



## Dipartimento Provinciale di Vercelli

### Area Tematica Agenti Fisici, Laboratorio Strumentale Misure Fisiche

Dott.sa Laura Porzio, Dott. Luca Albertone, Roberta Olivetti, Antonio Iacono, Luca Toffolo.

# MONITORAGGIO RADIOLOGICO AMBIENTALE DEL SITO NUCLEARE DI TRINO VERCELLESE

Aggiornamento 2003

## INDICE

1. Premessa	p. 2
2. Descrizione del sito	2
3. Il monitoraggio ambientale	2
4. Concentrazioni di riferimento	6
5. Metodologia di misura	15
6. Risultati delle misure	16
7. Valutazioni conclusive	25
8. Glossario	25

## **1. PREMESSA**

Questa relazione viene redatta a conclusione del monitoraggio radiologico ambientale condotto nell'anno 2003, così come previsto dal contratto stipulato con la Provincia di Vercelli.

Per completezza di informazione e per agevolare il quadro temporale dello stato radiologico del sito in essa sono riassunti i dati delle misure a partire dall'anno 2000.

## **2. DESCRIZIONE DEL SITO**

La Centrale Nucleare "E. Fermi" è un impianto di tipo PWR con potenza elettrica lorda di 272 Mwe. La sua costruzione iniziò nel gennaio 1961 e quattro anni dopo, nel gennaio 1965, iniziò il servizio commerciale. In seguito al referendum popolare del novembre 1987, che vide la vittoria degli antinuclearisti, subì un primo arresto di funzionamento e nel luglio 1990 fu emesso il provvedimento di chiusura definitiva.

Attualmente si trova nello stato di custodia protettiva passiva e sono iniziate le operazioni che porteranno al definitivo smantellamento dell'impianto.

## **3. IL MONITORAGGIO AMBIENTALE**

Ciascun esercente di un'attività che comporta l'utilizzo di sostanze radioattive può scaricare nell'ambiente, in normali condizioni di esercizio, quantità di radionuclidi che soddisfino la "formula di scarico" che gli è stata assegnata dall'autorità competente (limite autorizzativo).

Il rispetto delle formule di scarico, sia per quanto riguarda gli effluenti liquidi che quelli aeriformi, garantisce il non superamento dei limiti di dose fissati per la popolazione dalla legislazione vigente. Infatti la sua formulazione presuppone un accurato studio radioecologico del sito interessato dagli scarichi che porta all'individuazione delle vie di trasferimento della radioattività alla popolazione ed al conseguente calcolo della "ricettività ambientale". Un adeguato monitoraggio ambientale consente di tenere sotto controllo lo stato radiologico del sito interessato e di individuare tempestivamente eventuali anomalie.

Le matrici ambientali e alimentari considerate come indicatori locali sulla scorta dello studio radioecologico effettuato sono indicate nella tabella seguente, insieme alla frequenza minima di campionamento; nella cartina sono riportati i principali punti di campionamento.

Tutti i prelievi sono effettuati secondo precise modalità di campionamento in modo da garantire la significatività e la riproducibilità dei valori misurati.

<b>Frequenza di campionamento</b>	<b>Matrici</b>
Annuale	Pesce
Semestrale	Suoli, sedimenti, ortaggi, acqua di fiume
Trimestrale	Acqua di acquedotto, acqua di falda superficiale, latte
Stagionale	Riso, mais e rispettivi suoli
Mensile	Fall out
Giornaliera	Particolato atmosferico

In merito alle matrici ed ai punti di prelievo individuati si possono formulare le seguenti considerazioni:

- l'acqua dell' acquedotto, oltre ad essere distribuita ad un'utenza molto vasta, consente di controllare la eventuale contaminazione della falda profonda;
- l'acqua di pozzo consente di controllare la contaminazione della falda superficiale;
- le matrici alimentari (latte, ortaggi, pesce e riso), oltre a fornire un indice del grado di diffusione della contaminazione nell'ambiente, consentono di calcolare il contributo alla dose per gli individui della popolazione in seguito all'ingestione di cibi eventualmente contaminati;
- i suoli prelevati intorno all'impianto consentono di controllare la contaminazione conseguente il rilascio sia degli effluenti liquidi che aeriformi;
- l'acqua superficiale del fiume Po e i sedimenti consentono di verificare eventuali fenomeni di accumulo;
- il fall out (deposizione al suolo), raccolto con cadenza mensile presso la sede del Dipartimento di Vercelli, consente di effettuare una stima della quantità di radioattività che, presente nell'aria a causa di eventi incidentali, ricade al suolo sia per deposizione secca che umida (precipitazioni);

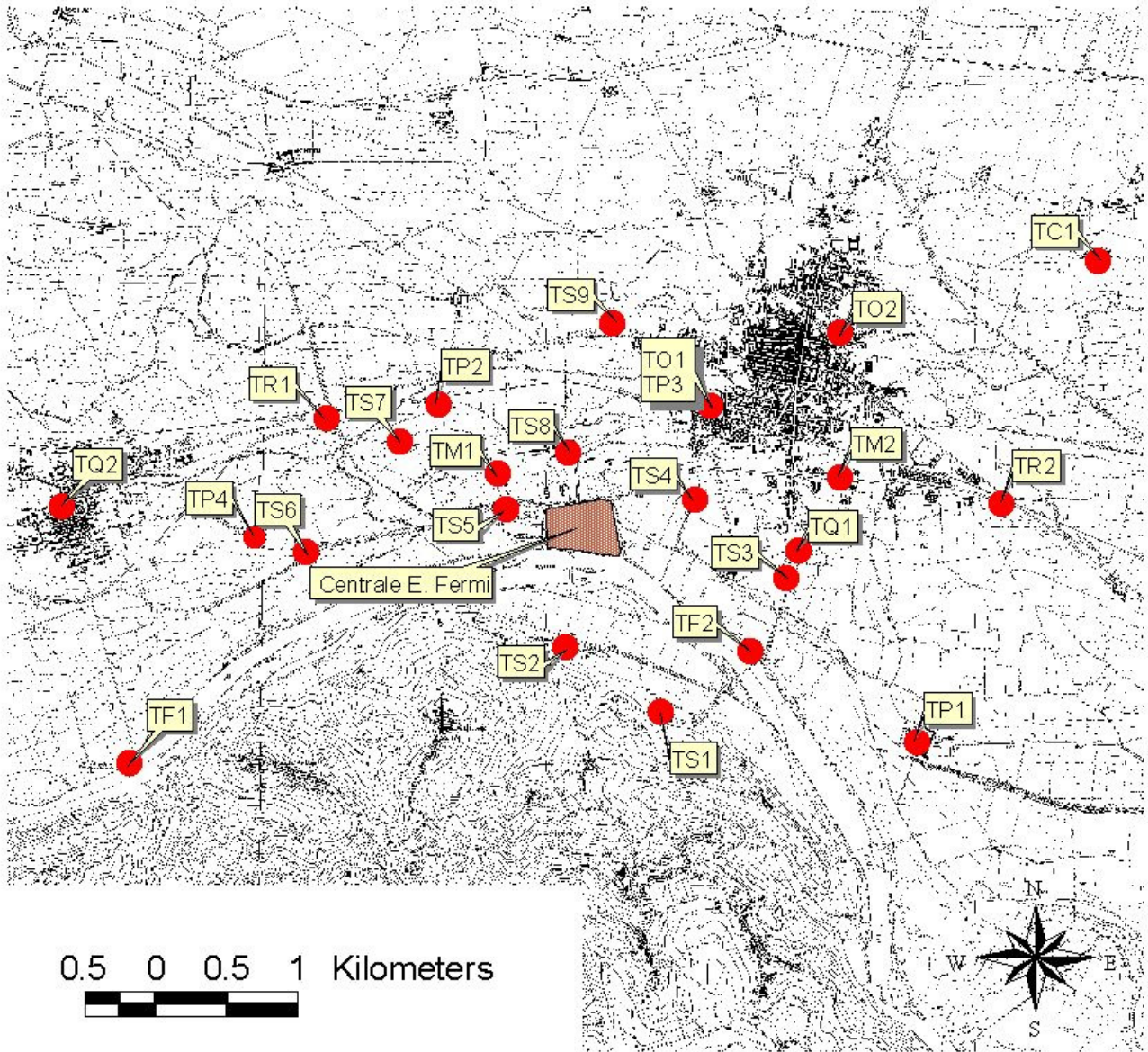
- il particolato atmosferico, aspirato in continuo presso la sede Dipartimento di Vercelli, fornisce indicazioni sul grado di contaminazione dell'aria e consente di dare in tempo quasi reale l'allarme in merito a rilasci in atmosfera conseguenti ad incidenti radiologici in corso.

