



## **Servizio Promozione della Formazione Ambientale**

### **Il Cs<sup>137</sup> nelle matrici alimentari di origine animale**

***A cura di: Dott.ssa Sara Mazzamauro***

***Tutor: Dott.ssa Rita Ocone***

***Servizio Laboratorio Radiazioni Ambientali***

***Settore di Radioattività artificiale***

II Sessione di Stage 2005/2006

---

## INDICE

<b>PREFAZIONE .....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>II</b>
<b>SINTESI.....</b>	<b>III</b>
<b>RADIOATTIVITA' E RADIAZIONI IONIZZANTI .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Introduzione .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Sorgenti delle radiazioni ionizzanti .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Sorgenti naturali .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Sorgenti artificiali .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 a) Sorgenti e radiazioni in campo medico.....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 b) Esplosioni nucleari .....</b>	<b>7</b>
<b>EFFETTI SULL'UOMO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI.....</b>	<b>8</b>
<b>CONTESTO NORMATIVO.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Evoluzione storica della normativa. ....</b>	<b>10</b>
<b>3.1a) Trattato che istituisce la Comunità europea dell'Energia atomica (EURATOM o CEEA) Roma 25/03/1957. ....</b>	<b>10</b>
<b>3.1b) Regolamento EURATOM 3954/87 come modificato dal regolamento EURATOM 2218/89 .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 c) Regolamento EURATOM 944/89 della Commissione .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 d) Regolamento CEE 737/90 del consiglio relativo alle condizioni d'importazione di prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl. ....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 e) DLgs230 del 17/03/1995 e s.m.i.: Attuazione delle direttive Euratom 80/386, 84/467, 84/466, 89/617, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti. ....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 f) Regolamento CEE 1609/2000 che fissa un elenco dei prodotti esclusi dal campo di applicazione del regolamento CEE 737/90 del Consiglio relativo alle condizioni di importazione di prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl. ....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 g) Raccomandazione della commissione del 14/4/2003 sulla protezione e l'informazione del pubblico per quanto riguarda l'esposizione risultante dalla continua contaminazione radioattiva da Cesio di taluni prodotti di raccolta spontanei a seguito dell'incidente di Chernobyl. ....</b>	<b>12</b>
<b>TRASFERIMENTO ED ACCUMULO DI Cs<sup>137</sup> IN ORGANISMI ANIMALI .....</b>	<b>13</b>
<b>LA MISURA DEL Cs<sup>137</sup> .....</b>	<b>15</b>

<b>5.1 La spettrometria gamma .....</b>	<b>15</b>
<b>MATERIALI E METODI.....</b>	<b>17</b>
<b>6.1 Campionamento delle matrici alimentari.....</b>	<b>17</b>
<b>6.3 Risultato delle analisi .....</b>	<b>18</b>
<b>6.4 Analisi dati.....</b>	<b>20</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>24</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>25</b>

## ***PREFAZIONE***

I radionuclidi artificiali attualmente presenti nell'ambiente originano in gran parte dall'incidente di Chernobyl del 26 aprile 1986.

Durante il tragitto la nube radioattiva proveniente dall'Ucraina incontrò condizioni meteorologiche ed orografiche diverse e quindi le deposizioni al suolo interessarono in maniera irregolare il territorio italiano.

Le zone caratterizzate da intense precipitazioni atmosferiche subirono una ricaduta di materiale radioattivo più alta rispetto alle zone a piovosità più bassa.

I radionuclidi depositati al suolo, seguendo diverse vie di dispersione nell'ambiente, ancora oggi coinvolgono anche l'assorbimento da parte delle radici delle piante.

Assorbiti dalla vegetazione entrano nella catena alimentare degli animali, possono essere asportati con il raccolto ed in parte ritornare al suolo attraverso i concimi organici provenienti dalle deiezioni di animali.

Dovuto al tempo di dimezzamento di circa trenta anni e ad una significativa mobilità nell'ambiente, il  $^{137}\text{Cs}$  è uno dei principali radionuclidi presenti nelle matrici ambientali ed alimentari ancora sensibilmente presente dopo venti anni dall'incidente di Chernobyl.

## ***ABSTRACT***

### **Cs<sup>137</sup> in foodstuff samples of animal origins**

As consequence of Chernobyl incident and the relevant environmental radioactive fall out, the problem arose of the diffusion of radionuclides in the animal and in particular in the human alimentary chain. Different national and European standards, recommendations and regulations, have been issued to guarantee the public health; this regulatory body establishes limit values for the acceptance of radionuclides contamination in food and water and specific and very stringent administrative controls.

The most important radionuclide resulting from the Chernobyl fallout is Cs<sup>137</sup> with half life of about 30 years. Cs<sup>137</sup> is metabolised together with Potassium and is accumulated mainly in the body muscles.

Considering the three main components of the human diets, meat, fish and milk, we present in the report the present status of Cesium contamination after twenty years since Chernobyl incident.

According to the data collected, the Cs<sup>137</sup> contamination values are widely below the acceptance limits.

It results also that Cs<sup>137</sup> contamination values are greater in the North Italian regions than in the Centre and South regions; this is a consequence of weather conditions at the moment of incident, and also of a different cattle breeding carried out in the North Italian regions.

## **SINTESI**

A seguito dell'incidente di Chernobyl il fall-out radioattivo sull'ambiente ha comportato che i radionuclidi formati siano entrati a far parte della catena alimentare degli animali e di conseguenza del genere umano.

Al fine di garantire la salute pubblica sono state emanate una serie di normative, europee e nazionali, che fissano valori di accettabilità per i radionuclidi nei generi alimentari e nelle acque, e fissano inoltre rigidi criteri sui controlli degli alimenti.

Uno dei più importanti radionuclidi del fall-out è il  $\text{Cs}^{137}$  che ha un periodo di dimezzamento di circa 30 anni. Il  $\text{Cs}^{137}$  viene metabolizzato insieme al Potassio e si concentra, in modo particolare nei muscoli.

Prendendo in esame carne, pesce e latte, tre dei costituenti di base della dieta, è stato fatto un quadro della situazione a distanza di 20 anni da Chernobyl.

Dall'analisi dei dati ottenuti risulta che i livelli di contaminazione da  $\text{Cs}^{137}$  sono ampiamente al di sotto dei limiti di legge, anche se si può notare chiaramente che le regioni del Nord presentano valori di  $\text{Cs}^{137}$  maggiori rispetto alle regioni del Centro e del Sud.

Quanto sopra è da imputare ad una più intensa ricaduta di materiale radioattivo, dovuta alle diverse condizioni meteorologiche al momento del passaggio della nube radioattiva, ed alle diverse pratiche di allevamento in uso nelle regioni del Nord.

