



CENTRO REGIONALE PER LE RADIAZIONI IONIZZANTI E NON IONIZZANTI
Struttura Semplice 21.02 – Monitoraggio e controllo dei siti nucleari

MONITORAGGIO RADIOLOGICO AMBIENTALE DEL SITO NUCLEARE DI TRINO (VC)
Aggiornamento 2004

(L. Porzio, L. Albertone, A. Iacono, R. Olivetti)

INDICE

1. Premessa	p. 2
2. Caratterizzazione del sito	2
3. Nuovi riferimenti legislativi	2
4. La rete di monitoraggio	4
5. Strategie di controllo	7
6. Metodologia di misura	12
7. Monitoraggio ambientale	14
8. Valutazioni conclusive	25

1. PREMESSA

Questa relazione viene redatta a conclusione del monitoraggio radiologico ambientale del sito nucleare di Trino (VC) condotto nell'anno 2004.

Per completezza di informazione e per permettere di seguire l'evoluzione temporale dello stato radiologico del sito in essa sono riportati anche i dati delle misure effettuate nell'anno 2003. Per gli anni precedenti si rimanda alla relazione predisposta per l'anno 2003.

2. CARATTERIZZAZIONE 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 sono in corso alcune operazioni propedeutiche al definitivo smantellamento dell'impianto – *decommissioning* – per il quale sono già stati avviati l'iter autorizzativo e la procedura di VIA.

3. NUOVI RIFERIMENTI LEGISLATIVI

La Presidenza del Consiglio dei Ministri ha emanato in data 14/02/2003 un Decreto che dichiara "lo stato di emergenza in relazione all'attività di smaltimento rifiuti radioattivi dislocati nelle regioni Lazio, Campagna, Emilia Romagna, Basilicata e Piemonte" (sedi di installazioni nucleari).

Successivamente il 7 marzo 2003 è stata emanata la Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3267 che dispone la nomina del Presidente SO.G.I.N. quale Commissario delegato con

il compito di mettere in sicurezza i materiali radioattivi e di predisporre i piani di avvio delle procedure di smantellamento delle centrali nucleari.

Il Commissario delegato, Generale Jean, per ottemperare ai suoi compiti, ha emanato 15 Ordinanze che pianificano le azioni necessarie allo smantellamento accelerato degli impianti in deroga alla normativa vigente in materia.

In particolare:

- l'Ordinanza n. 4 del 11/04/2003 del Commissario delegato ha disposto il piano delle attività di adeguamento delle misure di protezione fisica e di progressiva diminuzione del rischio degli impianti;
- l'Ordinanza n. 5 del 29/04/2003 del Commissario delegato ha fissato i limiti per l'allontanamento dei materiali solidi provenienti dalla dismissione degli impianti del ciclo del combustibile nucleare – non considerati rifiuti radioattivi – verso le discariche e gli impianti di riciclo;

Sono inoltre stati emanati:

- la Legge n. 368 del 24 dicembre 2003 (legge Scanzano), conversione del Decreto Legge n. 314 del 14 novembre 2003, ha fissato modalità e tempi di realizzazione del Deposito nazionale dei rifiuti radioattivi;
- il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 07/05/2004 che proroga lo stato di emergenza di cui al precedente Decreto;
- l'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3355 del 07/05/2004 dove sono contenute ulteriori disposizioni per la messa in sicurezza dei materiali radioattivi;
- il D.M. 02/12/2004 "Indirizzi strategici e operativi alla S.O.G.I.N. - Società gestione impianti nucleari S.p.A., ai sensi dell'articolo 13, comma 4, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79".;
- Il D.P.C.M. 4 marzo 2005 "Proroga dello stato di emergenza in relazione all'attività di smaltimento dei rifiuti radioattivi, dislocati nelle centrali nucleari di Trino, Caorso, Latina, Garigliano e nella piscina di Avogadro in località Saluggia, in condizioni di massima sicurezza".

4. LA RETE DI MONITORAGGIO

Le matrici ambientali e alimentari considerate come indicatori locali sono indicate nella tabella seguente, insieme alla frequenza minima di campionamento; tutti i prelievi sono effettuati secondo precise modalità di campionamento in modo da garantire la significatività e la riproducibilità dei dati misurati.

Frequenza di campionamento	Matrici
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, mais 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 Arpa di Vercelli, consente di effettuare una stima della quantità di radioattività che, presente

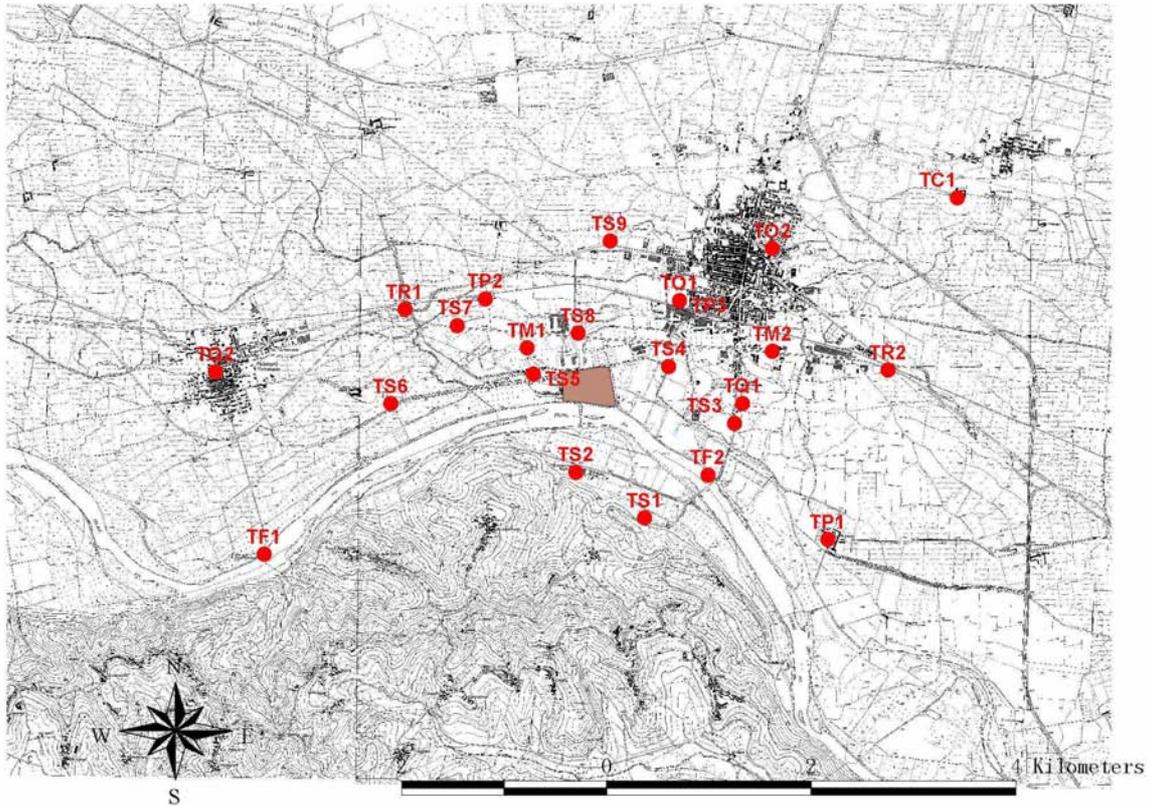
nell'aria a causa di eventi incidentali, ricade al suolo sia per deposizione secca che umida (precipitazioni);