Su tutti i campioni viene eseguita una misura di spettrometria gamma per la determinazione qualitativa e quantitativa dei radionuclidi gamma emittenti presenti nella matrice considerata; su alcuni campioni significativi viene inoltre eseguita la determinazione dello Sr-90.

In aggiunta a quanto riportato in tabella nel corso degli anni 2002 e 2003 sono state effettuate indagini sui materiali provenienti dalla demolizione dell'edificio diesel e delle torri di raffreddamento prima del loro smaltimento come rifiuti convenzionali.

Nella tabella e nella figura seguenti sono riportati tutti i punti di prelievo.

<b>Codice punto</b>	<b>UTMX</b>	<b>UTMY</b>	<b>Matrice</b>	<b>Codice punto</b>	<b>UTMX</b>	<b>UTMY</b>	<b>Matrice</b>
TO1	444203	5004676	ortaggi	TS7	442033	5004430	suolo
TO2	445110	5005188	ortaggi	TS8	443210	5004354	suolo
TC1	446918	5005690	latte	TS9	443523	5005260	suolo
TP1	445653	5002325	acqua di pozzo	TR1	441520	5004591	suolo di risaia
TP2	442307	5004693	acqua di pozzo	TR1	441520	5004591	riso
TP3	444203	5004676	acqua di pozzo	TR2	446241	5003992	suolo di risaia
TP4	441000	5003784	acqua di pozzo	TR2	446241	5003992	riso
TQ1	444820	5003664	acqua di rete	TM1	442716	5004210	suolo campo mais
TQ2	439670	5003975	acqua di rete	TM1	442716	5004210	mais
TS1	443861	5002536	suolo	TM2	445110	5004177	suolo campo mais
TS2	443191	5002987	suolo	TM2	445110	5004177	mais
TS3	444739	5003469	suolo	TF1	440148	5002180	acqua di fiume
TS4	444098	5004028	suolo	TF1	440148	5002180	limo
TS5	442776	5003955	suolo	TF2	444479	5002960	acqua di fiume
TS5	442776	5003955	erba	TF2	444479	5002960	limo
TS6	441382	5003661	suolo	TF2	444479	5002960	limo



#### 4. CONCENTRAZIONI DI RIFERIMENTO

Il Decreto Legislativo 230/1995 e s.m.i. - "Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti" - costituisce il riferimento normativo per la protezione della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti.

La grandezza fisica su cui vengono posti dei valori limite è l'equivalente di dose efficace  $E$ , dato dalla somma delle dosi efficaci ricevute per esposizione esterna e impegnate per inalazione o per ingestione a seguito dell'introduzione di radionuclidi verificatesi nel periodo di riferimento:

$$E = E_{est} + \sum_j h(g)_{j,ing} J_{j,ing} + \sum_j h(g)_{j,ina} J_{j,ina}$$

dove  $E_{est}$  è la dose efficace derivante da esposizione esterna [Sv];

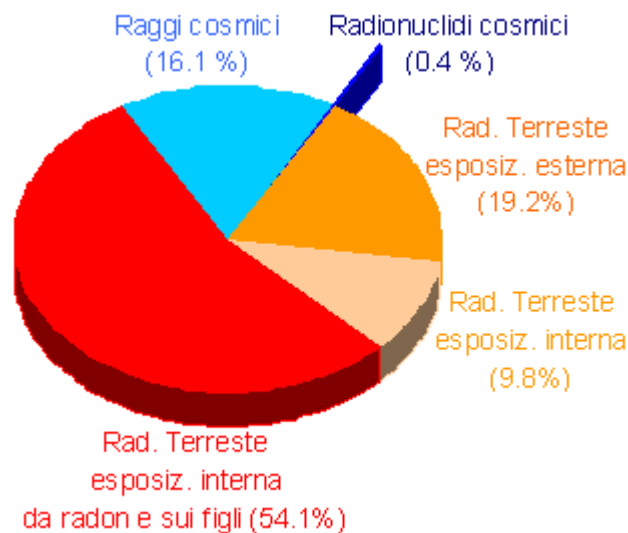
$h(g)_{j,ing}$  e  $h(g)_{j,ina}$  rappresentano la dose efficace impegnata per unità di introduzione del radionuclide  $j$  [Sv/Bq] rispettivamente ingerito o inalato da un individuo appartenente al gruppo di età  $g$  pertinente ( $\leq 1$  anno, 1-2 anni, 2-7 anni, 7-12 anni, 12-17 anni, >17 anni) - tabelle IV-4 e IV-3 all. IV D. Leg. 241/2000;

$J_{j,ing}$  e  $J_{j,ina}$  rappresentano rispettivamente l'introduzione tramite ingestione o tramite inalazione del radionuclide  $j$  [Bq];

la somma è estesa a tutti i radionuclidi con esclusione di quelli naturalmente presenti nel corpo umano e nella crosta terrestre non perturbata; è altresì escluso il contributo della radiazione cosmica, così come l'esposizione per scopi medici (diagnostici o terapeutici).

Il limite di dose efficace  $E$  per gli individui della popolazione è stabilito in 1 mSv per anno solare.

Il contributo dovuto al fondo naturale di radiazioni è pari in media a 2,4 mSv/anno, con la distribuzione riportata nel grafico seguente.



Inoltre è fissato in 10  $\mu\text{Sv}$  per anno solare il limite per la non rilevanza radiologica di una qualsiasi pratica: al di sotto di tale soglia si possono ritenere del tutto trascurabili gli impatti di tipo radiologico.