## Capitolo 1

### RADIOATTIVITA' E RADIAZIONI IONIZZANTI

#### 1.1 Introduzione

La radioattività nacque con il “big bang” che diede origine all’universo circa 20 miliardi di anni fa; gli atomi radioattivi divennero parte dell’universo fin dalla sua formazione. Alla fine dell’800 gli scienziati iniziarono ricerche sull’atomo ed in particolare sulla sua struttura. Gli atomi si comportano come sistemi solari in miniatura: nuclei circondati da “pianeti” in orbita chiamati elettroni. Il nucleo è solo un centomillesimo del volume dell’intero atomo, ma è così denso che vi è concentrata quasi tutta la sua massa; esso è un insieme di particelle che interagiscono strettamente l’una con l’altra: i nucleoni. I nucleoni con carica elettrica positiva sono chiamati protoni; il numero di protoni determina a quale elemento l’atomo appartiene. Ogni atomo ha lo stesso numero di elettroni e di protoni; avendo gli elettroni carica negativa ed i protoni carica positiva ne deriva che l’atomo è neutro. I restanti nucleoni sono i neutroni che non hanno carica elettrica.

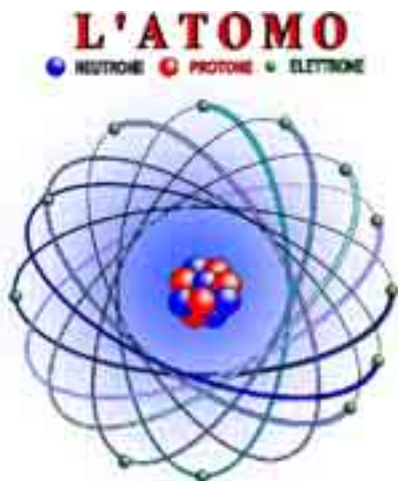


Fig. 1 Struttura dell'atomo

Gli atomi dello stesso elemento hanno sempre lo stesso numero di protoni, ma possono avere un diverso numero di neutroni. Quelli con diverso numero di neutroni ma stesso numero di protoni appartengono allo stesso elemento e sono chiamati isotopi o nuclidi riferendosi al solo nucleo dell'atomo. Gli isotopi sono identificati dal numero totale di nucleoni (numero di massa) presenti nel nucleo, ad es. l'Uranio<sup>238</sup> ha 92 protoni e 146 neutroni, l'Uranio<sup>235</sup> ha sempre 92 protoni, ma 143 neutroni.

Alcuni nuclidi sono stabili, ma sono una minoranza; la maggior parte è instabile e manifesta tale instabilità tentando continuamente di trasformarsi in elementi più stabili.

Ad ogni trasformazione si libera energia che si propaga sotto forma di radiazioni che sono distinte in:

- 1) Particelle alfa (2 protoni e 2 neutroni).
- 2) Particelle beta (1 elettrone o 1 positrone).
- 3) Radiazioni gamma (radiazioni elettromagnetiche).

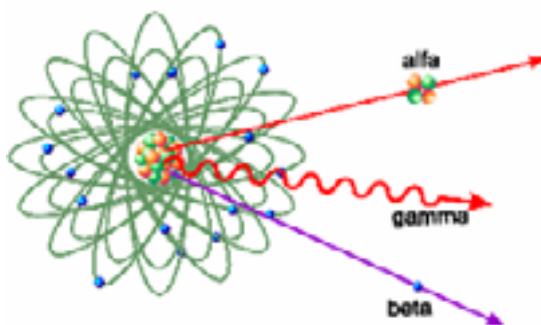


Fig.2 Radiazioni  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  emesse dall'atomo

Queste radiazioni si definiscono ionizzanti in quanto aventi la capacità di comportare, direttamente o indirettamente, la formazione di ioni.

I diversi tipi di radiazioni hanno anche differente energia e potere di penetrazione, ed hanno quindi diversi effetti sulla materia. La particella alfa per es. è fermata da un foglio di carta e può difficilmente oltrepassare gli strati superficiali della pelle, la particella beta, invece, può penetrare un centimetro o due di tessuto umano, la radiazione gamma è molto penetrante e può attraversare una lastra di piombo o calcestruzzo.



Fig. 3 Rappresentazione del potere di penetrazione delle diverse radiazioni

Il numero di trasformazioni che avvengono ogni secondo in una data quantità di materiale radioattivo costituisce la sua attività e viene misurata in unità chiamate Becquerels.



## **1.2 Sorgenti delle radiazioni ionizzanti**

L'origine delle radiazioni ionizzanti è di due tipi: 1) naturale 2) artificiale. In assenza di specifici eventi (esplosioni nucleari o incidenti) la maggior parte dell'esposizione della popolazione a radiazioni ionizzanti è di origine naturale e le componenti principali sono rappresentate da: raggi cosmici e radiazioni terrestri.

Le persone vengono irradiate in due modi: le sostanze radioattive possono rimanere fuori dal corpo ed irradiarlo dall'esterno, oppure possono essere inalate o ingerite attraverso il cibo e l'acqua e, quindi, irradiare il corpo dall'interno.

## **1.3 Sorgenti naturali**

Poco meno della metà dell'esposizione dell'uomo alla radiazione naturale esterna deriva dai raggi cosmici, essi irradiano la terra direttamente ed interagiscono con l'atmosfera producendo ulteriori tipi di radiazioni. I raggi cosmici colpiscono alcune zone della terra più di altre, in particolare la loro intensità aumenta con l'altitudine dato che a maggiori altezze c'è una minore quantità di aria che fa da schermo.

Radioattività naturale è presente anche nelle rocce della crosta terrestre dove troviamo il Potassio<sup>40</sup>, il Rubidio<sup>87</sup> e tre serie di elementi che derivano dal decadimento dell'Uranio<sup>238</sup>, del Torio<sup>232</sup> e dell'Uranio<sup>235</sup>, radionuclidi a lunga vita presenti sulla terra fin dalla sua origine.

I livelli di radiazione terrestre differiscono da luogo a luogo in tutto il mondo, così come variano le concentrazioni di questi materiali nella crosta terrestre.

## **1.4 Sorgenti artificiali**

Negli ultimi decenni l'uomo ha prodotto artificialmente molte centinaia di radionuclidi ed ha usato la potenza dell'atomo in molti campi. Ricordiamo principalmente l'impiego di radionuclidi artificiali e di macchine radiogene nei settori industriale, sanitario, bellico e della ricerca.

Numerosissime sono le sorgenti radioattive artificiali contenute in strumenti di uso quotidiano impiegate per le più svariate applicazioni industriali (rivelatori di incendio, rivelatori di umidità e contenuto d'acqua, quadranti di orologio, sistemi antistatici, insegne luminose, etc.). Vengono inoltre usati dispositivi a raggi x e gamma (grandi irradiator,

acceleratori di particelle) per la determinazione di difetti nelle saldature e nelle strutture di fusione, per la sterilizzazione di derrate alimentari e di prodotti medicinali, etc.

