

PARTE III – AGENTI FISICI

1.1 Le cause della radiocontaminazione artificiale e la distribuzione dei radionuclidi nell'ambiente

A partire dalla seconda metà degli anni '40 si è assistito ad un impiego sempre più massiccio di tecnologie nucleari, con conseguenze non trascurabili sullo stato di contaminazione dell'ambiente.

Lo sviluppo e la sperimentazione nell'atmosfera di armi nucleari e termonucleari ha portato a ricadute, ubiquitarie nell'emisfero nord del globo, di quantità considerevoli di radionuclidi prodotti di fissione ed attivazione, nonché di transuranici. I trattati di non proliferazione stipulati dalle due maggiori potenze nucleari all'inizio degli anni '60 sono da porre in relazione a livelli di contaminazione di alcune matrici ambientali e alimentari ritenute non tollerabili anche alla luce delle relativamente limitate conoscenze dell'epoca.

La radioattività ricaduta al suolo in seguito alla fase più intensa della sperimentazione bellica in atmosfera (anni 1959 – 1963) e nella fase successiva, legata all'attività di collaudo bellico di paesi dell'Europa occidentale o di paesi non allineati, è attualmente, almeno per le componenti a vita più breve, parzialmente decaduta, o è presente nell'ambiente in collocazioni o forme fisico-chimiche tali da rappresentare per l'uomo un rischio estremamente limitato.

L'impiego dell'energia nucleare ha rappresentato, a partire dalla metà degli anni '50, un'ulteriore forma di immissione nell'ambiente di radionuclidi, sebbene, in condizioni di normale esercizio, tale immissione sia avvenuta, specie per l'Europa occidentale, in condizioni controllate, pianificate e di basso impatto.

Uniche eccezioni sono legate alle conseguenze delle attività di impianti del ciclo del combustibile e ad eventi anomali.

Le conseguenze ambientali dell'incidente di Chernobyl (aprile 1986) hanno portato a ricadute radioattive che, oltre alle zone di alta contaminazione create in territorio ucraino e bielorusso, hanno comportato per vasti territori dell'Europa, un apporto di ricadute radioattive paragonabile a quello verificatosi in tutto il passato a causa della sperimentazione nucleare in atmosfera.

Tra le conseguenze politiche di tale evento, si è assistito al venire meno del programma di sviluppo nucleare nazionale e alla chiusura degli impianti di potenza allora in esercizio (Caorso, Trino Vercellese), contigui territorialmente alla Lombardia.

E' cessata nel nostro paese, di conseguenza, la produzione di rifiuti radioattivi di diversa tipologia e l'immissione in ambiente di reflui radioattivi "non contenibili", sebbene rimanga aperto il problema della gestione definitiva di non trascurabili quantità di combustibile irraggiato e di altri residui di vario grado di pericolosità, nonché dello smantellamento degli impianti nucleari di potenza.

Nella seconda metà del 1900 si è notevolmente espanso in tutto il mondo l'uso di tecnologie industriali e mediche, comportanti l'uso di sorgenti radioattive, al di fuori del campo bellico e della produzione di energia.

Due ordini di problemi si sono conseguentemente creati: quelli relativi alla circolazione e dismissione di sorgenti radioattive sigillate, da un lato, e quelli della microimmissione in ambiente di reflui derivanti dall'impiego di sorgenti non sigillate, dall'altro.

L'esistenza di tali problemi è evidenziata dal fatto che sempre più frequente è il rilevamento di quantità, anche consistenti e talora non trascurabili dal punto di vista

sanitario, di contaminazione radioattiva in materiali o comparti che avrebbero dovuto considerarsi indenni.

Significativi sono i casi della contaminazione radioattiva del comparto del riciclo dei metalli. L'evoluzione della storia dell'impiego di sorgenti radioattive e l'apertura di nuovi scenari di commercio e di circolazione internazionale di materiali richiama attualmente la massima attenzione sul problema.

Stato attuale degli impianti nucleari italiani

Il referendum del 1987 sui quesiti relativi alle centrali nucleari e la successiva delibera CIPE del 1990 di annullamento del programma energetico nucleare in Italia hanno determinato la chiusura definitiva delle quattro centrali in esercizio e di conseguenza degli impianti di ciclo del combustibile ad essi collegati. Oggi sono in esercizio in Italia solo quattro reattori di ricerca, installati presso il Politecnico dell'Università di Palermo, due presso il centro ricerche di Casaccia dell'ENEA e uno presso l'Università di Pavia. A tali reattori va aggiunto il Deposito Avogadro, di proprietà della FIAT AVIO, ubicato sul sito di Saluggia (VC) nel quale sono immagazzinati tutti gli elementi di combustibile irraggiato provenienti dalle Centrali di Garigliano e di Trino. Gli altri impianti nucleari sono tutti in fase di disattivazione più o meno avanzata, sia sotto l'aspetto autorizzativo sia operativo, o di cessato esercizio.

1.1.1 Gli eventi contaminanti di macroscala e le conseguenze nei diversi comparti ambientali

Nella trattazione degli eventi contaminanti e delle loro conseguenze sull'ambiente, è necessario distinguere tra le immissioni di sostanze radioattive che avvengono in modo controllato e a livelli ritenuti accettabili e le immissioni che possono avvenire a seguito di rilasci accidentali e incontrollati.

Tra le attività a regime controllato che rilasciano immissioni radioattive nell'ambiente si segnalano:

- gli utilizzi di sorgenti non sigillate nelle strutture ospedaliere (di cui al paragrafo 1.1.2) a scopo diagnostico e/o terapeutico, i relativi rifiuti radioattivi a bassa attività, immessi nell'ambiente attraverso la rete fognaria, attraverso gli scarichi controllati e attraverso le deiezioni dei pazienti curati.

La possibilità di rilasci accidentali è principalmente dovuta:

- al mancato rispetto della normativa vigente in materia di detenzione, impiego, trasporto e smaltimento materie radioattive;
- alla fusione di sorgenti radioattive dismesse che possono essere presenti in rottami metallici trattati da aziende metallurgiche;
- ad accidentale incenerimento di rifiuti sanitari radioattivi;
- oppure ad incidenti in reattori nucleari, considerati una delle fonti primarie.

Per quanto concerne il rilascio accidentale da mancato rispetto della normativa e da fusione di sorgenti radioattive dismesse, la Regione Lombardia aveva adottato dal 1997, in assenza di normativa nazionale, una specifica ordinanza del Presidente della Giunta che definiva tipo e modalità dei controlli preventivi che devono essere attuati nelle aziende a rischio, soprattutto nel settore della produzione di semilavorati e manufatti metallici ferrosi e non ferrosi. Tale ordinanza risulta ad oggi decaduta.

Per quanto riguarda gli incidenti a reattori nucleari, escluso il reattore in funzione presso l'Università di Pavia con esclusiva funzione di ricerca, l'assenza di strutture in Lombardia e nel territorio italiano confinante implica che la possibilità di questo tipo di rilasci accidentali sia connessa ad incidenti in terre straniere.

La Regione Lombardia, al fine di verificare la corretta gestione delle sostanze radioattive da parte dei vari utilizzatori e di evidenziare eventuali incidenti o rilasci incontrollati, ha predisposto fin dal 1986 un sistema per il controllo della radioattività ambientale, basato su campionamenti e controlli, presso le strutture di prevenzione del Servizio sanitario regionale. Il piano dei controlli tiene conto delle indicazioni espresse a livello nazionale da Ministero della Sanità e ANPA. I campionamenti vengono eseguiti dai Dipartimenti provinciali di ARPA, mentre le misure vengono effettuate dai laboratori di radioprotezione di Bergamo, Cremona e Milano città che dispongono di strumentazione spettrometrica. Le principali matrici ambientali sottoposte a controllo sono l'aria (particolato atmosferico), le ricadute umide e secche (fall-out), il terreno, le acque ad uso potabile e il detrito minerale organico (nelle acque superficiali). Attualmente sono mediamente più di un migliaio le matrici ambientali sottoposte ogni anno a misure radiometriche.

I radionuclidi artificiali presenti nell'ambiente sono in gran parte attribuibili alle deposizioni al suolo conseguenti alle esplosioni di ordigni nucleari in atmosfera effettuate negli anni '60 e alle ricadute derivanti dall'evento accidentale di Chernobyl del 26 aprile 1986 che hanno interessato in modo irregolare i territori delle diverse regioni italiane in ragione delle diverse condizioni meteorologiche ed orografiche. Nel periodo di passaggio della nube radioattiva sul territorio italiano (30 aprile – 9 maggio 1986) le aree caratterizzate da intense precipitazioni atmosferiche hanno subito una più intensa ricaduta di materiale radioattivo.

