



LA RADIOATTIVITA' AMBIENTALE IN PIEMONTE

Anni 1993 - 1999

Dipartimento Subprovinciale di Ivrea
Polo Regionale Radiazioni Ionizzanti

LA RADIOATTIVITA' AMBIENTALE IN PIEMONTE

Anni 1993 - 1999

**Dipartimento Subprovinciale di Ivrea
Polo Regionale Radiazioni Ionizzanti**

*Mauro Magnoni, Maria Clivia Losana, Stefano Bertino, Brunella
Bellotto, Maura Campi, Franco Righino*

novembre 2000

ARPA Ente di diritto pubblico - Dipartimento Subprovinciale di Ivrea

Via Jervis, 30 - 10015 Ivrea (TO) - Tel. 012564511 - fax 01256453584 - Codice Fiscale – Partita IVA 07176380017

ARPA PIEMONTE

Ultima modifica: sede@arpa.piemonte.it



INDICE

- **CAPITOLO 1 : INTRODUZIONE**

- 1.1. Premessa pag. 3
- 1.2. Prelievi, metodi e analisi pag. 4

- 2.1. **CAPITOLO 2 : MATRICI AMBIENTALI**

- 2.2. ARIA pag. 7
 - 2.2.1. Monitoraggio in continuo del particolato atmosferico pag. 7
 - 2.2.2. Analisi dei filtri provenienti dalle stazioni dell'Aeronautica Militare pag. 10
- 2.3. **DEPOSIZIONE AL SUOLO** pag. 15
- 2.4. D.M.O.S. pag. 16
- 2.5. ACQUE SUPERFICIALI pag. 18
- 2.6. SUOLO pag. 18

- **CAPITOLO 3 : MATRICI ALIMENTARI**

- 3.1. ACQUA POTABILE pag. 19
- 3.2. LATTE E DERIVATI pag. 21
- 3.3. CARNE pag. 26
- 3.4. UOVA pag. 28
- 3.5. PESCE pag. 28
- 3.6. CEREALI E DERIVATI pag. 29
- 3.7. FRUTTA E VERDURA pag. 31
- 3.8. OMOGENEIZZATI pag. 32
- 3.9. FUNGHI pag. 32
- 3.10. MIELE pag. 35
- 3.11. VINO pag. 36
- 3.12. CROSTACEI pag. 36

- **CAPITOLO 4 : VALUTAZIONI DOSIMETRICHE**

- 4.1. METODO DI CALCOLO pag. 37
- 4.2. DOSE EFFICACE ALLA POPOLAZIONE pag. 39

- **CAPITOLO 5 : ASPETTI RADIOECOLOGICI**

- 5.1. RAPPORTO Cs-137 / Cs-134 NEI FUNGHI pag. 43
- 5.2. TEMPO DI RIMOZIONE EFFICACE E AMBIENTALE pag. 45
 - 5.2.1. Deposizione al suolo pag. 45
 - 5.2.2. DMOS pag. 46
 - 5.2.3. Carne pag. 47
 - 5.2.4. Latte pag. 48
 - 5.2.5. Commenti pag. 49

- **CAPITOLO 6 : CONCLUSIONI**

pag. 51

- [Bibliografia](#)

ARPA PIEMONTE

Ultima modifica: 18-Oct-2001, sede@arpa.piemonte.it



CAPITOLO 1 : INTRODUZIONE

1.1. Premessa

In questo rapporto annuale sulla radioattività ambientale in Piemonte vengono presentati e discussi in dettaglio i dati relativi al programma di monitoraggio e controllo svolto nel 1999. Tale programma, come è noto, è inserito nell'attività della Rete Nazionale di controllo della radioattività ambientale coordinata, ai sensi dell'art. 104 del D. L.vo 230/95, dall'ANPA. Pertanto, le matrici ambientali e alimentari da campionare nonché la periodicità dei campionamenti stessi sono quelli definiti di comune accordo con l'ANPA a livello nazionale.

Oltre ai dati del 1999 verranno anche inclusi e discussi, sia pure in minor dettaglio, i dati raccolti a partire dal 1993: in tal modo sarà possibile rendersi conto dell'evoluzione temporale della contaminazione in questi ultimi anni e, riallacciandosi alla nostra precedente pubblicazione del 1994, il "Rapporto post-Chernobyl (1987-1992) sulla radioattività ambientale in Piemonte", avere così un quadro completo della situazione radiometrica regionale, a partire dall'evento Chernobyl.

Scopo principale di tutte queste attività di monitoraggio, è quello di valutare il livello di contaminazione ambientale presente e quindi, eventualmente, di fare una stima della dose media ricevuta dalla popolazione. A livello nazionale ciò viene fatto dall'ANPA, dopo aver raccolto i dati prodotti da tutti i laboratori facenti parte della Rete Nazionale, mentre su scala regionale il compito è dell'ARPA - PIEMONTE.

Oltre che all'ANPA i dati da noi prodotti vengono inviati, in forma grezza, anche al Ministero della Sanità e all'Istituto Superiore di Sanità (ISS), in quanto la vigilanza sulla radioattività ambientale è suddivisa tra il Ministero della Sanità e dell'Ambiente.

In questo scenario, comune a ciascun laboratorio regionale di riferimento (C.R.R.), vi sono però delle specificità regionali che possono determinare la scelta di particolari attività di monitoraggio proprie di ciascun territorio regionale e la cui definizione è demandata ai singoli laboratori regionali (ARPA - C.R.R.) o, in alcuni casi, dalle Regioni stesse.

Ricordiamo a questo proposito, ad esempio, il lavoro di studio sulla radiocontaminazione dei suoli del Piemonte, commissionato negli anni scorsi dall'Assessorato Ambiente della Regione e concretizzatosi poi con una collaborazione tra Università di Torino e C.R.R. del Piemonte che ha recentemente (1998) prodotto una carta regionale di deposizione del Cs-137.

Più recentemente (1999) è stato effettuato, su iniziativa del Dipartimento di Ivrea, uno studio sull'impatto radiologico in Piemonte dell'incidente alla fonderia di Algeciras (Spagna, giugno 1998) che comportò la dispersione su vasta scala di una lieve contaminazione atmosferica di Cs-137.

Più in generale, sono state talvolta inserite nel programma di monitoraggio alcune matrici che sono in grado di descrivere alcuni particolari ecosistemi, particolarmente rilevanti per la nostra Regione: possiamo ricordare, a questo proposito, lo studio del DMOS (Detrito Minerale Organico Sedimentabile) fluviale, con il quale si è in grado di ottenere informazioni estremamente sensibili sul livello di radioattività presente nei fiumi, il Po in particolare. Questa iniziativa è stata negli anni passati svolta in forma coordinata con gli altri C.R.R. delle Regioni interessate al corso del fiume (Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto).

Altri approfondimenti hanno riguardato in questi anni lo studio della radioattività nei funghi, al cui riguardo sono state in qualche caso organizzate delle campagne di misura *ad hoc*, nonché lo studio di particolari accumuli della radioattività in alcune zone alpine, in aree morfologicamente ben definite.

Alcuni di questi approfondimenti sono tuttora in corso e pertanto non possono essere inclusi in questo lavoro. D'altra parte, l'attività di monitoraggio della radioattività ambientale, soprattutto in epoca di non-emergenza, se correttamente intesa, non può che essere un'attività di tipo "aperto", in cui, accanto ad alcuni adempimenti istituzionali chiaramente definiti (Rete Nazionale ANPA essenzialmente), viene lasciato spazio ad approfondimenti tecnico-scientifici, indispensabili per poter mantenere e possibilmente migliorare il livello di competenza attualmente raggiunto. Riteniamo infatti che questo sia il modo migliore per poter adempire al compito che ci è quotidianamente assegnato, cioè di gestire le ordinarie "emergenze", sempre presenti (radiocontaminazione nei rottami metallici, Uranio impoverito, ecc.), e di essere preparati anche nell'eventualità di più gravi accadimenti.

Concludiamo questa nota introduttiva con due avvertenze:

- Non trovano spazio in questo rapporto sia il resoconto delle attività di intervento “sul territorio”, da noi effettuate cioè in seguito a segnalazioni di terzi, sia quelle che si riferiscono al monitoraggio di scarichi da impianti o installazioni nucleari; ciò per due motivi: il primo e principale motivo risiede nel fatto che tali tipi di interventi non danno di norma informazioni molto utili sulla situazione radiometrica globale a livello regionale, il secondo poiché questa attività non viene svolta dal solo Polo Regionale del Dipartimento di Ivrea, ma abbraccia anche l’attività di altri Dipartimenti.
- Non si trova nemmeno un accenno al problema del radon; questo aspetto, di grande interesse, rilevanza ed attualità per le sue peculiarità e specificità di ordine sia tecnico che normativo, avrebbe infatti richiesto un grosso spazio e approfondimento, tale da stravolgere la struttura del rapporto, così come è stato concepito; si è pertanto preferito omettere ogni discussione al riguardo, rimandando eventualmente la sua trattazione a successive pubblicazioni specifiche.

1.2. Prelievi, metodi e analisi

I dati presentati in questo lavoro provengono dall’analisi di campioni prelevati in vari luoghi del Piemonte.

I prelievi sono stati eseguiti da personale ARPA del Polo Regionale Radiazioni Ionizzanti, per quanto riguarda le matrici ambientali (aria, fallout, sedimenti, acque superficiali, ecc.), mentre per le matrici alimentari (latte, carne, cereali, frutta, verdura, ecc.) spesso è stata l’Azienda Sanitaria Locale competente per territorio che ha provveduto, su nostra richiesta, a campionare e quindi inviare al nostro laboratorio gli alimenti necessari all’effettuazione del programma di monitoraggio.

Le tipologie di analisi effettuate dal laboratorio nell’ambito di questo programma di monitoraggio sono state le seguenti:

- spettrometria γ ad alta risoluzione (con rivelatori al Germanio iperpuro)
- misure α e β totali
- misure radiochimiche (Stronzio-90 e Plutonio)
- Trizio in atmosfera con tecniche di scintillazione

Tra queste, la più importante, sia come numero di analisi che come rilevanza dei dati da essa ricavabili, è senz’altro la spettrometria γ . Gran parte dei radionuclidi sia naturali che artificiali sono infatti γ emettitori e quindi, per mezzo della spettrometria γ , è possibile ottenere una informazione quantitativa sulla quasi totalità dei radioelementi rilevanti dal punto di vista radioprotezionistico.

Una parte dei campioni di particolato atmosferico (aria) da noi analizzati provengono da una rete di prelievo gestita dall’Aeronautica Militare (A.M.), per la precisione dalle stazioni di Bric della Croce (Pecetto-TO), Capo Mele (Andora-SV) e Pian Rosà (Cervinia-AO).

Alcune misure, catalogate come attività di “servizio”, vengono effettuate invece in seguito a richieste provenienti dalle autorità sanitarie (ASL, Uffici di Sanità Aerea), oppure nell’ambito delle attività di vigilanza e controllo da noi svolte su particolari siti (industrie, discariche, ecc.).

Raramente vengono effettuate anche analisi per conto di privati.

Le tabelle seguenti riportano il numero di campioni analizzati nel 1999 relativi a campioni del 1999. Il numero di analisi effettuate è in realtà maggiore, in quanto nei primi mesi del 1999 sono state fatte ancora analisi su campioni del 1998.

Rete	Ambientali	Alimentari	TOTALE
nazionale/regionale	40	125	165
aria Ivrea	416	-	416
aria A.M.	71	-	71
servizio	105	31	137
privati	1	-	1
TOTALE	633	156	790

Tabella 1.2.1: Analisi di spettrometria gamma effettuate nel 1999.

Punto di prelievo	numero di analisi
--------------------------	--------------------------

Ivrea	364
A.M. Bric della Croce	718
A.M. Capo Mele	729
A.M. Pian Rosà	697
TOTALE	2508

Tabella 1.2.2: Analisi di attività beta totale sul particolato atmosferico effettuate nel 1999.

Conviene spendere infine qualche parola sulla sensibilità delle misure di spettrometria γ effettuate. La sensibilità è infatti il parametro decisivo per la caratterizzazione di un sistema di monitoraggio: in base ad essa si può infatti stabilire se tale sistema è adeguato o meno ai compiti di sorveglianza per i quali è stato concepito.

Per le misure nucleari e di spettrometria γ in generale si è soliti valutare la sensibilità introducendo il concetto di Minima Attività Rivelabile (M.A.R.). Essa viene indicata come la minima attività rivelabile, con un certo grado di confidenza, da un dato sistema analitico.

$$M.A.R. = \frac{4.66 \cdot \sqrt{N_{fondo}}}{\epsilon \cdot r \cdot m \cdot \tau}$$

Per la spettrometria γ una delle più usate formulazioni della M.A.R., da noi adottata anche in questo rapporto, è la seguente:

dove N_{fondo} sono i conteggi del fondo γ relativo al radionuclide da misurare, ϵ è l'efficienza dello spettrometro a una data energia E di emissione γ , r è la resa γ del radionuclide, m la massa (o il volume) del campione e τ è il tempo di misura (acquisizione dello spettro). Il fattore 4.66 è una quantità statistica che dipende dal grado di confidenza richiesto, in questo caso il 95%.

Come si vede dalla formula presentata, tale parametro dipende da numerose variabili, alcune legate, oltre che alle prestazioni dello spettrometro, anche alle caratteristiche del radionuclide da misurare (ϵ , r), oltre al campionamento e alle tecniche di misura (m e τ).

Per ottenere M.A.R. molto basse (cioè per aumentare la sensibilità), si può quindi agire in modo diverso su queste variabili, aumentando ad esempio la massa di campione da sottoporre a misura (m) e/o i tempi di acquisizione (τ).



CAPITOLO 2 : MATRICI AMBIENTALI

Nell'ambito della nostra attività di monitoraggio sono state fatte analisi di spettrometria gamma e, in alcuni casi, di attività beta totale su: filtri di deposito di particolato atmosferico, campioni di suolo, acqua, deposizione al suolo e Detrito Minerale Organico Sedimentabile (DMOS) fluviale. In questo modo è stato possibile effettuare un controllo dei livelli di radioattività presenti nei principali comparti ambientali. Le metodiche di raccolta e preparazione dei campioni vengono descritte in seguito, nei paragrafi dedicati ad ogni tipo di matrice.

2.1. ARIA

Il controllo del livello di radioattività dell'aria viene fatto tramite l'analisi di filtri di carta su cui si deposita il particolato atmosferico presente nell'aria, aspirata da una pompa ad alto volume. Sono attive due reti di prelievo dei filtri. Una comporta il prelievo giornaliero dei filtri presso il Dipartimento dell'ARPA di Ivrea e permette così il monitoraggio in continuo del particolato atmosferico; l'altra si appoggia all'Aeronautica Militare, che due volte al giorno preleva i filtri in tre diverse stazioni (Bric della Croce (TO), Capo Mele (SV) e Pian Rosà (AO)) e li invia al nostro laboratorio. In questo modo si hanno informazioni riguardanti una zona più ampia di territorio (Italia nord-occidentale), anche se differite nel tempo.

2.1.1. Monitoraggio in continuo del particolato atmosferico

La stazione di prelievo, costituita da una pompa ad alto volume, si trova presso il Dipartimento di Ivrea dell'ARPA ed è in funzione 365 giorni all'anno. La quantità di aria aspirata dalla pompa è di circa 100 m³ nel periodo invernale, anche il doppio d'estate quando il carico di particolato presente in atmosfera è minore. I filtri vengono prelevati una volta al giorno e coprono quindi un intervallo temporale di circa 24 ore. Con questo sistema è possibile avere un monitoraggio continuo del livello di radioattività e valutarne l'andamento nel tempo. Le analisi effettuate sui filtri in laboratorio consistono nella spettrometria gamma e nell'analisi di attività beta. I dati gamma vengono inviati giornalmente all'ANPA di Roma, nell'ambito della rete di allarme nucleare. Per la spettrometria gamma viene utilizzato di norma un rivelatore al germanio iperpuro di tipo p, impostato con un tempo di misura di un'ora e mezza. L'analisi viene effettuata il giorno stesso, anche nei festivi, trascorsa almeno un'ora dal prelievo per lasciare decadere l'attività dovuta ai radionuclidi a vita breve di origine naturale. Principale scopo di queste analisi è di rilevare radionuclidi di origine artificiale, in particolare Cs-134, Cs-137 e I-131, tipici prodotti di fissione normalmente emessi in seguito a incidenti nucleari. Per l'analisi di attività beta viene utilizzato un contatore a basso fondo a flusso di gas, per evidenziare radionuclidi beta-emettitori come lo Sr-90 o altri: ogni filtro viene analizzato dopo almeno 5 giorni dal prelievo.

Inoltre vengono fatte ulteriori analisi di spettrometria gamma su sette filtri relativi ai sette giorni consecutivi dal martedì al lunedì della settimana successiva (analisi settimanale) e su trenta filtri di un mese (analisi mensile). In tal modo, pur perdendo risoluzione temporale, è possibile ottenere una maggiore sensibilità.

Nel corso di quest'anno non è stato registrato alcun evento anomalo.

Di seguito è riportato l'andamento annuale dell'attività gamma e dell'attività beta totale della stazione di prelievo di Ivrea.

Spettrometria gamma - Ivrea

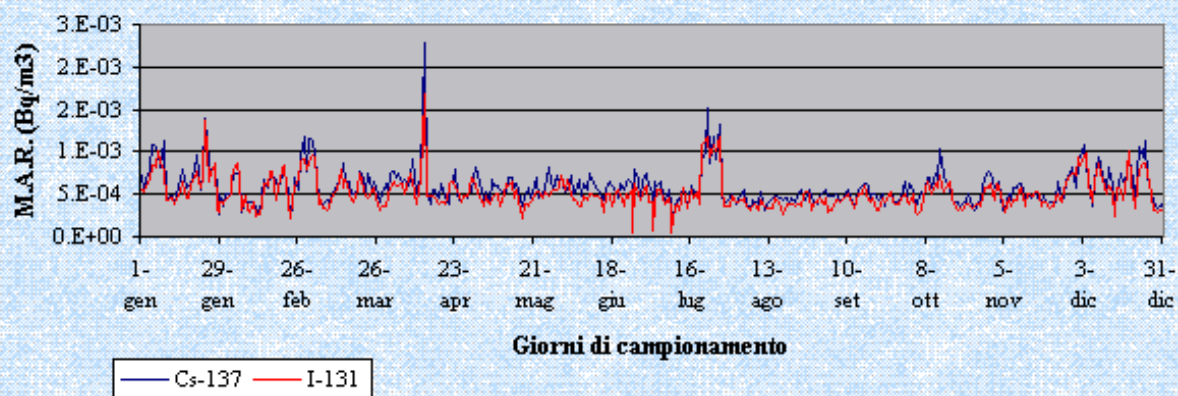


Grafico 2.1.1: Andamento annuale della M.A.R. gamma relativa alla stazione di prelievo di Ivrea per Cs-137 e I-131.