#### **1.4 a) Sorgenti e radiazioni in campo medico**

E' ormai estremamente diffuso l'impiego delle sorgenti di radiazioni sia in diagnostica che in terapia. Attualmente le applicazioni in questo settore costituiscono la seconda causa di esposizione della popolazione alle radiazioni ionizzanti e la maggior fonte di esposizione alle radiazioni artificiali. Oltre alle tradizionali apparecchiature a raggi x della radiologia, occorre ricordare l'utilizzazione dei radioisotopi nella medicina nucleare, dove si ricorre alla rivelazione dei radionuclidi iniettati nell'uomo per lo studio di numerosi processi e per la localizzazione dei tumori.

Ricordiamo inoltre l'impiego dei radionuclidi (sorgenti di cobalto) nella radioterapia tumorale.

#### **1.4 b) Esplosioni nucleari**

Questa fonte di radiazioni è il risultato delle esplosioni nucleari nell'atmosfera effettuate per la sperimentazione delle armi nucleari. Tale sperimentazione ha avuto due picchi: il primo tra il '54 e il '58, a seguito degli esperimenti nucleari di Stati Uniti, Russia e Gran Bretagna il secondo, più elevato, nel '61 e nel '62, dovuto essenzialmente agli esperimenti di Stati Uniti e Russia. Infine, ma non certo per importanza, ricordiamo l'orrore delle bombe atomiche che il 6 ed il 9 Agosto 1945 colpirono le città di Hiroshima e Nagasaki causando, non solo la morte di centinaia di migliaia di persone, ma anche devastanti conseguenze genetiche su centinaia di migliaia di altre persone, su animali e piante dei territori circostanti.

## Capitolo 2

### **EFFETTI SULL'UOMO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI**

I danni prodotti dalle radiazioni ionizzanti sull'uomo possono essere distinti in tre categorie principali:

- danni somatici deterministici;
- danni somatici stocastici;
- danni genetici stocastici.

Si definiscono somatici i danni che si manifestano nell'individuo irradiato, genetici quelli che si manifestano nella sua progenie.

Per danni deterministici s'intendono quelli in cui la frequenza e la gravità variano con la dose e per i quali è individuabile una dose soglia. In particolare, i danni deterministici hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- a) compaiono soltanto al superamento di una dose-soglia caratteristica di ogni effetto;
- b) il superamento della dose-soglia comporta l'insorgenza dell'effetto in tutti gli irradiati;
- c) il periodo di latenza è solitamente breve (giorni o settimane), in alcuni casi l'insorgenza è tardiva (mesi o anni);
- d) la gravità delle manifestazioni cliniche aumenta con l'aumentare della dose.

I danni somatici stocastici comprendono le leucemie e i tumori solidi. In questa patologia soltanto la probabilità di accadimento, e non la gravità, è in funzione della dose. Danni di questo tipo hanno le seguenti caratteristiche:

- a) sono a carattere probabilistico;
- b) sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta;
- c) si manifestano dopo anni, a volte decenni, dall'irradiazione;
- d) sono indistinguibili dai tumori indotti da altri cancerogeni.

In seguito all'irradiazione è necessario considerare un periodo minimo di risposta clinicamente silente, seguito da un periodo a rischio, in cui è attesa la comparsa, a livello diagnostico, dei tumori.

## Capitolo 3

### CONTESTO NORMATIVO

Sin dalla istituzione della Comunità Europea e dal trattato di istituzione dell'EURATOM (European Atomic energy community), è stata posta attenzione al problema dei controlli ambientali sulla diffusione ed inquinamento da radiazioni provocate dalle attività antropiche (test nucleari, incidenti).

Con l'incidente di Chernobyl, 26 aprile 1986, è stato posto al centro dell'attenzione delle istituzioni e dell'opinione pubblica il problema del fall-out radioattivo sull'ambiente ed in modo particolare sui processi di concentrazione dei radionuclidi nelle catene alimentari.

Negli anni immediatamente successivi sono state promulgate varie normative europee e nazionali che hanno definito i valori di accettabilità dei radionuclidi nei generi alimentari e nelle acque che si riflettono in:

- limiti per i beni di importazione/esportazione;
- modalità dei controlli di verifica.

Nell'ambito della ricerca sono stati effettuati studi accurati sui fenomeni di dispersione e concentrazione dei radionuclidi nella biosfera per fornire alle autorità di controllo gli strumenti utili a prevedere gli effetti a breve, medio e lungo periodo di eventuali fall-out radioattivi e di predisporre efficaci salvaguardie e misure mitigative.

I radionuclidi presi a riferimento per tali studi sono essenzialmente il  $\text{Cs}^{137}$  e lo  $\text{Sr}^{90}$ , sia per la significativa mobilità ambientale sia per la loro abbondanza percentuale nei vari fenomeni di fall-out radioattivi.

Il problema della possibile concentrazione dei radionuclidi negli alimenti è stato ampiamente affrontato in sede normativa in ambito europeo e nazionale.

Sulla base degli studi effettuati dai centri di ricerca (JRC, Joint Research Centre), organizzazioni governative (CEE, Comunità Economica Europea; WHO, World Health Organization; FAO, Food and Agriculture Organization) e private (ICRP, International Commission on Radiological Protection) sono stati fissati limiti molto cautelativi in base ai quali stabilire la non tossicità o pericolosità degli alimenti.

Inoltre sono stati fissati rigidi criteri sui controlli degli alimenti e delle matrici di origine animale.

Nel presente capitolo si riporta una panoramica dell'evoluzione storica della principale normativa emessa in materia, focalizzando le parti di indirizzo per le analisi richieste sulle matrici alimentari di origine animale.

### **3.1 Evoluzione storica della normativa.**

Gli effetti biologici negativi dovuti alla radioattività emergono con le malattie professionali dei primi radiologi di inizio secolo, che portarono alla nascita della ISR (International Society of Radiology;) nel 1928 con lo scopo di dare istruzioni su come operare con la radioattività preservando la salute degli operatori. In seguito la ISR si trasformò nella odierna ICRP (nel 1950) superando il contesto particolare degli operatori di radiologia per occuparsi di tutti gli aspetti connessi alla radioprotezione.

Solo dopo le prime esplosioni atomiche (Hiroshima e Nagasaki) alla fine della II guerra mondiale fu chiaro per tutta la Comunità scientifica e per larga parte dell'opinione pubblica che la radioattività poteva avere effetti devastanti sugli organismi biologici.