Il ^{137}Cs e il ^{90}Sr , radionuclidi con tempi di dimezzamento radioattivo di circa 30 anni, e caratterizzati da una significativa mobilità ambientale, costituiscono i principali indicatori delle ricadute radioattive al suolo dovute alle esplosioni nucleari di Chernobyl.

I dati relativi al contenuto di ^{137}Cs e il ^{90}Sr nelle diverse matrici ambientali e alimentari sono stati misurati da ANPA ed ENEA tra il 1994 e il 1997 e sembrano non presentare valori di rilevanza sanitaria, e nella maggior parte dei casi, i risultati delle misure radiometriche sono inferiori alle minime attività rilevabili dalla strumentazione di misura adottata.

La Regione Lombardia ha effettuato numerose analisi dal 1986 per cui si rimanda ai paragrafi successivi.

Analoga misurazione relativa al ^{137}Cs effettuata nel giugno 1998 presso il Laboratorio di radioprotezione della ASL Città di Milano ha rilevato, per primo in Italia, l'anomala presenza dell'indicatore in aria, dovuta all'incidente avvenuto in una fonderia spagnola, denominata Acerinox, consistente nella fusione accidentale di una sorgente radioattiva. I campionamenti effettuati presso la sede del PMIP di Milano hanno mostrato le prime tracce della presenza di ^{137}Cs nel particolato atmosferico in concentrazione superiore alla sensibilità nella metodica tra le 9,30 dell'1 giugno e le 9,00 del 5 giugno, con un picco pari a $1.8\text{E}-3 \text{ Bq/m}^3$ registrato il 2 giugno. Tali valori sono da 100 a 1000 volte superiori ai valori di fondo tuttora misurabili quali conseguenza delle ricadute dell'incidente di Chernobyl. I dati disponibili presso il PMIP circa le concentrazioni medie di ^{137}Cs sul territorio lombardo relativi ai primi giorni del giugno 1998 non evidenziano in ogni caso l'esistenza di gradienti di concentrazione significativi, cioè privi di alcuna valenza sanitaria.

Riferimenti bibliografici e siti internet

- €# ANPA, 1999, *Reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia, 1994-1997*.
- €# ANPA, 1999, *Reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia, 1993*.
- €# Barsanti E., 2000, *Le radiazioni ionizzanti*, in www.prismanet.com/barsanti/scienze/radiazioni.html
- €# Petri P., Pucciarelli L., 1999, *Pianificazione locale delle emergenze degli impianti nucleari sul territorio nazionale*, Giornata di studio "Stato e prospettive della pianificazione delle emergenze incidentali nucleari alla luce della normativa attuale", Bologna 26/11/1999.
- €# Regione Lombardia, 2000, *Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia, 1999*.
- €# www.prismanet.com

1.1.2 L'impiego di radionuclidi in processi medici e industriali e le conseguenze sull'ambiente

Tra le attività a regime controllato che rilasciano immissioni radioattive nell'ambiente sono stati segnalati (paragrafo 1.1.1) gli utilizzi di sorgenti non sigillate nelle strutture ospedaliere a scopo diagnostico e/o terapeutico, i relativi rifiuti radioattivi a bassa attività, immessi nell'ambiente attraverso la rete fognaria, attraverso gli scarichi ospedalieri controllati e attraverso le deiezioni dei pazienti sottoposti ad indagine e/o curati con sostanze radioattive.

L'impiego di radiazioni ionizzanti a scopi sanitari, industriali e di ricerca è regolamentato da parecchi decenni attraverso la L. 1862/60 e attualmente D.Lgs. 230/95 e sue modifiche (D.Lgs. 241/00 e D. Lgs. 257/01) e prevede un sistema di responsabilità e verifiche che consente di controllare il rischio da radiazioni ionizzanti.

Dai dati disponibili presso il Servizio sistema informativo e controllo di qualità della Direzione generale sanità della Regione Lombardia risulta che nel 1998 le strutture sanitarie accreditate hanno erogato in regime ambulatoriale circa 5 milioni di prestazioni di radiodiagnostica, a cui vanno aggiunte quelle effettuate in regime di ricovero e quelle effettuate dalle strutture sanitarie private. Risultano inoltre erogate circa 500.000 prestazioni di radioterapia e circa 250.000 di medicina nucleare.

Poichè il D.Lgs. 230/95 affida alle Regioni il compito di effettuare l'inventario delle apparecchiature radiologiche ad uso medico e odontoiatrico, nonché di quelle di medicina nucleare, nel 1997 è stato avviato in Lombardia il censimento in questione, basato sugli archivi esistenti presso le ASL e per quanto riguarda le apparecchiature ospedaliere sui dati forniti direttamente dalle Aziende sanitarie e dagli Istituti di ricerca e cura a carattere scientifico. L'archivio non è ancora stato completato, ma sono in corso le elaborazioni dei dati raccolti: risultano 9.500 (pari al 90%) le apparecchiature endorali, circa 2.700 le apparecchiature per radiodiagnostica specialistica e complementare all'esercizio clinico della professione, circa 200 le apparecchiature di radioterapia e 100 di medicina nucleare.

La distribuzione geografica delle apparecchiature appare disomogenea: la media a livello regionale risulta di 139 macchine per 100.000 abitanti, la Provincia con la maggiore densità risulta essere Varese (166 apparecchiature per 100.000 abitanti) e quella con la minore densità Bergamo (105 per 100.000 abitanti).

Le radiazioni maggiormente utilizzate nei processi industriali sono di tipo X, gamma e beta. L'impiego avviene in diversi processi e prodotti, tra cui i più significativi sono:

- ## processi di polimerizzazione, dove si aggiusta e ottimizza la tecnologia di irraggiamento e il materiale stesso, tra cui le reticolazioni, i materiali plastici termorestringenti, le plastiche, i legni impregnati, le gomme e i trattamenti superficiali "curing";
- ## tecnologie ambientali: le radiazioni gamma e beta servono a trattare gli inquinanti gassosi o liquidi inducendoli delle trasformazioni chimiche o sterilizzandoli biologicamente, affinché gli inquinanti possano essere trattati successivamente con tecnologie a basso costo;
- ## trattamenti biologici: cioè trattamenti su materiali organici, tipicamente per le derrate alimentari, al fine di aumentare la durata della conservabilità del prodotto e disinfestare da infestanti quali germi o parassiti, per sterilizzazioni a livello medico di siringhe, cateteri, ferri chirurgici, contenitori vari o di prodotti farmaceutici, quali gli oftalmici, per cosmetici a cui permettono di ottenere variazioni cromatiche, alterazione di grassi ed emulsioni, e infine per farmaci e vaccini.

Riferimenti bibliografici e siti internet

- ## ANPA, 1999, *Reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia, 1994-1997*.
- ## ANPA, 1999, *Reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia, 1993*.
- ## Barsanti E., 2000, *Le radiazioni ionizzanti*, in www.prismanet.com/barsanti/scienze/radiazioni.html
- ## Omarini S., 1993, *L'impiego delle radiazioni beta e gamma nei processi industriali*, Innovazione Energia e Ambiente, Notiziario ENEA
- ## www.prismanet.com

1.1.3 Rifiuti urbani e industriali e conseguenze di attività umane: i risvolti nucleari di problemi classici

L'insieme delle attività nucleari condotte, a partire dagli anni sessanta, dagli enti gestori di impianti del ciclo del combustibile e/o reattori per la produzione di energia elettrica e delle altre attività che impiegano radionuclidi, ha comportato l'accumulo di rifiuti radioattivi liquidi e solidi in quantità non trascurabili. Anche se una parte dei rifiuti è già stata condizionata, cioè sottoposta a processi di immobilizzazione in forme fisiche idonee per lo smaltimento definitivo, la maggior parte rimane ancora custodita in forma non condizionata presso i siti di produzione. Inoltre, è diffusa la presenza di rifiuti radioattivi provenienti da attività non connesse con la produzione di energia elettrica (biomediche ed industriali di produzione continua ed in corso) che costituiscono, una quantità rilevante di materiale a "rischio" da gestire e/o da tenere sotto controllo.