Il Grafico 2.1.1 riporta i valori della minima attività rivelabile (M.A.R.) per il Cs-137 e per lo I-131, in quanto l'attività di questi due radionuclidi presente sui filtri è sempre risultata inferiore al livello di sensibilità. Complessivamente i valori della M.A.R. sono dell'ordine di 10^{-4} Bq/m³, sia per il Cs-137 che per lo I-131. I valori più elevati di M.A.R. riscontrati alla fine di luglio dipendono dalla modalità di aspirazione, che in quei giorni è stata fatta con una pompa sostitutiva. Anche il picco di aprile è imputabile a una anomalia, in quanto in quel giorno il volume di aria aspirato è stato solamente di 30 m³. Il valor medio annuale è pari a $(5,19 \pm 1,94) 10^{-4}$ Bq/m³ per lo I-131 e $(5,89 \pm 6,55) 10^{-4}$ Bq/m³ per il Cs-137. Tuttavia si nota che nel periodo invernale i valori sono leggermente maggiori e più variabili. Per i mesi di gennaio e febbraio si ha difatti $(6,02 \pm 2,24) 10^{-4}$ Bq/m³ per lo I-131 e $(6,55 \pm 2,44) 10^{-4}$ Bq/m³ per il Cs-137 e per i mesi di novembre e dicembre $(5,53 \pm 1,92) 10^{-4}$ Bq/m³ per lo I-131 e $(6,10 \pm 2,04) 10^{-4}$ Bq/m³ per il Cs-137. Nel periodo estivo si sono registrati i valori minori e con oscillazioni più contenute. Il valor medio, calcolato escludendo i giorni di fine luglio, risulta di $(4,43 \pm 1,15) 10^{-4}$ Bq/m³ per lo I-131 e di $(5,27 \pm 1,34) 10^{-4}$ Bq/m³ per il Cs-137. Questa lieve differenza stagionale è da imputare probabilmente alle diverse condizioni meteorologiche e di stabilità dell'aria nei diversi periodi dell'anno, che, influenzando i volumi aspirati e l'accumulo della radioattività naturale, determinano conseguentemente delle variazioni nei valori di M.A.R..

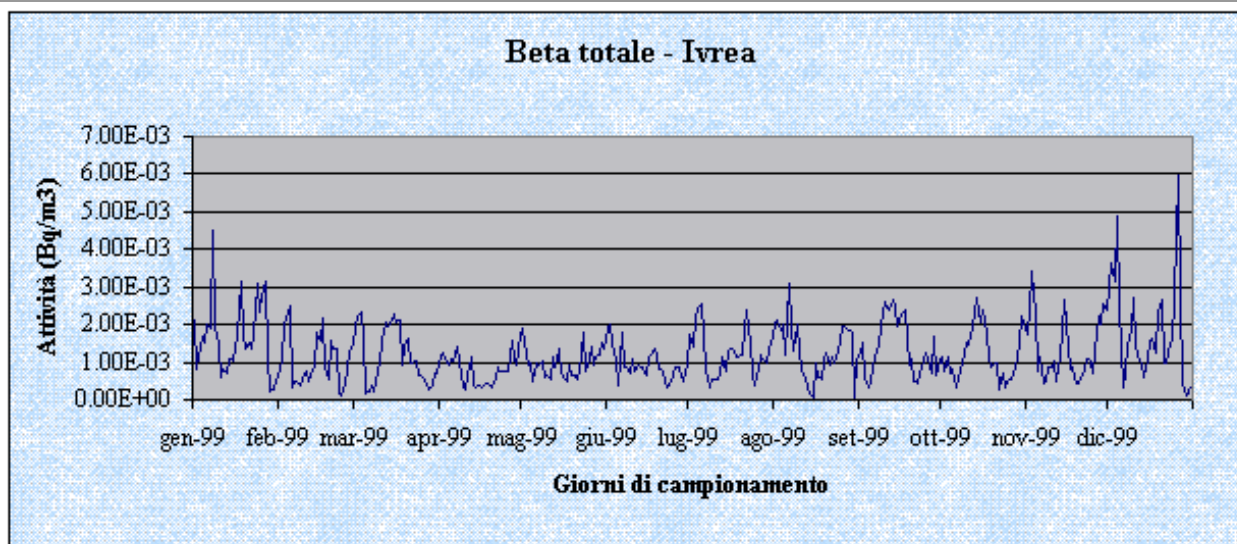


Grafico 2.1.2: Andamento annuale dell'attività beta totale relativo alla stazione di prelievo di Ivrea.

In questo grafico si osserva che l'attività beta totale, espressa in Bq/m^3 , è maggiore e più variabile nei mesi invernali, analogamente a quanto è stato riscontrato anche per l'andamento delle M.A.R. dell'analisi gamma. Difatti la media annuale è di $(1,24 \pm 0,79) 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$, mentre nei mesi invernali risultano maggiori sia il valor medio che la deviazione standard (per i mesi di gennaio e febbraio si ha $(1,35 \pm 0,87) 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ e per i mesi di novembre e dicembre si ha $(1,58 \pm 1,14) 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$). Nei mesi estivi, da maggio ad agosto compreso, si ha invece $(1,12 \pm 0,56) 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$.

2.1.2. Analisi dei filtri provenienti dalle stazioni dell'Aeronautica Militare

Come già detto, vengono anche analizzati i filtri di carta su cui si deposita il particolato atmosferico provenienti da tre stazioni dell'Aeronautica Militare. Queste stazioni si trovano al Bric della Croce (Pecetto – TO), Capo Mele (Andora – SV) e Pian Rosà (Val Tournenche - AO). I filtri vengono prelevati ogni 12 ore e spediti circa settimanalmente al nostro laboratorio. Su di essi viene effettuata la spettrometria gamma su un pacchetto di trenta filtri (analisi quindicinale con un tempo di conteggio di 16 ore) e l'analisi di attività beta su ogni filtro. Poiché le analisi vengono fatte in un momento successivo al prelievo, si possono ottenere informazioni solamente sull'attività dei radionuclidi a vita medio-lunga. Per tutte le stazioni le analisi di spettrometria gamma hanno dato risultati inferiori alla minima attività rivelabile sia per lo I-131 che per il Cs-137, con valori dell'ordine di 10^{-6} Bq/m^3 . In quasi tutti i casi si può notare che il valore di M.A.R., riportato nei grafici seguenti, è maggiore nei mesi invernali.

Spettrometria gamma - Bric della Croce

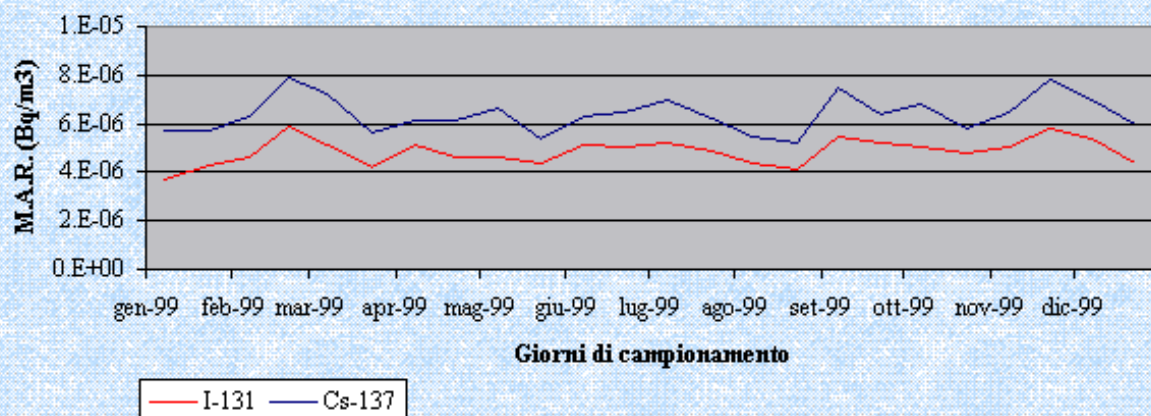


Grafico 2.1.3: Andamento annuale della M.A.R. gamma relativa alla stazione di prelievo di Bric della Croce (TO).

In questo grafico si nota che per lo I-131 le misure di gennaio sono le più basse in assoluto. Questo comporta che il valor medio relativo ai mesi di gennaio e febbraio risulti minore che quello relativo ai mesi estivi. Per il Cs-137 invece è confermata la tendenza descritta in precedenza. La media annuale risulta di $(4,85 \pm 0,54) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e di $(6,38 \pm 0,74) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Per i mesi di gennaio e febbraio si ha $(4,63 \pm 0,54) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(6,40 \pm 1,04) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Per i mesi estivi, da aprile ad agosto, si ha $(4,74 \pm 0,37) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(6,09 \pm 0,57) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Per i mesi di ottobre, novembre e dicembre si ha $(5,07 \pm 0,48) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(6,65 \pm 0,73) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137.

Spettrometria gamma - Capo Mele

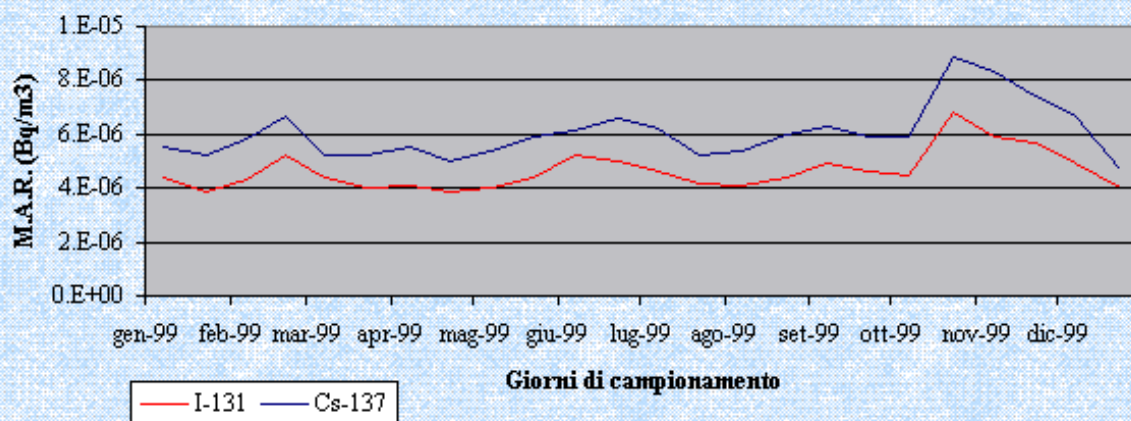


Grafico 2.1.4: Andamento annuale della M.A.R. gamma relativa alla stazione di prelievo di Capo Mele (SV).

Per la stazione di Capo Mele i valori più alti si sono registrati alla fine di ottobre (valore massimo) e nei mesi di novembre e dicembre. La media annuale risulta di $(4,64 \pm 0,71) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e di $(6,04 \pm 1,01) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Per i mesi di gennaio e febbraio si ha $(4,45 \pm 0,55) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(5,80 \pm 0,65) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Per i mesi da aprile ad agosto la media è di $(4,39 \pm 0,43) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(5,73 \pm 0,51) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Per i mesi di ottobre, novembre e dicembre si ha $(5,30 \pm 1,03) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(6,98 \pm 1,55) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137.

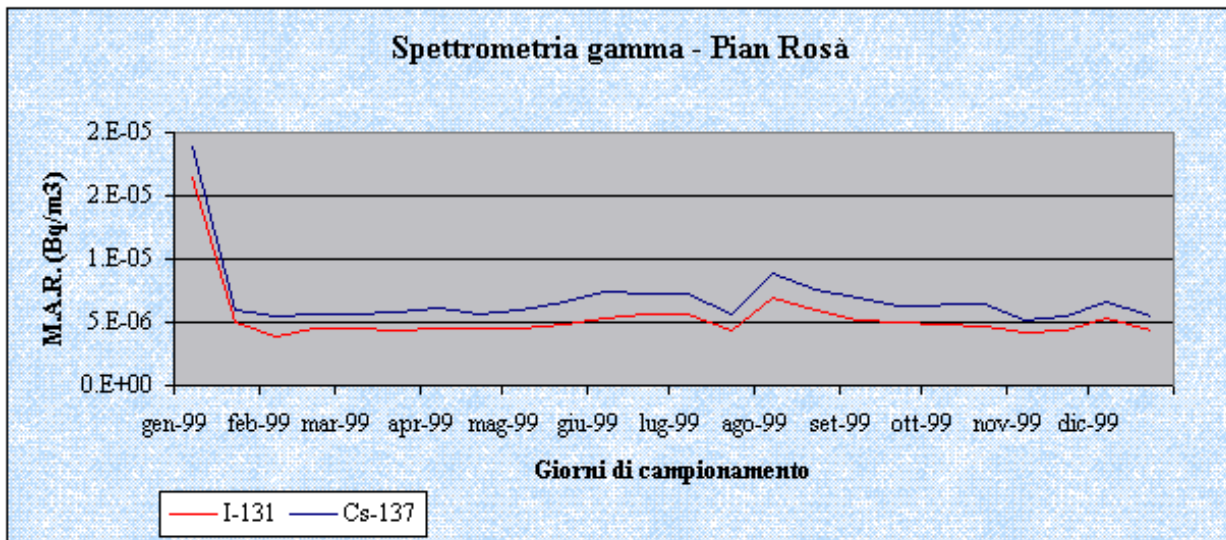


Grafico 2.1.5: Andamento annuale della M.A.R. gamma relativa alla stazione di prelievo di Pian Rosà (AO).

Il valor medio annuale per la stazione di Pian Rosà è pari a $(5,40 \pm 2,49) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e a $(6,88 \pm 2,75) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Nei mesi di gennaio e febbraio si ha $(7,45 \pm 5,98) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(8,98 \pm 6,55) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137. Nei mesi estivi, da aprile ad agosto, il valor medio per lo I-131 è $(5,23 \pm 0,82) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ e per il Cs-137 è $(6,84 \pm 1,05) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$. Nei mesi di ottobre, novembre e dicembre si ha invece $(4,60 \pm 0,43) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per lo I-131 e $(5,84 \pm 0,67) \cdot 10^{-6} \text{ Bq/m}^3$ per il Cs-137.

Di seguito sono riportati i grafici relativi ai risultati dell'analisi di attività beta totale. L'attività misurata è dell'ordine di 10^{-3} Bq/m^3 per tutte le tre stazioni di prelievo e non si nota un andamento stagionale dell'attività come per i filtri prelevati a Ivrea. Per la stazione di Bric della Croce il valore medio annuale è di $(1,07 \pm 0,69) \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ e anche i valori più elevati non superano quest'ordine di grandezza. Per la stazione di Capo Mele il valore medio è di $(1,12 \pm 0,94) \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$. E' da notare per questa stazione il valore massimo del novembre '99, superiore di circa un ordine di grandezza ai normali valori misurati. A tale valore non è stato possibile associare alcun evento particolare. Successive verifiche eseguite tramite spettrometria gamma non hanno infatti confermato l'anomalia. Nella stazione di Pian Rosà sono stati registrati valori più bassi con un valor medio annuale è di $(0,57 \pm 0,47) \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$: ciò è del tutto plausibile, trattandosi di una stazione d'alta quota (3000 m slm). Il grafico mostra però un incremento e soprattutto una maggiore variabilità dell'attività nei mesi estivi. Il valor medio dei mesi da maggio ad agosto compreso, è infatti di $(0,82 \pm 0,61) \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$, mentre quello di gennaio e febbraio è di $(0,40 \pm 0,22) \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$ e quello di novembre e dicembre è di $(0,32 \pm 0,19) \cdot 10^{-3} \text{ Bq/m}^3$.

Beta totale - Bric della Croce

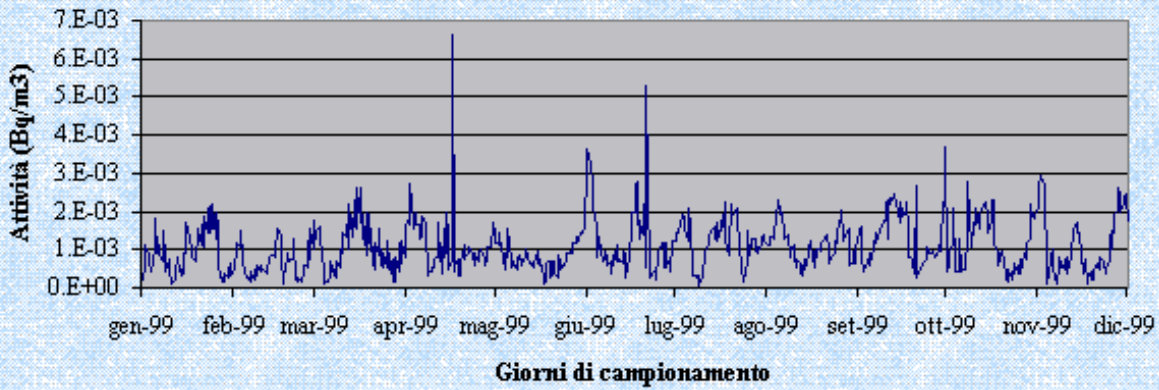


Grafico 2.1.6: Andamento annuale dell'attività beta totale relativo alla stazione di prelievo di Bric della Croce (TO).

Beta totale - Capo Mele

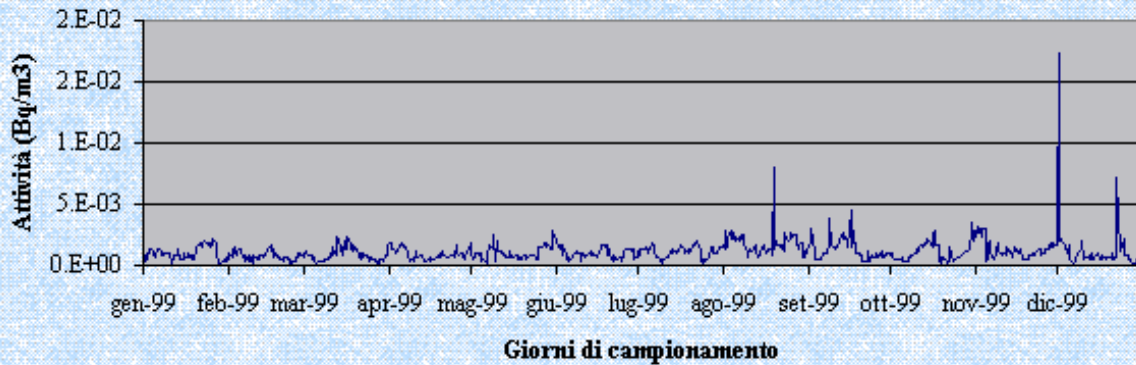


Grafico 2.1.7: Andamento annuale dell'attività beta totale relativo alla stazione di prelievo di Capo Mele (SV).