Tale nuova conoscenza fu subito presente nella nascita della prima Comunità europea con la creazione dell'EURATOM dove fu stabilito l'obbligo per ciascun paese membro ad effettuare i controlli permanenti sui valori di radioattività ambientale.

#### **3.1a) Trattato che istituisce la Comunità europea dell'Energia atomica (EURATOM o CEEA) Roma 25/03/1957.**

Il Trattato EURATOM stabilisce negli art.35 e 36 che ciascuno Stato membro provveda agli impianti necessari per effettuare il controllo permanente del grado di radioattività dell'atmosfera, delle acque e del suolo e che le informazioni relative a tali controlli siano regolarmente comunicate dalle autorità competenti alla Commissione, per renderla edotta del grado di radioattività di cui la popolazione possa eventualmente risentire. In una recente raccomandazione della commissione 8 giugno 2000 sull'applicazione dell'art.36 si specifica che:

- a) al fine di garantire l'osservanza delle norme fondamentali di sicurezza è importante che, oltre alla determinazione dei livelli di radioattività dell'aria, dell'acqua e del suolo, detti livelli vengano anche determinati per campioni biologici e per derrate alimentari specifiche.

Successivamente, l'incidente di Chernobyl ha riproposto con forza di fronte all'opinione pubblica ed alla comunità scientifica il problema dei danni biologici dovuti alle radiazioni ionizzanti e con particolare attenzione ai limiti di contaminazione radioattiva ammessi negli alimenti. Infatti, l'incidente colse le istituzioni dei vari governi impreparate ad affrontare l'emergenza e l'informazione data al pubblico sugli alimenti potenzialmente contaminati quali ortaggi, vegetali a foglia larga, latte non fu chiara (a volte era persino contraddittoria).

Di conseguenza furono studiati i limiti ammissibili per gli alimenti e per i beni da importazione (specie per quelli provenienti dai luoghi dell'incidente) con l'emissione di nuove norme.

Di seguito verranno elencate le principali normative, nazionali e comunitarie, per quanto riguarda la contaminazione radioattiva degli alimenti di origine animale.

### **3.1b) Regolamento EURATOM 3954/87 come modificato dal regolamento EURATOM 2218/89**

Il regolamento fissa i livelli massimi tollerati di contaminazione radioattiva nei generi alimentari e negli alimenti per animali.

Il regolamento prevede, nel caso in cui la Commissione sia informata del verificarsi di incidenti, o di qualsiasi altro caso di emergenza radioattiva, in cui i tassi massimi ammissibili fissati dai regolamenti possono essere o sono stati raggiunti, che questa adotti un regolamento, di validità limitata non superiore a tre mesi, che applichi i livelli massimi previsti. Naturalmente i livelli massimi ammissibili fissati dai regolamenti possono essere modificati o integrati su parere degli esperti. E' comunque vietata l'immissione sul mercato di quei prodotti alimentari o di quegli alimenti per animali la cui contaminazione superi i livelli massimi ammissibili che sono per il Cesio<sup>137</sup>

- b) 400 Bq/l negli alimenti per i lattanti.
- c) 1000 Bq/l per i prodotti lattiero caseari.
- d) 1250 Bq/l per gli altri generi alimentari.

### **3.1 c) Regolamento EURATOM 944/89 della Commissione**

Il regolamento fissa i livelli massimi ammissibili di contaminazione radioattiva per i prodotti alimentari secondari a seguito di un incidente nucleare o di qualsiasi altra

emergenza radioattiva, per questi prodotti i livelli massimi consentiti sono dieci volte superiori a quelli applicabili agli altri prodotti alimentari.

**3.1 d) Regolamento CEE 737/90 del consiglio relativo alle condizioni d'importazione di prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl.**

**art.3.** la radioattività massima cumulata di Cesio<sup>134</sup> e Cesio<sup>137</sup> non deve essere superiore a:

- 370 Bq/kg per i prodotti lattiero-caseari nonché per le derrate alimentari destinate all'alimentazione particolare dei lattanti durante i primi quattro-sei mesi di vita, sufficienti da sole per il fabbisogno nutritivo di questa categoria di persone e presentate al dettaglio in imballaggi chiaramente identificati ed etichettati come “preparazioni per lattanti”;
- 600 Bq/kg per tutti gli altri prodotti interessati.

**3.1 e) DLgs230 del 17/03/1995 e s.m.i.: Attuazione delle direttive Euratom 80/386, 84/467, 84/466, 89/617, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti.**

**3.1 f) Regolamento CEE 1609/2000 che fissa un elenco dei prodotti esclusi dal campo di applicazione del regolamento CEE 737/90 del Consiglio relativo alle condizioni di importazione di prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl.**

**3.1 g) Raccomandazione della commissione del 14/4/2003 sulla protezione e l'informazione del pubblico per quanto riguarda l'esposizione risultante dalla continua contaminazione radioattiva da Cesio di taluni prodotti di raccolta spontanei a seguito dell'incidente di Chernobyl.**

Al fine di proteggere la salute del consumatore, gli Stati membri prenderanno disposizioni idonee per garantire che i massimi livelli consentiti in termini di Cesio<sup>134</sup> e Cesio<sup>137</sup> di cui all'art.3 del regolamento (CEE)n.737/90 siano rispettati nella Comunità per l'immissione sul mercato di **selvaggina**, bacche selvatiche, funghi selvatici e **pesci carnivori di lago**.

## Capitolo 4

### **TRASFERIMENTO ED ACCUMULO DI $\text{Cs}^{137}$ IN ORGANISMI ANIMALI**

I radionuclidi una volta immessi nell'ambiente seguono diverse vie di dispersione come la deposizione al suolo ed il fall-out.

Una di queste vie è rappresentata dall'eventuale migrazione dei radioelementi sul profilo verticale del terreno. Questo processo può essere influenzato dalle caratteristiche chimico-fisiche del suolo e dalle condizioni meteorologiche.

Un'altra via di dispersione della radioattività è rappresentata dall'assorbimento, da parte dell'apparato radicale delle piante, del materiale radioattivo biologicamente disponibile.

Gli elementi radioattivi, assorbiti dalla vegetazione, possono essere successivamente asportati con il raccolto, ed in parte ritornare al suolo attraverso i concimi organici prodotti dalle deiezioni di animali che si sono a loro volta alimentati con vegetali contaminati.

Il  $\text{Cs}^{137}$  è uno dei più importanti radionuclidi del fall-out, con un periodo di dimezzamento piuttosto lungo (circa 30 anni). Le proprietà fisiologiche e chimiche del Cesio sono in qualche modo omologhe a quelle del Potassio, infatti, viene metabolizzato insieme a quest'ultimo e va quindi a concentrarsi nei tessuti molli, in modo particolare nei muscoli.