I rifiuti radioattivi sono classificati, ai fini del loro smaltimento, secondo i criteri della Guida Tecnica n. 26 dell'ENEA-DISP che costituisce la normativa guida in Italia. Secondo la Guida, i rifiuti radioattivi sono suddivisi in tre categorie in relazione alla concentrazione ed alle caratteristiche nucleari dei radionuclidi presenti.

Tipici rifiuti di I categoria sono quelli derivati dalle attività biomedicali, mentre quelli classificati di II e III categoria sono principalmente originati dagli impianti del ciclo del combustibile nucleare e dalle Centrali nucleari. Dal punto di vista della gestione, i rifiuti di I categoria, opportunamente decaduti, sono smaltibili, con specifiche autorizzazioni, come rifiuti speciali e nel rispetto del DPR 915/82. Per quanto riguarda quelli di II e III categoria la differenza sostanziale consiste nel fatto che i manufatti di

Il categoria sono generalmente adatti per lo smaltimento di superficie in siti appositamente autorizzati, mentre quelli di III categoria, derivanti dal ritrattamento del combustibile irraggiato, sono di fatto destinati, in linea di principio, a depositi di smaltimento in formazioni geologiche profonde.

Per i rifiuti radioattivi solidi di II Categoria l'orientamento seguito da ENEA ed ENEL è quello di procedere ad una riduzione di volume, ove possibile, e successivo inglobamento in matrice inerte. Per i rifiuti radioattivi solidi di III Categoria si persegue attualmente la conservazione in condizioni di massima sicurezza, in attesa di definire la strategia di smaltimento più idonea.

I rifiuti per i quali sono invece urgenti gli interventi di trattamento e condizionamento sono ovviamente quelli liquidi. Per quanto riguarda i rifiuti liquidi prodotti dalle attività ENEA essi sono, secondo una denominazione d'uso tra gli operatori, suddivisi in due tipologie: di bassa attività (qualche MBq/l da Cs137 e Sr90) e di alta attività (qualche decina di GBq/l da Cs137 e Sr90); questi ultimi comunque non sono paragonabili, secondo la classificazione europea corrente (IAEA), ai veri rifiuti liquidi ad alta attività (che presentano una attività superiore di 2 ordini di grandezza).

L'ammontare complessivo dei rifiuti radioattivi attualmente presenti sul territorio nazionale si avvicina ai 30.000 m³: secondo fonti ANPA, l'inventario nazionale comprende circa 27.000 m³ di rifiuti radioattivi e sorgenti dismesse e circa 285 ton di combustibile irraggiato. A questi quantitativi devono essere aggiunti i rifiuti vetrificati che dovranno rientrare dall'Inghilterra, corrispondenti a circa 30 m³. In termini di radioattività, il totale complessivo è pari a circa 4,5 milioni di TeraBecquerel: la quasi totalità è dovuta ai rifiuti vetrificati e al combustibile irraggiato e una piccola frazione è dovuta ai rifiuti radioattivi e alle sorgenti dismesse (0,25%).

I rifiuti radioattivi veri e propri ammontano a circa 24.000 m³, dei quali il 24% circa, sono stati originati dal pregresso esercizio delle centrali nucleari, il 37% circa dalle attività degli impianti di ricerca, il resto dalle applicazioni in campo medico e industriale; in termini di radioattività (11.000 Tbq circa), il 20% circa è dovuto all'esercizio delle centrali nucleari, il restante agli impianti di ricerca (75% circa) e alle attività mediche e industriali (5% circa).

Per quanto riguarda lo stato fisico, il 75% dei rifiuti, in termini volumetrici, sono allo stato solido, il rimanente è liquido o semiliquido e a questi ultimi è associata la maggior quantità di radioattività (75% circa). Il 60% in volume dei rifiuti prodotti, a cui corrisponde il 90% circa della radioattività totale, deve essere ancora sottoposto al trattamento e al condizionamento.

Per quanto riguarda il combustibile irraggiato, delle 285 ton complessive il 65% circa è presso la Centrale di Caorso, il 30% circa presso il deposito Avogadro di Saluggia le rimanenti quantità sono presso la Centrale di Trino (14 ton), presso l'impianto Eurex (2 ton) e presso l'impianto Itrec (1.7 ton).

Infine, per quanto riguarda i residui vetrificati che dovranno rientrare dall'Inghilterra, il quantitativo complessivo ammonta, come detto in precedenza, a circa 30 m³ con un'attività associata di circa 2.200.000 Tbq, di questi, un volume di circa 80% è relativo al combustibile della Centrale di Latina il rimanente alla Centrale di Trino Vercellese.

Per maggior completezza ai dati sopra riportati dovrebbero aggiungersi quelli relativi ai rifiuti che deriveranno dalle attività di smantellamento degli impianti nucleari. Tuttavia, i dati su questo argomento come esplicitato da fonti ANPA ed ENEA sono assai scarsi.

Il quantitativo di rifiuti radioattivi che verranno prodotti in Italia fino allo smantellamento degli impianti è stimato attualmente, in forma condizionata, in circa

150.000 m³. La maggior parte di essi (circa il 98% in termini volumetrici) è costituita da quelli di bassa attività, o a vita breve (II Categoria). Per questo tipo di rifiuti lo smaltimento avviene mediante il deposito definitivo in speciali strutture artificiali di superficie, localizzate in un sito con caratteristiche naturali e antropiche adeguate e custodito per periodi dell'ordine di qualche secolo.

Per i rifiuti ad alta attività o a vita lunga (III Categoria) lo smaltimento è invece previsto in speciali formazioni geologiche profonde che ne garantiscano l'isolamento dalla biosfera per periodi molto lunghi (migliaia di anni ed oltre).

Considerando la situazione logistica e l'inventario dei rifiuti italiani, le azioni da intraprendere con priorità riguardano la predisposizione di un deposito definitivo di tipo superficiale dei rifiuti condizionati a bassa attività, e quindi il reperimento di un sito adeguato per la sua localizzazione.

I rifiuti di III Categoria italiani (incluso in essi anche gli eventuali combustibili nucleari irraggiati non inviati all'estero per il ritrattamento) sono in quantitativi modesti, tali da non giustificare la necessità di un sito di smaltimento profondo nazionale. Per essi viene previsto un immagazzinamento anche di lungo periodo (30-50 anni) in strutture ingegneristiche adeguate. Queste strutture possono essere localizzate nello stesso sito di deposito definitivo dei rifiuti a bassa attività.

Il deposito definitivo è costituito da un sistema di strutture ingegneristiche che assicurano un confinamento completo della radioattività.

Per quanto concerne infine i rifiuti solidi urbani, è stato avviato un programma di sperimentazione dei rilevatori di attività nell'impianto di termoutilizzazione di Brescia. La carenza di esperienza anche a livello internazionale nell'impiego di sistemi di rilevazione automatici in impianti di smaltimento di RSU, ha reso il progetto bresciano di installazione di un sistema automatico di rilevazione di radioattività ancora più innovativo. Questo tipo di installazione consente di posizionare tali sistemi automatici, detti portali, in un tratto di attraversamento obbligato di tutti gli automezzi conferenti RSU, verificandone così il contenuto radioattivo.

Provvedimenti regionali in tema di prevenzione

La rilevante presenza in Lombardia di aziende che operano nel campo della metallurgia e che quindi trattano rottami metallici destinati alla fusione, ha reso la Regione particolarmente attiva in materia di prevenzione dei rischi di radiocontaminazione del materiale metallico destinato al riutilizzo.

Dal 1990 si sono purtroppo susseguiti alcuni episodi di radiocontaminazione di diverso livello di gravità. L'evento più noto risale alla primavera del 1997 e ha visto la contaminazione da 137 Cs e cobalto 60 presso l'acciaiera Alfa Acciai nel bresciano. Dopo il primo episodio del 1990 presso una raffineria di alluminio del bresciano, l'ASL di Brescia ha iniziato l'attività di vigilanza sul territorio con campagne di monitoraggio e di prelievo mirati ai prodotti finiti, rifiuti e scarti di lavorazione in alcune tipologie aziendali, quali le acciaierie, le aziende di fusione di prodotti alluminosi, le aziende di fusione e lavorazione di cuproleghe, e le aziende metallurgiche e i depositi di metalli.

