



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 COMPENSORIO NUCLEARE DI SALUGGIA (VC) Aggiornamento 2003

INDICE

1. Premessa	p. 2
2. Caratterizzazione del comprensorio	2
3. Monitoraggio ambientale	3
4. Concentrazioni di riferimento	7
5. Metodologia di misura	16
6. Risultati delle misure	17
7. Valutazioni conclusive	30
8. Glossario	31

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.

1. CARATTERIZZAZIONE DEL COMPENSORIO

Il Compensorio nucleare di Saluggia è situato in provincia di Vercelli sulla strada provinciale Saluggia – Crescentino. E' delimitato ad est dal canale Farini, a sud dal canale Cavour, ad ovest dal fiume Dora Baltea e a nord da proprietà private.

Può essere suddiviso in due aree separate: nella prima è insediato l'impianto EUREX del centro ricerche dell'ENEA, mentre nella seconda sono insediati il gruppo Sorin e il deposito Avogadro.

- L'ENEA EUREX è un impianto per il ritrattamento di elementi di combustibile irraggiati ad alto arricchimento in U-235 di tipo M.T.R.

L'impianto attualmente non è più in esercizio ma nel corso della sua attività ha prodotto un grosso quantitativo di rifiuti radioattivi sia solidi che liquidi attualmente stoccati all'interno dell'area.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale il pericolo maggiore è costituito dai rifiuti liquidi che possono essere così classificati:

- a) rifiuti liquidi ad alta attività;
- b) rifiuti liquidi a media e bassa attività;
- c) rifiuti liquidi a bassissima attività.

I rifiuti di cui ai punti a) e b) sono destinati al condizionamento e conservati in serbatoi di acciaio inossidabile della capacità di circa 50 m³ contenuti a loro volta in celle di calcestruzzo schermate ed impermeabilizzate.

I rifiuti di cui al punto c) sono invece raccolti in due vasche da 1000 m³ (ponds) in attesa di essere scaricati nel fiume Dora Baltea secondo la formula di scarico assegnata dall'autorità di controllo.

- Nel complesso Sorin si effettua la produzione di radiofarmaci, preparati farmaceutici che contengono radioisotopi a breve tempo di dimezzamento destinati all'utilizzo in campo medico per diagnostica "in vivo" ed "in vitro". I rifiuti radioattivi liquidi prodotti durante l'attività vengono convogliati in quattro serbatoi da 50 m³ ciascuno in attesa di essere smaltiti nel fiume Dora Baltea secondo la formula di scarico assegnata dall'autorità di controllo. Inoltre nell'insediamento è presente un'area destinata a deposito di rifiuti radioattivi solidi, dove sono stoccate, contenute in appositi fusti omologati, sorgenti sigillate e non sigillate.

- Il deposito Avogadro della FIAT AVIO trova sede nella piscina, riadattata allo scopo, del reattore di ricerca AVOGADRO RS1 che ha cessato la sua attività nell'anno 1971. In esso sono contenuti 371 elementi di combustibile nucleare irraggiato dei quali 49 provengono dalla centrale nucleare di Trino Vercellese e 322 dalla centrale nucleare di Garigliano. Per 259 elementi UO₂ della centrale di Garigliano sono in corso le operazioni di trasferimento all'impianto di ritrattamento di Sellafield (GB): al momento attuale (marzo 2004) sono stati effettuati 7 trasporti per un totale di 140 elementi. I rifiuti radioattivi liquidi prodotti nel deposito sono raccolti in appositi serbatoi in attesa di essere scaricati nel fiume Dora Baltea secondo la formula di scarico assegnata dall'autorità di controllo.

2. MONITORAGGIO AMBIENTALE

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
Trimestrale	Acqua potabile
Trimestrale	Acqua di falda
Trimestrale	Acqua di pozzo
Semestrale	Acqua superficiale e sedimenti
Semestrale	Suolo
Semestrale	Latte
Semestrale	Ortaggi

Come già anticipato, nel corso dell'anno 2003 hanno avuto inizio le operazioni di trasporto di parte del combustibile nucleare irraggiato dal Deposito Avogadro all'impianto di ritrattamento di Sellafield (GB). Pertanto si è ritenuto opportuno adeguare le azioni di monitoraggio, individuando matrici e punti di prelievo specifici.