Il  $\text{Cs}^{137}$  è uno dei radionuclidi più studiati per come viene metabolizzato dall'uomo. La via di trasferimento più efficace dalla deposizione al suolo all'uomo è attraverso l'ingestione di latte, derivati del latte, pesce, carni di animali che si sono nutriti di foraggio contaminato.

E' invece minore l'assunzione di  $\text{Cs}^{137}$  dovuto all'ingestione di vegetali che hanno assorbito il  $\text{Cs}^{137}$  dalle radici (9). In alcuni ambienti come i boschi ed i pascoli di montagna la radioattività depositata al suolo è maggiore a causa di eventi meteorici diffusi ed anche per fenomeni di accumulo di radioelementi nella vegetazione.

Questi ambienti possono 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 pratici provenienti da queste aree presentano, in genere, valori di  $\text{Cs}^{137}$  più elevati.

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 per la protezione radiologica, ad un incremento di probabilità di effetti sanitari gravi nell'individuo esposto (tumori, 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.

Partendo dai valori misurati delle concentrazioni di radionuclidi negli alimenti e nel particolato atmosferico possono essere calcolate le dosi efficaci dovute ad ingestione ed inalazione di materiale contaminato. Il calcolo viene effettuato utilizzando coefficienti di conversione tra concentrazioni di radionuclidi misurate nelle matrici ambientali ed alimentari e dose efficace proposti a livello nazionale ed internazionale (APAT, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici 1994 e NRPB, National Radiological Protection Board 1991).

I risultati delle valutazioni di dose efficace individuale impiegata per ingestione di alimenti radiocontaminati mostrano 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 arrivata alla popolazione era dovuta principalmente al  $Cs^{134}$ ,  $Cs^{137}$  e  $Sr^{90}$ .

Nelle catene alimentari marine gli organismi filtratori e quelli che si alimentano sui depositi risultano essere preminenti per l'inglobamento degli isotopi previa formazione di complessi con i detriti.

Tali complessi non sono riscontrabili nelle piante marine e negli organismi terrestri; possano by-passare il livello trofico primario ed entrare direttamente nella porzione animale delle catene alimentari.

Nei pesci il  $Cs^{137}$  si concentra negli organi interni in pochi giorni mentre nei muscoli si assiste ad un lungo, continuo accumulo.

Il contenuto di  $Cs^{137}$  nella fauna ittica è largamente dipendente dall'ampia varietà dei regimi alimentari che si rendono possibili nell'ambiente acquatico, infatti le forme meno attive che vivono sui fondali mostrano un più basso tasso di accumulo rispetto alle più attive specie pelagiche, in particolare le specie predatrici o parzialmente tali presentano, in genere, i valori più elevati.

## Capitolo 5

### LA MISURA DEL $\text{Cs}^{137}$

Il  $\text{Cs}^{137}$  può essere misurato tramite spettrometria gamma.

Riportiamo sinteticamente i principi su cui tale metodica si basa.

#### 5.1 La spettrometria gamma

I raggi gamma interagiscono con la materia principalmente secondo tre effetti:

- a) effetto Compton;
- b) produzione di coppie;
- c) effetto fotoelettrico.

A seconda dell'interazione c'è trasferimento, parziale o totale, dell'energia dei gamma agli elettroni del mezzo. La funzione del rivelatore è di trasformare tale energia in una quantità di carica elettrica, ad essa proporzionale, che viene raccolta per dar luogo ad un segnale elettrico.

La spettrometria gamma è essenzialmente una tecnica in grado di determinare la distribuzione energetica dei raggi gamma. Più semplicemente, quando un gamma attraversa un rivelatore, lo strumento registra questa interazione associandogli una determinata energia che è propria della radiazione gamma. I dati ottenuti sono rappresentati quindi, sia da una distribuzione energetica di eventi, sia dai conteggi degli stessi.

I gamma emessi nei processi di decadimento sono monocromatici e tutta la loro energia può essere ceduta al rivelatore sia per mezzo di un singolo processo fotoelettrico, che attraverso interazioni multiple; la distribuzione di impulsi risultanti da più eventi di questo genere è detta fotopicco ed è rappresentativa dell'energia dei gamma interagenti. A causa della natura statistica dei processi che intervengono nella formazione dei fotopicchi, questi si presentano non come una riga rappresentata in uno spettro ideale, ma come una distribuzione (gaussiana) di impulsi centrata attorno al valore corrispondente all'energia del gamma interagente.

Da questi dati si può, quindi, risalire ai radionuclidi che hanno generato la radiazione gamma, si può quantificare la loro presenza (contando gli eventi sotto il picco) e se ne può osservare l'andamento nel tempo.

Uno spettrometro gamma è essenzialmente costituito da:

- sistema di rivelazione: rivelatore (in genere un cristallo);
- schermatura : ha lo scopo di ridurre al minimo possibile i conteggi di fondo;
- sistema di analisi degli impulsi composto da preamplificatore, amplificatore, convertitore analogico-digitale.

Tale sistema classifica gli impulsi uscenti dal rivelatore in intervalli di energia a seconda della loro ampiezza. Per fare ciò gli impulsi vengono amplificati da un preamplificatore e da un amplificatore, conservando la proporzionalità fra energia ceduta dal gamma ed ampiezza del segnale elettrico.

Gli impulsi così amplificati vengono inviati ad un ADC (Convertitore Analogico Digitale); tale sistema analizza l'ampiezza del segnale elettrico e lo inserisce in un determinato intervallo di energia per dare vita poi ad uno spettro di distribuzione.

- sistema computerizzato di acquisizione, visualizzazione ed analisi dati: lo spettro delle ampiezze degli impulsi ottenuto in questo modo può, quindi, essere richiamato, visualizzato sullo schermo di un computer e analizzato tramite un software opportuno.

## Capitolo 6

### MATERIALI E METODI

#### 6.1 Campionamento delle matrici alimentari

Nel presente studio sono state prese in considerazione diverse matrici alimentari:

- **MOLLUSCHI, PESCI, CROSTACEI** che rappresentano buoni indicatori della contaminazione dell'ambiente acquatico. Il campionamento è stato eseguito nei mari della regione Calabria, selezionando alcune specie rappresentative della popolazione stanziale. In particolare, per quanto riguarda i pesci, sono state esaminate Triglie di fango; mentre per i molluschi sono stati selezionati Calamaretti e Moscardini. Infine, per i crostacei, sono stati esaminati dei campioni di Gambero bianco.  
L'analisi di questi campioni fornisce valori di attività che possono quindi essere utilizzati per la valutazione della dose da ingestione attraverso la catena alimentare marina.
- **CARNE BOVINA:** sono stati esaminati due campioni di carne di bovino adulto proveniente dalla Germania e due campioni di bovino adulto di nazionalità italiana.
- **LATTE:** sono stati esaminati diversi campioni di latte fresco pastorizzato e latte U.H.T., di cui alcuni provenienti dalla regione Calabria e altri dal Lazio.