Quando a partire dal 1993 il Ministero della Sanità decise di disporre ai valichi di frontiera controlli sui rottami metallici di importazione, gli operatori delle ASL lombarde che presidiavano i confini di Chiasso e del Brennero rilevarono presenza di radioattività al di sopra del fondo di radiazioni in circa l'1% dei carichi controllati.

In occasione dell'emanazione del D.Lgs. 230/95 di recepimento delle direttive comunitarie Euratom (si veda il paragrafo 1.4) in materia di radiazioni ionizzanti viene introdotto all'art.157 l'obbligo della sorveglianza radiometrica sui rottami metallici di qualsiasi provenienza destinati alla fusione, da parte sia dei soggetti che li lavorano, sia di quelli che svolgono attività di raccolta e deposito. In seguito all'incidente presso l'Alfa Acciai, la Regione Lombardia ha ritenuto necessario un provvedimento che

concretizzasse l'obbligo della sorveglianza radiometrica, specificandone le modalità di attuazione, al fine di garantire la tutela della popolazione e dei lavoratori, nonché dell'ambiente, dal rischio di fusioni accidentali di materiali radioattivi. E' stata quindi adottata dal Presidente della Giunta regionale una ordinanza contingibile e urgente ai fini di sanità pubblica, la n. 57671 del 20 giugno 1997 che impone una serie di controlli da effettuarsi all'esterno dei contenitori utilizzati per il trasporto del carico di rottami o altri materiali, al momento dello scarico e nelle fasi che precedono la lavorazione, dopo la fusione, sulle scorie e le polveri derivanti dall'impianto di abbattimento e nelle aree di lavoro a maggior rischio di contaminazione.

In collaborazione con le associazioni industriali è stata inoltre messa a punto una direttiva regionale approvata con circolare n.21/SAN del 6 aprile 1998 che contiene indicazioni derivanti dalle esperienze raccolte a seguito dell'applicazione sperimentale di alcune attività di controllo preventivo, quali:

- ##l'individuazione preventiva delle procedure di messa in sicurezza del materiale radioattivo o radiocontaminato rinvenuto;
- ##la registrazione delle misure effettuate;
- ##la caratterizzazione e l'allontanamento del materiale radioattivo o radiocontaminato rinvenuto;
- ##le linee guida di procedure da seguire in caso di rilevamento di radioattività in carichi di rottami metallici.

In base a quanto risulta alle ASL lombarde, da quando è entrata in vigore l'ordinanza regionale, sono stati rilevati dalle aziende al 1999 più di 100 carichi di rottami metallici radiocontaminati, quasi tutti nella Provincia di Brescia. Circa l'80% di tali carichi radiocontaminati è risultato essere trasportato su gomma, il resto su rotaia. Tali carichi erano costituiti nell'84% dei casi da rottami ferrosi.

Il caso dell'Alfa Acciai

L'intervento dell'ASL di Brescia, non appena allertata dell'inquinamento radioattivo di una delle due linee dell'impianto di fusione della società Alfa Acciai, si indirizzò verso le seguenti linee operative:

- ##Determinare l'entità della contaminazione ambientale interna ed esterna – misure interne effettuate nelle aree di stoccaggio, all'interno del capannone che ospitava il forno 2, lungo il decorso di canalizzazione dei fumi e nell'impianto di abbattimento, e nelle zone di lavoro; misure esterne effettuate nelle matrici ambientali, quali il terreno limitrofo, le polveri sedimentate sul manto stradale e presso gli insediamenti abitativi e le matrici vegetali (erba, fogliame, insalate, mais, ecc.);
- ##Bloccare la vendita e la lavorazione dell'acciaio contaminato prodotto e assicurare il recupero di quello già commercializzato;
- ##Informare i lavoratori e la popolazione delle zone limitrofe dell'operazione;
- ##Vigilare sull'esecuzione di una bonifica globale dei siti contaminati;
- ##Stabilire la provenienza della contaminazione.

Fu anche stabilito un contatto operativo con la Regione Lombardia che organizzò un gruppo di lavoro per la gestione dell'evento, costituito da molti interlocutori tra cui la Regione, la ASL di Brescia, il PMIP di Bergamo e di Brescia, ecc.. Al Sindaco di Brescia fu infine, richiesto di emanare un'ordinanza contingibile ed urgente per l'effettuazione entro 20 giorni dalla notifica, a spese dell'azienda stessa, della bonifica in vigore di un piano approvato dagli enti di controllo. Il 3 giugno 1997 iniziò tale bonifica terminata l'1 luglio 1997. I controlli effettuati successivamente dai tecnici delle U.O. Fische di Brescia e Milano consentirono di appurare in data 9 luglio 1997 l'avvenuta bonifica ad un livello tale da consentire il riavvio vigilato dell'impianto.

Riferimenti bibliografici e siti internet

- ⌘ Bonomo A., 1998, *Il monitoraggio delle sorgenti radioattive nei rifiuti solidi urbani*, Atti della Conferenza Internazionale "La radioattività nei rottami metallici: conseguenze e soluzioni", Brescia 23 giugno 1998.
- ⌘ Carreri V., Aversa A., 1999, *Provvedimenti regionali in tema di prevenzione dei rischi di contaminazione dei rottami metallici destinati alla fusione*.
- ⌘ Petri P., 1998, *Inventario radiologico italiano: situazione attuale e problemi di previsione*, Atti del Convegno ENEA Sicurezza nucleare e disattivazione impianti in Italia, Saluggia 6 ottobre 1998.
- ⌘ Risoluti P., 1998, *Il sito nazionale di deposito per i rifiuti radioattivi: programma e stato delle azioni*, Atti del Convegno ENEA Sicurezza nucleare e disattivazione impianti in Italia, Saluggia 6 ottobre 1998.
- ⌘ Trezza G., Gili M., Luce A., Noviello L., 1998, *Condizionamento e caratterizzazione: programmi ed azioni in corso*, Atti del Convegno ENEA Sicurezza nucleare e disattivazione impianti in Italia, Saluggia 6 ottobre 1998.

1.1.4 Tra fenomeni nucleari e conseguenze di attività umane: concentrazioni anormalmente elevate di radionuclidi di origine primordiale

Sin dall'inizio dei controlli sistematici dei carichi di rottami destinati all'industria metallurgica della Regione, il problema del ritrovamento di quantità non trascurabili di sostanze radioattive naturali ha avuto un peso significativo sia dal punto di vista quantitativo e protezionistico, sia dal punto di vista della gestione amministrativa.

I contaminanti naturali presenti sono individuati nella letteratura internazionale con l'acronimo NORM cioè *naturally occurring radionuclide materials* o LSA cioè *low specific activity material*.

Sul totale di individuazioni di presenza di radioattività in carichi di rottami, si stima che circa il 25% fosse collegato a concentrazioni anormalmente elevate di radionuclidi naturali. Il problema ha assunto notevole complessità in quanto i materiali radioattivi ritrovati non possedevano le caratteristiche di vere e proprie sorgenti e spesso non derivavano da attività industriali connesse a tecnologie nucleari, quali ad esempio l'industria dell'estrazione di idrocarburi.

In generale le attività lavorative condotte in un'azienda del ciclo del recupero dei metalli in presenza di NORM possono presentare dei rischi di diversa natura, dei quali si richiamano i principali:

- ⌘ Irradiazione esterna, in seguito allo stazionamento di personale in prossimità dei punti di deposito di quantità rilevanti di materiale contaminato;
- ⌘ Irradiazione esterna, nelle operazioni che prevedono un avvicinamento, quali manipolazioni, movimentazioni, ecc.;
- ⌘ Contaminazione interna derivante dal materiale spontaneamente distaccatosi in forma inalabile dal rottame contaminato;
- ⌘ Contaminazione interna dovuta a inalazioni di polveri generate in seguito a processi e operazioni, quali troncatura ecc.;
- ⌘ Contaminazione interna dovuta a vapori di piombo 210 o polonio 210 prodotti durante la troncatura con fiamma ossiacetilenica o plasma o di fusione;
- ⌘ Contaminazione interna per ingestione del materiale deponso sulla cute a seguito dello svolgimento di operazioni manuali sul materiale e successiva manipolazione di cibi.

Alcune stime preliminari (si veda Sgorbati G., Rusconi R., 1998) indicano che non sembra poter essere totalmente trascurato il problema dell'esposizione di operatori nella gestione dei prodotti in oggetto, ma che l'impiego di presidi protettivi normalmente utilizzati nel settore possa contribuire a ridurre entro limiti modesti le esposizioni derivanti dalle lavorazioni. Risulta indispensabile condurre puntuali rilevazioni del rischio sia per la popolazione e i lavoratori, sia per l'ambiente circostante.