I limiti fissati dalla normativa non sono direttamente confrontabili con i risultati analitici, che forniscono dei valori di concentrazione in attività per la contaminazione da radionuclidi di una matrice data, dal momento che si tratta di grandezze fisiche di natura diversa:

- la dose efficace  $E$  [Sv] è la quantificazione del rischio dovuto all'esposizione a radiazioni ionizzanti;
- la concentrazione di un radionuclide in una matrice [Bq/kg] è un dato "grezzo", che può essere considerato soltanto come un punto di partenza per la valutazione della dose efficace, e quindi del rischio.

La stima della dose efficace deve necessariamente tenere conto di tutte le possibili vie di esposizione – *vie critiche* – per tutti gli individui della popolazione potenzialmente coinvolti – *gruppo critico*. Soltanto uno studio radioecologico dedicato alla pratica in esame e all'ambiente, umano e naturale, nel quale tale pratica viene svolta può permettere di valutare correttamente la dose efficace, cioè il rischio, attraverso la conoscenza dei dati di contaminazione di matrici ambientali e alimentari – che rappresentano la caratterizzazione dello stato radiologico del sito oggetto d'indagine.

A tal fine, conoscendo le specifiche dell'impianto, è possibile formulare le seguenti ipotesi:

- gli effluenti liquidi e gassosi, immessi nell'ambiente secondo le rispettive formule di scarico, sono responsabili della eventuale contaminazione delle matrici ambientali: acqua superficiale, sedimenti fluviali, suolo, acqua di falda, particolato atmosferico; possono inoltre essere responsabili in maniera diretta della contaminazione delle matrici alimentari (ad esempio attraverso la deposizione al suolo della contaminazione presente in aria)
- la contaminazione delle matrici ambientali può trasferirsi alle matrici alimentari di produzione locale: pesce, latte, riso, ortaggi; può trasferirsi all'acqua potabile distribuita dagli acquedotti.

Le matrici ambientali contaminate sono responsabili della dose da esposizione esterna e da inalazione, mentre le matrici alimentari contaminate sono responsabili della dose da ingestione. Utilizzando opportune ipotesi è possibile determinare delle concentrazioni di riferimento, da confrontare con i valori misurati, in modo da disporre di un efficace strumento di valutazione: tali concentrazioni di riferimento non costituiscono dei limiti di legge ma dei valori operativi di confronto, validi esclusivamente nell'ambito delle assunzioni fatte. I radionuclidi riportati sono stati scelti in funzione della radiotossicità e dell'inventario di radioattività dell'impianto.

#### *Dose da esposizione esterna*

Per la valutazione della dose da esposizione esterna si consideri la contaminazione uniforme del suolo da parte del radionuclide  $j$ : utilizzando i coefficienti di dose adeguati (EPA-402-R-93-081) è possibile ricavare delle concentrazioni di riferimento per la contaminazione del suolo [Bq/kg] che comportano il raggiungimento del limite di dose efficace di 1 mSv/anno.

<b>Concentrazioni di riferimento <math>R_j</math>, in Bq/kg</b> <b><math>E_{limite} = 1 \text{ mSv/anno}</math></b>	
	<b>Suolo</b>
<i>g</i>	tutte
Cs-134	3,9E+05
Cs-137	1,0E+06
Co-60	2,3E+05

Nel caso in cui si dovesse riscontrare la contaminazione del suolo da parte del solo radionuclide  $j$  dovrà essere rispettata, per tutte le classi di età  $g$ , la condizione:

$$C_j < R_j$$

dove  $C_j$  è la concentrazione misurata e  $R_j$  è la concentrazione di riferimento.

Se si dovesse riscontrare la contaminazione da parte di radionuclidi diversi dovrà essere verificata la condizione:

$$\sum_j \frac{C_j}{R_j} < 1$$

la sommatoria è estesa a tutti i radionuclidi contaminanti  $j$ . In questo modo per una miscela di contaminanti le concentrazioni che soddisfano la relazione precedente saranno sempre sistematicamente inferiori alle concentrazioni di riferimento  $R_j$ .

Inoltre, per il criterio di non rilevanza radiologica –  $E_{non\ rilevanza} = 10 \mu\text{Sv/anno}$  – le concentrazioni di riferimento corrispondono alle precedenti divise per un fattore 100:

$$R_{non\ rilevanza,j} = \frac{1}{100} R_j$$

La sensibilità analitica delle misure effettuate è tale da garantire delle MAR – Minime Attività Rivelabili – sempre inferiori alle concentrazioni di riferimento per la non rilevanza radiologica. Di conseguenza se la contaminazione del suolo da parte di un radionuclide risulta inferiore alla MAR è automaticamente garantita la non rilevanza radiologica.

In realtà, dal momento che la contaminazione del suolo può trasferirsi ad altre matrici ambientali e soprattutto alle matrici alimentari la sensibilità analitica è tale da garantire delle MAR decisamente inferiori ai valori proposti sopra con lo scopo di evidenziare tempestivamente eventuali contaminazioni della catena alimentare.

### *Dose da ingestione*

Per la valutazione della dose da ingestione è necessario formulare ulteriori ipotesi:

- gli individui della popolazione residente nel raggio di 10 km dall'impianto consumano alimenti esclusivamente di produzione locale;

- la dieta media di un individuo tipo è ben rappresentata dalla tabella seguente (elaborazione dati ISTAT 1991):

Consumi medi giornalieri g/giorno			
g	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni
latte	700	250	220
riso o mais	30	160	200
pesce	20	80	100
ortaggi	50	350	500
acqua potabile	2000	4000	6000

Le ipotesi sui consumi medi giornalieri sono estremamente cautelative, dal momento che si esclude la possibilità che qualsiasi individuo consumi alimenti di produzione non locale: sono esclusi pane, pasta e carne, sicuramente fondamentali nella dieta; è poco credibile che il pesce pescato nel fiume Po possa venire consumato in tali quantità; inoltre nel consumo di acqua potabile è incluso l'utilizzo in cucina. Utilizzando queste ipotesi è possibile determinare delle concentrazioni di riferimento, da confrontare con i valori misurati.

Se si considera la contaminazione di una sola matrice alimentare  $m$  da parte di un solo radionuclide  $j$  si possono ricavare delle concentrazioni di riferimento [Bq/kg] che comportano il raggiungimento del limite di dose efficace di 1 mSv/anno per gli individui del gruppo critico. Compiono le concentrazioni di riferimento per tutti gli alimenti che compongono la dieta tipo.