#### 6.2 Analisi effettuate

Su tutte le matrici è stata eseguita la spettrometria gamma.

Le geometrie utilizzate per l'analisi dei campioni sono "becker di Marinelli" di diverse dimensioni (0.450 l o 1 l).

Gli alimenti liquidi non hanno necessità di alcun pretrattamento, mentre sugli alimenti solidi sono stati necessari alcuni trattamenti (per es. omogeneizzare o frullare il campione a seconda dei casi) per adattare il campione alle geometrie di misura. E' stata analizzata solamente la parte edibile di ogni campione; la concentrazione si riferisce al peso fresco.

La modalità dei campionamenti (quantità, periodicità e massima attività rilevabile[MAR]) per i diversi alimenti secondo il programma nazionale predisposto dall'ANPA è riportato in Tabella 1.

Alimento	Campionamento	Quantità minima	Sp. gamma periodicità	Sp. gamma MAR Cs <sup>137</sup>
Latte	mensile settimanale	2 l	mensile	10 <sup>-2</sup> Bq / l
Carne bovina	trimestrale mensile	5 – 6 kg	trimestrale	10 <sup>-1</sup> Bq / kg
Molluschi	semestrale	20 kg	semestrale	10 <sup>-1</sup> Bq / kg

**Tabella 1:** Quantità, periodicità di campionamento e di analisi e MAR delle matrici alimentari.

### 6.3 Risultato delle analisi

Si riportano di seguito i singoli valori dei campionamenti eseguiti sulle matrici alimentari.

Specie ittica	Nuclide	Massa misurata(kg)	Data di riferimento	MDA (Bq/kg)	Attività (Bq/kg)	Incertezza (%)
misto pesce	Cs <sup>137</sup>	0.518	19/12/05	1,22*10 <sup>-1</sup>	1,01*10 <sup>-1</sup>	10
Triglie di Fango ( <i>Mullus barbatus</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.523	19/12/05	1,32*10 <sup>-1</sup>	9,20*10 <sup>-2</sup>	10
Gambero bianco ( <i>Parapenaeus longirostris</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.392	19/12/05	1,65*10 <sup>-1</sup>	1,86*10 <sup>-1</sup>	10
Moscardini ( <i>Eledone cirrhosa</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.479	19/12/05	9,10*10 <sup>-2</sup>	-----	
Triglie di fango ( <i>Mullus barbatus</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.499	20/12/05	1,61*10 <sup>-1</sup>	1,24*10 <sup>-1</sup>	10
Calamaretti ( <i>Allotheuthis media</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.491	20/12/05	8,89*10 <sup>-2</sup>	-----	
Triglie di fango ( <i>Mullus barbatus</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.513	28/02/06	1.1*10 <sup>-1</sup>	1.1*10 <sup>-1</sup>	10
Gambero bianco ( <i>Parapenaeus longirostris</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.484	28/02/06	1.2*10 <sup>-1</sup>	-----	-----
Gambero bianco ( <i>Parapenaeus longirostris</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.481	20/12/05	1.2*10 <sup>-1</sup>	1.2*10 <sup>-1</sup>	10
Moscardini ( <i>Eledone cirrhosa</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.514	28/02/06	1, 1*10 <sup>-1</sup>	-----	10
misto pesce	Cs <sup>137</sup>	0.537	28/02/06	1.3*10 <sup>-1</sup>	5.9*10 <sup>-2</sup>	10
Triglie di fango ( <i>Mullus barbatus</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.451	03/03/06	2.1*10 <sup>-1</sup>	1.5*10 <sup>-1</sup>	10
Moscardini ( <i>Eledone cirrhosa</i> )	Cs <sup>137</sup>	0.515	03/03/06	2.2*10 <sup>-1</sup>	9.6*10 <sup>-2</sup>	10
Misto pesce	Cs <sup>137</sup>	0.508	03/03/06	6.1*10 <sup>-2</sup>	9.6*10 <sup>-2</sup>	10

**Tabella 2:** Valori di Cs<sup>137</sup> riscontrati nel pesce.

Campione	Nuclide	Massa misurata(kg)	Data di riferimento	MDA (Bq/kg)	Attività (Bq/kg)	Incertezza (%)
Carne (Germania)	Cs <sup>137</sup>	0.476	25/05/06	1.42*10 <sup>-1</sup>	4.12*10 <sup>-1</sup>	15
Carne (germania)	Cs <sup>137</sup>	0.410	25/05/06	2.23*10 <sup>-1</sup>	5.09*10 <sup>-1</sup>	15
carne	Cs <sup>137</sup>	0.461	9/06/06	1.99*10 <sup>-1</sup>	1.5*10 <sup>-1</sup>	15
carne	Cs <sup>137</sup>	0.419	9/06/06	1.12*10 <sup>-1</sup>	-----	15

**Tabella 3:** Valori di Cs<sup>137</sup> riscontrati nella carne bovina

Campione	Nuclide	Massa misurata(l)	Data di riferimento	MDA (Bq/l)	Attività (Bq/l)	Incertezza (%)
Latte U.H.T. (L)	Cs <sup>137</sup>	1	18/02/06	1.07*10 <sup>-1</sup>	1,25*10 <sup>-1</sup>	15
Latte F (L)	Cs <sup>137</sup>	1	03/04/06	8,42*10 <sup>-2</sup>	4,81*10 <sup>-2</sup>	15
Latte F (C)	Cs <sup>137</sup>	1	03/04/06	7,16*10 <sup>-2</sup>	3,57*10 <sup>-2</sup>	15
Latte F (C)	Cs <sup>137</sup>	1	13/04/06	6,39*10 <sup>-2</sup>	-----	-----
Latte U.H.T. (C)	Cs <sup>137</sup>	1	20/03/06	9,51*10 <sup>-2</sup>	1,46*10 <sup>-1</sup>	15
Latte U.H.T. (L)	Cs <sup>137</sup>	1	07/04/06	9,07*10 <sup>-2</sup>	1,87*10 <sup>-1</sup>	15
Latte F (L)	Cs <sup>137</sup>	1	28/04/06	6,61*10 <sup>-2</sup>	-----	-----
Latte F(C)	Cs <sup>137</sup>	1	31/05/06	5,25*10 <sup>-2</sup>	2,58*10 <sup>-2</sup>	15
Latte U.H.T. (C)	Cs <sup>137</sup>	1	04/05/06	6,31*10 <sup>-2</sup>	-----	-----
Latte U.H.T. (C)	Cs <sup>137</sup>	1	10/04/06	8.53*10 <sup>-2</sup>	9.30*10 <sup>-2</sup>	15
Latte F(L)	Cs <sup>137</sup>	1	18/06/06	1.01*10 <sup>-1</sup>	4.90*10 <sup>-2</sup>	15
Latte F(C)	Cs <sup>137</sup>	1	14/06/06	8.02*10 <sup>-2</sup>	-----	-----
Latte U.H.T.(L)	Cs <sup>137</sup>	1	11/05/06	8.71*10 <sup>-2</sup>	1.79*10 <sup>-1</sup>	15

**Tabella 4:** Valori di Cs<sup>137</sup> riscontrati nel latte:

F: fresco

U.H.T.: lunga conservazione

(L): Lazio

(C): Calabria

## 6.4 Analisi dati

Al fine di avere un quadro generale sulla radioattività artificiale in Italia, l'articolo 104 del D.Lgs 230/95 e s.m.i. -che recepisce la normativa europea- assegna all'APAT la gestione delle reti nazionali di allarme e sorveglianza della radioattività.