- il particolato atmosferico, aspirato in continuo presso la sede Arpa 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.

Codice punto	UTMX	UTMY	Matrice	Codice punto	UTMX	UTMY	Matrice
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

Non sono riportati in tabella e nella cartina sottostante:

- il punto TF3 sul fiume Po, in corrispondenza dell'imbocco del Canale Lanza – prima derivazione irrigua a valle della Centrale;
- la sede Arpa di Vercelli, via Trino 89.



5. STRATEGIE DI CONTROLLO

Il Decreto Legislativo 230/1995 e ss.mm.ii. – “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:

$$E = E_{est} + E_{ing} + E_{ina}$$

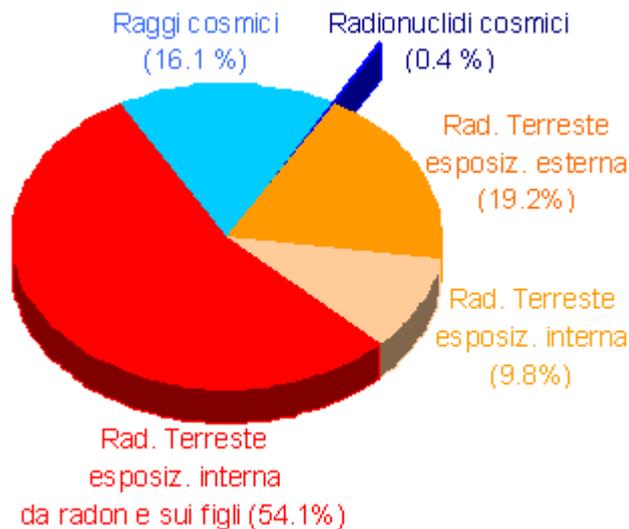
dove E_{est} è la dose efficace derivante da esposizione esterna, E_{ing} è la dose efficace derivante da ingestione ed E_{ina} è la dose efficace derivante da inalazione.

Dal momento che la radiosensibilità di un organismo dipende dal metabolismo è necessario considerare i diversi gruppi di età degli individui potenzialmente esposti.

Nella valutazione della dose efficace rientrano tutti i possibili radionuclidi, con esclusione soltanto 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. Inoltre è fissato in 10 μ 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.

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



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 degli impianti, 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: latte, mais, 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 secondo il seguente schema:

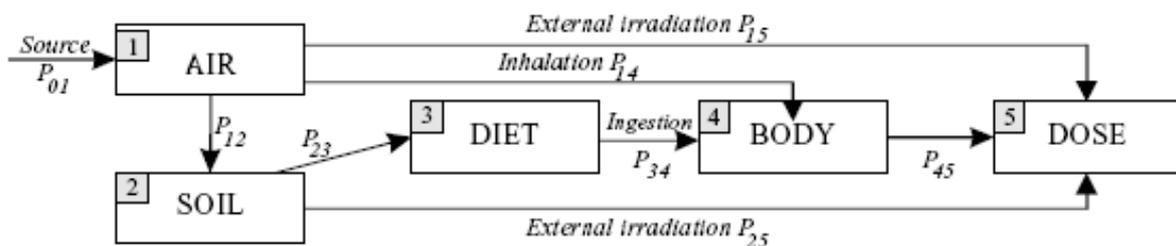


Figure 1. Terrestrial pathways of transfer of radionuclides and dose to humans.

Utilizzando opportune ipotesi è possibile determinare dei valori soglia di concentrazione (che comportano il raggiungimento del limite di dose efficace di 1 mSv/anno), da confrontare con i dati misurati, in modo da disporre di un efficace strumento di valutazione: tali valori soglia non costituiscono dei limiti di legge ma dei livelli operativi di confronto, validi esclusivamente nell'ambito delle assunzioni fatte. E' necessario puntualizzare che queste considerazioni non si applicano alle situazioni di emergenza, per le quali valgono livelli di riferimento di base e derivati fissati dalla normativa, ma, dal momento che riguardano il normale esercizio degli impianti, si applicano in condizioni stazionarie di contaminazione delle matrici ambientali ed alimentari: i valori soglia sono confrontabili con le concentrazioni medie osservate – intese sia come medie spaziali che come medie temporali – e l'occasionale superamento degli stessi non comporta necessariamente il

raggiungimento del limite di dose efficace di 1 mSv/anno. Ciò nonostante il superamento dei valori soglia per la non rilevanza radiologica costituisce una condizione sufficiente, ma non necessaria, ad indagini più approfondite per individuarne le cause e proporre, eventualmente, azioni volte alla minimizzazione del rischio.

Per quanto riguarda l'acqua potabile il D. Lgs. 2 febbraio 2001 n. 31 *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano* fissa in 100 Bq/l il valore limite per H-3 e in 0,1 mSv/anno la dose totale indicativa – ad eccezione di H-3, K-40, radon e prodotti di decadimento del radon.