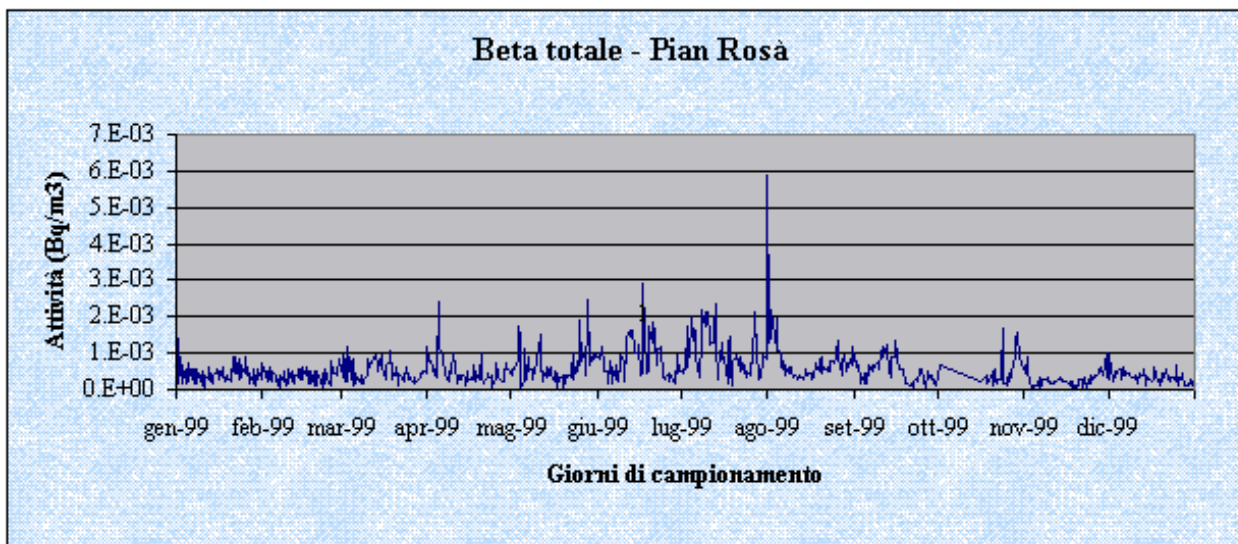


Grafico 2.1.8: Andamento annuale dell'attività beta totale relativo alla stazione di prelievo di Pian Rosà (AO).



2.2. DEPOSIZIONE AL SUOLO

Per analizzare la ricaduta di particolato atmosferico (fallout) viene utilizzata una vasca in acciaio INOX di 3.975 m² posta sul tetto del Dipartimento dell'Arpa a Ivrea. Sul fondo della vasca si raccoglie sia la ricaduta umida legata alle precipitazioni e sia quella secca dovuta a deposizione. Mensilmente la vasca viene svuotata e l'acqua in essa contenuta fatta evaporare fino a un volume di circa 2 litri tramite resistenze e poi fatta seccare in una stufa a 105°C. Sul residuo secco viene successivamente effettuata un'analisi di spettrometria gamma e, eventualmente, analisi radiochimiche per evidenziare la presenza di Stronzio e Plutonio.

Nel grafico seguente è riportato l'andamento dell'attività gamma misurata nel fallout a partire dal 1993. Sono riportati i valori di M.A.R. per lo I-131, i valori di M.A.R. e, in alcuni casi, di attività misurata per il Cs-134 (questi valori sono evidenziati sul grafico e si riferiscono solamente agli anni 1993, 1994 e 1995) e i valori di attività del Cs-137; quest'ultimo è l'unico radioelemento artificiale di cui si sono ottenuti valori sempre superiori alla minima attività rivelabile. Per visualizzare sullo stesso grafico i tre radioisotopi contemporaneamente è stato necessario adottare una scala logaritmica. Si osserva come ogni anno sono presenti valori più elevati in corrispondenza dei mesi primaverili, generalmente i più piovosi.

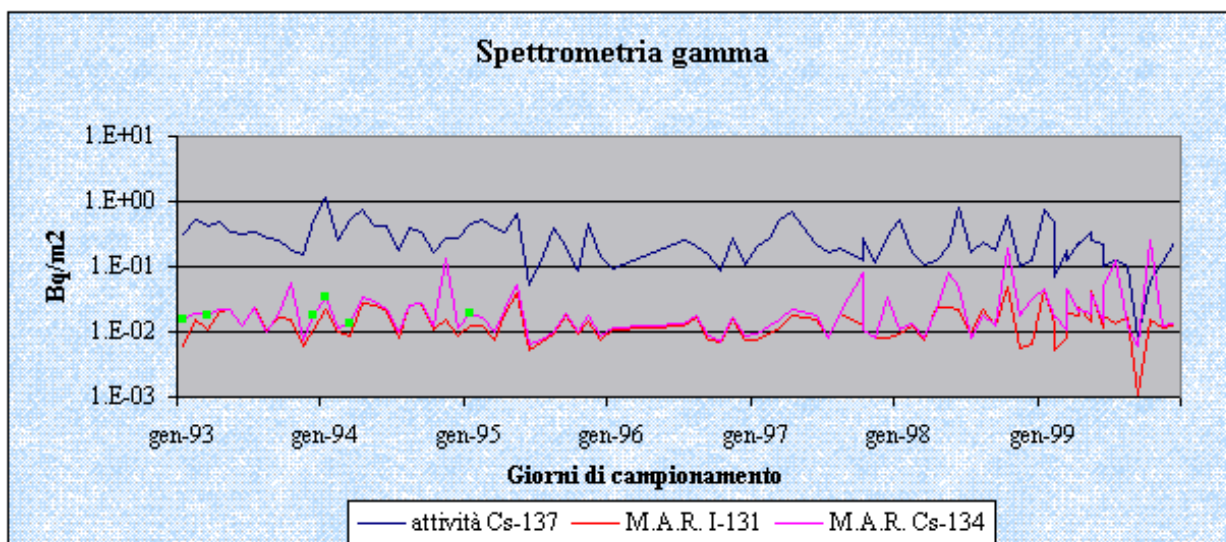


Grafico 2.2.1: Andamento della M.A.R. (I-131 e Cs-134) e dell'attività gamma (Cs-137) nella deposizione atmosferica dal 1993 relativo alla stazione di prelievo di Ivrea (in verde i valori superiori alla M.A.R. relativi al Cs-134).

2.3. DMOS

Il DMOS (Detrito Minerale Organico Sedimentabile) è una matrice molto interessante, in quanto consente di valutare l'attività presente nei fiumi. La tecnica di prelievo consiste nel sistemare nell'acqua dei campionatori che vengono depositati sul fondale. Tale tecnica di prelievo è stata messa a punto negli anni ottanta da tecnici ENEL incaricati del monitoraggio radioecologico del fiume Po (L.Guzzi, G.Queirazza ; 1987). In tal modo il particolato in sospensione

nell'acqua e prossimo alla sedimentazione si deposita nel campionario che viene di norma recuperato dopo una settimana. In genere vengono effettuate quattro misure all'anno. Con questa tecnica sono state monitorate le acque del Po in due diversi siti: Verolengo (TO) e Casale (AL). L'elevata sensibilità che si ottiene ha permesso di rivelare, oltre che al Cs-137, lo I-131, di origine ospedaliera, e in alcuni casi deboli tracce di Co-60, proveniente dagli scarichi effettuati a suo tempo dalla centrale nucleare di Trino Vercellese. Di seguito sono riportati i grafici relativi all'andamento del Cs-137 e dello I-131 nei due siti a partire dal 1993. Per il Cs-137, la cui presenza nell'ambiente è imputabile in gran parte all'incidente di Chernobyl, è evidente una netta diminuzione dell'attività dopo i primi due anni (1993-1994).

Per lo I-131 non si nota alcuna diminuzione nel corso degli anni, in quanto l'immissione di questo isotopo nell'ambiente avviene con continuità e non è imputabile a un evento preciso bensì al suo costante utilizzo negli ospedali. A conferma di ciò si nota come nel sito di Verolengo, più vicino agli scarichi ospedalieri della città di Torino, i valori di attività siano in genere maggiori. In alcuni casi le analisi hanno fornito valori inferiori alla M.A.R. per lo I-131. Sul grafico questi valori sono stati segnalati riportandoli in colore diverso.

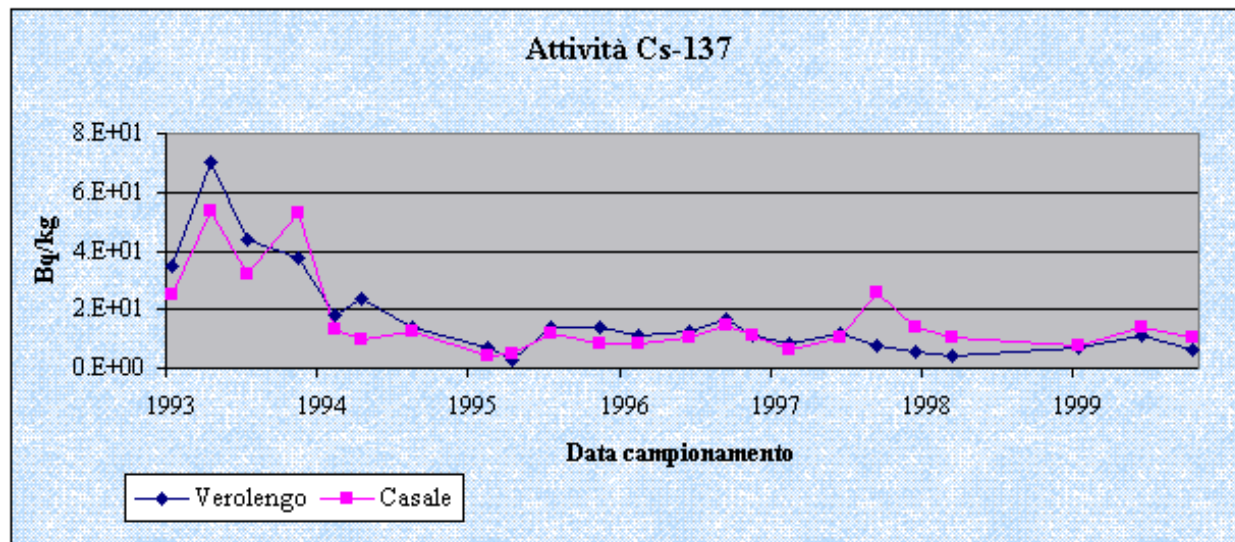


Grafico 2.3.1: Andamento dell'attività del Cs-137 dal 1993 nei campioni di DMOS.

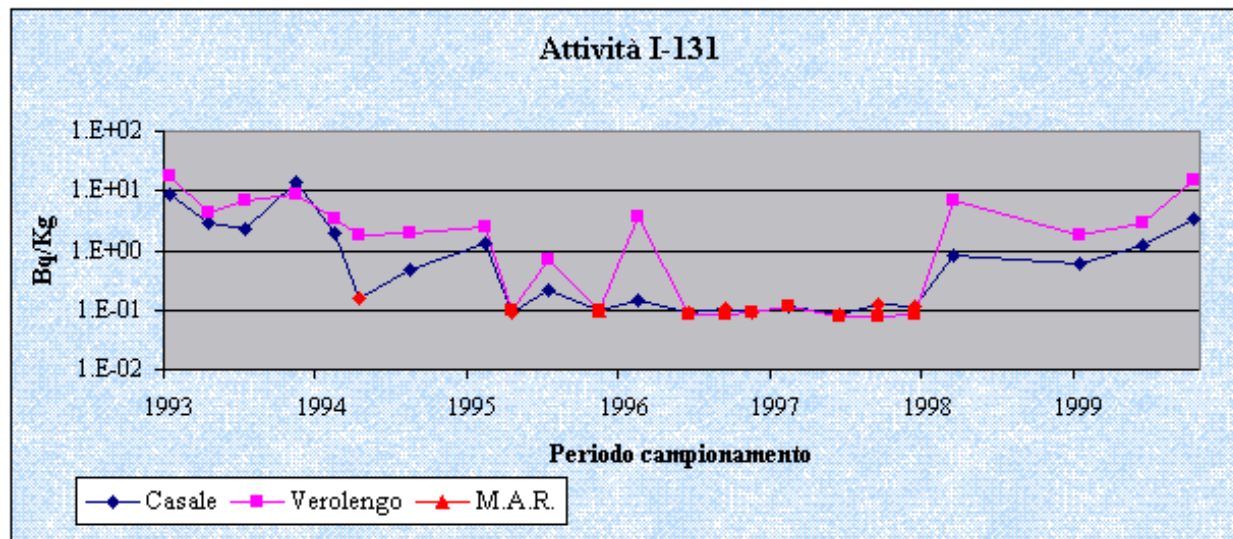


Grafico 2.3.2: Andamento dell'attività dello I-131 dal 1993 nei campioni di DMOS (in rosso i valori inferiori alla M.A.R.).

Per quanto riguarda il Co-60 vengono riportati nella tabella seguente i valori relativi a quei campioni per i quali l'attività è

risultata superiore alla minima attività rivelabile, tutti riferiti al sito di Casale.

Data prelievo	Bq/kg
03/09/1996	0.142
25/06/1997	0.123
16/12/1997	0.194
20/03/1998	0.681
15/01/1999	0.816

Tabella 2.3.1: Valori di attività del Co-60 nei campioni di DMOS provenienti da Casale.

2.4. ACQUE SUPERFICIALI

Le misure di spettrometria gamma ne 1999 effettuate su campioni di acque di superficie sono state sei, suddivise tra acque fluviali e acque lacustri. Le prime sono state fatte su campioni prelevati nel fiume Po a Casale, mentre le seconde sono state fatte su campioni prelevati nel lago di Viverone. L'acqua viene prelevata a Casale una volta al mese, in quantità di 30 litri, ma analizzata ogni tre mesi unendo i tre prelievi e facendo evaporare fino a raggiungere la quantità di un litro. Nel corso di un anno si hanno così a disposizione i risultati di quattro misure. L'acqua del lago di Viverone è stata prelevata due volte, a maggio e a dicembre, in quantità di 90 litri e fatta evaporare fino alla quantità di un litro prima di essere analizzata. I valori dello I-131 e del Cs-134 sono sempre risultati inferiori alla minima attività rivelabile, mentre per il Cs-137 solo in un campione proveniente da Casale l'attività è risultata inferiore alla soglia di rivelabilità. Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle analisi.

Provenienza	I-131	Cs-134	Cs-137	errore %
CASALE	<0.0006	<0.0022	0.0042	16.6
CASALE	<0.0006	<0.0021	0.0023	26.8
CASALE	<0.0006	<0.0039	<0.0007	
CASALE	<0.0006	<0.0006	0.0016	31.2

Tabella 2.4.1: Valori di M.A.R. e di attività misurata (Bq/l) nei campioni di acqua del fiume Po.

Provenienza	I-131	Cs-134	Cs-137	errore %
VIVERONE	<0.0006	<0.0006	0.0038	17.8
VIVERONE	<0.0006	<0.0006	0.0021	26.9

Tabella 2.4.2: Valori di M.A.R. e di attività misurata (Bq/l) nei campioni di acqua del lago di Viverone.

2.5. SUOLO

La radiocontaminazione dei suoli piemontesi è ben nota e documentata, anche grazie al recente lavoro svolto in collaborazione con l'Università di Torino per conto della Regione (A.Facchinelli, M.Magnoni ; 1998). Si nota una presenza di Cs-137, largamente imputabile (circa il 90%) all'incidente di Chernobyl, assai variabile sul territorio regionale: si passa da valori attorno ai 10-15 kBq/m² (pianura) fino a valori di 70-80 kBq/m² in alcune zone alpine, localizzate perlopiù nell'alto canavese (vedi cartina allegata).

ARPA PIEMONTE

Ultima modifica: 18-Oct-2001, sede@arpa.piemonte.it



CAPITOLO 3 : MATRICI ALIMENTARI

Le matrici alimentari analizzate comprendono acqua potabile, latte e derivati, carne, uova, pesce, cereali, pasta, pane, frutta, verdura e omogeneizzati, più alcuni alimenti che non compongono la dieta base della popolazione, ma che vengono consumati saltuariamente o in quantità modeste. In particolare sono stati analizzati campioni di funghi, miele e vino. I funghi sono studiati in quanto è nota la loro propensione ad accumulare in grande quantità i radionuclidi presenti nel terreno, permettendo quindi di fare alcuni approfondimenti e considerazioni sul rapporto tra il Cs-137 e il Cs-134. Tutte le matrici sono state sottoposte a spettrometria gamma. Di solito si è analizzata una quantità pari a 1 litro, eventualmente sottoponendo preventivamente la matrice a omogeneizzazione. Per quanto riguarda il latte, oltre alla spettrometria gamma sono state eseguite delle determinazioni radiochimiche di Sr-90.

3.1. ACQUA POTABILE

I livelli di radioattività artificiale nell'acqua potabile sono risultati sempre inferiori alla sensibilità strumentale. Nel corso di questi ultimi anni è stato sistematicamente seguita l'acqua dell'acquedotto di Torino (particolarmente interessante in quanto una quota significativa dell'acqua potabile della città proviene direttamente dal fiume Po) e dell'acquedotto di Cuneo. Le analisi (spettrometria gamma) sono state eseguite a partire da un campione iniziale di 300 l, passato in colonna su resina a scambio ionico. Nelle tabelle seguenti è riportata la provenienza dei campioni analizzati e nei grafici i risultati annuali delle analisi dell'acqua dell'acquedotto di Torino e di Cuneo. Le analisi sulle acque minerali non sono riportate in questo lavoro.

Anno	Acquedotto	Sorgente	Pozzo
1993	4	3	
1994	4		
1995	3		
1996	4		
1997	10	1	
1998	7		3
1999	6	1 (fontana)	

Tabella 3.1.1: Provenienza dei campioni di acqua potabile dal 1993 al 1999.

Anno	Torino	Cuneo	Mondovì	Saluzzo	Bra	Alba	T.Pellice	Ivrea	Traversella
1993	2						1		1
1994	1	2						1	
1995	2	1							
1996	1	1	2						
1997	2	2	2	2	1	1			
1998	1	2	2	1		1			

Tabella 3.1.2: Provenienza dei campioni di acqua di acquedotto dal 1993 al 1998.

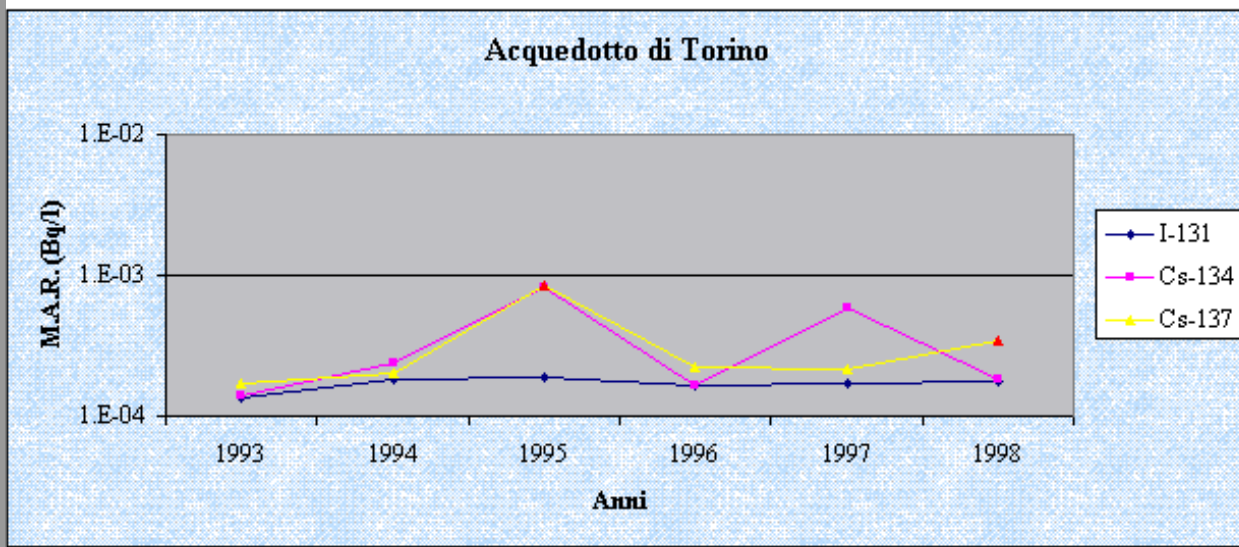


Grafico 3.1.1: Andamento della M.A.R. nell'acqua dell'acquedotto di Torino dal 1993 al 1998 (in rosso i valori di attività).