Nelle Tabelle 5 e 6 sono riportati rispettivamente i valori medi di  $\text{Cs}^{137}$  riscontrati nel latte fresco ed in quello U.H.T. e pubblicati nel rapporto delle reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia 2002 (APAT). Questi valori sono poi confrontati con quelli del presente studio e riferiti, quindi, all'anno 2006. Nel lavoro dell'APAT nel caso di misure inferiori alla minima attività rilevabile le operazioni di media sono state eseguite assumendo cautelativamente il valore sperimentale come uguale alla minima attività rilevabile ed è stato posto il simbolo  $<$  davanti al valore della media, per avere una maggiore corrispondenza fra i due lavori, nel presente lavoro sono state adottate le stesse modalità.

Lazio 2002	$\text{Cs}^{137}$	$<0.15$
Lazio 2006	$\text{Cs}^{137}$	$<0.05$

**Tabella 5:** Valori di  $\text{Cs}^{137}$  riscontrati nel latte fresco (Bq/l)

Lazio 2002	$\text{Cs}^{137}$	$<0.23$
Lazio 2006	$\text{Cs}^{137}$	0.15

**Tabella 6:** Valori di  $\text{Cs}^{137}$  riscontrati nel latte U.H.T. (Bq/l)

Dalle Tabelle 5-6 la concentrazione di  $\text{Cs}^{137}$  nel latte risulta essere diminuita dal 2002 ad oggi. Possiamo calcolare se questa diminuzione corrisponde al naturale decadimento che il  $\text{Cs}^{137}$  avrebbe dovuto subire in quattro anni. Per effettuare questo calcolo occorre utilizzare la seguente formula:  $A(t) = A_0 \exp(-\lambda t)$  dove:

$A(t)$  = valore del 2006

$A_0$  = valore del 2002

$\lambda$  = probabilità di decadimento nell'unità di tempo

Applicando la formula si trova che il valore di  $\text{Cs}^{137}$  nel latte fresco sarebbe dovuto essere di 0,13 Bq/l e nel latte U.H.T. di 0,20 Bq/l.

Si nota che i valori riscontrati sono inferiori a quelli che ci si attenderebbe in base al solo decadimento radioattivo. Ciò può derivare sia da misure cautelative nell'uso dei terreni, effettuate negli anni successivi l'incidente di Chernobyl, sia dal rimescolamento ambientale dovuto a fenomeni idro-meteorologici.

Nelle Tabelle 7 ÷ 11 vengono riportati i valori medi di Cs<sup>137</sup> per singola regione relativi all'anno 2002 nel latte fresco e U.H.T., nei prodotti ittici e nella carne bovina. Nelle tabelle riguardanti il latte e la carne bovina, non essendo disponibili i dati delle regioni Lazio e Calabria vengono inseriti i valori risultanti dal presente lavoro. Nella tabella dei prodotti ittici vengono aggiunti i risultati del presente lavoro in quanto le specie prese in considerazione sono diverse.

Piemonte	<0.21
Valle d'Aosta	<0.50
Lombardia	<0.11
Trentino Alto Adige:Trento	<0.20
Trentino Alto Adige:Bolzano	<0.31
Friuli Venezia Giulia	<0.24
Veneto	<0.10
Liguria	<0.13
Emilia Romagna	<0.06
Marche	<0.14
Molise	<0.10
Toscana	<0.08
Umbria	<0.11
Lazio	<0.05
Abruzzo	0.07
Campania	0.03
Puglia	<0.08
Basilicata	-
Calabria	<0.04
Sicilia	-
Sardegna	<0.12

**Tabella 7:** Valori medi di Cs<sup>137</sup> riscontrati nel latte fresco (Bq/l)

Piemonte	-
Valle d'Aosta	-
Lombardia	<0.09
Trentino Alto Adige:Trento	<0.10
Trentino Alto Adige:Bolzano	<0.31
Friuli Venezia Giulia	-
Veneto	<0.19
Liguria	<0.20
Emilia Romagna	<0.17
Marche	-
Molise	<0.10
Toscana	-
Umbria	<0.13
Lazio	0.15
Abruzzo	-
Campania	<0.10
Puglia	<0.27
Basilicata	-
Calabria	<0.09
Sicilia	-
Sardegna	<0.15

**Tabella 8:** Valori medi di Cs<sup>137</sup> riscontrati nel latte U.H.T. (Bq/l)



Matrice	Area geografica	Media
Acciuga/Alice ( <i>Engraulis encrasicolus</i> )	Nord Centro Sud	- - <0.11
Merluzzo <sup>(b)</sup> ( <i>Merluccius merluccius</i> )	Nord Centro Sud	8.70 <0.10 <0.14
Orata ( <i>Sparus auratus</i> )	Nord Centro Sud	<0.10 <0.19 -
Sarda ( <i>Sarda mediterranea</i> )	Nord Centro Sud	<0.10 <0.10 <0.23
Triglia di fango <sup>(a)</sup> ( <i>Mullus barbatus</i> )	Nord Centro Sud	0.1

**Tabella 9:** Misure di Cs<sup>137</sup> nei pesci di mare (Bq/kg)

<sup>(a)</sup> Valori riferiti al 2006.

<sup>(b)</sup> Filetti di merluzzo.

Matrice	Area geografica	Media
Cozza/Mitilo ( <i>Mytilus galloprovincialis</i> )	Nord Centro Sud	<0.09 <0.12 <0.12
Vongola ( <i>Chamelea gallina</i> )	Nord Centro Sud	<0.07 - -
Polpo ( <i>Octopus vulgaris</i> )	Nord Centro Sud	<0.16 - -
Moscardino <sup>(a)</sup> ( <i>Eledone cirrhosa</i> )	Nord Centro Sud	- <0.09 -
Calamaretto <sup>(a)</sup> ( <i>Allotheuthis media</i> )	Nord Centro Sud	- 0.08 -

**Tabella 10:** Misure di Cs-137 nei molluschi (Bq/kg)

<sup>(a)</sup> Valori riferiti al 2006.