E' necessario notare che in questo caso la valutazione della dose efficace non deve limitarsi ai soli radionuclidi di origine artificiale.

Inoltre è altrettanto necessario notare che il limite di 1 mSv/anno ai sensi del D. Lgs. 230/1995 e ss.mm.ii. – al quale contribuiscono tutte le vie di esposizione – e il limite di 0,1 mSv/anno ai sensi del D. Lgs. 31/2001 – che riguarda soltanto l'ingestione di acqua potabile – devono essere contemporaneamente rispettati.

Per alcune grandezze inoltre sono fissati a livello internazionale e/o comunitario dei valori di screening (attività alfa e beta totale nelle acque potabili, attività alfa e beta totale ritardata nel particolato atmosferico) che rappresentano anch'essi validi strumenti operativi: solo nel caso in cui si abbia il superamento di almeno uno di essi risulta giustificata, dal punto di vista radioprotezionistico, un'analisi approfondita del contenuto di radionuclidi nella matrice considerata che consenta un'accurata valutazione della dose efficace, secondo lo schema seguente.

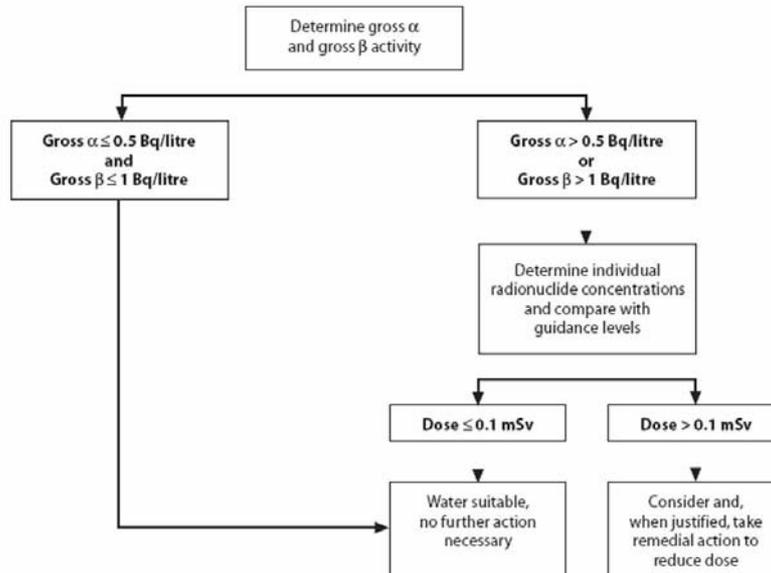
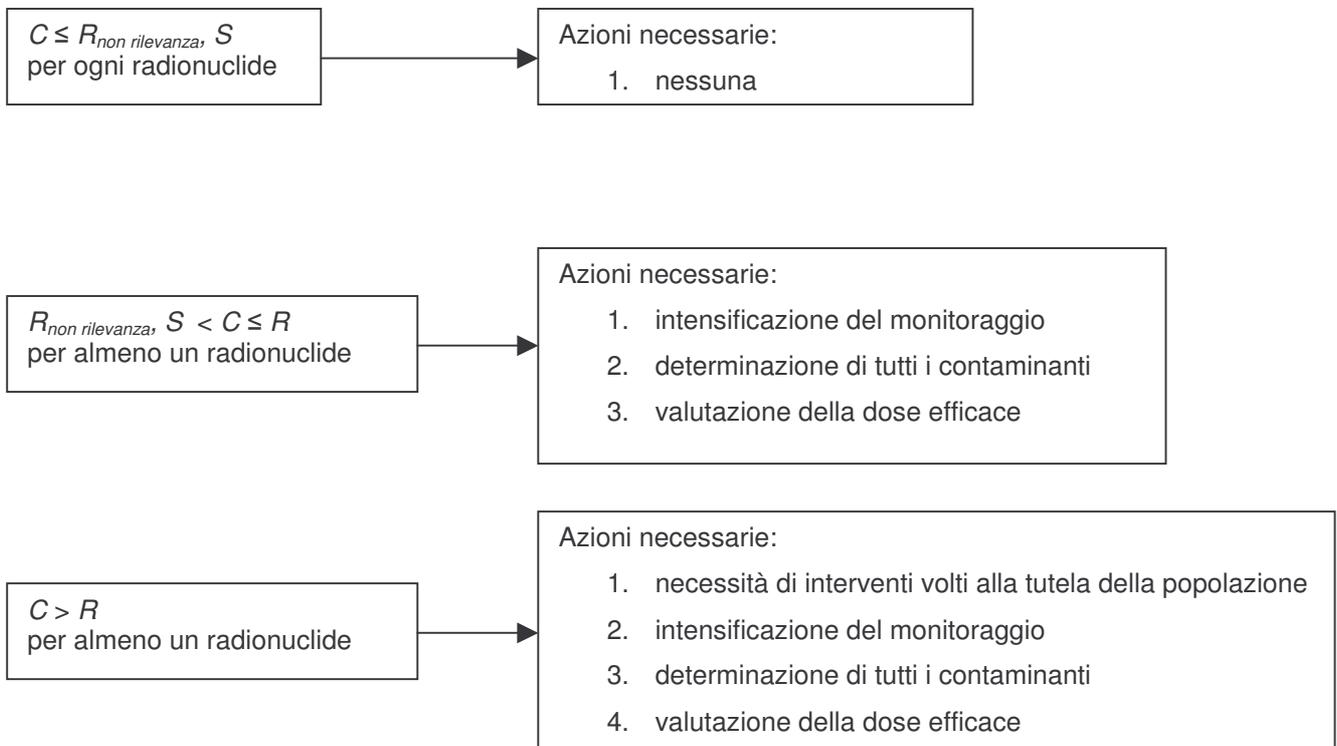


Figure 9.2 Application of screening and guidance levels for radionuclides in drinking-water

Il confronto delle concentrazioni di radioattività rilevate nelle varie matrici con i rispettivi valori di screening S , di soglia per la non rilevanza radiologica $R_{non\ rilevanza}$ e di soglia R consente di calibrare le azioni successive da intraprendere. Queste sono riassunte nello schema seguente, dove C è la concentrazione misurata.



