazione del monitoraggio della radioattività ambientale (reti nazionali e reti regionali) al 31/12/2001

Regione	Attività Rete Regionale		Attività Rete Nazionale		
	Esistenza rete regionale	Approvato da Regione/Provincia Autonoma	particolato atmosferico	deposizioni umide e secche	Latte
Abruzzo	Si (*)	Si	Si	Si	Si
Basilicata	No	No	No	No	No
Calabria	No	No	Si (**)	No	Si
Campania	Si	No	No	No	Si
Emilia Romagna	Si	Si (Ass. Sanità)	Si	Si	Si
Friuli Venezia Giulia	Si	Si (Ass. Sanità)	Si	Si	Si
Lazio	Si	Si (Ass. Ambiente)	Si	No	Si
Liguria	Si	Si (Ass. Sanità)	Si (**)	No	Si
Lombardia	Si	Si (Ass. Sanità)	Si	Si	Si
Marche	Si (solo alimenti)	Si (Ass. Sanità)	No	No	Si
Molise	Si (solo alimenti)	Si (Ass. Sanità)	No	No	Si
P. A. Bolzano	Si	No	No	Si	Si
P. A. Trento	No	No	No	Si	Si
Piemonte	Si	No	Si	Si	Si
Puglia	No	No	No	No	Si
Sardegna	Si	Si (Ass. Sanità)	No	No	Si
Sicilia	Si	Si (Ass. Sanità)	No	No	No
Toscana	Si	Si	No	Si	Si
Umbria	No	No	Si	Si	Si
Valle d'Aosta	Si	No	Si	Si	Si
Veneto	Si	Si (Ass. Sanità)	Si	Si	Si

Fonte: APAT/ARPA/APPA

LEGENDA:

(*) l'attività è gestita da ARPA di Pescara e dall'Istituto Zooprofilattico di Teramo;

(**) i filtri per il particolato atmosferico afferenti alle regioni Liguria e Calabria sono misurati rispettivamente dai CRR di Ivrea e Piacenza.

RADIAZIONI IONIZZANTI

Tabella 6.d: Stato di attuazione del monitoraggio della radioattività ambientale (reti locali esistenti attorno agli impianti nucleari esistenti) al 31/12/2001

Impianto	Stato Impianto	Esistenza rete locale gestore	Esistenza rete locale Ente locale/ARPA
Centrale del Garigliano	(in disattivazione, assenza combustibile, rifiuti condizionati)	Si	No
Centrale di Latina	(in disattivazione, assenza combustibile, rifiuti parzialmente condizionati)	Si	No
Centrale di Trino	(in disattivazione, presenza combustibile in piscina, rifiuti parzialmente condizionati)	Si	Si
Centrale di Caorso	(in disattivazione, presenza di combustibile in piscina, rifiuti parzialmente condizionati)	Si	Si
Reattore AGN 201 "Costanza" - Università Palermo	(in esercizio, assenza rifiuti)	--	No
Impianto ITREC - C.R. Trisaia ENEA	(in "carico", rifiuti parzialmente condizionati)	Si	No
Centro ENEA Casaccia: Reattore TRIGA RC-1 Reattore RSV TAPIRO Impianto Plutonio	(in esercizio, rifiuti depositati in NUCLECO) (in esercizio, rifiuti depositati in NUCLECO) (cessato esercizio, rifiuti sull'impianto)	Si	No
Reattore RTS 1 – CISAM	(in disattivazione, assenza combustibile, rifiuti non condizionati)	--	No
Impianto FN – Bosco Marengo	(cessato esercizio, presenza combustibile, rifiuti parzialmente condizionati)	Si	Si
Impianto EUREX - C.R. Saluggia ENEA	(cessato esercizio, presenza combustibile, rifiuti parzialmente condizionati)	Si	Si
Reattore TRIGA MARK II - L.E.N.A. Università Pavia	(in esercizio, rifiuti non condizionati)	--	No
Reattore ESSOR - C.C.R. Ispra	(arresto a freddo di lunga durata, presenza combustibile, rifiuti parzialmente condizionati)	Si	No
Deposito Avogadro - FIAT AVIO	(in attività)	Si	No

Fonte: APAT/ARPA/APPA.