Lazio(Germania) <sup>(b)</sup>	0.45
Piemonte	<0.52
Valle d' Aosta	-
Lombardia	<0.3
Trentino Alto Adige:Trento	-
Trentino Alto Adige:Bolzano	<0.57
Friuli Venezia Giulia	-
Veneto	<0.3
Liguria	<0.13
Emilia Romagna	<0.07
Marche	-
Molise	-
Toscana	0.08
Umbria	<0.09
Lazio <sup>(a)</sup>	0.28
Abruzzo	<0.09
Campania	<0.1
Puglia	<0.11
Basilicata	-
Calabria	-
Sicilia	-
Sardegna	<0.17

**Tabella 11:** Valori medi di Cs<sup>137</sup> riscontrati nella carne bovina (Bq/kg).

<sup>(a)</sup> Valori riferiti al 2006.

<sup>(b)</sup> Nella media sono stati inseriti anche i valori riguardanti carne proveniente dalla Germania, ma commercializzata nel territorio laziale.

## CONCLUSIONI

Nelle analisi effettuate l'attività è risultata in alcuni casi inferiore alla minima attività rilevabile; in altri la contaminazione delle matrici alimentari, confrontata con quella del 2002, risulta diminuita. Dalle tabelle 7-8-10 che riguardano rispettivamente il latte fresco, il latte a lunga conservazione e la carne, si nota che i valori più alti vengono riscontrati nelle regioni del Nord. Ciò è da attribuire in primo luogo alle condizioni meteorologiche presenti in queste zone durante il passaggio della nube radioattiva proveniente da Chernobyl. Infatti, le aree caratterizzate da precipitazioni atmosferiche hanno subito una più intensa ricaduta di materiale radioattivo, rispetto alle aree a più bassa piovosità. Un'ulteriore spiegazione va ricercata nella pratica di allevamento effettuata in queste zone; infatti, mentre nelle regioni del Centro e del Sud si ha una prevalenza di grossi allevamenti intensivi dove gli animali vengono allevati a stabulazione libera, tecnica in cui gli animali non sono legati, ma lo spazio a loro disposizione, spesso calcolato per ridurre al massimo il numero di personale, è comunque molto contenuto e che prevede un'alimentazione a base di foraggio e di insilato, nel Nord, gli animali sono lasciati liberi al pascolo e di conseguenza si alimentano con prati verdi. Gli studi di radioecologia avviati a seguito dell'incidente di Chernobyl hanno messo in evidenza come, boschi e pascoli di montagna possono rappresentare una riserva di contaminanti per la selvaggina e per gli animali al pascolo, a causa di fenomeni di accumulo di radioelementi nella vegetazione che entra a far parte della catena alimentare di questi animali (1).

Per quanto concerne i prodotti ittici nella Tabella 9 spicca il valore riferito al Merluzzo nelle regioni del Nord, per questo valore possiamo dire che la misura è stata effettuata su filetti di merluzzo provenienti dalla provincia di Bolzano e quindi acquistati dalla grande distribuzione.

Escludendo, quindi, quest'unico valore che si discosta dagli altri possiamo dire che per i prodotti ittici non si notano grandi differenze tra le regioni del Centro, del Nord e del Sud ed i valori riscontrati sono al di sotto dei limiti di legge.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) ANPA, 1999: “Reti Nazionali di Sorveglianza della Radioattività Ambientale in Italia 1994-1997”; Serie Stato dell’Ambiente 3/1999.
- 2) APAT, Ottobre 2005: “Reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale in Italia 2002”.APAT, Rapporti 59/2005.
- 3) P. Caglione, F. Giorcelli. “L’impiego della spettrometria gamma nelle misure di radioattività”. Edizioni Minerva Medica.
- 4) Decreto legislativo 17 Marzo 1995N.230: “Attuazione delle direttive Euratom 80/386, 84/467, 84/466, 89/617, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti”.
- 5) ENEA,Direzione sicurezza nucleare e protezione sanitaria, Radiazioni, dosi, effetti, rischi, ENEA Disp, 1986.
- 6) G. Gnocchi: “Misure di campionamento della radioattività in aria mediante catene beta”; Informazioni generali, istruzioni e procedure operative standard del comando provinciale Vigili del Fuoco di Lecco; 10 Settembre 1998.
- 7) <http://fis-san.univ.trieste.it/extra/campioni/spettrometria.html>, 08/06/2006
- 8) [http://vega.dfc.unifi.it/radioniz\\_gen.html](http://vega.dfc.unifi.it/radioniz_gen.html), 13/04/2006.
- 9) [http://www.regione.emilia-romagna.it/laguna/articolo.asp?id\\_articolo=351](http://www.regione.emilia-romagna.it/laguna/articolo.asp?id_articolo=351), 11/05/2006.
- 10) G. Meschini, G. Paravin, M. Pelliccioni, E. Righi:“Le radiazioni ionizzanti”; Servizio di Prevenzione e Protezione Università degli Studi di Padova, Marzo 2000.
- 11) Raccomandazione della commissione del 14 Aprile 2003 sulla protezione e l’informazione del pubblico per quanto riguarda l’esposizione risultante dalla continua contaminazione radioattiva da Cesio di taluni prodotti di raccolta spontanei a seguito dell’incidente di radioattiva Chernobyl.
- 12) Regione Lombardia, 2000, Rapporto sullo stato dell’ambiente in Lombardia, 1999.
- 13) Regolamento Euratom 22 Dicembre 1987, N.3954 che fissa i livelli massimi tollerati di contaminazione radioattiva nei generi alimentari e negli alimenti per animali in seguito ad incidenti nucleari o di qualsiasi altro caso di emergenza radioattiva.
- 14) Regolamento Euratom 18 Luglio 1989, N.2218.
- 15) Regolamento Euratom 12 Aprile 1989, N.944 che fissa i livelli massimi ammissibili di contaminazione radioattiva per i prodotti alimentari secondari a seguito di un incidente nucleare o di qualsiasi altra emergenza radioattiva.

- 16) Regolamento CEE 22 Marzo 1990, N.737 relativo alle condizioni d'importazione di prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl.
- 17) Regolamento CEE 25 Luglio 2000, N.1609 che fissa un elenco dei prodotti esclusi dal campo di applicazione del regolamento CEE 737/90 del Consiglio relativo alle condizioni di importazione dei prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl.
- 18) Trattato che istituisce la comunità dell'energia atomica (EURATOM), Roma 25 Marzo 1957.