Questo nuovo approccio metodologico è stato sviluppato in relazione all'evoluzione attuale e futura degli impianti, per consentire al meglio l'adeguamento delle azioni di monitoraggio allo stato degli impianti stessi. Tale approccio è stato sistematicamente applicato a partire dal secondo semestre del 2004.

Tralasciamo in questa sede il dettaglio dei calcoli necessari per la determinazione dei *valori soglia*, che riporteremo di volta in volta in calce ai risultati analitici per consentire un immediato confronto.

6. 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 degli impianti 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/m³ e Bq/m² rispettivamente). La sensibilità della misura viene indicata dalla MAR (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 MAR come limite superiore per la concentrazione del radionuclide stesso (nelle tabelle si vedrà il simbolo <). La sensibilità delle misure deve essere tale da garantire delle MAR sempre inferiori ai *valori soglia per la non rilevanza radiologica* e ai *valori di screening*.

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 – ed eventualmente anche su campioni compositi – 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).

A partire dal secondo semestre 2004 su tutti i campioni di acqua vengono eseguite misure di *screening* di attività alfa totale e beta totale.

Su alcuni campioni significativi viene inoltre eseguita la determinazione dello Sr-90 attraverso metodi radiochimici.

7. MONITORAGGIO AMBIENTALE

Nelle tabelle e nei grafici seguenti sono riportati gli andamenti della contaminazione delle matrici riportate al paragrafo 4 per il periodo 2003-2004.

Acqua potabile di rete

Nei campioni di acqua potabile distribuita dall'acquedotto di Trino (punto TQ1) e da quello di Palazzolo (punto TQ2) non è mai stata rilevata la presenza di radionuclidi di origine artificiale. In particolare i risultati ottenuti si sono sempre mantenuti nettamente al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica e dei valori di screening*.

Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	α totale Bq/l 2σ	β totale Bq/l 2σ
TQ1	27/02/2003	< 3,2E-03	< 1,1E-03	< 1,1E-03		
	07/05/2003	< 2,9E-03	< 2,7E-03	< 2,4E-03		
	14/08/2003	< 2,8E-03	< 2,5E-03	< 1,8E-03		
	10/11/2003	< 1,7E-03	< 2,6E-03	< 2,4E-03		
	10/02/2004	< 1,8E-03	< 2,8E-03	< 1,3E-03		
	27/05/2004	< 2,3E-03	< 3,1E-03	< 2,0E-03		
	25/08/2004	< 1,5E-03	< 2,1E-03	< 1,4E-03		
	08/10/2004	< 1,3E-03	< 2,7E-03	< 1,9E-03	< 1,6E-01	< 2,9E-01
TQ2	27/02/2003	< 1,9E-03	< 2,1E-03	< 2,3E-03		
	07/05/2003	< 2,3E-03	< 2,2E-03	< 2,8E-03		
	14/08/2003	< 2,1E-03	< 2,6E-03	< 3,2E-03		
	10/11/2003	< 2,3E-03	< 3,2E-03	< 1,6E-03		
	10/02/2004	< 3,4E-03	< 2,7E-03	< 1,8E-03		
	27/05/2004	< 7,8E-04	< 2,6E-03	< 1,7E-03		
	25/08/2004	< 9,1E-04	< 2,8E-03	< 1,6E-03		
	08/10/2004	< 2,8E-03	< 2,8E-03	< 1,4E-03	< 1,8E-01	< 3,1E-01
<i>R non rilevanza, S</i>		1,1E+00	1,5E+00	1,2E+00	5,0E-01	1,0E+00

Acqua di falda superficiale

Nell'acqua di falda superficiale prelevata nei pozzi privati nei punti TP1, TP2, TP3 e TP4 si può occasionalmente osservare una lieve contaminazione da Cs-137, correlabile all'incidente di Chernobyl e confrontabili con quelli comunemente riscontrabili in questa matrice. Tutti i valori si sono sempre mantenuti nettamente al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica e dei valori di screening*.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	α totale Bq/l 2σ	β totale Bq/l 2σ
Acqua di falda	TP1	27/02/2003	< 4,0E-03	< 2,1E-03	< 2,2E-03		
		07/05/2003	< 2,7E-03	< 2,8E-03	< 1,6E-03		
		14/08/2003	< 8,2E-04	< 2,8E-03	< 8,0E-04		
		10/11/2003	< 1,4E-03	7,0E-03 24%	< 1,8E-03		
		10/02/2004	< 9,0E-04	< 2,8E-03	< 2,9E-03		
		05/08/2004	< 2,1E-03	< 2,9E-03	< 1,4E-03		
		16/09/2004	< 6,0E-03	< 8,7E-03	< 6,6E-03	< 1,3E-01	4,1E-01 48%
		23/11/2004	< 1,0E-03	< 1,6E-03	< 1,3E-03	< 1,8E-01	< 3,8E-01
	TP2	10/02/2004	< 2,8E-03	< 3,3E-03	< 2,4E-03		
		05/08/2004	< 2,2E-03	< 2,3E-03	< 1,9E-03		
		16/09/2004	< 7,3E-03	< 9,8E-03	< 8,5E-03	< 1,6E-01	4,3E-01 49%
		23/11/2004	< 1,3E-03	< 1,4E-03	< 1,4E-03	< 1,9E-01	< 3,4E-01
	TP3	07/05/2003	< 2,8E-03	< 2,2E-03	< 2,2E-03		
		07/11/2003	< 3,0E-03	6,4E-03 51%	< 2,1E-03		
		24/03/2004	< 2,6E-03	< 3,4E-03	< 2,7E-03		
		05/08/2004	< 1,7E-03	< 2,3E-03	< 2,2E-03		
		16/09/2004	< 7,8E-03	< 8,9E-03	< 7,5E-03	< 1,8E-01	< 3,2E-01
		14/12/2004	< 2,9E-03	< 2,6E-03	< 2,1E-03	< 1,7E-01	3,6E-01 35%
	TP4	27/02/2003	< 9,5E-04	< 1,1E-03	< 9,8E-04		
		07/05/2003	< 2,5E-03	< 2,3E-03	< 2,2E-03		
		29/03/2004	< 1,0E-02	< 2,0E-02	< 1,0E-02		
		29/06/2004	< 1,0E-02	< 1,0E-02	< 5,0E-03		
		23/11/2004	< 2,4E-03	< 2,8E-03	< 1,6E-03	< 1,5E-01	< 3,3E-01
R non rilevanza, S			1,1E+00	1,5E+00	1,2E+00	5,0E-01	1,0E+00