I contaminanti naturali NORM non sono facilmente inquadrabili nel campo di applicazione delle vigenti leggi in tema di radioprotezione.

Riferimenti bibliografici e siti internet

- # Sgorbati G., Rusconi R., 1998, *Sorgenti naturali presenti nei rottami*, Atti Conferenza Internazionale "La radioattività nei rottami metallici: conseguenze e soluzioni", Brescia 23 giugno 1998.

1.2 La radioattività naturale

Le radiazioni ionizzanti, come introdotto al paragrafo 1.1, sono prodotte da:

- ##nuclidi radioattivi;
- ##raggi cosmici;
- ##speciali apparecchiature elettroniche.

I raggi cosmici sono sempre naturali, le sostanze radioattive invece, possono essere sia naturali, sia artificiali. Delle apparecchiature elettroniche si è detto al paragrafo 1.1.

L'esposizione della popolazione alle sorgenti naturali di radioattività è determinata da più fonti: il cosiddetto "fondo gamma", costituito dalla presenza di radionuclidi naturali nel suolo, i raggi cosmici e il gas radon.

Le sostanze radioattive in natura, quali sono ad esempio il radio, l'uranio, il torio, l'attinio o il polonio sono costituite da nuclidi di numero atomico maggiore di 82 (piombo) o minore-uguale a 92 (uranio).

I raggi cosmici sono particelle di origine extraterrestre costituite prevalentemente da nuclei di idrogeno (protoni) e di altri atomi leggeri (raggi alfa, cfr. Paragrafo 1.1) e pesanti, ma anche da elettroni, positroni, neutrini e fotoni gamma. Provengono dalla Galassia e dallo spazio esterno, con una frequenza media negli strati dell'atmosfera pari a circa 20.000 particelle al metro quadrato ogni minuto e possiedono un'energia elevatissima, fino a molte migliaia di MeV (tra 100.000.000 e 1.000.000.000.000 di eV). Molte di queste particelle, i raggi cosmici primari, si scontrano con atomi dell'atmosfera terrestre generando i raggi cosmici secondari che sono protoni, neutroni, mesoni, fotoni e quant'altro formanti sciame fotoni-elettroni caratteristici, dall'eccezionale potere penetrante. Al livello del mare si ha una media di una particella di raggi cosmici al minuto su una superficie di un centimetro quadrato.

Del gas radon si tratta al seguente paragrafo.

1.2.1 La situazione dell'esposizione al radon in Lombardia

Il radon è un gas radioattivo naturalmente presente, ancorché in misura diversa a seconda della struttura geologica del suolo che ne consente la fuoriuscita nell'ambiente. Data la diluizione dell'atmosfera, le emissioni all'aperto di radon non sono significative, mentre negli ambienti confinati, quali abitazioni, uffici, scuole ecc., la concentrazione di radon può assumere livelli di misura anche molto maggiore in relazione alle caratteristiche degli edifici e in particolare in relazione al più o meno efficace isolamento dal suolo.

Il radon appartiene al limitato gruppo di sostanze per cui è stata provata la cancerogeneità per l'uomo. Il radon 222 costituisce mediamente per la popolazione mondiale la sorgente principale di esposizione alle radiazioni ionizzanti e si ritiene rappresenti uno dei maggiori fattori di rischio per il tumore al polmone nei soggetti non fumatori e che agisca sinergicamente al fumo nei fumatori. Ancorchè sia stata provata la pericolosità di questo gas, la percezione del rischio da parte della popolazione resta nettamente inferiore rispetto alle reali gradazioni e rispetto ad altre tipologie di inquinamento, ad esempio relativi ai campi elettromagnetici, di cui pericolosità e rischio sono meno noti e in alcuni casi ancora dibattuti, ma su cui è attiva una campagna di sensibilizzazione a livello nazionale e locale.

Negli anni 1989 e 1990 l'Istituto superiore di sanità ed ENEA hanno realizzato una campagna nazionale per la determinazione della concentrazione media di radon indoor in Italia: l'indagine ha evidenziato un valore medio di concentrazione pari a 75 Bq m^{-3} e soprattutto una situazione molto variabile da regione a regione. L'analisi svolta parallelamente in Lombardia ha riguardato un campione di 33 comuni (4 con popolazione superiore ai 100.000 abitanti e i restanti estratti a caso), dove sono state individuate 811 abitazioni, scelte sempre con criterio casuale, in cui sono stati collocati appositi dosimetri per la misura delle concentrazioni di radon in aria e del fondo naturale di radiazioni. La media regionale delle concentrazioni di radon ricavata è risultata pari a 117 Bq m^{-3} , nettamente superiore alla media nazionale (l'analisi è presentata in maggiore dettaglio al Paragrafo 1.2.2).

Nel 1995 il valore medio riscontrato in Italia è salito a 77 Bq m^{-3} , contro i 40 Bq m^{-3} stimati dal Comitato scientifico delle Nazioni Unite come valore medio mondiale, resta valido l'inciso per cui la situazione è molto variabile tra le regioni italiane in accordo con le caratteristiche delle strutture geologiche dei suoli.

La Sezione di radioattività ambientale dell'Istituto di fisica generale applicata dell'Università di Milano sta attuando un progetto di individuazione di aree ad elevato rischio radon, le cosiddette *prone areas*, in Lombardia. L'approccio seguito per l'identificazione di tali aree si basa sull'analisi di radon nelle abitazioni mediante misure integrate della durata di un anno per un campione statisticamente significativo. Attualmente l'indagine riguarda le aree delle Province di Bergamo e Brescia.

Campagna di misurazione della radioattività ambientale indoor nella città di Lodi

E' stata svolta tra il 1991 e il 1993 una campagna di misura della radioattività ambientale nella città di Lodi. Nell'indagine, condotta nell'ambito di un programma di collaborazione tra le U.O. Fisica e Tutela dell'ambiente dei PMIP di Lodi e Milano, sono state determinate le intensità di dose in aria dovute alle radiazioni penetranti (gamma e raggi cosmici) e le concentrazioni di 222Radon ricavati da rivelatori esposti con differenti modalità e durata.

Alla realizzazione dell'indagine hanno aderito 81 famiglie per un totale di 37 edifici con 127 locali monitorati. E' stato rilevato il gas radon tramite due tipi differenti di rivelatori passivi a integrazione. Il primo tipo a carbone attivo (Picorad Packard) in cui la misura di conteggio viene effettuata con la tecnica della scintillazione liquida, è stato impiegato per periodi di esposizione brevi, pari a due giorni. Il secondo tipo di rivelatori utilizzati (rilevatori alfa a tracce) per la misura della concentrazione su lungo termine, circa 6 mesi, sono costituiti da pellicole di nitrato di cellulosa. In ogni locale sono stati esposti due rivelatori long-term e un rivelatore short-term durante il semestre invernale. I livelli di esposizione alla radiazione naturale penetrante sono stati determinati utilizzando cristalli termoluminescenti, tipo LiF-pellet TLD100, esposti per un periodo di sei mesi nel semestre estivo.

Sono state effettuate complessivamente 831 misure, delle quali 133 relative ai rivelatori di carbone attivo, 472 utilizzando rivelatori a traccia e 226 ottenute dai TLD100.

La media aritmetica della distribuzione annuale stimata risulta pari a 45 Bq m^{-3} ed è simile a quella rilevata nella Bassa Padana (43 Bq m^{-3} stimato dalla Regione Emilia Romagna nel 1991), mentre si discosta dal valore medio lombardo, pari a 117 Bq m^{-3} stimato nel 1991. Un'analisi relativa alle differenze stagionali evidenzia che per bassi valori annuali (minori di 70 Bq m^{-3}) le concentrazioni estive risultano generalmente superiori a quelle invernali, come evidenziato nella campagna regionale di rilevamento. Infine, le concentrazioni medie annuali per tipologia edilizia mostrano per le abitazioni storiche e rurali valori mediamente più elevati di quelli dei condomini e delle villette.

1.2.2 Valutazioni sul patrimonio edilizio

Fattori responsabili delle concentrazioni di radon indoor sono la struttura geologica del sottosuolo (lungo faglia), la tipologia costruttiva che vede la progettazione di locali sotterranei da adibire ad attività lavorative, di svago o per abitazioni rurali, la presenza di cantine comunicanti con l'interno.