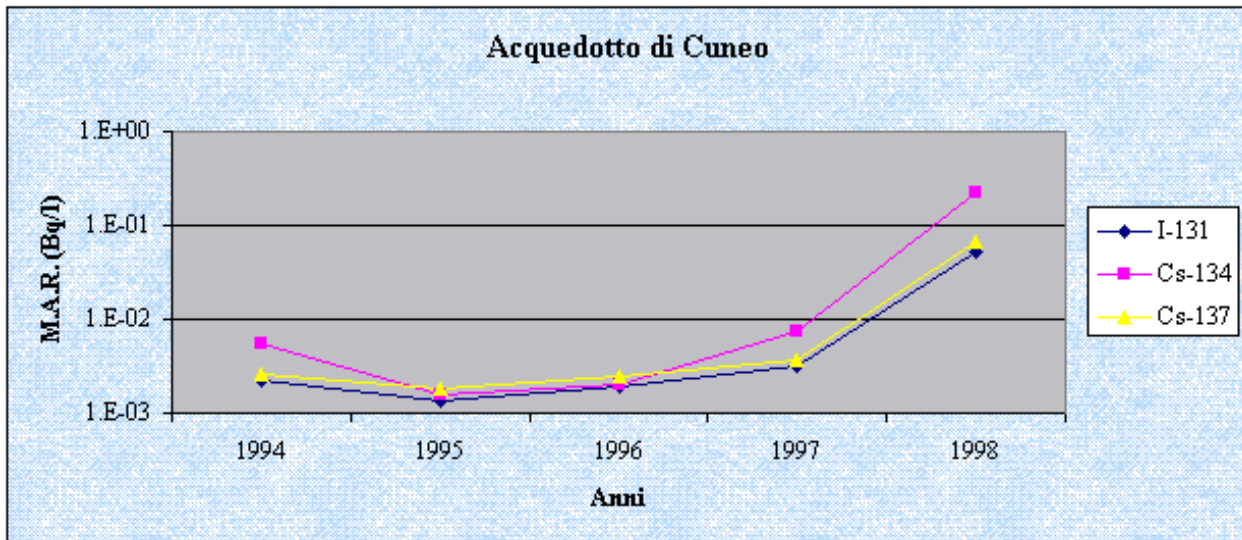


Grafico 3.1.2: Andamento della M.A.R. nell'acqua dell'acquedotto di Cuneo dal 1994 al 1998.

Provenienza	I-131	Cs-134	Cs-137
Acquedotto Fossano	0.117	0.112	0.123
Acquedotto Caraglio	0.003	0.010	0.004
Acquedotto Mondovì	0.005	0.020	0.006
Acquedotto Mondovì	0.004	0.004	0.004
Acquedotto Borgo S.Dalmazzo	0.108	0.417	0.111
Acquedotto Novello	0.099	0.110	0.114
Fontana Savigliano	0.052	0.071	0.059

Tabella 3.1.3: Valori di M.A.R. (Bq/l) nei campioni di acqua potabile analizzati nel 1999.

Nel 1999 tutte le misure effettuate si riferiscono a campioni di acqua provenienti dalla provincia di Cuneo. Sei campioni sono stati prelevati dall'acquedotto e uno da una fontana pubblica. L'attività di Cs-134, Cs-137 e I-131 è risultata sempre inferiore alla minima attività rivelabile, con valori compresi tra 0,003 Bq/l (I-131) e 0,123 Bq/l (Cs-137). Il valore medio della M.A.R. dello I-131 è di 0,055 Bq/l, del Cs-137 è di 0,060 e del Cs-134 è di 0,106 Bq/l. Quest'ultimo valore è un ordine di grandezza superiore agli altri due in quanto il campione proveniente dalla fontana pubblica ha un valore di M.A.R. per il Cs-134 di circa quattro volte superiore agli altri campioni.

Le deboli tracce (inferiori a 1 mBq/l) riscontrate talvolta in campioni prelevati dall'acquedotto di Torino sono spiegabili dal fatto che, come già detto, una parte dell'acqua proviene dal fiume Po.

3.2. LATTE E DERIVATI

Nel 1999 sono state effettuate 45 analisi di spettrometria gamma su campioni di latte così suddivisi: 27 campioni di latte crudo, 6 campioni di latte pastorizzato e 12 campioni di latte in polvere. Tra i campioni di latte crudo 12 sono stati prelevati con cadenza mensile in una cascina nei dintorni di Ivrea, 10 provengono da Centrali del latte (5 da Torino e 5 da Alessandria) e i restanti provengono da allevamenti o da aziende agricole.

I livelli di attività, per tutti i tipi di latte, sono risultati sempre inferiori alla minima attività rivelabile per lo I-131 e quasi sempre per il Cs-134 (solo due campioni della Centrale del latte di Torino sono risultati superiori alla M.A.R.) e per il Cs-137 (sono risultati superiori alla M.A.R. quattro campioni provenienti dalla cascina sopra citata e sette campioni di latte in polvere).

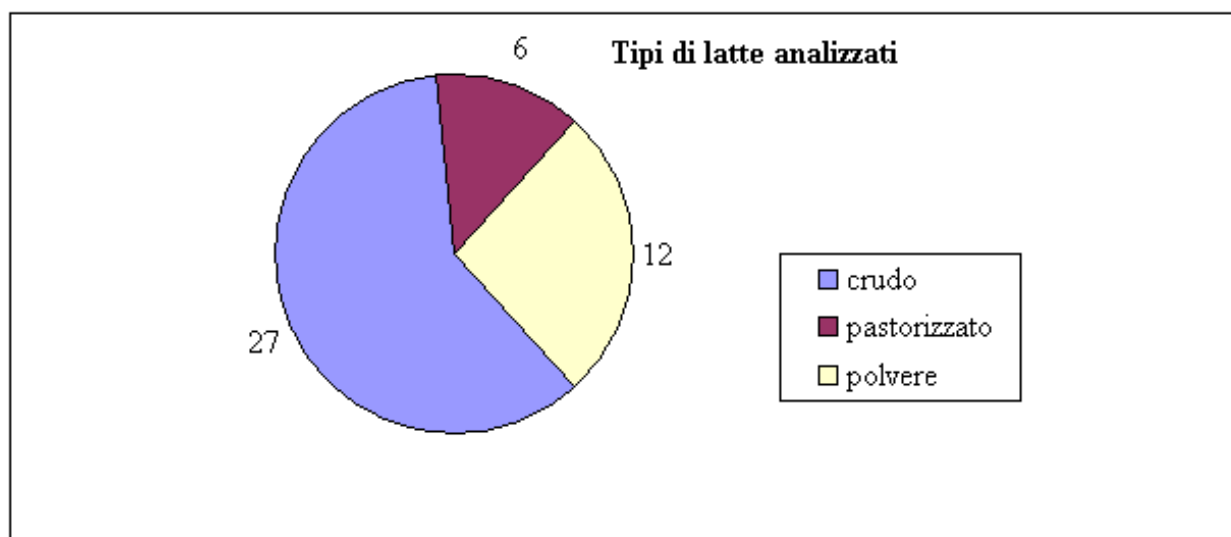
I risultati delle analisi indicano M.A.R. dell'ordine di una frazione di Bq/l per lo I-131, per il Cs-134 e per il Cs-137, come si può osservare dalle tabelle riportate in seguito. I valori misurati di Cs-137 sono anch'essi intorno alla frazione di Bq/l per il latte crudo, mentre raggiungono pochi Bq/kg per il latte in polvere, in cui si è riscontrato un valore decisamente superiore alla media, pari a 11,65 Bq/kg, relativo a campione proveniente da una catena di grande distribuzione. I valori medi di M.A.R. dei campioni di latte in polvere, non riportati nelle tabelle successive, sono pari a 0,191 Bq/l per lo I-131 (ottenuto da 12 campioni), 0,496 per il Cs-134 (ottenuto da 12 campioni) e 0,319 per il Cs-137 (ottenuto da 5 campioni).

Sui campioni di latte di cascina e di centrale sono state effettuate anche analisi radiochimiche finalizzate alla misura di Sr-90. Per questa misura i campioni relativi a due o tre mesi vengono uniti e poi sottoposti a calcinazione, a temperature sempre maggiori, fino a 500° C. Successivamente si procede con metodi chimici per l'estrazione dello Stronzio, che viene rivelato con il contatore per attività beta a basso fondo a flusso di gas. Vengono riportati in seguito i grafici relativi all'andamento dell'attività di Sr-90 dal 1993 al 1999.

Per quanto riguarda i derivati del latte sono stati analizzati due campioni di burro e quattro campioni di formaggio (tre campioni di formaggio stagionato e un campione di formaggio fresco). In nessun caso sono stati rilevati valori superiori alla minima attività rivelabile per lo I-131, il Cs-134 e il Cs-137. I valori della M.A.R. sono riportati nella tabella seguente. Come si può osservare i valori di M.A.R. del burro e del formaggio stagionato sono confrontabili, mentre valori leggermente più elevati sono stati riscontrati nel formaggio fresco, di cui però è stato analizzato un solo campione.

Di seguito sono riportati i grafici relativi ai tipi di latte analizzati e alla loro provenienza. Nelle tabelle viene invece riportata l'analisi dei dati effettuata sui risultati delle analisi.

Grafico 3.2.1: Campioni di latte analizzati nel 1999 suddivisi per tipo.



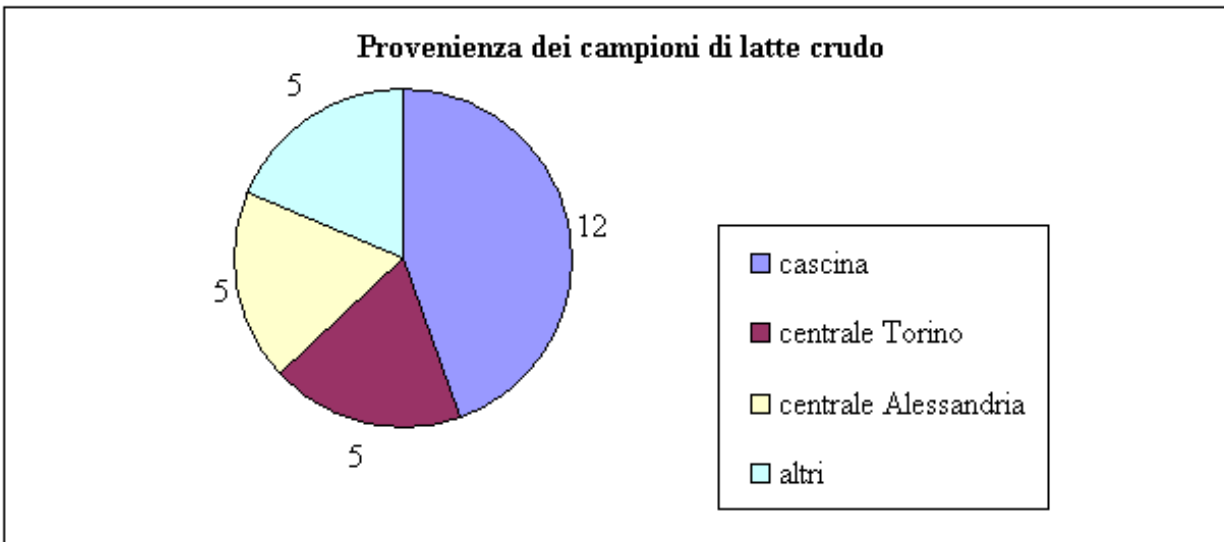


Grafico 3.2.2: Provenienza dei campioni di latte crudo analizzati nel 1999.

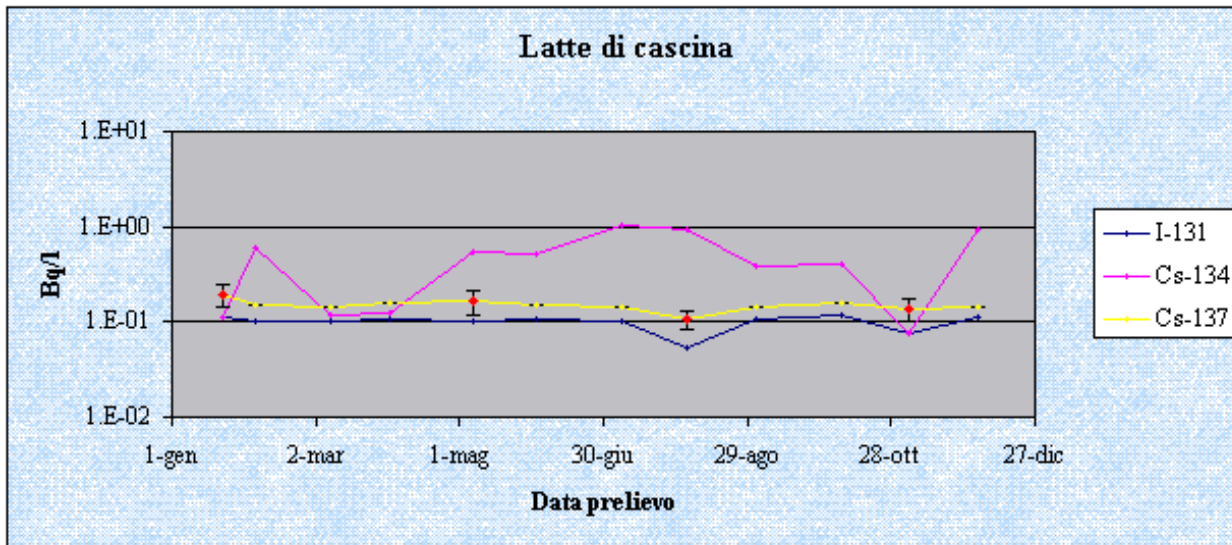


Grafico 3.2.3: Andamento della M.A.R. nel 1999 nel latte di una cascina nei dintorni di Ivrea. Per quattro campioni l'attività del Cs-137 è risultata superiore alla M.A.R. (sul grafico sono riportati in rosso).

Cascina	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	12	12	8
valor medio	0.100	0.482	0.149
Centrale Torino	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	5	5	5
valor medio	0.065	0.380	0.085

Centrale Alessandria	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	5	5	5
valor medio	0.055	0.093	0.066

Tabella 3.2.1: Valori di M.A.R. (Bq/l) nei campioni di latte crudo.

Provenienza	Cs-137	errore %
Cascina	0.195	51.8
Cascina	0.165	56.5
Cascina	0.106	45.4
Cascina	0.139	52.5

Tabella 3.2.2: Valori di attività misurata (Bq/l) nei campioni di latte crudo (4 su 27).

	Cs-137	errore %
Campione 1	1.910	8.2
Campione 2	1.071	21.4
Campione 3	1.497	27.9
Campione 4	2.503	17.7
Campione 5	11.653	2.9
Campione 6	0.368	25.9
Campione 7	0.353	33.0

Tabella 3.2.3: Valori di attività misurata (Bq/kg) nei campioni di latte in polvere (7 su 12).

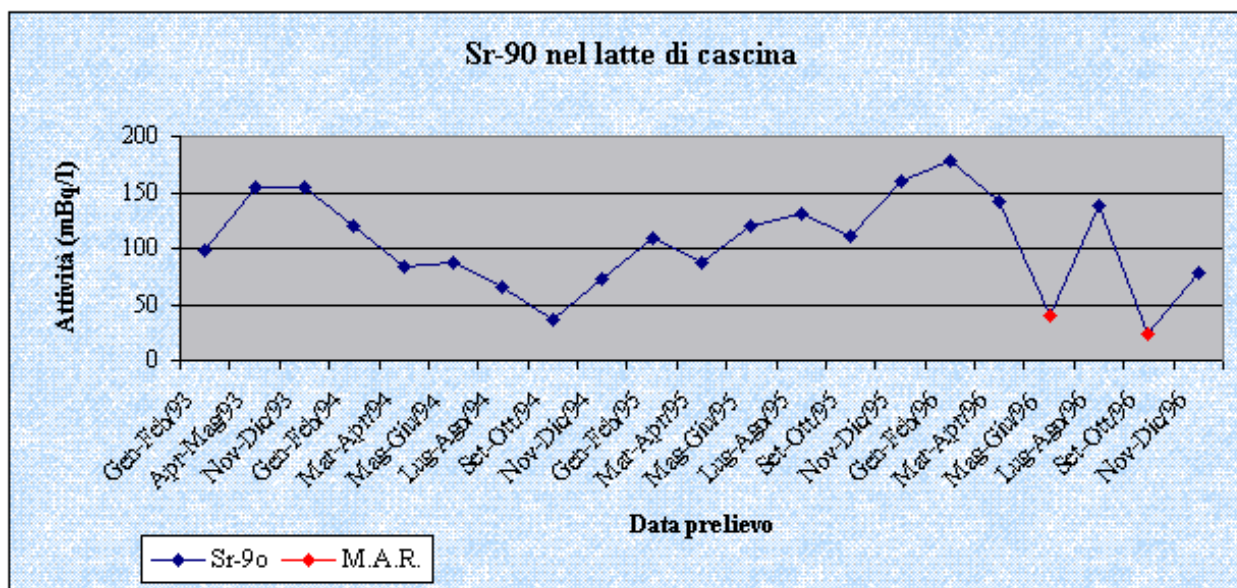


Grafico 3.2.4: Attività dello Sr-90 nel latte di una cascina nei dintorni di Ivrea. Due valori (riportati in rosso) sono risultati inferiori alla M.A.R..