INDICATORE

DOSE EFFICACE MEDIA INDIVIDUALE IN UN ANNO

SCOPO

Stimare i contributi delle fonti di esposizione alla radioattività (di origine naturale e antropica) della popolazione.

DESCRIZIONE

L'indicatore è qualificabile come indicatore di impatto. *La dose efficace media individuale in un anno* (da ora in poi denominata anche dose efficace) rappresenta una stima dell'esposizione di ciascun membro della popolazione alla radioattività dovuta ai diversi contributi di origine naturale e antropica. Essa è anche una grandezza con cui si valuta il rischio, per gli individui e per la popolazione, di effetti avversi.

UNITÀ di MISURA

MilliSievert per anno (mSv/anno)

FONTE dei DATI

- UNSCEAR 2000 *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I: Sources"*, New York: United Nations; E.00.IX.3, 2000
- Bochicchio, F., Campos Venuti, G., Piermattei, S., Torri, G., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, L. *"Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni"* Rapporto ISTISAN Congressi 34 (ISSN 0393-5620), Roma, Giugno 1994
- Bochicchio, F., Campos Venuti, G., Piermattei, S., Torri, G., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, L. *"Results of the national survey on radon indoors in the all the 21 italian regions"* Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop, Atene, Aprile 1999
- Cardinale, A., Cortellessa, G., Gera, F., Ilari, O., Lembo, G., *"Absorbed Dose Distribution in the Italian Population Due to the Natural Background Radiation"*, Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment, J.A.S. Adams, W.M. Lowder and T.F. Gesell eds. Pag. 421, 1972
- Ministero della Salute: comunicazione dati esposizioni mediche
- ENEA *"Dossier 1999 – La radioprotezione in Italia – La salvaguardia della popolazione e dell'ambiente"* - Rapporto ISBN 88-8286-074-4
- National Research Council – NRC: *Risk assessment of radon in drinking water*, National Academy Press Washington D.C. 1999

NOTE TABELLE e FIGURE

Nella tabella 6.14 sono riportate le stime dei principali contributi, sia di origine naturale sia artificiale, alla dose efficace media individuale in un anno, per la popolazione italiana. Nella figura 6.8 è riportata la distribuzione delle varie componenti considerate.

Il contributo alla dose dovuto al radon avviene principalmente per inalazione e, in modo secondario, per ingestione di acqua. L'inalazione in aria è stata calcolata a partire dai dati di concentrazione di radon ricavati dall'indagine nazionale sulla radioattività nelle abitazioni e sulla base dei tempi di permanenza (60% in casa, 19% in altri luoghi chiusi, 21% all'aperto) ricavati dalla stessa indagine; si è assunta per gli altri luoghi chiusi una concentrazione pari a quella nelle abitazioni e per il radon all'esterno il dato dell'UNSCEAR 2000 di 10 Bq/m³. Sono stati utilizzati un fattore di equilibrio pari a 0,4 e due coefficienti di conversione riportati dall'UNSCEAR 2000, rispettivamente di 9 nSv(Bqhm⁻³)⁻¹ per esposizione ai polmoni e 0,17 nSv(Bqhm⁻³)⁻¹ per esposizione su altri organi. Il contributo del radon in acqua per ingestione è stato stimato assumendo un valore medio di concentrazione di radon in acqua pari a 10 Bq/l e un coefficiente di conversione pari a 3,5 nSv/Bq (dati

UNSCEAR 2000) e un consumo di acqua direttamente ingerita pari a 0,6 litri al giorno (dati NRC).

Il contributo della radiazione cosmica (componente direttamente ionizzante) è stato calcolato sulla base dei dati riportati nella descrizione dell'indicatore "dose assorbita in aria per esposizione a radiazioni cosmica e terrestre" applicando i tempi di permanenza *indoor* e *outdoor* sopra riportati, un fattore di schermatura di 0,8 per esposizioni *indoor* e un coefficiente di conversione pari a 1 SvGy⁻¹ (dati UNSCEAR 2000).