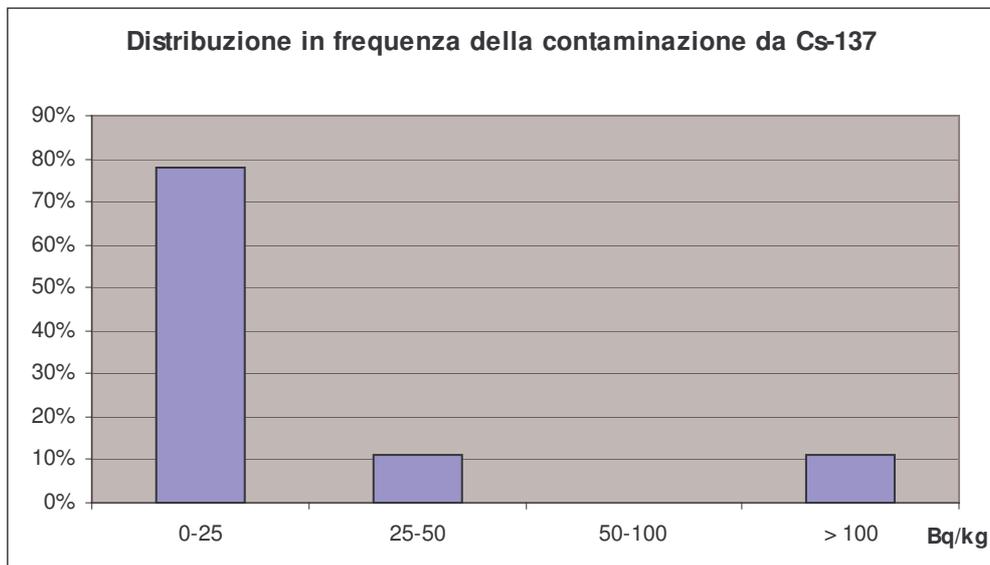
Suolo imperturbato – strato superficiale

Nello strato superficiale (0-5 cm) dei suoli prelevati all'esterno del sito è 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. Tutti i valori si sono sempre mantenuti nettamente al di sotto dei valori soglia per la non rilevanza radiologica.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Suolo 0-5 cm	TS1	25/03/2003	1,3E-01	30%	1,5E+02	5%	< 6,9E-02	
		23/12/2003	< 4,2E-01		1,4E+02	4%	< 1,4E-01	
		18/03/2004	< 5,1E-01		1,7E+02	4%	< 3,6E-01	
		08/10/2004	< 3,3E-01		1,6E+02	4%	< 2,2E-01	
	TS2	05/03/2003	< 3,2E-01		1,6E+01	4%	< 4,3E-01	
		06/10/2003	< 3,1E-01		8,5E+00	7%	< 2,8E-01	
		18/03/2004	< 1,9E-01		7,5E+00	6%	< 3,2E-01	
		05/11/2004	< 3,3E-01		1,4E+01	6%	< 2,7E-01	
	TS3	27/03/2003	< 3,9E-01		1,4E+01	4%	< 4,3E-01	
		07/10/2003	< 2,9E-01		1,8E+01	6%	< 4,0E-01	
		22/03/2004	< 4,0E-01		1,8E+01	7%	< 3,3E-01	
		08/10/2004	< 2,9E-01		7,6E+01	4%	< 3,1E-01	
	TS4	25/03/2003	< 4,2E-01		1,9E+01	4%	< 5,5E-01	
		06/10/2003	< 3,0E-01		1,2E+01	6%	< 2,1E-01	
		31/03/2004	< 2,7E-01		6,1E+00	13%	< 1,3E-01	
		05/11/2004	< 3,5E-01		6,2E+00	10%	< 2,0E-01	
	TS5	24/01/2003	< 2,4E-01		1,0E+01	11%	< 3,0E-01	
		07/05/2003	< 3,3E-01		1,1E+01	8%	< 2,9E-01	
		23/10/2003	< 2,8E-01		1,5E+01	6%	< 3,0E-01	
		31/03/2004	< 3,5E-01		1,1E+01	9%	< 1,8E-01	
		23/11/2004	< 2,2E-01		1,3E+01	6%	< 3,7E-01	
	TS6	25/03/2003	< 2,1E-01		1,2E+01	8%	< 2,2E-01	
		23/10/2003	< 3,0E-01		3,7E+01	4%	< 2,1E-01	
		31/03/2004	< 2,8E-01		2,1E+01	5%	< 4,1E-01	
		05/11/2004	< 4,4E-01		6,1E+01	4%	< 4,3E-01	
	TS7	25/03/2003	< 3,6E-01		4,4E+01	5%	< 1,1E-01	
		23/10/2003	< 3,8E-01		5,0E+01	4%	< 1,8E-01	
		22/03/2004	< 4,2E-01		3,6E+01	5%	< 3,4E-01	
		05/11/2004	< 9,6E-01		4,6E+01	8%	< 3,4E-01	

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
	TS8	25/03/2003	< 4,3E-01	2,5E+01 4%	< 5,5E-01
		09/10/2003	< 3,2E-01	1,3E+01 6%	< 4,3E-01
		22/03/2004	< 4,2E-01	3,6E+01 5%	< 3,4E-01
		05/11/2004	< 9,6E-01	4,6E+01 8%	< 3,4E-01
	TS9	25/03/2003	< 2,7E-01	2,1E+01 7%	< 2,6E-01
		09/10/2003	< 3,3E-01	1,8E+01 5%	< 2,3E-01
		09/04/2004	< 3,5E-01	7,0E+00 10%	< 4,1E-01
		05/11/2004	< 3,4E-01	3,6E+00 17%	< 3,9E-01
R non rilevanza			3,9E+03	1,0E+04	2,3E+03

Concentrazione Cs-137 – elaborazione dati 2004	
Media	3,3E+01 Bq/kg
Mediana	1,8E+01 Bq/kg
Deviazione standard del campione	5,2E+01 Bq/kg
Coefficiente di correlazione lineare concentrazione - distanza	0,16



La distribuzione delle concentrazioni di Cs-137 osservate è con buona approssimazione logaritmo normale¹, come si evidenzia dal grafico soprastante, dove è riportata la distribuzione in frequenza della contaminazione misurata per classi di concentrazione – per esigenze statistiche l’elaborazione è ristretta ai dati del I semestre 2004. Tale andamento era già stato riscontrato nel corso del monitoraggio straordinario effettuato nel 2002-2003, che qui riassumiamo con i dati più significativi.