Concentrazioni di riferimento $R(g)_{j,m}$ in Bq/kg $E_{limite} = 1\text{mSv/anno}$									
g	Latte			Riso, mais			Pesce		
	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni
Cs-134	1,5E+02	7,8E+02	6,6E+02	3,5E+03	1,2E+03	7,2E+02	5,3E+03	2,4E+03	1,4E+03
Cs-137	1,9E+02	1,1E+03	9,6E+02	4,3E+03	1,7E+03	1,1E+03	6,5E+03	3,4E+03	2,1E+03
Co-60	7,2E+01	1,0E+03	3,7E+03	1,7E+03	1,6E+03	4,0E+03	2,5E+03	3,1E+03	8,1E+03
Sr-90	1,7E+01	1,8E+02	4,4E+02	4,0E+02	2,9E+02	4,9E+02	6,0E+02	5,7E+02	9,8E+02
I-131	2,2E+01	2,1E+02	5,7E+02	5,1E+02	3,3E+02	6,2E+02	7,6E+02	6,6E+02	1,2E+03

Concentrazioni di riferimento $R(g)_{j,m}$ in Bq/kg $E_{limite} = 1 \text{ mSv/anno}$						
$g$	Ortaggi			Acqua potabile		
	$\leq 1$ anno	7-12 anni	$> 17$ anni	$\leq 1$ anno	7-12 anni	$> 17$ anni
Cs-134	2,1E+03	5,6E+02	2,9E+02	5,3E+01	4,9E+01	2,4E+01
Cs-137	2,6E+03	7,8E+02	4,2E+02	6,5E+01	6,8E+01	3,5E+01
Co-60	1,0E+03	7,1E+02	1,6E+03	2,5E+01	6,2E+01	1,3E+02
Sr-90	2,4E+02	1,3E+02	2,0E+02	6,0E+00	1,1E+01	1,6E+01
I-131	3,0E+02	1,5E+02	2,5E+02	7,6E+00	1,3E+01	2,1E+01

Nel caso in cui si dovesse riscontrare la contaminazione della sola matrice alimentare  $m$  da parte del solo radionuclide  $j$  dovrà essere rispettata, per ogni classe di età  $g$ , la condizione:

$$C_{j,m} < R(g)_{j,m}$$

dove  $C_{j,m}$  è la concentrazione misurata e  $R(g)_{j,m}$  è la concentrazione di riferimento per la classe di età pertinente.

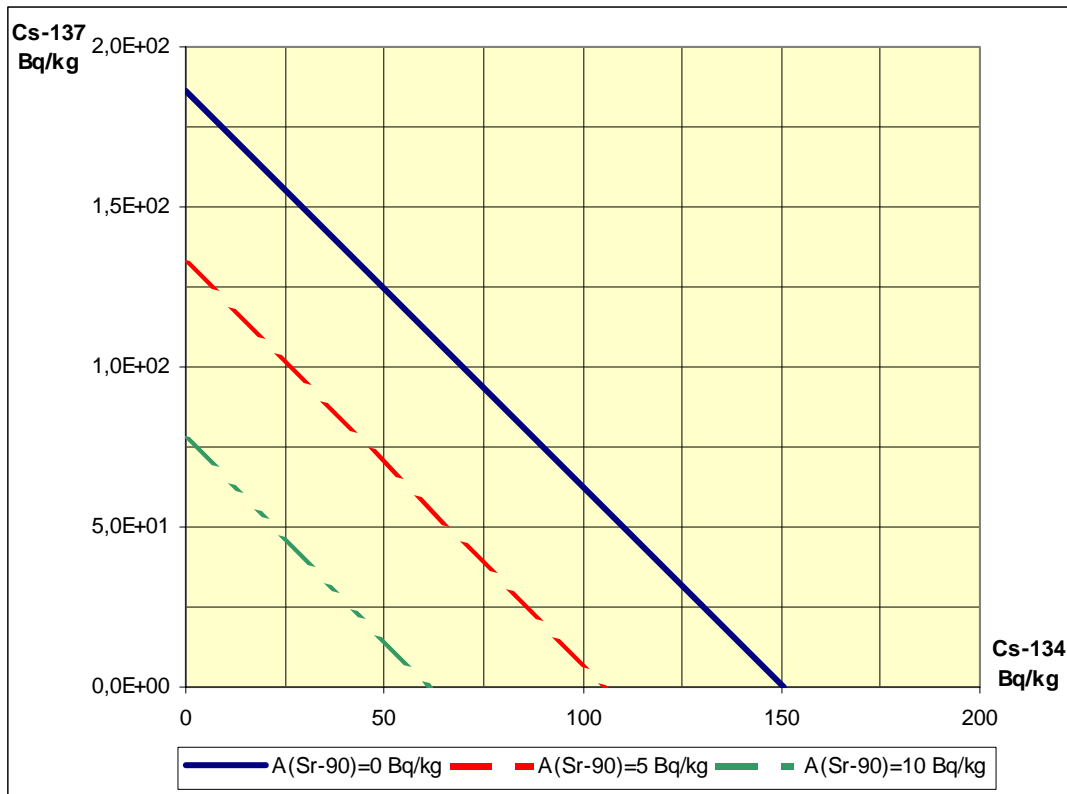
Se si dovesse riscontrare la contaminazione di diverse matrici alimentari da parte di radionuclidi diversi dovrà essere verificata la condizione, sempre per ogni classe di età:

$$\sum_{j,m} \frac{C_{j,m}}{R(g)_{j,m}} < 1$$

la sommatoria è estesa a tutte le matrici contaminate  $m$  e a tutti i radionuclidi contaminanti  $j$ . In questo modo per una miscela di contaminanti le concentrazioni che soddisfano la relazione precedente saranno sempre sistematicamente inferiori alle concentrazioni di riferimento  $R(g)_{j,m}$ . Ad esempio, se consideriamo la contaminazione del latte per la classe di età  $g \leq 1$  anno da parte di Cs-134, Cs-137 e Sr-90 – mentre per tutti gli altri radionuclidi le concentrazioni risultano inferiori alle rispettive MAR – la relazione da rispettare diventa:

$$\frac{C_{Cs-134, latte}}{R(\leq 1 \text{ anno})_{Cs-134, latte}} + \frac{C_{Cs-137, latte}}{R(\leq 1 \text{ anno})_{Cs-137, latte}} + \frac{C_{Sr-90, latte}}{R(\leq 1 \text{ anno})_{Sr-90, latte}} < 1$$

In particolare, se la contaminazione da Sr-90 assume i valori 0, 5, 10 Bq/kg si ottiene la relazione rappresentata graficamente nel seguito:



oppure, note le concentrazioni di Cs-134 e Cs-137 è possibile ricavare il valore di riferimento per Sr-90; ad esempio:

$$\begin{cases} C_{Cs-134, latte} = 10 \text{ Bq/kg} \\ C_{Cs-137, latte} = 100 \text{ Bq/kg} \end{cases} \Rightarrow C_{Sr-90, latte} < 8,9 \text{ Bq/kg}$$

Inoltre, per il criterio di non rilevanza radiologica –  $E_{non\ rilevanza} = 10 \mu\text{Sv/anno}$  – le concentrazioni di riferimento corrispondono alle precedenti divise per un fattore 100:

$$R(g)_{non\ rilevanza, j, m} = \frac{1}{100} R(g)_{j, m}$$

La sensibilità analitica delle misure effettuate è tale da garantire delle MAR – Minime Attività Rivelabili – sempre inferiori alle concentrazioni di riferimento per la non rilevanza radiologica. Di conseguenza se la contaminazione di una matrice alimentare da parte di un radionuclide risulta inferiore alla MAR è automaticamente garantita la non rilevanza radiologica.