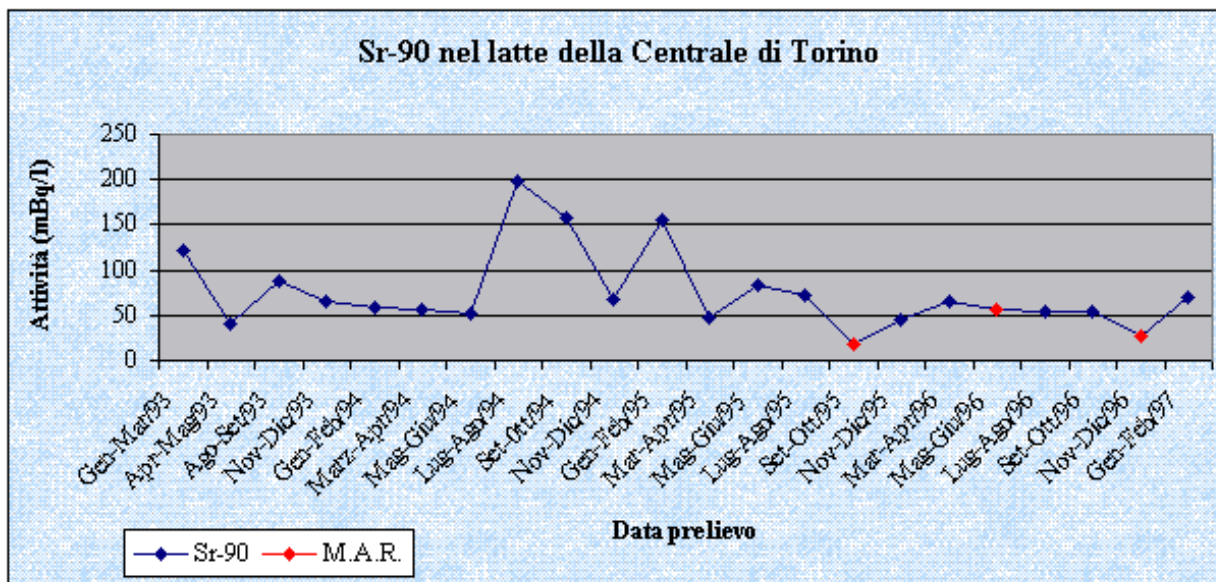


Grafico 3.2.5: Attività dello Sr-90 nel latte della Centrale di Torino. Tre valori (riportati in rosso) sono risultati inferiori alla M.A.R..

Prodotto	Provenienza	I-131	Cs-134	Cs-137
Burro	Bossolasco	0.115	0.135	0.141
Burro	Marene	0.103	0.111	0.132
Formaggio fresco	Niella Belbo	0.175	1.625	0.212
Gran Biraghi	Cavallermaggiore	0.069	0.570	0.093
Toma	Peveragno	0.158	0.342	0.200
Toma	Peveragno	0.124	0.118	0.145

Tabella 3.2.4: Valori di M.A.R. (Bq/kg) nei prodotti derivati del latte.

I campioni di carne sottoposti a spettrometria gamma nel 1999 sono stati in totale 27, così ripartiti: 17 campioni di carne bovina di cui uno fegato, 4 campioni di carne suina di cui due salumi, 1 campione di carne ovina, 1 campione di carne di pollo, 1 campione di carne di coniglio, 1 campione di carne avicola e 2 campioni di rane.

I valori dello I-131 e del Cs-134 sono sempre stati inferiori alla M.A.R., mentre per il Cs-137 l'attività in alcuni campioni è risultata superiore alla rivelabilità. Il valore più alto di contaminazione da Cs-137 è stato riscontrato nella carne bovina prelevata in un macello canavesano in agosto, pari a 2,37 Bq/kg. Questo dato rende il valor medio dei campioni provenienti da questo macello maggiore di un ordine di grandezza (da una frazione di Bq/kg a 1,14 Bq/kg) rispetto a quello relativo agli altri campioni. Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati dell'analisi dei dati sui vari tipi di carne. I risultati delle analisi sulla carne bovina proveniente dal macello sopra citato, effettuate con cadenza mensile, sono stati riportati anche in grafico. Mentre per lo I-131 e per il Cs-134 i valori riportati sono sempre valori di M.A.R., per il Cs-137 è stata misurata un'attività in alcuni campioni. A questi valori, riportati sul grafico in colore diverso, è stata aggiunta la barra d'errore. Si può osservare che in alcuni casi i valori di M.A.R. per il Cs-134 sono elevati rispetto all'andamento complessivo degli altri valori di M.A.R. (a volte persino maggiori dei valori di attività del Cs-137 misurati nello stesso campione).

L'attività presente nei campioni di rane analizzati è risultata inferiore alla minima attività rivelabile per entrambi i campioni. Il valore medio è di 0,142 Bq/kg per lo I-131, di 0,318 Bq/kg per il Cs-134 e di 0,182 per il Cs-137.

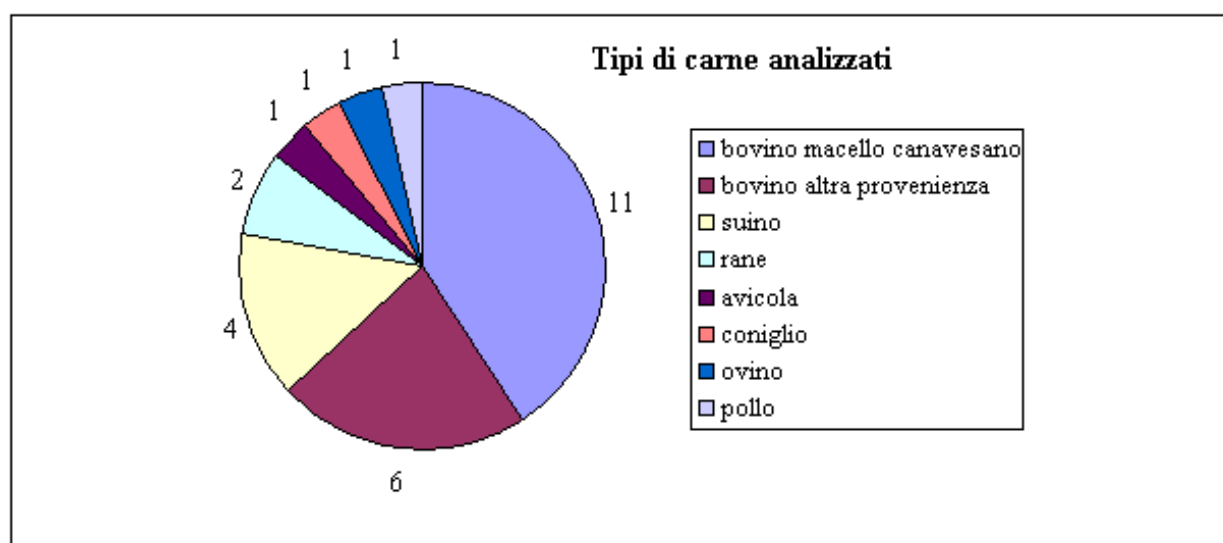


Grafico 3.3.1: Campioni di carne analizzati nel 1999 suddivisi per tipo.

Provenienza	Tipo	Cs-137	errore %
Macelleria Demonte	bovino	0.406	17.9
Macello comunale To	bovino	0.147	34.2
Macello comunale To	bovino fegato	0.357	16.9
Macello canavesano	bovino	0.001	25.0
Macello canavesano	bovino	2.368	10.4
Macello canavesano	bovino	0.471	30.5
Macello canavesano	bovino	1.734	12.3
Macello comunale To	suino	0.123	37.1

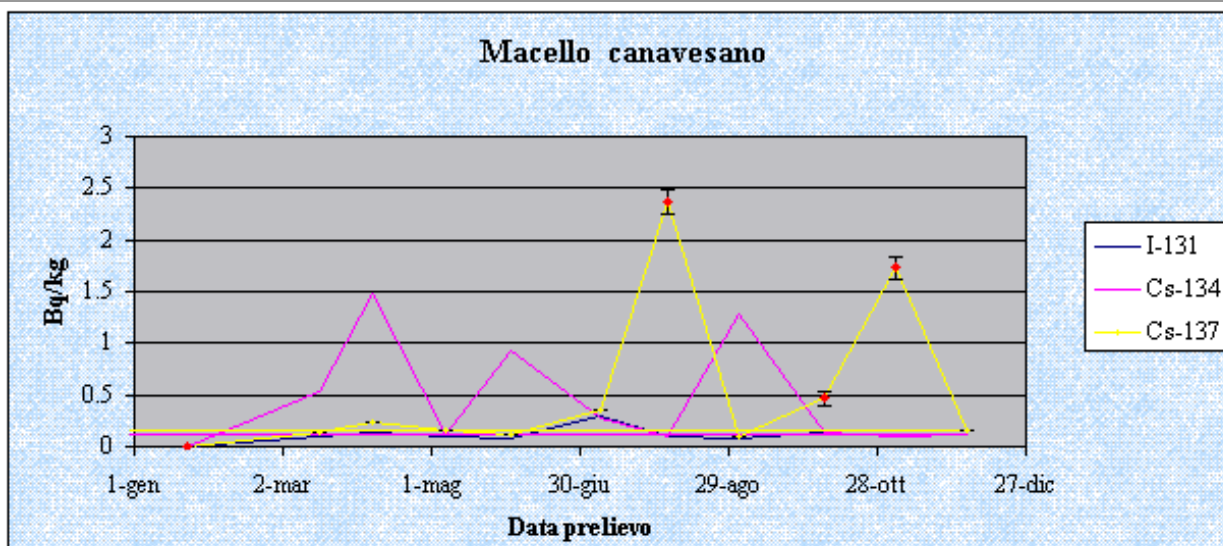


Tabella 3.3.1: Valori di attività misurata (Bq/kg) nei campioni di carne (6 su 17 per la carne bovina e 1 su 4 per la carne suina).

Grafico 3.3.2: Andamento della M.A.R. nel 1999 nei campioni provenienti da un macello del Canavese. Per quattro campioni l'attività del Cs-137 è risultata superiore alla M.A.R. (sul grafico sono riportati in rosso).

3.4. UOVA

Nel 1999 sono state fatte analisi di spettrometria gamma su cinque campioni di uova fresche e in nessun caso l'esito delle misure è stato superiore alla M.A.R. per lo I-131, il Cs-134 e il Cs-137. I valori medi della M.A.R. sono dell'ordine della frazione di Bq/kg per lo I-131 e il Cs-137 (rispettivamente pari a 0,148 e 0,168 Bq/kg), e di 1,034 Bq/kg per il Cs-134. I valori dettagliati per ogni campione sono riportati nella tabella seguente.

Provenienza	I-131	Cs-134	Cs-137
S.Albano Stura	0.198	1.731	0.237
Villar S.costanzo	0.164	0.980	0.176
Liquia Tanaro	0.149	1.549	0.162
Veza d'Alba	0.116	0.233	0.131
S.Rocco Bernezzo	0.113	0.676	0.133

Tabella 3.4.1: Valori di M.A.R. (Bq/kg) nei campioni di uova fresche.

3.5. PESCE

Vengono riportati nelle tabelle seguenti le analisi dei dati gamma sui due campioni di pesce analizzati nel 1999. Sono entrambi campioni di pesce fresco, uno prelevato a Grugliasco (TO) e l'altro prelevato al lago di Viverone. In quest'ultimo campione (scardole) il contenuto di Cs-137 è risultato superiore alla M.A.R., mentre il contenuto di I-131 e di Cs-134 è sempre stato inferiore alla M.A.R. in entrambi i casi.

	I-131	Cs-134	Cs-137
Grugliasco	<0.334	<0.465	<0.591
Viverone (scardole)	<0.063	<0.066	6.375 ($\pm 3,3\%$)

Tabella 3.5.1: Valori di M.A.R. e di attività misurata (Bq/kg) sui campioni di pesce fresco.

3.6. CEREALI E DERIVATI

Nel 1999 sono stati analizzati con la spettrometria gamma 15 campioni di cereali, rispettivamente di grano (tre campioni), grano tenero (quattro campioni), mais (cinque campioni) e riso (tre campioni). I valori di attività dello I-131 e del Cs-134 sono sempre risultati inferiori alla minima attività rivelabile, mentre quelli del Cs-137 sono superiori in un campione di grano tenero e in un campione di mais provenienti entrambi da una cooperativa agricola di Vigone (To). Nella tabella seguente sono riportati i valori medi della M.A.R. per questi tre radionuclidi in ogni matrice. Sono anche stati analizzati due campioni di farina, tre di pasta e uno di pane e in nessun caso i valori misurati sono stati maggiori della minima attività rivelabile.

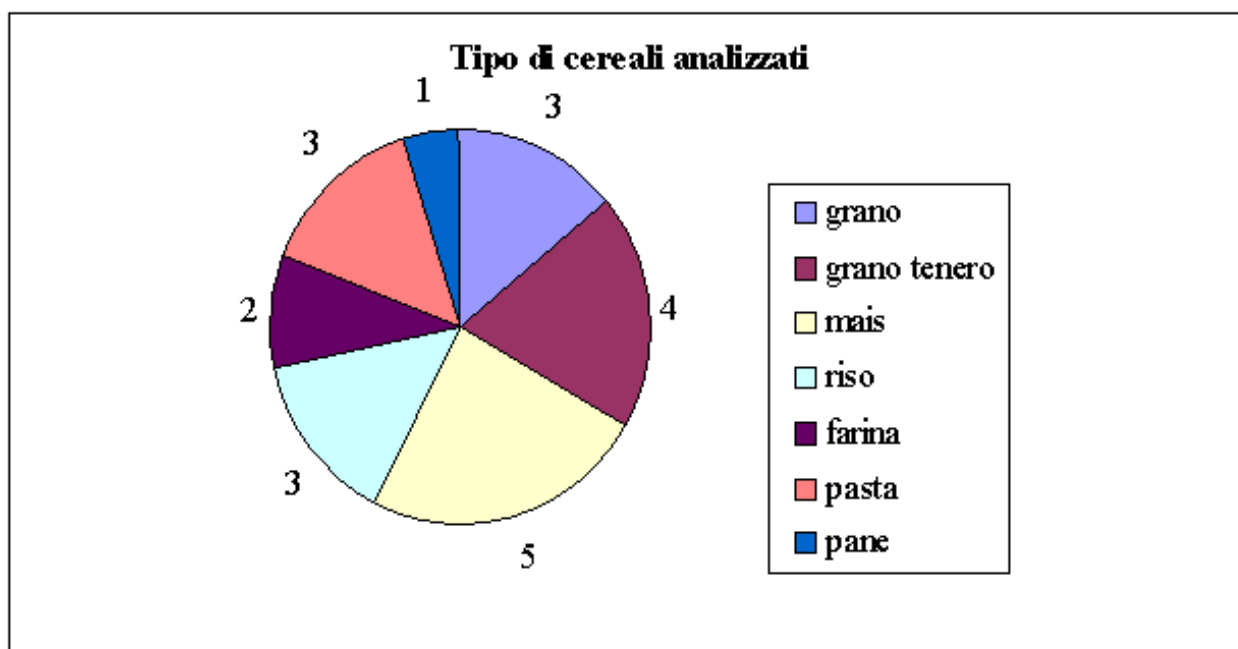


Grafico 3.6.1: Campioni di cereali analizzati nel 1999 suddivisi per tipo.

GRANO

	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	3	3	3
media	0.063	0.322	0.078

GRANO TENERO

	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	4	4	3
media	0.083	0.486	0.111

MAIS

RISO

	I-131	Cs-134	Cs-137		I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	5	5	4		n° dati	3	3
media	0.076	0.431	0.101		media	0.068	0.348

Tabella 3.6.1: Valori di M.A.R. (Bq/kg) nei campioni di cereali.

FARINA

PASTA

	I-131	Cs-134	Cs-137		I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	2	2	2		n° dati	3	3
media	0.147	0.856	0.188		media	0.060	0.234

Tabella 3.6.2: Valori di M.A.R. (Bq/kg) nei campioni dei derivati dei cereali.

	Punto prelievo	Cs-137	errore %
grano tenero	Vigone	0.102	54.3
mais	Vigone	0.153	34.3

Tabella 3.6.3: Valori di attività misurata (Bq/kg) nei campioni di cereali.

3.7. FRUTTA E VERDURA

Nel 1999 sono state eseguite complessivamente 17 analisi di spettrometria gamma, 5 su campioni di frutta e 12 su campioni di verdura. Nel grafico seguente sono riportati più dettagliatamente i tipi di campioni.

Tra i campioni di frutta solo per le castagne è stato registrato un valore di attività superiore alla minima attività rivelabile per il Cs-137, pari a 0,92 Bq/kg. In tutti gli altri casi i valori di attività per lo I-131, il Cs-134 e il Cs-137 sono risultati inferiori alla M.A.R..

Le misure effettuate sui campioni di verdura sono sempre risultate inferiori alla M.A.R. per lo I-131, il Cs-134 e il Cs-137. Il valor medio è stato calcolato sui sette campioni di insalata (anche se presumibilmente erano di tipo diverso) e sui tre campioni di zucchine. In entrambi i casi i valori medi di M.A.R. sono risultati dell'ordine della frazione di Bq/kg.

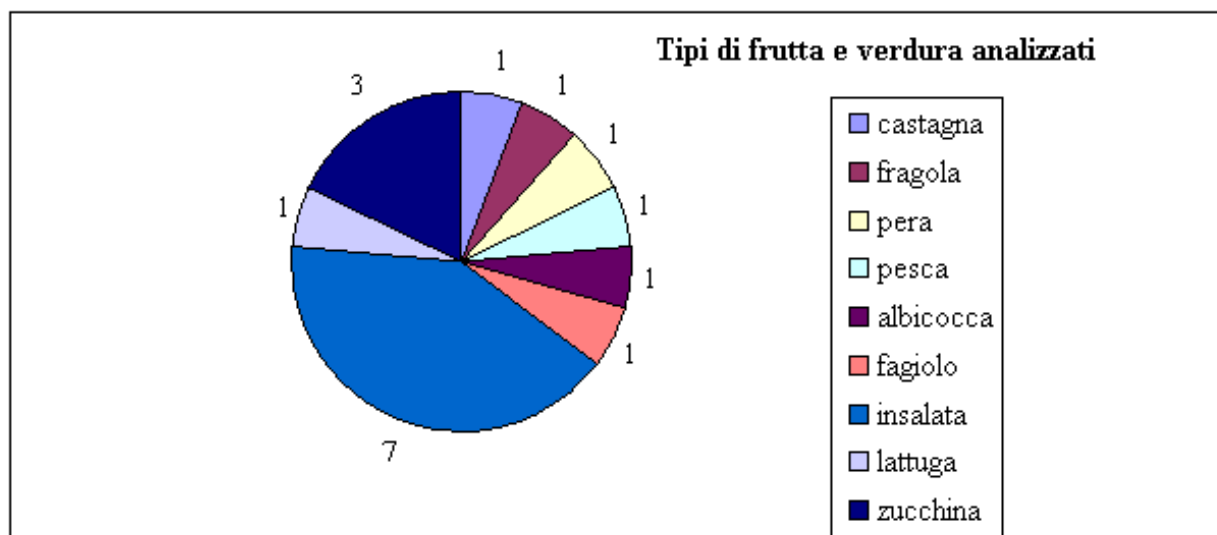


Grafico 3.7.1: Campioni di frutta e verdura analizzati nel 1999 suddivisi per tipo.

INSALATA

	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	7	7	7
media	0.130	0.323	0.157

ZUCCHINE

	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	3	3	3
media	0.110	0.510	0.132

Tabella 3.7.1: Valori di M.A.R. (Bq/kg) nei campioni di verdura.