Concentrazione Cs-137– elaborazione dati 2002-2003	
Media	4,2E+01 Bq/kg
Mediana	2,9E+01 Bq/kg
Deviazione standard del campione	1,7E+01 Bq/kg
Coefficiente di correlazione lineare concentrazione - distanza	0,03

Dal punto di vista statistico si può escludere una correlazione significativa² tra contaminazione del suolo e distanza dal sito, in nessuna direzione preferenziale.

Erba

Nell’erba prelevata nel punto TS5, nei pressi della centrale, i risultati delle misure sono sempre risultati inferiori alle MAR; solo occasionalmente è riscontrabile qualche traccia di Cs-137 dovuta a residui di terriccio (nella preparazione l’erba non viene lavata). Non sono riportati i *valori soglia* poiché non definibili nel caso di questa matrice, considerata un indicatore qualitativo.

¹ Il valore calcolato della variabile $\chi^2 = 3,0$ è inferiore al valore critico tabulato per 3 gradi di libertà al livello di significatività del 5% ($\chi^2_{3;0,05} = 7,8$), per cui si può affermare che a livello statistico le differenze osservate rispetto alla distribuzione logaritmo normale ipotizzata non sono significative.

² Come si deduce dal valore del coefficiente di correlazione lineare concentrazione – distanza.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Erba	TS5	07/05/2003	<1,4E+00	<2,0E+00	<1,4E+00
		02/10/2003	<1,4E+00	3,7E+00 60%	<1,2E+00
		31/03/2004	<9,8E-01	<8,2E-01	<8,2E-01
		23/11/2004	<1,4E-01	<1,3E-01	<7,0E-02

Suoli coltivati e relative coltivazioni

Nello strato superficiale (0-5 cm) dei suoli coltivati a riso e mais prelevati nei punti TR1, TR2, TM1 e TM2 è 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. I valori osservati risultano pressoché costanti nel tempo a causa del rimescolamento degli strati di suolo dovuto all'aratura. Tutti i valori si sono sempre mantenuti nettamente al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica*.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Suolo di risaia	TR1	25/09/2003	<3,3E-01	2,4E+01 5%	<3,4E-01
		10/09/2004	<3,0E-01	1,8E+01 5%	<3,5E-01
	TR2	25/09/2003	<2,5E-01	1,3E+01 5%	<4,5E-01
		10/09/2004	<4,6E-01	1,5E+01 7%	<5,0E-01
Suolo campo di mais	TM1	25/09/2003	<2,0E-01	1,8E+01 4%	<1,3E-01
		10/09/2004	<2,8E-01	1,8E+01 6%	<4,0E-01
	TM2	25/09/2003	<2,9E-01	8,9E+00 7%	<3,8E-01
		10/09/2004	<3,0E-01	1,8E+01 5%	<3,5E-01
R non rilevanza			3,8E+02	5,5E+02	4,4E+02

Nel riso e nel mais coltivati nei terreni sopra riportati i dati sono sempre inferiori ai *valori soglia per la non rilevanza radiologica*.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Riso	TR1	25/09/2003	< 2,4E-01	< 4,6E-01	< 2,2E-01
		10/09/2004	< 1,9E-01	< 1,9E-01	< 1,4E-01
	TR2	25/09/2003	< 1,7E-01	< 1,3E-01	< 6,9E-02
		10/09/2004	< 1,9E-01	< 1,6E-01	< 6,5E-02
Mais	TM1	25/09/2003	< 1,3E-01	< 1,2E-01	< 1,1E-01
		10/09/2004	< 1,8E-01	< 2,0E-01	< 1,3E-01
	TM2	25/09/2003	< 2,2E-01	< 3,4E-01	< 1,5E-01
		10/09/2004	< 1,1E-01	< 1,9E-01	< 1,3E-01
R non rilevanza			3,8E+00	5,5E+00	4,1E+00

Acqua superficiale e sedimenti fluviali

Nell'acqua superficiale del fiume Po prelevata a monte (TF1) e a valle (TF2 e TF3) dell'impianto è occasionalmente presente contaminazione da Cs-137, con concentrazioni confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione, e da I-131 di provenienza ospedaliera. Tutti i valori si sono sempre mantenuti nettamente al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica*.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	I-131 Bq/l 2σ	Am-241 Bq/l 2σ
Acqua superficiale	TF1	27/01/2003	<3,2E-04	<3,0E-04	<2,9E-04	<6,5E-03	< 1,3E-03
		19/03/2003	<4,5E-04	<7,5E-04	<5,7E-04	7,7E-03 19%	< 5,3E-02
		03/12/2003	<1,9E-04	1,6E-04 47%	<1,2E-04	<5,3E-03	< 7,3E-03
		09/06/2004	<8,3E-05	7,8E-04 13%	<5,5E-05	<6,2E-03	< 2,5E-04
		28/10/2004	<1,0E-04	2,0E-03 17%	<1,1E-04	4,2E-03 49%	< 5,9E-04
	TF2	20/03/2003	<2,8E-04	<3,8E-04	<3,5E-04	3,6E-03 13%	< 1,0E-03
		11/11/2003	<1,6E-04	1,8E-03 22%	<1,4E-04	4,6E-03 9%	< 7,9E-04
		16/06/2004	<1,7E-04	7,3E-04 24%	<1,4E-04	<6,8E-02	< 7,3E-04
		19/10/2004	<1,0E-04	4,9E-04 42%	<1,0E-04	9,3E-03 43%	< 2,9E-04
	TF3	27/01/2003	<4,1E-04	<4,9E-04	<4,2E-04	<7,8E-02	<5,40E-04
		02/07/2004	<3,0E-03	<6,0E-03	<2,0E-03		
R non rilevanza			1,8E-02	2,6E-02	1,2E-01	2,8E-01	2,2E-02