E' inoltre necessario ricordare che in seguito all'incidente alla centrale nucleare di Chernobyl del 1986 il Consiglio delle Comunità Europee ha intrapreso delle misure di cautela al fine di prevenire eventuali conseguenze sulla salute umana a causa di tale incidente.

In particolare il Regolamento CEE n. 737/1990, tuttora in vigore, fissa il valore limite di concentrazione per la somma delle attività di Cs-134 e Cs-137 in:

- 370 Bq/kg per i prodotti lattiero-caseari e i prodotti destinati all'alimentazione dei lattanti nei primi quattro-sei mesi di vita;
- 600 Bq/kg per tutti gli altri prodotti destinati all'alimentazione umana.

#### *Dose da inalazione*

Assumendo le seguenti ipotesi per quanto riguarda il volume d'aria inalato in un anno (ICRP 66,1994):

<b>Volumi medi inalati m<sup>3</sup>/anno</b>			
<i>g</i>	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni
Volume	1044	5585	8103

ed utilizzando i coefficienti  $h(g)_{j,ina}$  appropriati (modalità di assorbimento più svantaggiosa) è possibile determinare delle concentrazioni di riferimento  $R(g)_j$  in [Bq/m<sup>3</sup>] per la contaminazione del particolato atmosferico che comportano il raggiungimento del limite di dose efficace di 1 mSv/anno, da confrontare con i valori misurati.

<b>Concentrazioni di riferimento <math>R(g)_j</math> in Bq/m<sup>3</sup> <math>E_{limite} = 1\text{mSv/anno}</math></b>			
<b>Particolato atmosferico</b>			
<i>g</i>	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni
Cs-134	1,4E+01	6,4E+00	6,2E+00
Cs-137	8,7E+00	3,7E+00	3,2E+00
I-131	1,3E+01	9,4E+00	1,7E+01

Nel caso in cui si dovesse riscontrare la contaminazione del particolato atmosferico da parte del solo radionuclide  $j$  dovrà essere rispettata, per ogni classe di età  $g$ , la condizione:

$$C_j < R(g)_j$$

dove  $C_j$  è la concentrazione misurata e  $R(g)_j$  è la concentrazione di riferimento per la classe di età pertinente.

Se si dovesse riscontrare la contaminazione da parte di radionuclidi diversi dovrà essere verificata la condizione, sempre per ogni classe di età:

$$\sum_j \frac{C_j}{R(g)_j} < 1$$

la sommatoria è estesa a tutti i radionuclidi contaminanti  $j$ . In questo modo per una miscela di contaminanti le concentrazioni che soddisfano la relazione precedente saranno sempre sistematicamente inferiori alle concentrazioni di riferimento  $R(g)_j$ .

Inoltre, per il criterio di non rilevanza radiologica –  $E_{non\ rilevanza} = 10\ \mu\text{Sv}/\text{anno}$  – le concentrazioni di riferimento corrispondono alle precedenti divise per un fattore 100:

$$R(g)_{non\ rilevanza,j} = \frac{1}{100} R(g)_j$$

La sensibilità analitica delle misure effettuate è tale da garantire delle MAR – Minime Attività Rivelabili – sempre inferiori alle concentrazioni di riferimento per la non rilevanza radiologica. Di conseguenza se la contaminazione del particolato atmosferico da parte di un radionuclide risulta inferiore alla MAR è automaticamente garantita la non rilevanza radiologica.

In realtà, la sensibilità analitica per le misure di particolato atmosferico è tale da garantire delle MAR decisamente inferiori ai valori proposti sopra allo scopo di evidenziare tempestivamente qualsiasi evento anomalo: la contaminazione dell'aria è il primo "campanello di allarme" di un'emergenza radiologica.

Considerando i contributi alla dose efficace da esposizione esterna, da ingestione e da inalazione da parte di diversi contaminanti e in diverse matrici alimentari la relazione che garantisce il non raggiungimento del valore  $E_{limite} = 1\ \text{mSv}/\text{anno}$  è:

$$\sum_j \frac{C_j}{R_j} \Big|_{E \text{ esterna}} + \sum_{j,m} \frac{C_{j,m}}{R(g)_{j,m}} \Big|_{E \text{ ingestione}} + \sum_{j,m} \frac{C_j}{R(g)_j} \Big|_{E \text{ inalazione}} < 1$$

dove il significato dei simboli è lo stesso riportato precedentemente.

## 5. METODOLOGIA DI MISURA

Le metodologie di analisi utilizzate sono state scelte per permettere la determinazione quantitativa dei radionuclidi artificiali maggiormente rilevanti dal punto di vista radioprotezionistico rispetto alla natura dell'impianto oggetto del monitoraggio.

I risultati delle analisi sono espressi come concentrazioni di attività per il singolo radionuclide riferite alla massa, al volume o alla superficie della matrice considerata (Bq/kg, Bq/l, Bq/m<sup>3</sup> e Bq/m<sup>2</sup> rispettivamente). La sensibilità della misura viene indicata dalla M.A.R. (Minima Attività Rivelabile): tale grandezza rappresenta la minima quantità di radioattività che l'apparato analitico è in grado di rivelare. Nel caso in cui non si riveli contaminazione da parte di un certo radionuclide verrà comunque considerata la M.A.R. come limite superiore per la concentrazione del radionuclide stesso (nelle tabelle si vedrà il simbolo <).

Particolare attenzione viene posta, attraverso adeguate procedure, alla riferibilità e ripetibilità del dato: ad esempio le concentrazioni di contaminanti dei suoli sono sempre riferite al peso secco, in modo da risultare indipendenti dalla quantità di acqua presente al momento del prelievo. Gli alimenti vengono trattati come per il consumo, privandoli delle parti non eduli, e le concentrazioni sono riferite al peso fresco.

Su tutti i campioni viene eseguita una misura di spettrometria gamma per la determinazione qualitativa e quantitativa dei radionuclidi presenti nella matrice considerata: tale analisi permette la determinazione simultanea di un gran numero di radionuclidi, sia artificiali che naturali, ed in particolare permette di individuare con elevatissima sensibilità la presenza dei radioisotopi Cs-134, Cs-137 – che sono i principali prodotti di fissione – e Co-60 – che è il principale prodotto di attivazione, con utilizzi anche in campo medico (cobaltoterapia). Su alcuni campioni significativi viene inoltre eseguita la determinazione dello Sr-90 attraverso metodi radiochimici.

## 6. I RISULTATI DELLE MISURE

Nelle tabelle seguenti sono riportati:

- i valori massimi annuali di contaminazione delle matrici ambientali e alimentari descritte nel piano di monitoraggio riferiti al periodo 2000-2002;
- i valori di contaminazione delle matrici ambientali e alimentari descritte nel piano di monitoraggio riferiti all'anno 2003.

In particolare il periodo considerato comprende l'evento alluvionale del 15-16 ottobre 2000 per evidenziare come tale evento, dal punto di vista radiologico, non abbia avuto alcun impatto sull'ambiente e sulla popolazione. Lo stato radiologico dell'ambiente per gli anni precedenti è ben rappresentato dai valori riportati per l'anno 2000.