Tra gli interventi pianificabili a livello amministrativo, soprattutto locale, il più efficace risulta l'intervento preventivo: studio dei suoli e sottosuoli in fase di predisposizione di piani di sviluppo urbanistico e adozione di prescrizioni (ventilazione di seminterrati, ecc.) in fase di progettazione. Per il recupero degli edifici esistenti prioritario è l'intervento diagnostico: sono attualmente disponibili varie metodiche per la misurazione del radon nelle abitazioni, ma non sono ancora disponibili sistemi polivalenti che consentano di diagnosticarne la provenienza. Le principali sorgenti si possono infatti individuare nel suolo, nei materiali da costruzione, nell'acqua (in caso di pozzi artesiani), mentre la distribuzione all'interno è strettamente correlata alla tipologia costruttiva dell'edificio.

Nel 1990 l'Unione Europea ha adottato una raccomandazione in cui invitava i Paesi membri ad adottare misure tali per cui le nuove abitazioni venissero progettate in maniera che i valori di radon indoor non superino i 200 Bq m^{-3} e che ove nelle abitazioni esistenti si superassero i 400 Bq m^{-3} venissero messi in atto interventi di risanamento, quali apposite misure di aumento della ventilazione dei locali e dei ricambi d'aria.

Nel marzo 1989 è iniziata un'indagine sull'esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni della Regione Lombardia. Nei 33 comuni lombardi interessati all'indagine, estratti in base ad un campionamento casuale, sono state censite 811 abitazioni in cui, grazie alla disponibilità delle famiglie, sono stati posizionati in due successivi

semestri appositi rilevatori per la misura della concentrazione di radon in aria e del fondo naturale di radiazioni. L'indagine è durata un anno e le letture dei rivelatori per il radon sono state effettuate dalle U.O. Fisica e Tutela dell'ambiente del PMIP Milano. La concentrazione media nel 1991 di radon nelle abitazioni lombarde risultava pari a 117 Bq m^{-3} , rispetto ad una concentrazione media italiana nello stesso anno di 75 Bq m^{-3} e dei Paesi industrializzati pari a 55 Bq m^{-3} . Nell'indagine del 1989-90, il 2% delle abitazioni lombarde ha presentato valori di radon indoor superiori a 400 Bq m^{-3} . La dose in aria dovuta alle radiazioni gamma ha raggiunto il valore medio di concentrazione di nelle abitazioni di 112 nGy/h (nanoGray/ora), mentre quello nazionale è stato di 105 nGy/h . Diverse ASL hanno in seguito attuato altre campagne locali di misura del radon indoor e si sta progettando una mappatura sistematica del territorio regionale.

Nel 1995 l'Italia ha recepito numerose iniziative in materia, tra cui il D.Lgs. 241 del marzo 1995 e sue modifiche attraverso il D. Lgs 241/00 (capo III bis) che cita espressamente l'esposizione al radon e ai suoi prodotti di decadimento in tutti gli ambienti.

La Lombardia, in attesa di una normativa nazionale di riferimento, ha adottato nell'aprile 1991 la disposizione regionale: "Interventi di sorveglianza negli ambienti di vita e negli ambienti di lavoro" che offre un'ampia informativa sul radon, sulla provenienza, su conseguenze e limiti di esposizione, così come definiti dagli organismi internazionali. La relazione "Realizzazione di misure di concentrazione di radon in ambienti chiusi al fine di tutela della salute" dell'agosto 1991 specifica inoltre, metodologie di misura, livelli di riferimento, modalità e protocolli per la rilevazione dei dati.

Riferimenti bibliografici e siti internet

- €# Regione Lombardia, 2000, *Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia, 1999*.
- €# Regione Lombardia, 1991, *Primo Rapporto – Risultati dell'indagine sull'esposizione alla radioattività naturale nelle abitazioni della Regione Lombardia*.
- €# www.brera.unimi.it/istituto/radioattivita/radon.htm
- €# www.csinternational.com

	Milano città	Cremona	Seedia	Bergamo	Brescia	Como	Masera	Varese	Lecco	MI 3 - Monza	Pavia	MI 1 - Pavia	Lodi
Disponibilità di metodiche per la misurazione di:													
Ra indoor long term	X	X	X	X				X		X			
Ra indoor short term	X	X	X	X									
Ra indoor in cantieri	X	X	X	X									
Ra nelle acque	X	X	X	X									
Principali campagne	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115	Campagna nazionale LR 115
	Legnano (LR 155)(cosas) Valassina (LR 155)(cosas)	Scuole città di Cremona	Misure in ambienti formati	Bergamo città e province, escluse alla "Val Brembana e zona sud"						Vincenate			Lodi (LR 115)
		Scuole città di Cremona	Principali centri abitati							Umanate e Vialta			
		Abitazioni interland di Cremona	Località rilevanti per caratteristiche geologiche (LR 115)							Zona a nord di Monza			

Tabella 1

Censimento delle risorse disponibili relativamente al settore radiazioni ionizzanti – campagne per la misura del radon indoor.

Fonte: ARPA Lombardia, 2001.

1.3 **Catene trofiche e alimentazione: dall'ambiente all'esposizione dell'uomo**

I radionuclidi una volta depositati al suolo possono seguire diverse vie di dispersione nell'ambiente, quali la migrazione sul profilo verticale del terreno o l'assorbimento da parte dell'apparato radicale delle piante. Gli elementi radioattivi assorbiti dalla vegetazione possono essere successivamente asportati con il raccolto e in parte ritornare al suolo attraverso i concimi organici, prodotti dalle deiezioni degli animali alimentati con vegetali contaminati.

1.3.1 **Le matrici più prossime al ciclo alimentare**

Come anticipato al Paragrafo 1.1, il ^{137}Cs e lo ^{90}Sr , radionuclidi con tempi di dimezzamento radioattivo di circa trenta anni e caratterizzati da una significativa mobilità ambientale costituiscono i principali indicatori delle ricadute radioattive al suolo.

La misurazione degli elementi radioattivi nella vegetazione proposta dalla Rete nazionale di sorveglianza della radioattività ambientale verifica i valori del ^{137}Cs e dello ^{90}Sr .

Per quanto concerne i radionuclidi assorbiti dalla vegetazione, i valori molto bassi di ^{137}Cs misurati nei cereali e nei loro derivati, nei vegetali e nella frutta sono da attribuire alle lavorazioni agrarie che hanno contribuito in modo sostanziale alla distribuzione lungo tutto il profilo verticale del terreno dei contaminanti radioattivi presenti in superficie. A livello nazionale i valori di ^{137}Cs misurati nei cereali e derivati nel 1997 risultavano assai modesti, con una media pari a $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ nel caso di avena, farina di grano duro, farina di grano tenero, farina di mais, farina di segale, farro, mais, orzo, pasta e riso. I valori misurati nei vegetali erano in media pari o inferiori a $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ (peso fresco) per carciofo, carota, cavolfiore, cicoria, cipolla, fagiolo, finocchio, lattuga, melanzana, patata, pomodoro e zucchine. Infine, il ^{137}Cs nella frutta risultava alto nel mirtillo (pari a $34,5 \text{ Bq kg}^{-1}$), intorno allo $0,1 \text{ Bq kg}^{-1}$ nel caso di arancia, ciliegia, fragola, mela e melone.

In alcuni ambienti non utilizzati a fini agricoli, quali i boschi e i pascoli di montagna, la radioattività deposta al suolo è risultata elevata soprattutto a causa di eventi meteorici diffusi e a causa di fenomeni di accumulo di radioelementi nella vegetazione. Tali ambienti potrebbero perciò rappresentare una riserva di contaminanti per la selvaggina e per gli animali da pascolo. Il latte e la carne prodotti da bestiame con alimentazione costituita da foraggi prativi provenienti da queste aree presentano valori di cesio più elevati. Secondo dati ANPA nel 1997 in Lombardia il ^{137}Cs presente nella carne bovina risultava pari in media a $0,7 \text{ Bq kg}^{-1}$, tra i valori più alti insieme con il Trentino Alto Adige ($1,7 \text{ Bq kg}^{-1}$), il Piemonte ($1,1 \text{ Bq kg}^{-1}$) e il Veneto ($0,5 \text{ Bq kg}^{-1}$). Il ^{137}Cs riscontrato negli allevamenti avicunicoli in Lombardia risultava in media pari a $0,2 \text{ Bq kg}^{-1}$.