Nei sedimenti fluviali del fiume Po prelevati a monte (TF1) e a valle (TF2 e TF3) dell'impianto è presente contaminazione da Cs-137 con concentrazioni confrontabili con

quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione. Nei punti a valle 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. Tutti i valori si sono sempre mantenuti nettamente al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica*.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg 2 σ	Cs-137 Bq/kg 2 σ	Co-60 Bq/kg 2 σ	Am-241 Bq/kg 2 σ
Sedimenti	TF1	19/03/2003	< 3,0E-01	2,1E+01 5%	< 3,4E-01	< 1,2E+00
		19/11/2003	< 3,7E-01	2,3E+01 6%	< 1,7E-01	< 2,2E+00
		09/06/2004	< 3,5E-01	6,0E+00 8%	< 3,3E-01	< 3,3E+00
		28/11/2004	< 2,3E-01	8,4E+00 8%	< 1,1E-01	< 1,5E+00
	TF2	20/03/2003	< 2,4E-01	3,5E+00 10%	< 2,1E-01	< 1,1E+00
		27/03/2003	< 2,4E-01	4,5E+00 10%	< 2,1E-01	< 1,1E+00
		07/11/2003	< 3,2E-01	2,9E+01 5%	1,4E+00 24%	< 1,7E+00
		07/11/2003	< 2,5E-01	5,6E+00 9%	< 2,2E-01	< 1,7E+00
		25/03/2004	< 1,7E-01	6,4E+00 6%	3,2E+00 8%	< 9,0E-01
		25/03/2004	< 4,5E-01	7,4E+00 15%	< 3,0E-01	< 2,9E+00
		16/06/2004	< 2,1E-01	4,4E+00 4%	< 1,9E-01	< 1,8E+00
		16/06/2004	< 2,5E-01	7,6E+00 7%	< 2,0E-01	< 1,8E+00
TF3	15/07/2004	< 2,7E-01	5,0E+00 4%	< 2,9E-01	< 1,6E+00	
	10/09/2004	< 2,2E-01	9,5E+00 4%	< 3,3E-01	< 2,2E+00	
	19/10/2004	< 2,4E-01	4,0E+00 18%	< 3,0E-01	< 2,9E+00	
	29/03/2004	< 3,7E-01	1,2E+01 6%	< 2,9E-01	< 1,9E+00	
		18/10/2004	< 1,6E-01	8,3E+00 6%	8,2E-01 35%	< 1,9E+00
R non rilevanza			3,8E+02	5,5E+02	4,4E+02	2,4E+02

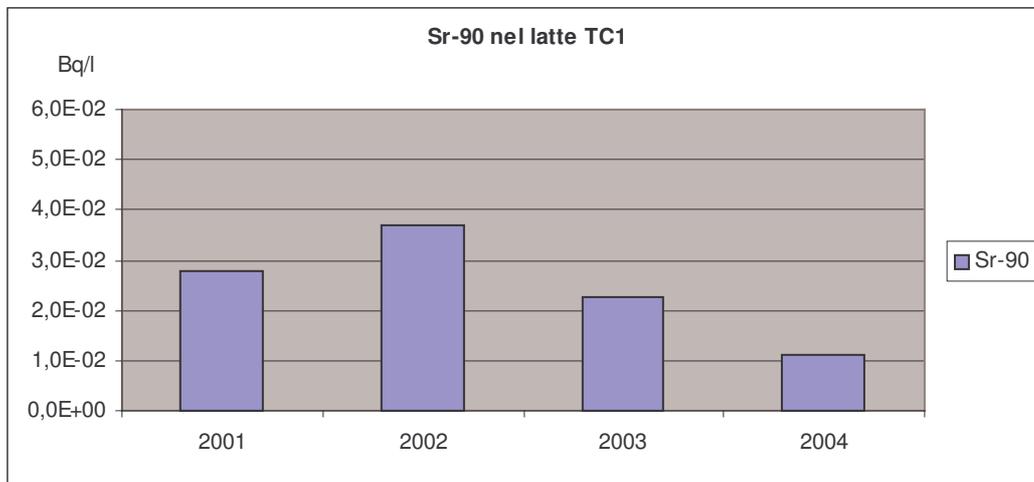
Latte bovino crudo

Nel latte bovino crudo di produzione locale, prelevato presso le cascine TC1 e TC2 è 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 .

I dati osservati sono sempre al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica*.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	Sr-90 Bq/l 2σ
Latte crudo	TC1	27/02/2003	< 6,4E-02	< 1,0E-01	< 4,9E-02	2,8E-02 26%
		18/06/2003	< 2,4E-01	< 2,8E-01	< 1,7E-01	2,0E-02 32%
		10/11/2003	< 7,0E-02	< 6,9E-02	< 7,6E-02	
		10/02/2004	< 2,2E-01	< 2,9E-01	< 2,2E-01	1,1E-02 52%
		09/08/2004	< 2,4E-01	< 3,2E-01	< 1,6E-01	
		20/09/2004	< 2,1E-01	< 2,9E-01	< 1,5E-01	
				14/12/2004	< 1,9E-01	< 3,0E-01
	TC2	30/03/2004	< 9,9E-02	< 1,3E-01	< 1,0E-01	< 1,4E-02
		30/06/2004	< 1,8E-01	< 2,4E-01	< 1,6E-01	
		25/08/2004	< 2,5E-01	< 2,9E-01	< 2,2E-01	
		17/12/2004	< 2,4E-01	< 3,3E-01	< 2,0E-01	
R non rilevanza			3,2E+00	4,0E+00	1,5E+00	3,6E-01

Riportiamo per completezza l'andamento della contaminazione da Sr-90 nel latte prelevato presso la cascina TC1 per il periodo 2001-2004.