Il contributo della radiazione terrestre è stato stimato sulla base dei dati riportati nella descrizione dell'indicatore "dose assorbita in aria per esposizione a radiazioni cosmica e terrestre" applicando i tempi di permanenza *indoor* e *outdoor* sopra riportati e un coefficiente di conversione di 0,7 SvGy⁻¹ (UNSCEAR 2000).

I dati sull'esposizione medica sono piuttosto scarsi e limitati a due rapporti delle regioni Emilia Romagna e Lombardia, pervenuti tramite il Ministero della Salute. Da un'elaborazione dei risultati risulta una stima conservativa della media pesata per la popolazione delle due regioni di 0,7 mSv/anno, relative a prestazioni di radiodiagnostica e medicina nucleare con esclusione della radiodiagnostica odontoiatrica e di altre prestazioni, per le quali si è valutato un contributo aggiuntivo massimo del 20%. Ciò porterebbe a una stima della dose efficace per esposizione medica di circa 0,9 mSv/anno. Pur se la popolazione delle due regioni rappresenta circa il 23% della popolazione italiana si è ritenuto non sufficientemente rappresentativo il dato e pertanto si è adottato il valore stimato dall'UNSCEAR 2000 di 1,2 mSv/anno.

Per quanto riguarda i contributi relativi alla componente neutronica della radiazione cosmica, all'esposizione al toron, all'ingestione di radionuclidi naturali, all'esposizione per inalazione non causata da radon e toron, all'esposizione a seguito dell'incidente di Chernobyl, al "fallout" dovuto alle esplosioni nucleari in atmosfera e all'esposizione causata dall'industria nucleare, sono stati utilizzati i dati dell'UNSCEAR 2000.

OBIETTIVI FISSATI dalla **NORMATIVA**

La normativa italiana di riferimento è il D.lgs. 230/95 e successive modifiche e integrazioni. Nel decreto è fissato un limite di dose efficace per le persone del pubblico pari a 1 mSv/anno per le attività che comportano l'uso di materiali radioattivi, e un livello di azione pari a 0,3 mSv/anno per gruppi di popolazione esposti a seguito di attività lavorative con materiali normalmente considerati non radioattivi, ma che contengono radionuclidi di origine naturale (NORM). Dal calcolo delle dosi si esclude l'esposizione alle sorgenti naturali di radiazione e l'esposizione per scopi medici.

L'art. 12 del D.lgs. 187/00 richiede che le regioni provvedano a valutare le esposizioni a scopo medico con riguardo alla popolazione regionale e a gruppi di riferimento della stessa, e che tale valutazione sia effettuata periodicamente ed inviata al Ministero della Salute.

PERIODICITÀ di **AGGIORNAMENTO**

Quinquennale (a meno di incidenti gravi che comportino incrementi di esposizione non trascurabili e di ulteriore quantificazione del contributo dell'esposizione medica).

QUALITÀ dell'**INFORMAZIONE**

Rilevanza	Accuratezza	Comparabilità nel tempo	Comparabilità nello spazio
1	2	2	2

L'indicatore risponde alla domanda di informazione. Alcune riserve vanno poste sull'accuratezza dei dati in quanto ottenuti da estrapolazioni di dati su base mondiale. Relativamente alla comparabilità nel tempo, la continua evoluzione dei modelli di calcolo delle dosi comporta variazioni trascurabili, mentre la comparabilità nello spazio necessita di ulteriori dati regionali.