### Suolo

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 nello strato superficiale (0-5 cm) dei suoli prelevati nel raggio di 2 km dalla centrale E. Fermi. E' presente contaminazione da Cs-137 del tutto imputabile all'incidente di Chernobyl e confrontabile con le concentrazioni comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Suolo (raggio di 1 km)	2000	<2,1E-01	9,0E+00 14%	<2,0E-01
	2001	<3,9E-01	2,1E+01 12%	<2,9E-01
	2002	<1,8E-01	1,1E+01 12%	<1,2E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Suolo	25/03/2003	TS1	1,3E-01 30%	1,5E+02 5%	<6,9E-02
	05/03/2003	TS2	<3,2E-01	1,6E+01 4%	<4,3E-01
	27/03/2003	TS3	<3,9E-01	1,4E+01 4%	<4,3E-01
	25/03/2003	TS4	<4,2E-01	1,9E+01 4%	<5,5E-01
	24/01/2003	TS5	<2,4E-01	1,0E+01 11%	<3,0E-01
	25/03/2003	TS6	<2,1E-01	1,2E+01 8%	<2,2E-01
	25/03/2003	TS7	<3,6E-01	4,4E+01 5%	<1,1E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
	25/03/2003	TS8	<4,3E-01	2,5E+01 4%	<5,5E-01
	25/03/2003	TS9	<2,7E-01	2,1E+01 7%	<2,6E-01
	07/05/2003	TS5	<3,3E-01	1,1E+01 8%	<2,9E-01
	23/12/2003	TS1	<4,2E-01	1,4E+02 4%	<1,4E-01
	06/10/2003	TS2	<3,1E-01	8,5E+00 7%	<2,8E-01
	07/10/2003	TS3	<2,9E-01	1,8E+01 6%	<4,0E-01
	06/10/2003	TS4	<3,0E-01	1,2E+01 6%	<2,1E-01
	23/10/2003	TS5	<2,8E-01	1,5E+01 6%	<3,0E-01
	23/10/2003	TS6	<3,0E-01	3,7E+01 4%	<2,1E-01
	23/10/2003	TS7	<3,8E-01	5,0E+01 4%	<1,8E-01
	09/10/2003	TS8	<3,2E-01	1,3E+01 6%	<4,3E-01
	09/10/2003	TS9	<3,3E-01	1,8E+01 5%	<2,3E-01

### Acqua superficiale e sedimenti fluviali

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nell'acqua superficiale del Po prelevata a monte (TF1) e a valle (TF2) della centrale E. Fermi. E' presente occasionalmente contaminazione da Cs-137 con concentrazioni confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ
Acqua fiume Po a monte	2000	-	-	-
	2001	<2,0E-03	<3,2E-03	<1,9E-03
	2002	<6,4E-04	2,6E-04 67%	<4,9E-04

- Campione non disponibile

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ
Acqua fiume Po a valle	2000	<9,2E-04	<9,6E-04	<8,1E-04
	2001	<2,8E-03	<2,6E-03	<2,3E-03
	2002	<1,9E-04	<2,8E-04	<2,0E-04

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ
Acqua fiume Po a monte	27/01/2003	TF1	<3,2E-04	<3,0E-04	<2,9E-04
	19/03/2003	TF1	<4,5E-04	<7,5E-04	<5,7E-04
	03/12/2003	TF1	<1,9E-04	1,6E-04 47%	<1,2E-04

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ
Acqua fiume Po a valle	27/01/2003	TF2	<4,1E-04	<4,9E-04	<4,2E-04
	20/03/2003	TF2	<2,8E-04	<3,8E-04	<3,5E-04
	11/11/2003	TF2	<1,6E-04	1,8E-03 22%	<1,4E-04

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nei sedimenti fluviali del Po prelevati a monte (TF1) e a valle (TF2) della centrale E. Fermi. E' presente contaminazione da Cs-137 con concentrazioni confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione. Nel punto a valle (TF2) è occasionalmente riscontrabile un incremento della concentrazione di Cs-137 unitamente a tracce di Co-60 in occasione degli scarichi di effluenti radioattivi liquidi da parte dell'impianto; non si evidenziano comunque situazioni di accumulo.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Sedimenti a monte	2000	<3,4E-01	1,4E+01	<2,0E-02
	2001	<2,9E-01	9,7E+00	<2,5E-01
	2002	<3,2E-01	1,6E+01	<1,6E-01

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Sedimenti a valle	2000	<2,0E-01	3,2E+01	<6,1E-01
	2001	<1,4E-01	4,2E+00	<2,1E-01
	2002	<3,4E-01	1,8E+01	<3,3E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Sedimenti a monte	19/03/2003	TF1	<3,0E-01	2,1E+01 15%	<3,4E-01
	19/11/2003	TF1	<3,7E-01	2,3E+01 16%	<1,7E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Sedimenti a valle	20/03/2003	TF2	<2,4E-01	3,5E+00 10%	<2,1E-01
	27/03/2003	TF2	<2,4E-01	4,5E+00 10%	<2,1E-01
	07/11/2003	TF2	<3,2E-01	2,9E+01 5%	1,4E+00 24%
	07/11/2003	TF2	<2,5E-01	5,6E+00 9%	<2,2E-01

### Acqua di pozzo

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nell'acqua di pozzo prelevata nei punti TP1, TP3 e TP4 (dal 2004 il punto TP4 verrà sostituito dal punto TP2). I valori sono tutti inferiori alle M.A.R. ad eccezione di alcuni dati relativi a contaminazione da Cs-137 sporadicamente osservati, imputabili all'incidente di Chernobyl e confrontabili con quelli comunemente riscontrabili in questa matrice.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/l $2\sigma$	Cs-137 Bq/l $2\sigma$	Co-60 Bq/l $2\sigma$
Acqua di pozzo	2000	<5,1E-03	<6,0E-03	<5,0E-03
	2001	<2,0E-03	<3,0E-03	<3,0E-03
	2002	<5,3E-03	<7,0E-03	<5,0E-03

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l $2\sigma$	Cs-137 Bq/l $2\sigma$	Co-60 Bq/l $2\sigma$
Acqua di pozzo	27/02/2003	TP1	<4,0E-03	<2,1E-03	<2,2E-03
	27/02/2003	TP4	<9,5E-04	<1,1E-03	<9,8E-04
	07/05/2003	TP1	<2,7E-03	<2,8E-03	<1,6E-03
	07/05/2003	TP3	<2,8E-03	<2,2E-03	<2,2E-03
	07/05/2003	TP4	<2,5E-03	<2,3E-03	<2,2E-03
	14/08/2003	TP1	<8,2E-04	<2,8E-03	<8,0E-04
	07/11/2003	TP3	<3,0E-03	6,4E-0351%	<2,1E-03
	10/11/2003	TP1	<1,4E-03	7,0E-0324%	<1,8E-03

### Acqua potabile di rete

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nell'acqua potabile distribuita dall'acquedotto di Trino V.se (punto TQ1) e da quello di Palazzolo (punto TQ2). I valori sono tutti inferiori alle M.A.R.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/l $2\sigma$	Cs-137 Bq/l $2\sigma$	Co-60 Bq/l $2\sigma$
Acqua potabile di rete	2000	<6,6E-03	<7,9E-03	<7,2E-03
	2001	<2,1E-03	<2,4E-03	<2,1E-03
	2002	<5,7E-03	<7,5E-03	<6,0E-03