Frequenza di campionamento	Matrice/indagine
Dopo ogni trasporto	Suolo
Dopo ogni trasporto	Erba
In continuo	Aria
In continuo	Dose ambientale gamma

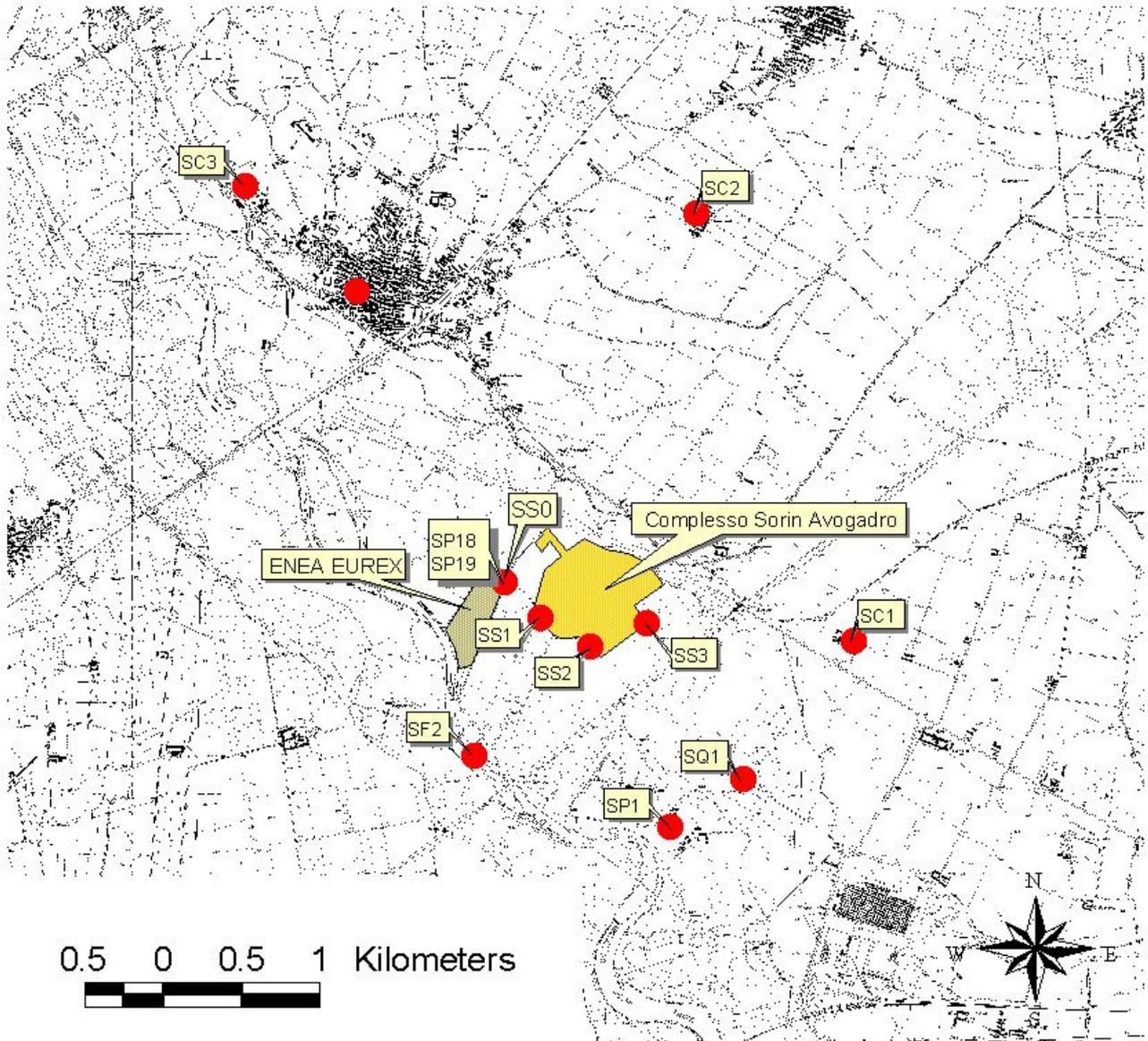
In merito alle matrici ed ai punti di prelievo individuati si possono formulare le seguenti considerazioni:

- l'acqua dell'acquedotto del Monferrato, oltre ad essere distribuita ad un'utenza molto vasta, consente di controllare l'eventuale contaminazione della falda profonda;
- l'acqua di falda dei piezometri all'interno del centro ENEA e del pozzo privato in località Benne (SP1) consente di controllare la contaminazione della falda superficiale;
- l'acqua superficiale e i sedimenti fluviali della Dora Baltea permettono di controllare la contaminazione conseguente il rilascio degli effluenti liquidi da parte degli impianti;
- il suolo prelevato all'esterno del Compensorio nucleare consente di controllare la contaminazione conseguente il rilascio sia degli effluenti liquidi che aeriformi da parte degli impianti;
- le matrici alimentari (latte e ortaggi) prelevate presso le cascine SC1, SC2 e SC3, 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;