Tabella 6.14: Stima dei contributi alla dose efficace media individuale in un anno per la popolazione italiana

Sorgente		Dose efficace media individuale in un anno (mSv/anno)	
Naturale	Esposizione esterna:		
	Raggi cosmici	0,4	
	Radiazione gamma terrestre	0,6	
	Esposizione interna:		
	Inalazione (radon e toron)	2,0	
	Inalazione (diversa da radon e toron)	0,006	
	Ingestione	0,3	
TOTALE NATURALE			3,3
Artificiale	Diagnostica medica	1,2	
	Incidente di Chernobyl	0,002	
	Test Nucleari	0,005	
	Industria nucleare	0,0002	
TOTALE ARTIFICIALE			1,2
TOTALE			4,5

Fonte: Elaborazione APAT da:

Cardinale, G. Cortellessa, F. Gera, O. Ilari, G. Lembo, "Absorbed Dose Distribution in the Italian Population Due to the Natural Background Radiation", Proceedings of the Second International Symposium on the Natural Radiation Environment, J.A.S. Adams, W.M. Lowder and T.F. Gesell eds. Pag. 421, 1972
 Bochicchio, F., Campos Venuti, G., Piermattei, S., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, Torri, G. "Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni" Rapporto ISTISAN Congressi 34 (ISSN 0393-5620), Roma, Giugno 1994
 Bochicchio, F., Campos Venuti, G., Piermattei, S., Torri, G., Nuccetelli, C., Risica, S., Tommasino, L. "Results of the national survey on radon indoors in the all the 21 Italian regions" Proceedings of Radon in the Living Environment Workshop, Atene, Aprile 1999.
 UNSCEAR 2000 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources and effects of ionizing radiation. Vol. I: Sources", New York: United Nations; E.00.IX.3, 2000
 Ministero della Salute
 ENEA "Dossier 1999 - La radioprotezione in Italia - La salvaguardia della popolazione e dell'ambiente" Rapporto ISBN 88-8286-074-4
 National Research Council - NRC: Risk assessment of radon in drinking water, National Academy Press Washington D.C. 1999

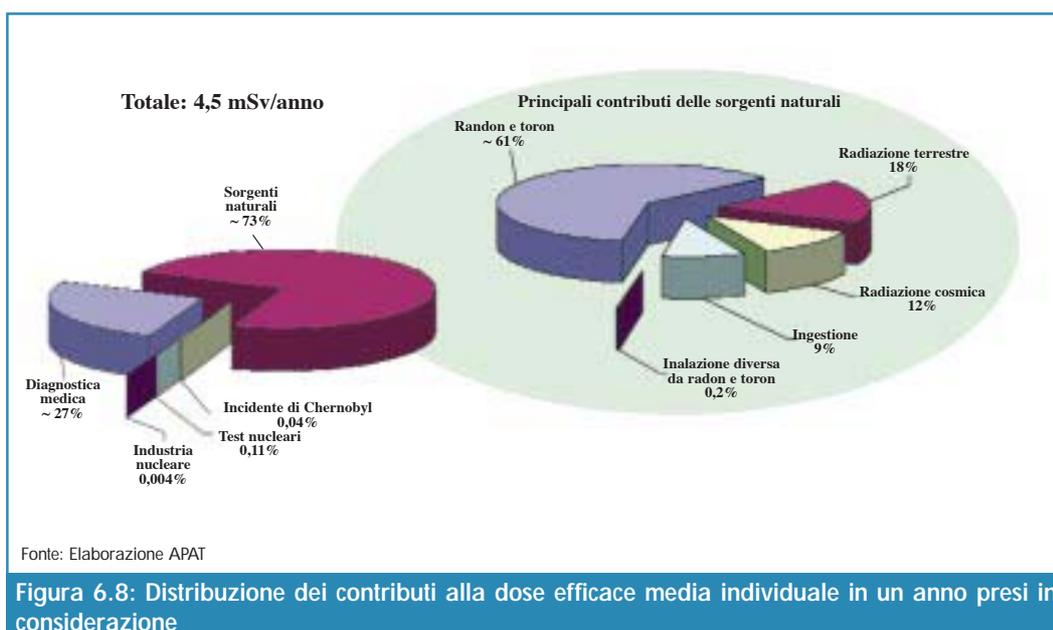


Figura 6.8: Distribuzione dei contributi alla dose efficace media individuale in un anno presi in considerazione