Il contenuto di ^{137}Cs nella fauna ittica è largamente dipendente dall'ampia varietà dei regimi alimentari disponibile nell'ambiente acquatico. La concentrazione nelle acque marine ha una distribuzione abbastanza omogenea nei diversi punti di prelievo tra il 1994 e il 1997, viceversa nei sedimenti marini presenta variabilità ampia attribuibile all'influenza degli apporti terrigeni fluviali e alle caratteristiche granulometriche, mineralogiche e chimiche dei sedimenti misurati. La concentrazione nei corsi di acqua dolce presenta valori inferiori rispetto a quelli riscontrati nelle acque marine; la concentrazione nei sedimenti di acqua dolce, nel particolato in sospensione e nel detrito minerale organico sedimentabile risulta ancora a elevata variabilità, a causa delle diverse caratteristiche mineralogiche, granulometriche e chimico-fisiche

che caratterizzano i sedimenti originanti da bacini idrografici diversi. Il ^{137}Cs disciolto nei detriti minerali organici sedimentabili fluviali risulta in media nel 1997 pari a $27,4 \text{ Bq kg}^{-1}$ per il Fiume Po, a $59,5 \text{ Bq kg}^{-1}$ per il Serio e a $57,7$ per l'Oglio. Altro indicatore interessante è lo Iodio ^{131}I , imputabile soprattutto agli scarichi fognari in cui recapitano le deiezioni dei pazienti trattati con radiofarmaci: i valori annuali medi di concentrazione in DMO sono variabili a seconda dei quantitativi immessi e delle variazioni di portata dei corsi d'acqua. Nel 1997 i livelli riscontrati nel Po foce Adda risultavano pari a $1,77 \text{ Bq kg}^{-1}$, nel Po foce Lambro pari a $25,9$, nel Po foce Mincio pari a $0,41$, nel Serio pari a $46,14$ e nell'Oglio pari a $6,43$.

1.3.2 La rete di monitoraggio della radioattività negli alimenti

In Italia il rilevamento della radioattività avviene sulla base di un programma di campionamento di matrici rappresentative dei principali comparti ambientali e in alcune componenti della dieta italiana. Il piano di campionamento suggerito prevede:

- ## per il particolato atmosferico, frequenza di prelievo giornaliera e frequenza delle misure radiometriche mensile;
- ## per le deposizioni umide e secche al suolo (fall out), frequenza di prelievo mensile e frequenza delle misure radiometriche mensile;
- ## per le matrici dell'ambiente acquatico, frequenza di prelievo semestrale e frequenza delle misure radiometriche semestrale;
- ## per il latte, frequenza di prelievo settimanale e frequenza delle misure radiometriche mensile;
- ## per le carni, frequenza di prelievo mensile e frequenza delle misure radiometriche semestrale;
- ## per i cereali e derivati, frequenza di prelievo e frequenza delle misure radiometriche stagionale;
- ## per la pasta, frequenza di prelievo e frequenza delle misure radiometriche trimestrale;
- ## per i vegetali e la frutta, frequenza di prelievo e frequenza delle misure radiometriche stagionale.

Le stazioni di prelievo e gli istituti che eseguono i prelievi e le misure sono sparsi su tutto il territorio italiano. In Lombardia, tra il 1993 e oggi hanno partecipato a tale attività di misura il Centro Comune di Ricerca (CCR) della Commissione Europea di Ispra (Va), il Centro di riferimento regionale per il controllo della radioattività della Lombardia – CRR Milano, alcuni Dipartimenti provinciali di ARPA Lombardia quali Bergamo e Cremona.

L'attività di controllo della radioattività negli alimenti e nell'ambiente prosegue da anni, la maggior parte dei campioni prelevati sul territorio lombardo sono inviati per l'analisi ai laboratori dei dipartimenti di Milano, Cremona e Bergamo. Una visione d'insieme delle matrici sottoposte a controllo e della distribuzione sul territorio dei punti di prelievo evidenzia la necessità di razionalizzare quanto finora svolto. L'ARPA Lombardia ritiene in particolare opportuno rivedere l'attuale programma di monitoraggio alla luce delle esperienze maturate, delle nuove esigenze del territorio (aziende che svolgono attività di fusione di rottami metallici, impianti di termodistruzione dei rifiuti, impianti di depurazione delle acque, attività a rischio idrogeologico, ecc.), nonché dei contenuti di alcuni documenti della Commissione Europea, quali la Raccomandazione CE n.473 del 8 giugno 2000 sull'applicazione dell'art.36 del trattato Eurotom riguardante il controllo del grado di radioattività ambientale allo scopo di determinare l'esposizione dell'insieme della popolazione, e

della Direttiva 98/83/CE del 3 novembre 1998 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano.

1.3.3 Dieta e impegno di dose: stime regionali

La valutazione del rischio conseguente all'esposizione a sostanze radioattive viene effettuata mediante il calcolo della dose efficace individuale e collettiva.

La dose efficace individuale è legata, secondo l'interpretazione proposta nelle Raccomandazioni 1990 della Commissione internazionale per la protezione radiologica, ad un incremento di probabilità di effetti sanitari gravi nell'individuo esposto (tumori e leucemie ed effetti genetici gravi sulle generazioni successive). La dose efficace collettiva è utilizzata per stimare l'attesa totale di effetti sanitari gravi nella popolazione esposta (detrimento sanitario).

Partendo dai valori misurati delle concentrazioni di radionuclidi negli alimenti e nel particolato atmosferico sono state calcolate le dosi efficaci dovute ad ingestione e inalazione di materiale contaminato. Il calcolo è stato effettuato utilizzando coefficienti di conversione tra concentrazioni di radionuclidi misurate nelle matrici ambientali e alimentari e dose efficace proposti a livello nazionale e internazionale (ANPA, 1994 e NRPB 1991). La popolazione è stata suddivisa in tre fasce d'età non omnicomprensive: 0-1 anno, 7-12 anni e maggiore di 17 anni, indicative delle differenze metaboliche e anatomiche e delle diversità di regime alimentare. Le stime degli effetti sanitari sono state effettuate utilizzando i coefficienti di rischio indicati nelle Raccomandazioni 1990 della ICRP.

Si riportano di seguito i risultati di un'analisi effettuata in Lombardia dalla Regione su dati raccolti tra il 1986 (anno dell'incidente di Chernobyl) e il 1994 per valutare l'entità dell'esposizione cui è stata sottoposta la popolazione del territorio (cfr. [Tabella 4](#)).

I risultati delle valutazioni di dose efficace individuale impegnata per inalazione diretta dalla nube di Chernobyl e per inalazione di materiale risospeso mostrano una rapida diminuzione dei valori subito dopo il primo anno dall'incidente: si è passati nei lattanti da 1 nanoSievert nel 1988 a 0,1 nanoSievert nel 1994, nei bambini da 1.8 nanoSievert del 1988 a 0,2 nanoSievert nel 1994 e negli adulti da 3.4 nel 1988 a 0,5 nel 1994.

I risultati delle valutazioni di dose efficace individuale impiegata per ingestione di alimenti radiocontaminati hanno mostrato che nei mesi immediatamente successivi all'incidente di Chernobyl la radiocontaminazione degli alimenti era dovuta alla presenza di vari radionuclidi artificiali, in seguito la dose alla popolazione è derivata principalmente da ^{134}Cs , ^{137}Cs e ^{90}Sr . Il contributo dei due isotopi di Cesio alla dose di ingestione è diminuito negli anni parallelamente al diminuire delle concentrazioni misurate negli alimenti. Le concentrazioni di ^{90}Sr attualmente misurabili sono ancora legate per lo più alle immissioni in atmosfera dovute ai test nucleari degli anni '60, il contributo di Chernobyl è risultato trascurabile. Per ingestione tra il maggio 1986 e l'aprile 1987 i lattanti in Lombardia hanno subito dosi pari a 553 nanoSievert, i bambini pari a 738 nanoSievert e gli adulti pari a 384 nanoSievert.