	Provenienza	Cs-137	errore %
castagna	Boves	0.920	23.9

Tabella 3.7.2: Valori di attività misurata (Bq/kg) nei campioni di frutta.

3.8. OMOGENEIZZATI

Si riportano in questa sezione anche i risultati delle analisi di spettrometria gamma sui due campioni di omogeneizzati per bambini analizzati con spettrometria gamma nel 1999. Difatti, anche se questi prodotti non vengono consumati da tutta la popolazione, sono parte integrante dell'alimentazione dei bambini.

Nei due campioni analizzati l'attività dello I-131, del Cs-134 e del Cs-137 è sempre risultata inferiore alla M.A.R..

	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	2	2	2
media	0.069	0.125	0.086

Tabella 3.8.1: M.A.R. (Bq/kg) nei campioni di omogeneizzati per bambini.

3.9. FUNGHI

I campioni di funghi sottoposti a spettrometria gamma nel 1999 sono stati 17, di cui 11 porcini (*Boletus Edulis*). Nei grafici seguenti vengono riportati la provenienza e il tipo di funghi analizzati. I risultati delle misure sono sempre inferiori alla minima attività rivelabile per lo I-131 e quasi sempre per il Cs-134 (tranne che in 4 campioni). Per il Cs-137 invece solo in un caso il valore misurato è inferiore alla M.A.R..

Il contenuto di Cs-137 è complessivamente superiore a quello delle altre matrici alimentari. Ciò è dovuto al fatto che i funghi, avendo il micelio vicino alla superficie del terreno, assorbono più facilmente i radionuclidi derivanti dalla deposizione atmosferica. Dei radioisotopi provenienti da Chernobyl solo il Cs-137 risulta ancora visibile in quanto ha un tempo di dimezzamento pari a 30 anni. Il Cs-134 (tempo di dimezzamento pari a 2 anni) e soprattutto lo I-131 (tempo di dimezzamento pari a 8 giorni) sono ormai decaduti. In 5 campioni l'attività del Cs-137 è risultata maggiore di 100 Bq/kg, rispettivamente in due campioni di funghi freschi (*Rozites Caperata* e *Tricholoma*) e in tre campioni di porcini secchi. Il fatto di aver misurato valori abbastanza elevati (183 Bq/kg e 384 Bq/kg) in campioni freschi, talvolta anche superiori ai campioni secchi è una ulteriore conferma che alcuni tipi di fungo concentrano maggiormente il radiocesio. La specie *Rozites*, per esempio, era già risultata tra le più contaminate in analisi effettuate nel 1993 (D.Mones, M.Magnoni, F.Saullo, S.Tofani ; 1993). Questa particolarità viene di solito spiegata o dalla maggiore propensione di una certa specie ad assorbire il cesio, oppure, più semplicemente, a una diversa profondità del micelio.

Si può osservare dalla tabella riportata in seguito che il contenuto di Cs-137, sempre maggiore della M.A.R., è

notevolmente inferiore nel prodotto fresco o in salamoia (dell'ordine di qualche Bq/kg) rispetto al prodotto secco. In quest'ultimo caso il valor medio dei 7 campioni risulta di 135,42 Bq/kg. E' necessario però precisare che un valore così elevato deriva dalla presenza di un campione proveniente dalla Bulgaria con un contenuto di 471,27 Bq/kg, che non rispecchia il contenuto medio degli altri campioni. Su questo campione è stata effettuata una seconda misura, che ha fornito una concentrazione di 505,72 Bq/kg. Nonostante questi valori siano molto maggiori di quelli comunemente misurati nelle altre matrici alimentari, non superano tuttavia il limite di 600 Bq/kg stabilito dal Rapporto CEE n° 737/90 in seguito all'incidente nucleare di Chernobyl per i prodotti alimentari diversi dai prodotti lattiero-caseari.

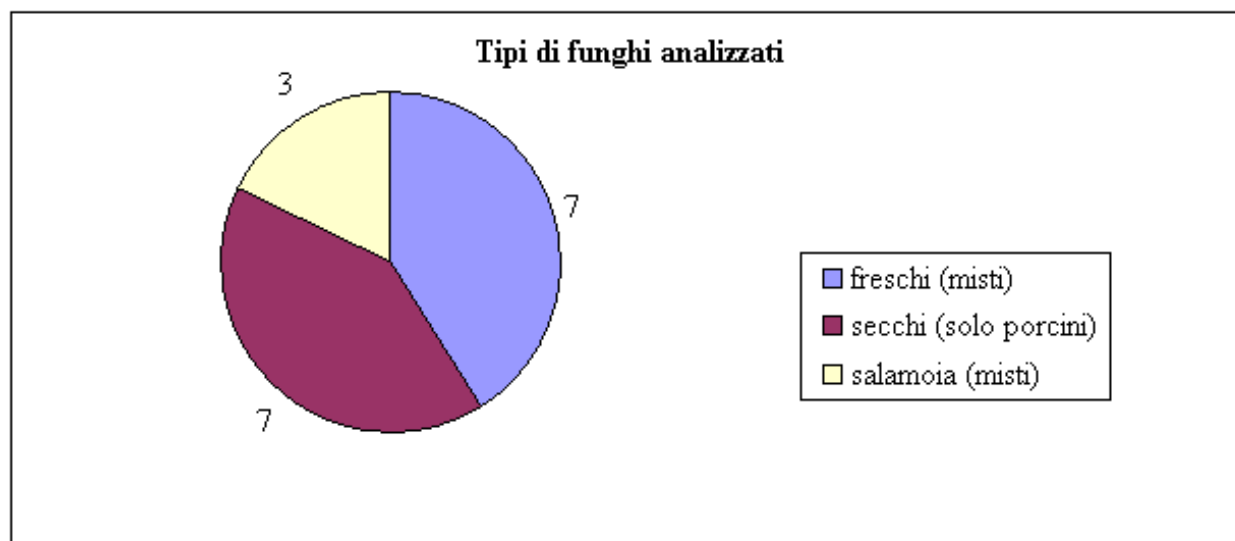


Grafico 3.9.1: Campioni di funghi analizzati nel 1999 suddivisi per tipo di preparazione.

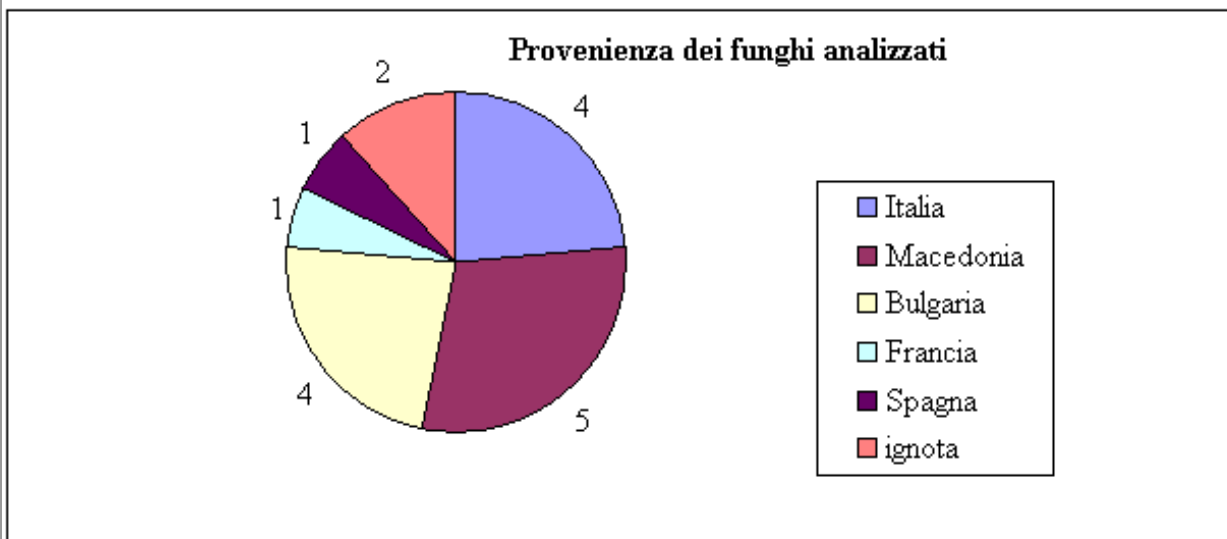


Grafico 3.9.2: Provenienza dei campioni di funghi analizzati nel 1999.

Tipo	Preparazione	Provenienza	I-131	Cs-134	errore %	Cs-137	errore %
Clavaria	Fresco	Italia	<0.273	<0.282		45.056	3.8
Rozites caperata	Fresco	Italia	<0.279	1.911	8.8	383.572	2
Tricholoma	Fresco	Italia	<0.490	1.144	27.5	183.299	2.6
Agaricus	Fresco	Italia	<0.171	<0.541		0.260	58.7
Amanita caesarea	Fresco	Spagna	<0.078	<0.083		<0.104	
Cantharellus cibarius	Salamoia	Macedonia	<0.106	<0.286		0.703	21.3
Porcino	Fresco	Bulgaria	<0.328	<2.063		4.820	19.3
Porcino	Fresco	Francia	<0.238	<0.194		15.656	6.6
Porcino	Salamoia	Macedonia	<0.078	<0.085		4.189	4.9
Porcino	Salamoia	Macedonia	<0.067	<0.065		0.724	12
Porcino	Secco	Macedonia	<0.587	<0.636		80.467	3.7
Porcino	Secco	Macedonia	<0.289	0.613	29.4	119.959	1.5
Porcino	Secco	Bulgaria	<0.992	2.816	23.9	471.265	1.6
Porcino	Secco	Bulgaria	<0.592	<2.006		28.310	6.4
Porcino	Secco	Bulgaria	<0.620	<0.681		117.388	3.1
Porcino	Secco	Ignota	<0.644	<0.722		64.717	4.2
Porcino	Secco	Ignota	<0.304	<0.314		65.837	2.1

Tabella 3.9.1: Valori di M.A.R. e di attività misurata (Bq/kg) nei campioni di funghi.

3.10. MIELE

Nei cinque campioni di miele sottoposti a spettrometria gamma nel 1999, sono stati riscontrati valori di attività superiori alla minima attività rivelabile solo per il Cs-137 in quattro campioni. Per lo I-131 e il Cs-134 invece l'attività è sempre risultata inferiore alla M.A.R.. I valori medi di M.A.R. per lo I-131 e per il Cs-134 sono dell'ordine della frazione di Bq/kg, mentre i valori misurati per il Cs-137 raggiungono pochi Bq/kg. Poiché in pochi campioni di matrici alimentari il contenuto di attività è superiore alla M.A.R., il fatto che 4 campioni su 5 presentino valori misurabili per il Cs-137 conferma che il miele, a più di un decennio dall'incidente di Chernobyl, continua ad essere un buon indicatore della contaminazione ambientale.

MIELE

	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	5	5	1
media	0.089	0.212	0.109

MIELE CASTAGNO

	I-131	Cs-134
n° dati	2	2
media	0.073	0.167

Tabella 3.10.1: Valori di M.A.R. (Bq/kg) nei campioni di miele.

Tipo	Cs-137	errore %
Castagno	2.819	5.2

Castagno	2.983	6.2
Melata	1.001	8.3
Millefiori	0.541	31.4

Tabella 3.10.2: Valori di attività misurata (Bq/kg) nei campioni di miele.

3.11. VINO

I campioni sottoposti a spettrometria gamma nel 1999 sono stati due (dolcetto di Alba e rosso da tavola di Clavesano) e i livelli di attività riscontrati sono sempre inferiori alla minima attività rivelabile che risulta compresa tra 0,1 e 0,2 Bq/l per lo I-131, il Cs-134 e il Cs-137. Siccome anche in tutti i campioni di acqua potabile il contenuto di attività è risultato inferiore alla M.A.R., si può affermare che non ci sia nel vino una concentrazione di attività significativamente superiore all'acqua. In questi campioni, quindi, non ci sono stati fenomeni di accumulo in seguito alla preparazione.

	I-131	Cs-134	Cs-137
n° dati	2	2	2
media	0.113	0.145	0.149

Tabella 3.11.1: Valori di M.A.R. (Bq/l) nei campioni di vino.

3.12. CROSTACEI

Per completezza riportiamo i risultati dell'analisi di spettrometria gamma effettuata nel 1999 su un campione di gamberi di fiume prelevato a Grugliasco (TO). Il contenuto di radioattività è risultato inferiore alla minima attività rivelabile per lo I-131, il Cs-134 e il Cs-137.

I-131	Cs-134	Cs-137
0.358	0.384	0.493

Tabella 3.12.1: Valori di M.A.R. (Bq/kg) nel campione di gamberi di fiume.

ARPA PIEMONTE

Ultima modifica: 18-Oct-2001, sede@arpa.piemonte.it



CAPITOLO 4 : VALUTAZIONI DOSIMETRICHE

4.1. METODO DI CALCOLO

La valutazione della dose alla popolazione discussa in questo capitolo riguarda esclusivamente quella derivante da radioisotopi artificiali. E' stata fatta attraverso il calcolo della dose efficace, che è la grandezza che esprime la dose ricevuta dal corpo intero, data dal contributo pesato delle diverse dosi ai singoli organi o tessuti. Per una stima completa occorre considerare la dose per ingestione, inalazione e irraggiamento ed estendere il calcolo per un periodo di tempo pari ad un anno (dose efficace impegnata) così da poter confrontare i risultati con il limite di 1 mSv/anno (Decreto Legislativo n° 230/95).

In questo lavoro la dose per irraggiamento dal suolo non è stata valutata sulla base di misure effettuate nel corso dell'anno. Occorre sottolineare tuttavia che questo calcolo era già stato svolto nel "Rapporto post-Chernobyl sulla radioattività in Piemonte (1987-1992)", pubblicato dal nostro laboratorio (LSP Sez. Fisica USSL 40 Ivrea ; 1994). Più recentemente è stato eseguito uno studio capillare sui suoli piemontesi (1993-95) che ha condotto alla pubblicazione del già citato lavoro (A. Facchinelli, M. Magnoni ; 1998) sulla contaminazione da Cesio. Poiché dopo Chernobyl non ci sono stati altri eventi che hanno incrementato la contaminazione del suolo, i risultati di questi studi possono essere facilmente estrapolati ad oggi.

Per quanto riguarda l'inalazione bisogna considerare che i valori di concentrazione di attività misurati nel 1999 nel particolato atmosferico sono sempre risultati inferiori alla minima attività rivelabile per tutti i radioisotopi artificiali. Assumendo questi valori come valori misurati di attività si otterrebbero, nel caso peggiore, dosi dell'ordine della frazione di μSv all'anno, un valore senz'altro trascurabile. La formula utilizzata per effettuare queste stime è la seguente:

$$D_{aria}(i) = B \cdot C_a(i) \cdot F_a(i)$$

L'indice i rappresenta il radionuclide, B è il volume medio di aria inalata ($\text{m}^3 \text{y}^{-1}$), $C_a(i)$ è la concentrazione in aria del radionuclide i (Bq m^{-3}) e $F_a(i)$ è il coefficiente di dose per il nuclide i (Sv Bq^{-1}). I coefficienti di dose impiegati sono quelli raccomandati dall'ICRP.

La dose da ingestione di alimenti contaminati è invece stata calcolata in dettaglio a partire dalle misure effettuate nel 1999 su campioni alimentari. La formula utilizzata è la seguente:

$$D_{ing}(i) = \sum_k C_k(i) \cdot I_k \cdot F_{ing}(i)$$

dove l'indice i rappresenta il radionuclide, $C_k(i)$ è la concentrazione del nuclide i -esimo nell'alimento k (Bq g^{-1}), I_k è la quantità di alimento k ingerita nell'intervallo di tempo considerato (Bq y^{-1}) e $F_{ing}(i)$ è il fattore di conversione da attività a dose efficace per il nuclide i -esimo (Sv/Bq). La sommatoria è estesa a tutti gli alimenti della dieta umana contaminati dal nuclide i -esimo.

I valori numerici dei coefficienti di dose, del volume di aria inalato e della quantità di alimenti consumata, necessari al calcolo della dose, sono stati tratti dal "Manuale operativo CEVAD – gennaio 1998", che riporta i coefficienti di dose e i volumi medi di aria inalati raccomandati dall'ICRP e la composizione media della dieta italiana sulla base dei dati ISTAT sui consumi medi delle famiglie.

I calcoli sono stati effettuati per tre gruppi della popolazione suddivisi in base all'età (lattanti, bambini, adulti), in quanto i

fattori di conversione e la dieta sono differenti. La quantità di alimenti consumata in un anno dagli individui appartenenti ai tre gruppi di popolazione è stata tratta dai risultati dei sondaggi ISTAT. La concentrazione di attività $C_k(i)$ è stata assunta costante durante tutto l'anno.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le quantità di alimenti ingerite (INN), i volumi di aria inspirati e i coefficienti di dose (ICRP) e infine i risultati dei calcoli dosimetrici per i lattanti, i bambini e gli adulti.

Lattanti	Bambini	Adulti
2,86	15,3	22,2

Tabella 4.1.1: Volume di aria inalato m³/d (ICRP 66, 1994).

Alimento	Lattanti g/giorno	Bambini g/giorno	Adulti g/giorno
Cereali	50	240	300
Carni bovine	20	55	65
Carni suine	-	30	60
Carni ovine	-	2	3
Pollame	20	30	35
Pesce	20	25	30
Latte	700	250	220
Derivati del latte	10	30	40
Uova	15	25	30
Vegetali a foglia	25	100	150
Altri vegetali	25	250	340
Frutta	50	200	260
Olio	10	40	50
Vino	-	-	250
Acqua potabile	700	1000	1500

Tabella 4.1.2: Quantità di alimenti consumate giornalmente (INN, 1989).

	Lattanti	Bambini	Adulti
ingestione Cs-137 Sv/Bq	2,1E-08	1,0E-08	1,3E-08
inalazione Cs-137 Sv/Bq	1,1E-07	4,8E-08	3,9E-08
ingestione Sr-90 Sv/Bq	2,3E-07	6,0E-08	2,8E-08

Tabella 4.1.3: Coefficienti di dose Sv/Bq per l'ingestione e l'inalazione di Cs-137 e per l'ingestione di Sr-90 (ICRP 67, 1993 ; ICRP 71, 1995).

4.2. DOSE EFFICACE ALLA POPOLAZIONE

La dose efficace media in Piemonte da irraggiamento del suolo era stata stimata in studi precedenti, per il Cs-137, intorno a 110 – 120 μ Sv all'anno (M.Magnoni, A.Facchinelli, L.Gallini, E.Bonifacio, S.Tofani ; 1996). Come è già stato anticipato nel paragrafo precedente questo risultato può ancora essere ritenuto valido.

La dose efficace dovuta all'inalazione di materiale radioattivo sospeso in aria è trascurabile, in quanto risulta, come è già stato detto in precedenza, minore di un μ Sv all'anno.