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l $2\sigma$	Cs-137 Bq/l $2\sigma$	Co-60 Bq/l $2\sigma$
Acqua potabile di rete	27/02/2003	TQ1	<3,2E-03	<1,1E-03	<1,1E-03
	27/02/2003	TQ2	<1,9E-03	<2,1E-03	<2,3E-03
	07/05/2003	TQ1	<2,9E-03	<2,7E-03	<2,4E-03
	07/05/2003	TQ2	<2,3E-03	<2,2E-03	<2,8E-03
	14/08/2003	TQ1	<2,8E-03	<2,5E-03	<1,8E-03
	14/08/2003	TQ2	<2,1E-03	<2,6E-03	<3,2E-03
	10/11/2003	TQ1	<1,7E-03	<2,6E-03	<2,4E-03
	10/11/2003	TQ2	<2,3E-03	<3,2E-03	<1,6E-03

### Latte bovino crudo

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Sr-90 nel latte bovino crudo prelevato presso la cascina TC1 di Trino. E' presente una lieve contaminazione da Sr-90 del tutto comparabile con quelle comunemente riscontrabili per questa matrice in altre zone della provincia e della regione – conseguenza delle esplosioni nucleari in atmosfera degli anni '50 e '60.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/l $2\sigma$	Cs-137 Bq/l $2\sigma$	Sr-90 Bq/l $2\sigma$
Latte crudo	2000	-	-	-
	2001	<1,7E-01	<2,7E-01	2,8E-0226%
	2002	<1,9E-01	<2,5E-01	3,7E-0221%

- Campione non disponibile

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l $2\sigma$	Cs-137 Bq/l $2\sigma$	Sr-90 Bq/l $2\sigma$
Latte crudo	27/02/2003	TC1	<6,4E-02	<1,0E-01	*
	18/06/2003	TC1	<2,4E-01	<2,8E-01	
	10/11/2003	TC1	<7,0E-02	<6,9E-02	

\* analisi in corso

Assumendo un consumo giornaliero di 700 g/giorno di latte per un neonato (età inferiore ad 1 anno) ed utilizzando i corretti coefficiente di dose (tabella IV-4 all. IV D.Leg. 241/2000) si avrebbe un contributo alla dose efficace da ingestione pari a 2,2E-03 mSv/anno – considerando il valore di contaminazione da Sr-90 più alto per l'intero periodo considerato – nettamente inferiore al limite fissato dalla normativa di 1 mSv/anno per gli individui della popolazione.

### *Ortaggi e cereali*

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 negli ortaggi prelevati presso gli orti TO1 e TO2 di Trino. I valori sono tutti inferiori alle M.A.R.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Ortaggi	2000	<6,9E-01	<1,9E-01	<3,0E-01
	2001	<3,3E-01	<4,4E-01	<2,8E-01
	2002	<3,2E-01	<3,7E-01	<2,0E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Ortaggi	07/05/2003	TO1	<8,5E-01	<1,1E+00	<5,8E-01
	07/05/2003	TO1	<1,4E-01	<6,2E-02	<1,1E-01
	07/05/2003	TO1	<1,9E-01	<2,2E-01	<2,5E-01
	07/05/2003	TO2	<5,2E-01	<8,0E-01	<3,6E-01
	07/05/2003	TO2	<8,1E-01	<1,1E+00	<4,0E-01
	18/07/2003	TO1	<1,6E-01	<1,2E-01	<5,2E-01
	18/07/2003	TO1	<1,8E-01	<1,1E-01	<1,8E-01
	18/07/2003	TO2	<8,7E-02	<2,0E-01	<1,6E-01
	07/11/2003	TO1	<1,4E-01	<2,0E-01	<1,5E-01
	07/11/2003	TO1	<3,0E-01	<1,2E-01	<9,7E-02
	07/11/2003	TO1	<1,2E-01	<2,8E-01	<6,9E-02
	10/11/2003	TO2	<3,7E-01	<3,8E-01	<3,9E-01
	10/11/2003	TO2	<1,5E-01	<1,7E-01	<9,2E-02
	10/11/2003	TO2	<5,6E-02	<1,9E-01	<1,5E-01
	22/12/2003	TO1	<1,2E-01	<1,4E-01	<4,6E-02
	22/12/2003	TO2	<2,1E-01	<2,8E-01	<2,3E-01
	23/12/2003	TO2	<1,1E-02	<1,2E-01	<5,0E-02

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nel riso e nel mais di produzione locale – punti TR1, TR2 e TM1, TM2 rispettivamente. I valori sono tutti inferiori alle M.A.R.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Riso	2000	<6,8E-02	<8,6E-02	<5,9E-02
	2001	<6,0E-02	<1,0E-01	<9,1E-02
	2002	<4,5E-01	<7,2E-01	<4,4E-01

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Mais	2000	-	-	-
	2001	-	-	-
	2002	<4,8E-01	<6,4E-01	<4,6E-01

- Campione non disponibile

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Riso	25/09/2003	TR1	<2,4E-01	<4,6E-01	<2,2E-01
	25/09/2003	TR2	<1,7E-01	<1,3E-01	<6,9E-02

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Mais	25/09/2003	TM1	<1,3E-01	<1,2E-01	<1,1E-01
	25/09/2003	TM2	<2,2E-01	<3,4E-01	<1,5E-01

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nei suoli coltivati a riso e a mais relativi ai campioni precedenti– punti TR1, TR2 e TM1, TM2 rispettivamente. E' presente contaminazione da Cs-137 con concentrazioni confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Suolo di risaia	25/09/2003	TR1	<3,3E-01	2,4E+015%	<3,4E-01
	25/09/2003	TR2	<2,5E-01	1,3E+015%	<4,5E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg $2\sigma$	Cs-137 Bq/kg $2\sigma$	Co-60 Bq/kg $2\sigma$
Suolo campo di mais	25/09/2003	TM1	<2,0E-01	1,8E+014%	<1,3E-01
	25/09/2003	TM2	<2,9E-01	8,9E+007%	<3,8E-01

## Pesce

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nel pesce pescato nel Po (i punti TF3 e TF6 sono a valle della centrale in corrispondenza dei comuni di Morano Po e Casale rispettivamente). I valori sono tutti inferiori alle M.A.R. ad eccezione di alcuni dati relativi a debole contaminazione da Cs-137 del tutto imputabile all'incidente di Chernobyl e confrontabile con le concentrazioni comunemente riscontrabili in questa matrice.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/kg 2 $\sigma$	Cs-137 Bq/kg 2 $\sigma$	Co-60 Bq/kg 2 $\sigma$
Pesce	2000	<1,5E-01	3,3E-0148%	<1,3E-01
	2001	<1,2E-01	2,7E-0158%	<1,6E-01
	2002	<8,0E-02	<9,0E-02	<1,1E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg 2 $\sigma$	Cs-137 Bq/kg 2 $\sigma$	Co-60 Bq/kg 2 $\sigma$
Pesce	27/01/2003	TF1	<2,5E-01	3,9E-0179%	<1,8E-01
	27/01/2003	TF3	<1,0E-01	7,6E-0123%	<8,1E-02
	27/01/2003	TF6	<6,5E-02	7,5E-0122%	<8,6E-02

Assumendo un consumo giornaliero di 50 g/giorno di pesce per un adulto (età superiore a 17 anni) ed utilizzando il corretto coefficiente di dose (tabella IV-4 all. IV D.Leg. 241/2000) si avrebbe un contributo alla dose efficace da ingestione pari a 1,8E-04 mSv/anno – considerando il valore di contaminazione da Cs-137 più alto – nettamente inferiore al limite fissato dalla normativa di 1 mSv/anno per gli individui della popolazione.