Per quanto riguarda l'irraggiamento causato dalle sostanze radioattive depositate al suolo, la situazione lombarda appare fortemente disomogenea in relazione alla distribuzione iniziale della radiocontaminazione nei terreni. Per quanto di difficile quantificazione, una stima della dose di irraggiamento è stata effettuata applicando ai dati di radiocontaminazione dei suoli misurati nel 1986 nella Provincia di Como e di Milano i coefficienti per la determinazione della dose assorbita (NRPB, 1986). Per i primi dieci anni dopo l'incidente è stato calcolato un valore regionale di dose individuale pari a $566 \cdot 10^{-6}$ Sv. Per la proiezione della dose da irraggiamento nei

decenni successivi si è stimato un valore regionale di dose individuale pari a $830 \cdot 10^{-6}$ Sv, cui corrisponde una dose collettiva di 7310 Sv * persona.

Riferimenti bibliografici e siti internet

- # ANPA, 1999, *Reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia – 1993*.
- # ANPA, 1999, *Reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia – 1994-1997*.
- # Regione Lombardia, 2000, *Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia, 1999*.
- # www.brera.unimi.it/istituto/radioattivita/radon.htm
- # www.csinternational.com

	1994	1995	1996	1997
¹³⁷ Cs nella carne bovina (Bq Kg ⁻¹ fresco)	0,9	0,2	0,9	0,7
¹³⁷ Cs nella carne suina (Bq Kg ⁻¹ fresco)	0,3	0,4	0,3	0,3
¹³⁷ Cs negli allevamenti avicunicoli (Bq Kg ⁻¹ fresco)	0,1	0,1	nd	0,2

Tabella 1 Radiocontaminazione negli alimenti – 1994-1997.

Fonte: ANPA, 1999.

	Farina	Grano	Grano duro	Grano tenero	Mais	Pane	Pasta	Riso
Anno 1991								
Bergamo	0	....	0	....	0	0	0	....
Cremona	0	0,30	....	....	0,90	0	0	....
Milano	0	....	....	....	....	0	0	0
Anno 1992								
Bergamo	(1) 0,12	(1) 0,28	....	(1) 0,28	0,20	(1) 1,01	(1) 2,23	....
Cremona	(1) 0,36	(1) 0,52	(1) 0,49	....	(1) 0,35	(1) 1,30	....	....
Milano	(1) 0,18	....	....	....	....	(1) 0,12	(1) 1,35	(1) 0,05
Anno 1993								
Bergamo	0	....	0	0,70	0	0	0	....
Cremona	0	0,27	....	....	0	0	0	....
Milano	0	0	....	....	....	....	0	0

(1) Limite di sensibilità dello strumento di misura.

(...) i dati non sono disponibili

Tabella 2 Concentrazione di cesio 137 in cereali e derivati per stazione (Bq per Kg)

Fonte: ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente)

- Istat

	Cavolfiore	Lattuga	Spinacio	Pomodoro	Zucchina	Carota	Patata	Fagiolo
Anno 1991								
Bergamo	0,05	0,06	0,06	0,07	0,14	0,09	0,14	0,14
Cremona	0,96	1,25	0,11	0,55	0,58	0,49	0,60	1,55
Milano	0,04	0,12	0,10	0,06	0,03	0,43	....	0,11
Anno 1992								
Bergamo	(1) 0,17	(1) 0,14	(1) 0,20	(1) 0,11	(1) 0,14	(1) 0,12	(1) 0,12	(1) 0,21
Cremona	(1) 0,13	(1) 0,72	0,48	(1) 0,54	(1) 0,87	(1) 0,88	(1) 0,67	(1) 1,21
Milano	0	....	....	(1) 0,05	....	....	....	....
Anno 1993								
Bergamo	...	0	...	0	0,14	...	...	...
Cremona	0	0	0,54	0	0	0	0	0
Milano	...	0	0,10	...	...	...	...	...

(1) Limite di sensibilità dello strumento di misura.

(....) i dati non sono disponibili.

Tabella 3 Concentrazione di cesio 137 in vegetali per stazione (Bq per Kg)

Fonte: ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) - Istat

	Lattanti	Bambini	Adulti
Totale ingestione 1986-1994	691	807	490
Totale inalazione 1986-1994	49	63	32
Totale irraggiamento 1986-1994	830	830	830
Totale generale	1570	1720	1352

Tabella 4

Stime di dose assorbita dalla popolazione lombarda a seguito dell'incidente di Chernobyl. Valori in nanoSievert.

Fonte: Regione Lombardia, 1999



1.4 Le politiche attivabili

1.4.1 Il nuovo quadro normativo nazionale

Con l'entrata in vigore del D.Lgs. 230/95 (come succ. mod. dal D.lgs. 241/2000 e dal D.lgs 257/2001), che recepisce la direttiva 96/29/Euratom sulle norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione sanitaria dei cittadini contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti, saranno maggiormente tutelate le categorie di lavoratori e la popolazione esposte a particolari fonti di radiazioni artificiali o naturali.

La Comunità Europea ha fissato norme di tale tipo per la prima volta nel 1959, rivedendole attraverso gli anni ed adattandole all'evolversi della tecnologia industriale ed all'evoluzione della diagnostica medica. Esistono a tale riguardo le direttive europee 5703/62, 66/45/Euratom, 76/579/Euratom, 79/343/Euratom, 80/836/Euratom e 84/476/Euratom.

Il D. Lgs. 230/1995 (e successive modifiche) si occupa non solo di definire le misure necessarie atte ad assicurare la protezione sanitaria dei lavoratori e della popolazione, ma soprattutto detta le specifiche misure preventive da attuare anche per esposizioni a sorgenti naturali di radiazioni e in caso di un'emergenza radiologica o nucleare, fissando inoltre i livelli di eliminazione per lo smaltimento, il riciclo o la riutilizzazione delle scorie.

Vengono regolamentati quindi:

- ##a produzione, il trattamento, la detenzione, il trasporto (attraverso la legge n.1860 del 1962), l'importazione, l'esportazione, il commercio, la raccolta, lo smaltimento di materie radioattive;
- ##l'impiego di macchine radiogene;
- ##e lavorazioni minerarie, gli interventi in emergenza radiologica o nucleare o per esposizione prolungata a sorgenti di radiazioni ionizzanti.

Per quanto concerne i lavoratori e la popolazione, le norme prevedono la tutela sanitaria: delle persone esposte ai prodotti del decadimento del radon (isotopo 222 del radon) o toron (isotopo 220 del radon) o raggi gamma o altre emissioni radioattive in tunnel, sottovie, catacombe e grotte; di coloro che risiedono o lavorano in zone a rischio ben individuate; di coloro che hanno a che fare con l'uso e lo stoccaggio di materiali radionuclidi naturali, che vengano in contatto con residui dei radionuclidi; del personale navigante degli aerei; di lavoratori degli stabilimenti termali o estrattivi.

E' previsto un controllo di tutto il commercio di materiale radioattivo, tramite la registrazione obbligatoria di tutti i passaggi relativi allo stesso, con l'indicazione dei contraenti, anche qualora si tratti di cessioni gratuite. Ai datori di lavoro ed ai dirigenti è fatto obbligo di attuare cautele di protezione e sicurezza previste ed accertate tramite una relazione scritta di un esperto qualificato, circa le valutazioni e le indicazioni di radioproduzione, con aggiornamenti e controlli periodici. A tutela dei nascituri, la normativa stabilisce che le lavoratrici in gravidanza non debbano esporsi a radiazioni con intensità superiore ad 1 millisievert, così pure nel periodo dell'allattamento. Per tutti coloro che non ottemperano alle norme del decreto in oggetto, sono previste, asseconda della gravità del caso, sanzioni pecuniarie ed arresti.

1.4.2 I ruoli attivi della Regione e degli Enti locali nella gestione amministrativa del rischio

Il D.lgs. 230/1995 (e successive modifiche) prevede dei ruoli specifici riservati alle Regioni. In particolare:

- 4# l'art. 29 demanda alle stesse il compito di normare in merito alle attività comportanti esposizioni a scopo medico;
- 4# l'art. 30 assegna alle regioni il ruolo legislativo in materia di "allontanamento" di rifiuti radioattivi (da smaltire, riciclare, riutilizzare), all'interno di linee-guida emanate dal Ministero dell'Ambiente;
- 4# l'art. 33 prevede che le regioni esprimano parere sul nulla osta rilasciato da atto congiunto di più ministeri;
- 4# l'art.10 demanda alle medesime l'individuazione delle zone o dei luoghi di lavoro con elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon.

Riferimenti bibliografici e siti internet

€#www.reteambiente.it