La dose efficace da ingestione è stata calcolata invece nel modo illustrato nel paragrafo precedente. I calcoli sono stati svolti prendendo in considerazione solo il Cs-137 e, limitatamente al latte, lo Sr-90, in quanto sono gli unici radionuclidi artificiali per cui è stato possibile misurare concentrazioni di attività superiori alla minima attività rivelabile. Per lo Sr-90 sono stati però utilizzati i valori misurati negli anni passati, ritenendo che possano essere considerati ancora validi, in quanto non è stata riscontrata una significativa diminuzione di questo radionuclide nel corso degli anni.

Per alcuni alimenti non sono mai state misurate concentrazioni di attività superiori alla M.A.R. In questi casi i calcoli sono stati svolti ugualmente considerando i valori di M.A.R. del Cs-137 come valori di concentrazione. Per lo I-131, il Cs-134 e

tutti gli altri radionuclidi artificiali, invece, la contaminazione è sempre risultata inferiore alla M.A.R. in tutti i campioni alimentari e quindi non è stato ritenuto necessario effettuare alcuna valutazione dosimetrica. Nella Tabella 3.2.1 sono riportati i risultati dei calcoli espressi in mSv/anno. Sono evidenziate le dosi calcolate con valori misurati di attività, mentre sono state lasciate tal quali le dosi calcolate con i valori di M.A.R.. I calcoli sono stati svolti utilizzando sia il valore medio delle concentrazioni di attività sia il valore massimo, per ottenere una stima più conservativa. Questa operazione ovviamente non è stata fatta quando si aveva a disposizione un solo valore di concentrazione. Per questi alimenti, quindi, il calcolo potrebbe risultare approssimato, in quanto non è detto che l'unico valore a disposizione sia realmente rappresentativo della contaminazione. Quando invece si avevano a disposizione più valori di concentrazione di attività nell'alimento che non sembrava opportuno mediare (per esempio la concentrazione di attività in vari tipi di frutta), i calcoli sono stati svolti utilizzando sempre i valori maggiori, così da avere un risultato conservativo della dose.

Tabella 4.2.1: Dose equivalente efficace al corpo intero per ingestione di alimenti contaminati da Cs-137. Le stime ottenute con valori di attività misurati (> M.A.R.) sono evidenziate in rosso.

DOSE EFFICACE DA INGESTIONE (mSv/anno)

Alimento	Lattanti	Bambini	Adulti
Acqua potabile			
valore medio	3,227 E-4	2,195 E-4	4,281 E-4
valore massimo	6,600 E-4	4,490 E-4	8,755 E-4
Carne bovina			
valore medio	1,310 E-4	1,715 E-4	2,636 E-4
valore massimo	3,630 E-4	4,754 E-4	7,304 E-4
Carne suina	-	0,135 E-4	0,350 E-4
Uova			
valore medio	0,193 E-4	0,153 E-4	0,239 E-4
valore massimo	0,272 E-4	0,216 E-4	0,337 E-4
Pesce	9,773 E-4	5,817 E-4	9,075 E-4
Latte Cs-137 ⁽¹⁾			
valore medio	8,115 E-4	1,380 E-4	1,579 E-4
valore massimo	10,463 E-4	1,779 E-4	2,036 E-4
Latte Sr-90 ⁽¹⁾			
valore medio	65,746 E-4	6,125 E-4	2,516 E-4
valore massimo	116,167 E-4	10,823 E-4	4,445 E-4
Latte in polvere Cs-137 ⁽¹⁾			
valore medio	6,888 E-4	-	-
valore massimo	13,430 E-4	-	-
Formaggio			
valore medio	0,125 E-4	0,178 E-4	0,308 E-4
valore massimo	0,162 E-4	0,232 E-4	0,402 E-4
Cereali ⁽²⁾	0,391 E-4	0,894 E-4	1,452 E-4
Verdura a foglia ⁽³⁾			
valore medio	0,301 E-4	0,573 E-4	1,117 E-4
valore massimo	0,883 E-4	1,682 E-4	3,280 E-4
Altra verdura ⁽³⁾			
valore medio	0,211 E-4	1,004 E-4	1,775 E-4
valore massimo	0,333 E-4	1,588 E-4	2,808 E-4
Frutta ⁽³⁾	0,863 E-4	1,645 E-4	2,780 E-4
Castagne ⁽³⁾	-	0,386 E-4	0,239 E-4

Vino			
valore medio	-	-	1,768 E-4
valore massimo	-	-	2,086 E-4
Funghi porcini ⁽⁴⁾			
valore medio freschi	-	1,024 E-4	2,662 E-4
valore massimo freschi	-	1,566 E-4	4,071 E-4
valore medio secchi	-	13,542 E-4	35,209 E-4
valore massimo secchi	-	47,127 E-4	122,529 E-4
Miele ⁽⁵⁾			
valore medio	0,154 E-4	0,073 E-4	0,095 E-4
valore massimo	0,251 E-4	0,119 E-4	0,155 E-4
Omogeneizzati ⁽⁶⁾			
valore massimo	1,978 E-4	-	-
valore medio	2,327 E-4	-	-
TOTALE			
valori medi	9,200 E-3	3,558 E-3	6,542 E-3
valori massimi	1,550 E-2	8,145 E-3	1,680 E-2

(1) L'attività di Cs-137 utilizzata è stata quella del latte fresco di cascina, in quanto il latte di centrale o quello pastorizzato avevano un contenuto di attività inferiore alla minima attività rivelabile. Per lo Sr-90 i valori utilizzati sono stati i più elevati tra quelli misurati nel latte di centrale e in quello di cascina negli anni passati. La densità del latte è stata considerata unitaria, così da poter utilizzare nelle formule le concentrazioni di attività espresse in Bq/l in vece delle concentrazioni in Bq/kg. Per il latte in polvere è stato utilizzato un fattore di diluizione pari a 1/10.

(2) Il calcolo per i cereali è stato fatto utilizzando la concentrazione di attività misurata del grano tenero, pari a 0,102 Bq/kg, anche se la concentrazione misurata nel mais è risultata maggiore (0,153 Bq/kg), in quanto il consumo di mais è meno rilevante che quello del grano.

(3) Per la verdura a foglia è stata utilizzata la M.A.R. dell'insalata (0,157 Bq/kg), per le altre verdure quella delle zucchine (0,132 Bq/kg). Per il calcolo sulla frutta è stata utilizzata la M.A.R. delle albicocche pari a 0,225 Bq/kg. Per le castagne è stato supposto un consumo di 2 kg all'anno.

(4) Il consumo di funghi è stato assunto pari a 1 kg all'anno per i bambini e 2 kg all'anno per gli adulti. Il calcolo è stato svolto solamente per i funghi porcini in quanto sono gli unici per cui sono state fatte misure su più di un campione. La concentrazione di attività misurata è comunque rappresentativa delle concentrazioni misurate nelle altre specie.

(5) Il consumo di miele è stato assunto pari a 0,4 kg per tutte le classi di età. Questo dato è stato tratto dal rapporto FAO del 1997, contrariamente agli altri dati sui consumi alimentari che sono stati tutti tratti dal Rapporto dell'Istituto Nazionale della Nutrizione del 1989.

(6) Per gli omogeneizzati è stato supposto un consumo di 300 g al giorno.

La dose totale da ingestione risulta molto inferiore al limite di 1mSv/anno stabilito dal Decreto Legislativo n° 230 del 17 marzo 1995. E' stata calcolata sommando i contributi dei vari alimenti in modo conservativo. Per i lattanti ad esempio sono stati utilizzati i valori maggiori del latte, sia che appartenessero al latte fresco o a quello in polvere per quanto riguarda il Cs-137, mentre è stato sommato sempre per tutte le tre categorie di popolazione il contributo dello Sr-90. Per i bambini e gli adulti sono stati considerati solo i contributi dei porcini secchi che sono un ordine di grandezza superiore a quelli dei porcini freschi. Per gli alimenti per i quali non è stato possibile calcolare il contributo medio e quello massimo, ma un unico contributo, questo valore è stato compreso sia nella somma della dose media che in quella della dose massima.

La dose totale risulta quasi sempre dello stesso ordine di grandezza, sia utilizzando i valori medi sia utilizzando quelli massimi, per i tre gruppi della popolazione. Le uniche eccezioni risultano la dose massima per gli adulti e per i lattanti, che sono un ordine di grandezza superiore. Ciò è dovuto al contributo del Cs-137 nei funghi secchi e dello Sr-90 nel latte. Bisogna precisare tuttavia che il valore di concentrazione di attività di Cs-137 nei funghi utilizzato per svolgere i calcoli (471 Bq/kg) è un valore molto superiore a quelli misurati negli altri campioni di porcini secchi. Si è deciso tuttavia di utilizzare comunque questo valore in quanto può essere rappresentativo della concentrazione di attività nei funghi in generale (la concentrazione misurata infatti nella *Rozites caperata* si avvicina ai 400 Bq/kg).

Di seguito è riportata la dose dovuta al Cs-137 calcolata per le diverse vie di esposizione, nonché quella dovuta alla

radioattività naturale (valore medio per il Piemonte).

	Dose efficace mSv / anno
Irraggiamento dal suolo	0,120
Inalazione	$<10^{-4}$
Ingestione	$6,542 \cdot 10^{-3}$
TOTALE	0,127
Radioattività naturale	2 circa

Tabella 4.2.2: Dose efficace dovuta al Cs-137 e alla radioattività naturale in Piemonte (valori medi per la popolazione adulta).

Il valore di dose efficace stimato dovuta al Cs-137, che per la metodologia di calcolo adottata deve essere considerato un valore conservativo, è piuttosto basso se paragonato alla dose media annuale dovuta all'esposizione alla radioattività naturale, che per il Piemonte può essere valutata in media circa 2 mSv/anno.

ARPA PIEMONTE

Ultima modifica: 18-Oct-2001, sede@arpa.piemonte.it



CAPITOLO 5 : ASPETTI RADIOECOLOGICI

In questo capitolo sono raggruppati alcuni approfondimenti effettuati su alcune matrici. In particolare è stato studiato il rapporto tra il Cs-137 e il Cs-134 nei funghi e l'andamento dell'attività nel corso degli anni 1993-99 in alcune matrici, sia ambientali che alimentari.

5.1. RAPPORTO TRA IL Cs-137 E IL Cs-134 NEI FUNGHI

Per i campioni il cui contenuto di Cs-137 e di Cs-134 risulta maggiore della M.A.R. è stata fatta un'analisi del rapporto dell'attività del Cs-137 sul Cs-134. Poiché la provenienza di questi due isotopi è da imputare alla deposizione in seguito all'incidente di Chernobyl nei primi giorni del maggio 1986, è possibile confrontare il valore sperimentale del rapporto con il valore teorico. Quest'ultimo può essere calcolato con la seguente espressione:

$$R(t) = R(0) \cdot \exp(t \cdot \Delta\lambda)$$

Il rapporto $R(0)$ dei due isotopi al momento della deposizione è stato assunto pari a 2, in quanto nella nube radioattiva proveniente da Chernobyl l'attività del Cs-137 era circa il doppio di quella del Cs-134, e $\Delta\lambda = \lambda_{134} - \lambda_{137}$ è la differenza delle costanti di decadimento dei due isotopi.

Nel grafico seguente sono rappresentati i rapporti teorici e i rapporti sperimentali per quattro campioni. L'errore sul rapporto sperimentale è stato ottenuto propagando l'errore sull'attività del Cs-137 e l'errore sull'attività del Cs-134. Come si può osservare i valori sperimentali sono più elevati dei valori teorici con scarti dal 20 al 50% rispetto al valore teorico (vedi Tabella 5.1.1). Inoltre questi scarti risultano quasi sempre più elevati dell'errore sul rapporto sperimentale. Questo fatto si può spiegare ammettendo che non tutto il Cs-137 provenga da Chernobyl, ma che una parte di esso fosse già presente nel terreno in seguito agli esperimenti nucleari degli anni '50-'60. Sulla base di questi dati è dunque possibile calcolare la percentuale di Cs-137 assorbita dal fungo derivante dalle deposizioni pre-Chernobyl (D.Mones, M.Magnoni, F. Saullo, S.Tofani ; 1995). Questi risultati possono essere di un certo interesse per studi sull'ecologia delle specie fungine in quanto la contaminazione pre-Chernobyl si trova a una profondità maggiore.

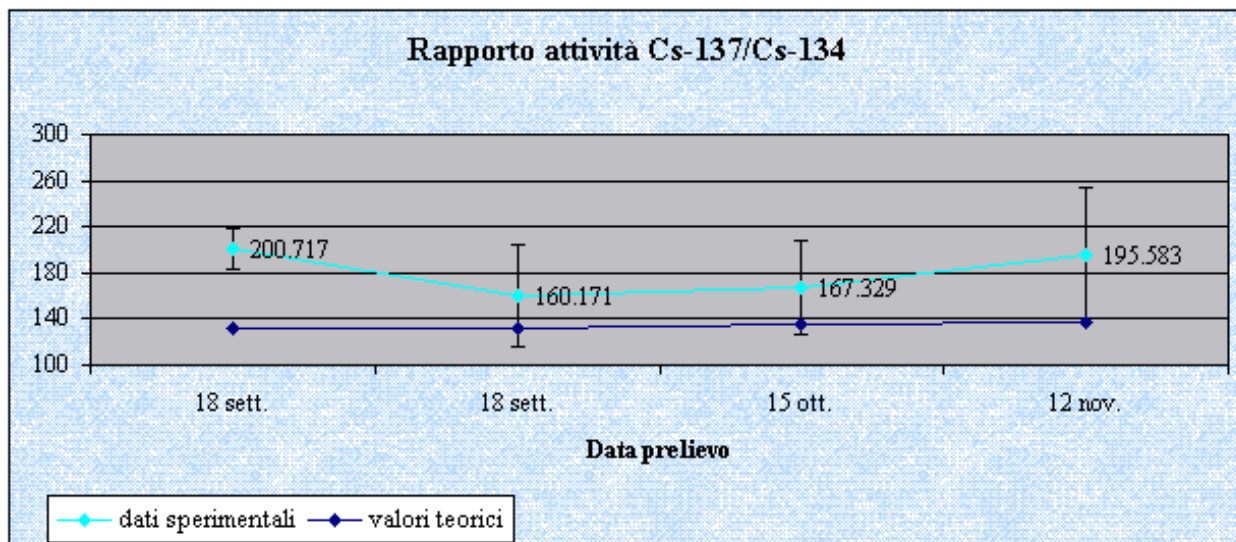


Grafico 5.1.1: Rapporto teorico e sperimentale tra il Cs-137 e il Cs-134 nei campioni di funghi analizzati nel 1999.

$$\text{scarto \%} = \frac{R_{\text{sperimentale}} - R_{\text{teorico}}}{R_{\text{teorico}}} \times 100$$

Data prelievo	Tipo	scarto %	errore %
18 settembre	Rozites caperata	52.231	13.743
18 settembre	Tricholoma	21.375	33.528
15 ottobre	Porcino	23.585	29.604
12 novembre	Porcino	42.243	41.875

Tabella 5.1.1: Scarto tra il rapporto sperimentale e il rapporto teorico tra il Cs-137 e il Cs-134 per ogni singolo campione.

$$\text{Cs-137 pre-Chernobyl \%} = \frac{R_{\text{sperimentale}} - R_{\text{teorico}}}{R_{\text{sperimentale}}} \times 100$$

Data prelievo	Tipo	Cs-137 %
18 settembre	Rozites caperata	34.310
18 settembre	Tricholoma	17.611
15 ottobre	Porcino	19.084
12 novembre	Porcino	29.698

Tabella 5.1.2: Percentuale di Cs-137 nei funghi attribuibile a Cs-137 pre-Chernobyl.

5.2. TEMPO DI DIMEZZAMENTO EFFICACE E AMBIENTALE

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda_{\text{eff}} t}$$

$$\ln C = \ln C_0 - \lambda_{\text{eff}} t$$

Su alcune matrici ambientali e alimentari di cui si avevano a disposizione i risultati delle analisi a partire dal 1993 è stato valutato l'andamento della concentrazione di attività nel corso degli anni. Questa valutazione è stata fatta solamente per il Cs-137, in quanto è l'unico elemento che a distanza di anni dall'incidente di Chernobyl è ancora misurabile. Supponendo una diminuzione esponenziale dell'attività nel corso degli anni, è stato calcolato il coefficiente angolare della retta di interpolazione del logaritmo naturale della concentrazione di attività C in funzione del tempo, espresso in anni. Di seguito sono riportate le formule utilizzate:

C_0 è la concentrazione di attività del Cs-137 nel 1993 e λ_{eff} è una costante empirica di decadimento efficace, espressa in anni^{-1} , che coincide con il coefficiente angolare della retta cambiato di segno. Da essa può essere calcolato un tempo di dimezzamento efficace semplicemente dalla formula:

$$T_{1/2_{\text{eff}}} = \ln 2 / \lambda_{\text{eff}}$$

5.2.1. Deposizione al suolo

Sui dati di attività del Cs-137 nella deposizione atmosferica umida e secca (fallout) prelevata mensilmente presso il nostro Dipartimento è stata fatta la media annuale prima di effettuare le regressioni lineari. Di seguito è riportato il grafico logaritmico dell'attività, il valore del coefficiente angolare e il coefficiente di correlazione.