## Particolato atmosferico

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e I-131 nel particolato atmosferico campionato a Vercelli – campione settimanale. I valori sono tutti inferiori alle M.A.R. Per brevità non viene riportato il dettaglio dei campioni relativi al 2003.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/m <sup>3</sup> 2σ	Cs-137 Bq/m <sup>3</sup> 2σ	I-131 Bq/m <sup>3</sup> 2σ
Particolato atmosferico	2000	<2,3E-03	<2,8E-03	<1,5E-03
	2001	<1,9E-03	<3,6E-03	<2,0E-03
	2002	<3,4E-04	<4,9E-04	<1,2E-03
	2003	<3,8E-04	<6,0E-04	<7,9E-04

### Fall out

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e I-131 nel fall out (ricaduta al suolo) campionato a Vercelli – campione mensile. E' presente contaminazione da Cs-137 con concentrazioni confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della regione. Tale contaminazione è completamente attribuibile all'incidente di Chernobyl del 1986.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/m <sup>2</sup> 2σ	Cs-137 Bq/m <sup>2</sup> 2σ	I-131 Bq/m <sup>2</sup> 2σ
Fall out	2000	<1,7E-01	5,3E-01 25%	<3,6E-01
	2001	<7,0E-02	3,1E-01 21%	<2,4E-01
	2002	<5,0E-02	5,2E-01 24%	<1,8E+00

Campione	Mese riferimento	Cs-134 Bq/m <sup>2</sup> 2σ	Cs-137 Bq/m <sup>2</sup> 2σ	I-131 Bq/m <sup>2</sup> 2σ
Fall out	gennaio 2003	<7,4E-02	<1,2E-01	<1,4E+01
	febbraio 2003	<5,1E-02	<7,3E-02	<5,5E-01
	marzo 2003	<9,5E-02	<1,1E-01	<4,0E+00
	aprile 2003	<7,2E-02	2,1E-01 48%	<3,3E+00
	maggio 2003	<7,3E-02	<1,3E-01	<4,2E+00
	giugno 2003	<9,4E-02	<1,1E-01	<2,4E+00
	luglio 2003	<9,7E-02	1,3E-01 68%	<5,5E+00
	agosto 2003	<8,0E-02	<1,2E-01	<1,2E+00
	settembre 2003	<7,2E-02	<1,3E-01	<5,0E+00
	ottobre 2003	<9,9E-02	<1,3E-01	<6,0E+00
	novembre 2003	<8,7E-02	<1,2E-01	<1,4E+01
	dicembre 2003	<8,0E-02	<1,2E-01	<7,4E+00

## 7. VALUTAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi dei dati relativi alle misure effettuate nell'anno 2003 permette di affermare che lo stato radiologico dell'ambiente circostante il sito di Trino Vercellese è rimasto invariato rispetto agli anni precedenti. Si possono formulare le seguenti considerazioni:

- la contaminazione da Cs-137 dei suoli è completamente attribuibile all'incidente di Chernobyl del 1986 e del tutto paragonabile a quella riscontrabile in altre zone della provincia e della regione;
- nell'acqua potabile non è mai stata riscontrata la presenza di contaminanti radioattivi di origine artificiale;
- la contaminazione da Cs-137 dell'acqua superficiale del fiume Po è completamente attribuibile all'incidente di Chernobyl del 1986 e del tutto paragonabile a quella riscontrabile in altre zone della provincia e della regione;
- la contaminazione da Cs-137 dei sedimenti del fiume Po è completamente attribuibile all'incidente di Chernobyl del 1986 e del tutto paragonabile a quella riscontrabile in altre zone della provincia e della regione.

Da questo quadro non emergono pertanto situazioni di criticità per l'ambiente e per la popolazione.

## 8. GLOSSARIO

- *Atomo*: è il costituente fondamentale della materia ed è composto dal nucleo e dagli elettroni orbitali
- *Attività*: numero di decadimenti di un radionuclide nell'unità di tempo (Bq)
- *Combustibile nucleare*: materiale fissile utilizzato per produrre energia in una centrale nucleare

- *Combustibile nucleare irraggiato*: combustibile nucleare dopo l'utilizzo per la produzione di energia
- *Contaminazione radioattiva*: inquinamento di una matrice, di un materiale, di un ambiente, di un organismo vivente causato da sostanze radioattive
- *Decadimento*: trasformazione spontanea di un nuclide instabile in un altro nuclide
- *Equivalente di dose*: energia ceduta dalla radiazione per unità di massa ad uno specifico organo o tessuto (Sv)
- *Equivalente di dose efficace*: energia ceduta dalla radiazione per unità di massa al corpo intero (Sv)
- *Fall out*: ricaduta al suolo di contaminanti immessi in atmosfera in condizioni di normale esercizio ed incidentali
- *Fissione nucleare*: processo di disintegrazione del nucleo atomico con conseguente emissione di energia
- *kerma in aria*: energia ceduta dalla radiazione per unità di massa d'aria (Gy)
- *Isotopi*: atomi di un elemento chimico aventi diverso n° di neutroni ma lo stesso n° di protoni
- *Irradiazione*: qualsiasi esposizione a radiazioni ionizzanti
- *M.A.R.*: Minima Attività Rivelabile: rappresenta il limite strumentale di rivelazione (Bq), la minima quantità di radioattività che il sistema di misura è in grado di rivelare
- *Materiale fissile*: materiale capace di subire la fissione in seguito all'irraggiamento neutronico
- *Nucleo*: è la parte centrale dell'atomo ed è costituito da protoni e neutroni
- *N° atomico*: n° di protoni (uguale al n° di elettroni nello stato fondamentale)
- *N° di massa*: n° di protoni + n° di neutroni
- *Radioattività*: emissione di radiazioni ionizzanti
- *Radionuclide*: isotopo instabile (radioattivo)
- *Rateo di dose ambientale gamma H\*(10)*: energia ceduta dalla radiazione per unità di massa e di tempo al corpo intero secondo la definizione ICRU ( $\mu\text{Sv/h}$ )

- *Rifiuto radioattivo*: qualsiasi materia radioattiva, ancorché contenuta in apparecchiature o dispositivi in genere, di cui non é previsto il riciclo o la riutilizzazione
- *Sostanza radioattiva*: ogni sostanza che presenti il fenomeno della radioattività