Ortaggi

Negli ortaggi prelevati presso gli orti TO1 e TO2 di Trino i dati osservati sono sempre al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica*.

Campione	Punto	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Ortaggi	TO1	07/05/2003	< 8,5E-01	< 1,1E+00	< 5,8E-01
		07/05/2003	< 1,4E-01	< 6,2E-02	< 1,1E-01
		07/05/2003	< 1,9E-01	< 2,2E-01	< 2,5E-01
		18/07/2003	< 1,6E-01	< 1,2E-01	< 5,2E-01
		18/07/2003	< 1,8E-01	< 1,1E-01	< 1,8E-01
		07/11/2003	< 1,4E-01	< 2,0E-01	< 1,5E-01
		07/11/2003	< 3,0E-01	< 1,2E-01	< 9,7E-02
		07/11/2003	< 1,2E-01	< 2,8E-01	< 6,9E-02
		22/12/2003	< 1,2E-01	< 1,4E-01	< 4,6E-02
		24/03/2004	< 9,5E-02	< 2,3E-01	< 7,5E-02
		05/08/2004	< 1,5E-01	< 2,0E-01	< 1,9E-01
		05/08/2004	< 9,7E-02	< 1,8E-01	< 9,8E-02
		05/08/2004	< 6,7E-02	< 1,5E-01	< 1,2E-01
		16/09/2004	< 4,5E-01	< 5,3E-01	< 3,1E-01
		16/09/2004	< 3,7E-01	< 4,6E-01	< 3,3E-01
		14/12/2004	< 6,5E-02	< 8,3E-02	< 3,1E-02
		14/12/2004	< 5,9E-02	< 6,0E-02	< 7,0E-02
	TO2	07/05/2003	< 5,2E-01	< 8,0E-01	< 3,6E-01
		07/05/2003	< 8,1E-01	< 1,1E+00	< 4,0E-01
		18/07/2003	< 8,7E-02	< 2,0E-01	< 1,6E-01
		10/11/2003	< 3,7E-01	< 3,8E-01	< 3,9E-01
		10/11/2003	< 1,5E-01	< 1,7E-01	< 9,2E-02
		10/11/2003	< 5,6E-02	< 1,9E-01	< 1,5E-01
		22/12/2003	< 2,1E-01	< 2,8E-01	< 2,3E-01
		23/12/2003	< 1,1E-02	< 1,2E-01	< 5,0E-02
		24/03/2004	< 1,5E-01	< 3,0E-01	< 1,2E-01
		24/03/2004	< 2,5E-01	< 5,6E-01	< 2,1E-01
		05/08/2004	< 1,3E-01	< 3,0E-01	< 9,3E-02
		05/08/2004	< 4,4E-02	< 1,4E-01	< 1,3E-01
		16/09/2004	< 2,7E-01	< 3,9E-01	< 3,9E-01
		16/09/2004	< 4,2E-01	< 4,5E-01	< 3,6E-01
		14/12/2004	< 3,4E-01	< 5,2E-01	< 1,6E-01
		14/12/2004	< 2,7E-01	< 3,4E-01	< 2,5E-01
		R non rilevanza			8,8E+00

Particolato atmosferico

Nel particolato atmosferico prelevato in continuo presso la sede Arpa di Vercelli non è mai stata rilevata la presenza di radionuclidi di origine artificiale.

Sono riportati per brevità soltanto i valori massimi annuali. I valori medi osservati sono sempre al di sotto dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica*.

Campione	Massimo annuale	Cs-134 Bq/m ³ 2σ	Cs-137 Bq/m ³ 2σ	I-131 Bq/m ³ 2σ
Particolato atmosferico	2003	<3,8E-04	<6,0E-04	<7,9E-04
	2004	<9,0E-05	<1,2E-04	<5,7E-04
R non rilevanza		2,1E-01	3,0E-01	7,3E-02

Fall out

Nel fall out (ricaduta al suolo) campionato in continuo presso la sede Arpa di Vercelli è occasionalmente 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. Non sono riportati i valori soglia poiché non definibili nel caso di questa matrice, considerata un indicatore qualitativo.

Campione	Mese riferimento	Cs-134 Bq/m ² 2σ	Cs-137 Bq/m ² 2σ	I-131 Bq/m ² 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
	gennaio 2004	<9,0E-02	<1,0E-01	<1,1E+00
	febbraio 2004	<7,9E-02	<1,2E-01	<5,5E+00
	marzo 2004	<9,6E-02	<1,1E-01	<2,5E+00
	aprile 2004	<1,0E-01	<1,3E-01	<3,7E+00
	maggio 2004	<9,9E-02	<1,2E-01	<1,2E+01
	giugno 2004	<9,9E-02	<1,3E-01	<2,1E+00
	luglio 2004	<1,0E-01	<1,2E-01	<3,1E+00
	agosto 2004	<9,4E-02	2,2E-01 48%	<3,3E+00
	settembre 2004	<9,7E-02	<1,1E-01	<8,4E+00
	ottobre 2004	<6,3E-02	<1,4E-01	<7,4E+00
	novembre 2004	<9,9E-02	<1,2E-01	<2,1E+01
	dicembre 2004	<9,1E-02	<1,3E-01	<5,0E+00

7. VALUTAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi dei dati relativi alle misure effettuate nell'anno 2004 permette di affermare che lo stato radiologico dell'ambiente circostante il sito di Trino 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;

- le contaminazioni da Cs-137 e da I-131 dell'acqua superficiale del fiume Po, riscontrabili sia a monte che a valle dell'impianto, sono completamente attribuibili, rispettivamente, all'incidente di Chernobyl del 1986 e a scarichi ospedalieri;
- la contaminazione da Cs-137 dei sedimenti del fiume Po, riscontrabile sia a monte che a valle dell'impianto, è completamente attribuibile all'incidente di Chernobyl del 1986; nei punti a valle 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.

Inoltre, dal momento che non è mai stato riscontrato, neanche occasionalmente, il superamento di nessuno dei *valori soglia per la non rilevanza radiologica* e dei *valori di screening* si può affermare che non è mai stato raggiunto il limite di non rilevanza radiologica di $10\mu\text{Sv}/\text{anno}$ per qualsiasi individuo della popolazione.

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