Cs-137 nella deposizione umida e secca

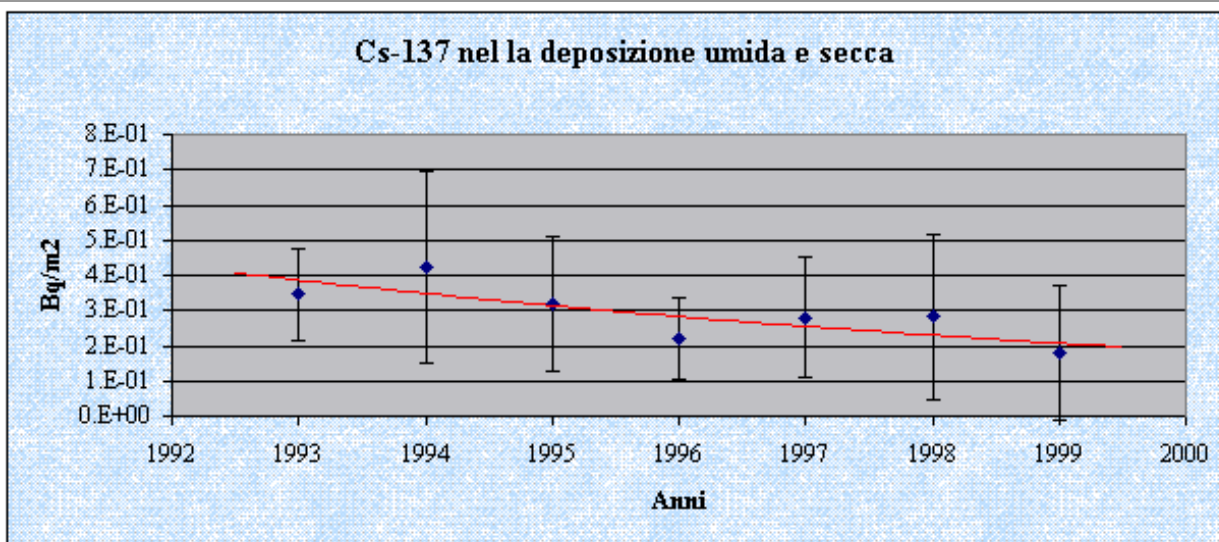
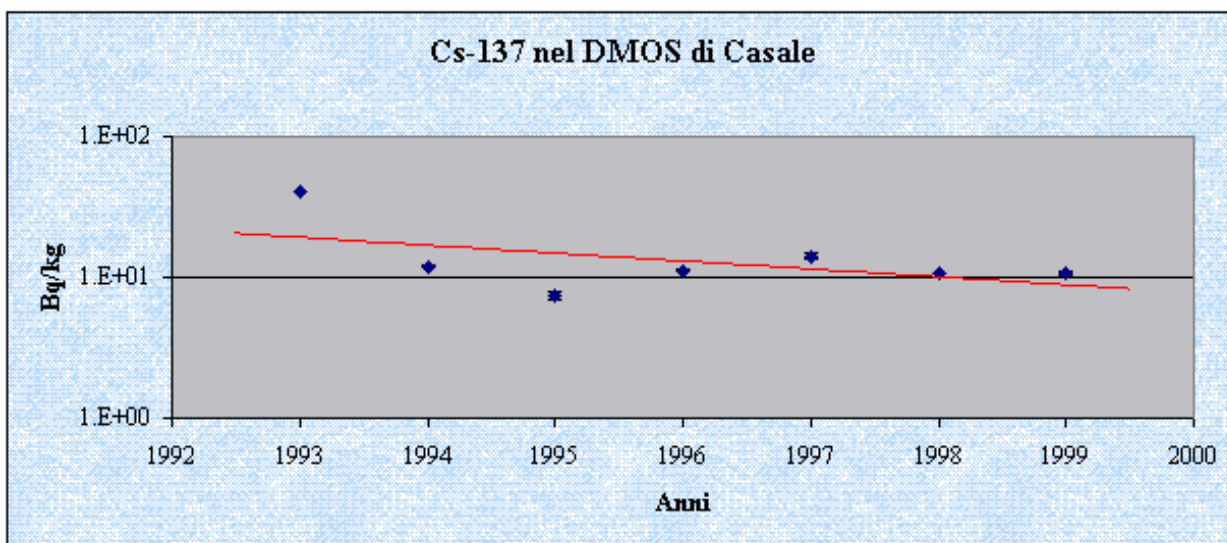


Grafico 5.2.1: Andamento del logaritmo dell'attività del Cs-137 nella deposizione umida e secca (fallout mensile medio).

In questo caso il coefficiente angolare risulta di $-0,104$ con un coefficiente di correlazione di $-0,789$. Da ciò si ricava un tempo di dimezzamento efficace di 6,66 anni.

5.2.2. DMOS

Cs-137 nel DMOS di Casale



L'interpolazione lineare è stata fatta separatamente sui campioni provenienti da Casale e da Verolengo. I dati relativi a uno stesso anno sono stati mediati prima di effettuare la regressione. In entrambi i casi si nota una diminuzione di attività più accentuata nei primi tre anni. Questo fatto potrebbe però derivare da un dato anomalo nel 1995 per entrambi i siti di campionamento, forse dovuto alle particolari condizioni del fiume. I grafici, la pendenza della retta di regressione e il coefficiente di correlazione sono riportati in seguito.

Grafico 5.2.2: Andamento del logaritmo dell'attività del Cs-137 nel DMOS prelevato a Casale.

Il coefficiente angolare della retta risulta di $-0,129$ e il coefficiente di correlazione di $-0,518$ con un tempo di dimezzamento efficace pari a 5,37 anni.

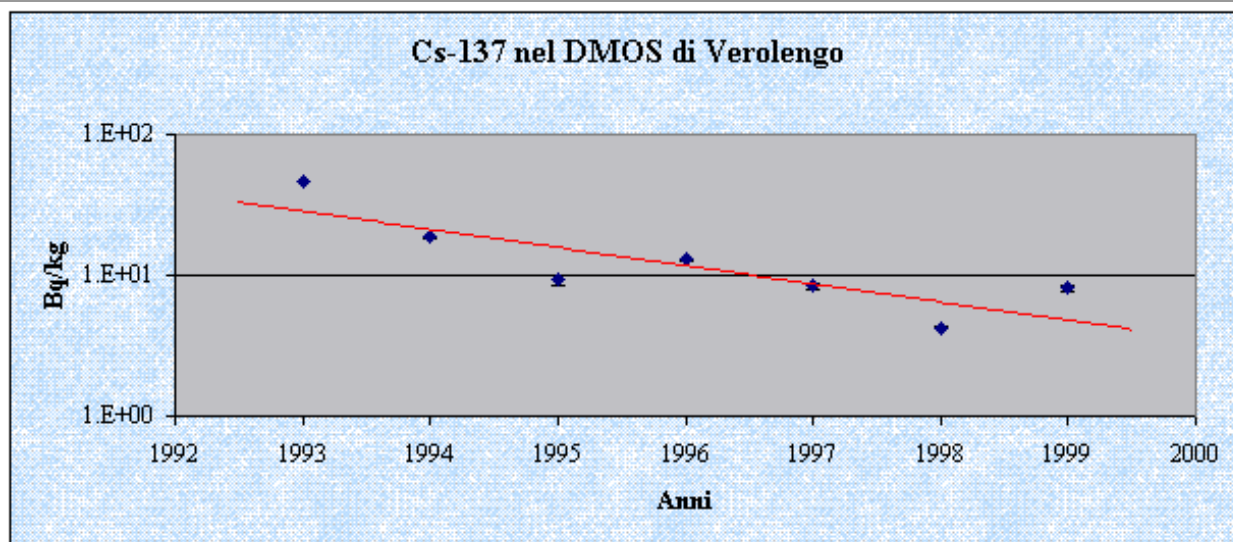


Grafico 5.2.3: Andamento del logaritmo dell'attività del Cs-137 nel DMOS prelevato a Verolengo.

Il coefficiente angolare risulta di $-0,297$ e il coefficiente di correlazione di $-0,844$. Il tempo di dimezzamento efficace è pari a 2,33 anni.

5.2.3. Carne

I dati utilizzati per questa analisi sono quelli della carne bovina proveniente da un macello canavesano. Nei grafici successivi è riportato l'andamento dell'attività nel corso degli anni ed è stato calcolato anche in questo caso un tempo di dimezzamento efficace.

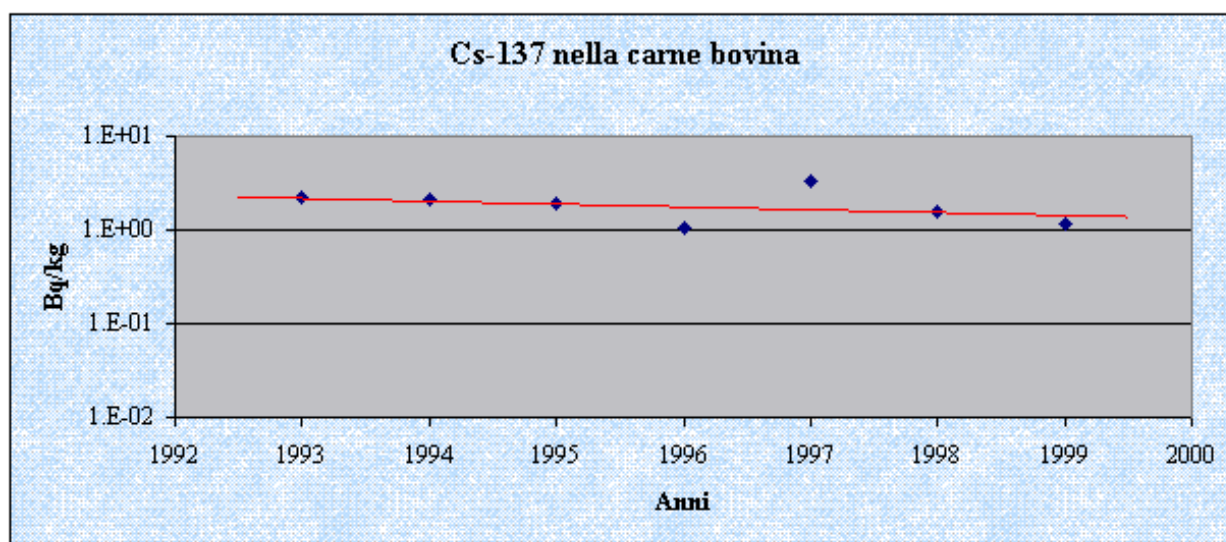


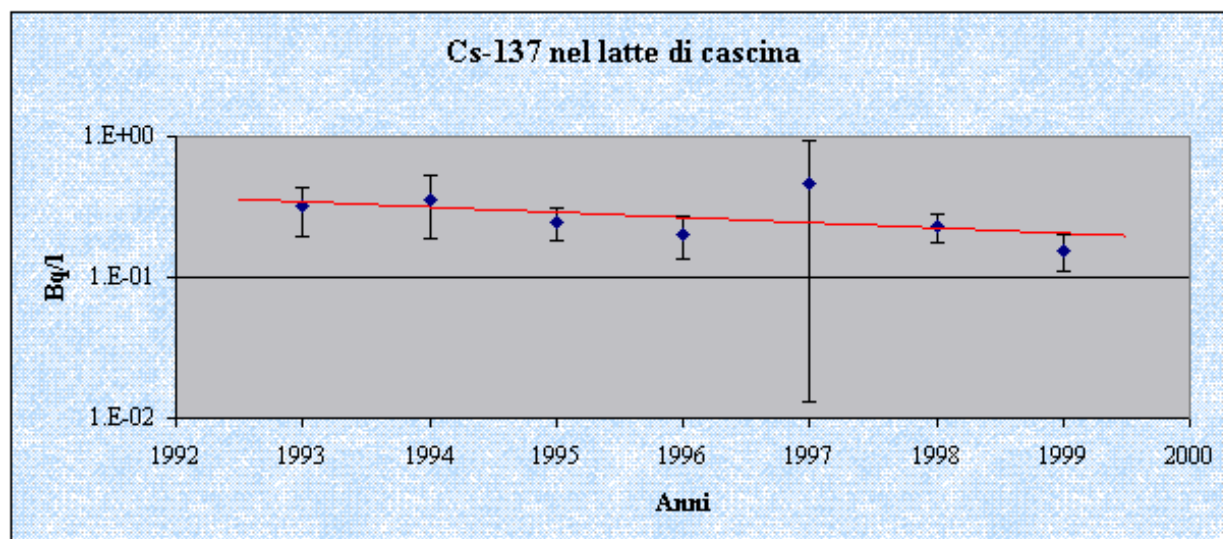
Grafico 2.2.4: Andamento del logaritmo dell'attività del Cs-137 nella carne bovina di un macello canavesano.

Il coefficiente angolare è di $-0,070$ e il coefficiente di correlazione è di $-0,374$ considerando tutti i dati. Il tempo di dimezzamento efficace risulta pari a 9,90 anni. Se invece si esclude il dato relativo al 1997 si ottiene per il coefficiente angolare un valore di $-0,100$ e per il coefficiente di correlazione un valore di $-0,737$. In questo caso il tempo di dimezzamento efficace risulta di 6,93 anni.

5.2.4. Latte

I campioni di latte considerati in questa analisi sono quelli provenienti da due cascine del Canavese (una fino al 1998 e successivamente un'altra). Anche in questo caso i dati di ogni anno sono stati mediati prima di effettuare la regressione lineare. Dal grafico sotto riportato si osserva una tendenza generale alla diminuzione dell'attività nel corso degli anni, anche

se nel 1997 è stato registrato un valore più alto di quello atteso. Questo dato è però affetto da un errore maggiore degli altri, in quanto è stato ottenuto mediando valori con un'elevata dispersione e non si discosta dalla retta di regressione più del margine d'errore.



Bisogna ricordare, inoltre, che i valori di attività sono bassi (è stato difatti necessario scartare i valori inferiori alla minima attività rilevabile, abbastanza abbondanti in alcuni anni) e quindi possono risentire molto di fluttuazioni stagionali.

Grafico 5.2.5: Andamento del logaritmo dell'attività del Cs-137 nel latte di cascina.

Il coefficiente angolare della retta di regressione è di $-0,085$, che corrisponde a un tempo di dimezzamento efficace di 8,15 anni. Il coefficiente di correlazione è di $-0,495$. Escludendo il dato relativo al 1997 (per le stesse ragioni per cui è stato escluso il corrispondente dato sulla carne) si ottiene invece un valore di $-0,114$, che corrisponde a un tempo di dimezzamento efficace di 6,08 anni. Il coefficiente di correlazione risulta in tal caso pari a $-0,878$.

5.2.5. Commento

I dati ottenuti dalle interpolazioni consentono di trarre alcune interessanti conclusioni: i tempi di dimezzamento efficace risultano molto simili tra loro, pur riferendosi a matrici assai diverse. In particolare il tempo di dimezzamento calcolato con i dati della deposizione è pienamente confrontabile con quelli calcolati con i dati della carne e del latte, escludendo da queste due ultime matrici i dati del 1997. Il valore medio di tutti i valori risulta pari a $(6,48 \pm 2,87)$ anni, considerando tutti i dati, e pari a $(5,47 \pm 1,86)$ anni se si esclude il dato del 1997 per carne e latte. Il fatto che tali tempi di dimezzamento siano pressoché gli stessi per matrici molto diverse fra loro, sembra indicare che i meccanismi di rimozione siano i medesimi, o comunque strettamente correlati, anche in compartimenti ambientali differenti. Analoghe considerazioni erano state fatte analizzando i dati tra il 1987 e il 1992 (LSP Sezione Fisica USSL 40 Ivrea ; 1994), derivando in quella occasione tempi di dimezzamento efficaci inferiori a un anno (attorno ai 250 giorni) per pesce e latte. Risulta quindi evidente l'esistenza di una componente a rimozione "veloce", presente nei primi anni dopo l'incidente di Chernobyl e di una più lenta, operante negli anni successivi che agisce in modo pressoché uguale in vari comparti ambientali. Una spiegazione qualitativa di questo fatto può essere ricercata nei complessi meccanismi geochimici cui è sottoposto il Cesio presente nei suoli, comparto in cui è confinato gran parte del Cesio e che, di fatto, tendono col tempo a rendere il Cs-137 sempre meno disponibile nei confronti della biosfera. Questa circostanza, evidente ora a livello globale, è stata già in passato studiata in dettaglio (F.A. Tikhomirov ; 1988).

Possiamo dunque, per analogia con il concetto di "tempo di dimezzamento biologico" introdurre un "tempo di dimezzamento ambientale" $T_{1/2amb}$, che sarà dato dalla seguente espressione:

$$T_{1/2amb} = \frac{T_{1/2eff} \cdot T_{1/2fs}}{T_{1/2fs} - T_{1/2eff}}$$

dove $T_{1/2fis}$ è l'emivita del Cs-137.

Dai dati in nostro possesso si ottiene quindi un valor medio $T_{1/2amb} = 8.26$ anni.

ARPA PIEMONTE

Ultima modifica: 18-Oct-2001, sede@arpa.piemonte.it



CAPITOLO 6 : CONCLUSIONI

A commento conclusivo dei dati presentati in questo rapporto, possiamo dire che il programma di monitoraggio 1999 non ha evidenziato particolari fenomeni di radiocontaminazione su scala regionale.

I radioelementi artificiali riscontrati nelle varie matrici analizzate sono infatti riconducibili perlopiù all'incidente di Chernobyl (Cs-137 e Cs-134) o, in casi molto particolari (DMOS nel Po), a utilizzi di radiofarmaci in campo medico. Deboli tracce di Sr-90 (0,1 Bq/l) sono state riscontrate negli anni passati in alcuni campioni di latte.

In particolare, il monitoraggio giornaliero della radioattività in aria, proseguito regolarmente, non ha evidenziato alcun evento anomalo, come invece era capitato lo scorso anno, con l'incidente radiologico alla fonderia spagnola di Algeciras (giugno 1998).

Conseguentemente, le stime della dose dovuta alla radioattività artificiale presente nell'ambiente sono piuttosto contenute. Valutazioni molto conservative indicano infatti un valore medio di 0.126 mSv/anno, molto distante dal limite di legge previsto dalla vigente normativa (1 mSv/anno, ex D. L.vo 230/95).

Di un certo interesse sono stati infine i risultati ottenuti dallo studio dell'evoluzione temporale della contaminazione nei vari comparti ambientali. I dati raccolti hanno permesso infatti una prima quantificazione dei "tempi di decontaminazione" globali dell'ecosistema piemontese nel suo complesso e potranno fornire lo spunto per ulteriori studi e ricerche.

ARPA PIEMONTE

Ultima modifica: 18-Oct-2001, sede@arpa.piemonte.it



BIBLIOGRAFIA

- L.Guzzi, G.Queirazza “Radioattività nelle componenti radioecologicamente significative del Po “ Acqua e Aria n° 7 (1987).
- A.Facchinelli, M.Magnoni “Radioattività ambientale e radiocontaminazione dei suoli piemontesi – Ricerca condotta negli anni 1993-95” Regione Piemonte – Assessorato all’ambiente (maggio 1998).
- D.Mones , M.Magnoni, F.Saullo, S.Tofani “La radioattività nei funghi eduli della Valsesia” L’Igiene Moderna 104 (1995).
- Regolamento CEE n° 737/90 del Consiglio del 22 Marzo 1990 relativo alle condizioni di importazione di prodotti agricoli originari dei paesi terzi a seguito dell’incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl.
- Decreto Legislativo n° 230/95 “Attuazione delle direttive Euratom 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti”.
- Laboratorio di Sanità Pubblica – Sezione Fisica – USSL n° 40 – Ivrea “Rapporto post-Chernobyl (1987-1992) sulla radioattività in Piemonte” (1994).
- Centro di Elaborazione e VALutazione Dati “Manuale operativo – luglio 1990 – rev. gennaio 1998”.
- ICRP 66 “Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection” (1994).
- ICRP 67 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients” (1993).
- ICRP 71 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4. Inhalation Dose Coefficients” (1995).
- Istituto Nazionale della Nutrizione “LARN, Livelli di Assunzione Giornalieri Raccomandati di Energia e Nutrienti per la popolazione Italiana. Revisione 1986-87” (1989).
- ISTAT “Annuario Statistico Italiano” (1988).
- ISTAT “Annuario Statistico Italiano” (1989).
- M.Magnoni, A.Facchinelli, L.Gallini, E.Bonifacio, S.Tofani “La contaminazione da radiocesio nei suoli del Piemonte: sue caratteristiche e valutazioni dosimetriche” Atti del Convegno “10 anni da Chernobyl: Ricerche in Radioecologia, monitoraggio Ambientale e Radioprotezione” Trieste, 4-6 marzo 1996.
- F.A.Tikhomirov “Long-Lived Man-Made Radionuclides in the Soil-Plant System” M.W.Carter – Radionuclides in the Food Chain (1988).