- il suolo e l'erba prelevati presso il Deposito Avogadro (SS1) consentono di evidenziare eventuali ricadute anomale (fall out) correlate alle operazioni di trasferimento del combustibile;
- l'aria prelevata in continuo presso il Deposito Avogadro (SS1) consente di monitorare i rilasci di effluenti radioattivi aeriformi dal camino dell'impianto;
- la misura del rateo di dose ambientale gamma misurata in continuo consente di stimare eventuali incrementi correlati alle operazioni di trasferimento del combustibile.

Codice punto	UTMX	UTMY	Matrice
SC1	425632	5007574	latte
SC1	425632	5007574	ortaggi
SC1	425632	5007574	suolo campo mais
SC1	425632	5007574	mais
SC2	424630	5010304	latte
SC2	424630	5010304	ortaggi
SC2	424630	5010304	suolo campo mais
SC2	424630	5010304	mais
SC3	421770	5010486	latte
SC3	421770	5010486	ortaggi
SC3	421770	5010486	suolo campo mais
SC3	421770	5010486	mais
SP1	424464	5006380	acqua di pozzo
SP18	423418	5007950	acqua piezometri
SP19	423418	5007950	acqua piezometri
SQ1	424930	5006690	acqua di rete
SS0	423418	5007950	suolo
SS1	423643	5007715	suolo
SS1	423643	5007715	erba
SS1	423643	5007715	particolato atmosferico
SS1	423643	5007715	rateo di dose gamma
SS2	423959	5007535	suolo
SS3	424319	5007681	suolo
SF2	423223	5006840	acqua di fiume
SF2	423223	5006840	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];

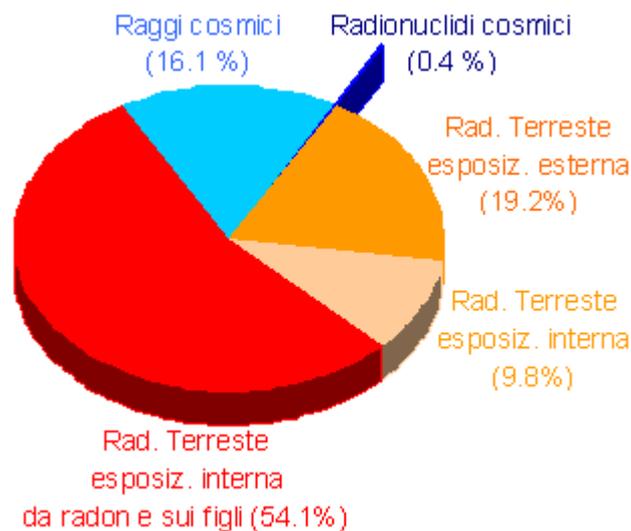
$h(g)_{j,ing}$ e $h(g)_{j,ina}$ rappresentano la dose efficace impegnata per unità di introduzione del radionuclide j [Sv/Bq] rispettivamente ingerito o inalato da un individuo appartenente al gruppo di età g pertinente (≤ 1 anno, 1-2 anni, 2-7 anni, 7-12 anni, 12-17 anni, >17 anni) - tabelle IV-4 e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

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.

Concentrazioni di riferimento R_j in Bq/kg $E_{limite} = 1\text{mSv/anno}$	
	Suolo
Classe di età	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, 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 dagli impianti 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			
Classe di età (g)	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni
latte	700	250	220
mais	30	160	200
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; 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 $E_{limite} = 1\text{mSv/anno}$						
Classe di età (g)	Latte			Mais		
	≤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
Cs-137	1,9E+02	1,1E+03	9,6E+02	4,3E+03	1,7E+03	1,1E+03
Co-60	7,2E+01	1,0E+03	3,7E+03	1,7E+03	1,6E+03	4,0E+03
Sr-90	1,7E+01	1,8E+02	4,4E+02	4,0E+02	2,9E+02	4,9E+02
I-131	2,2E+01	2,1E+02	5,7E+02	5,1E+02	3,3E+02	6,2E+02

Concentrazioni di riferimento $R(g)_{j,m}$ in Bq/kg $E_{limite} = 1\text{mSv/anno}$						
	Ortaggi			Acqua potabile		
Classe di età (g)	≤1 anno	7-12 anni	>17 anni	≤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:

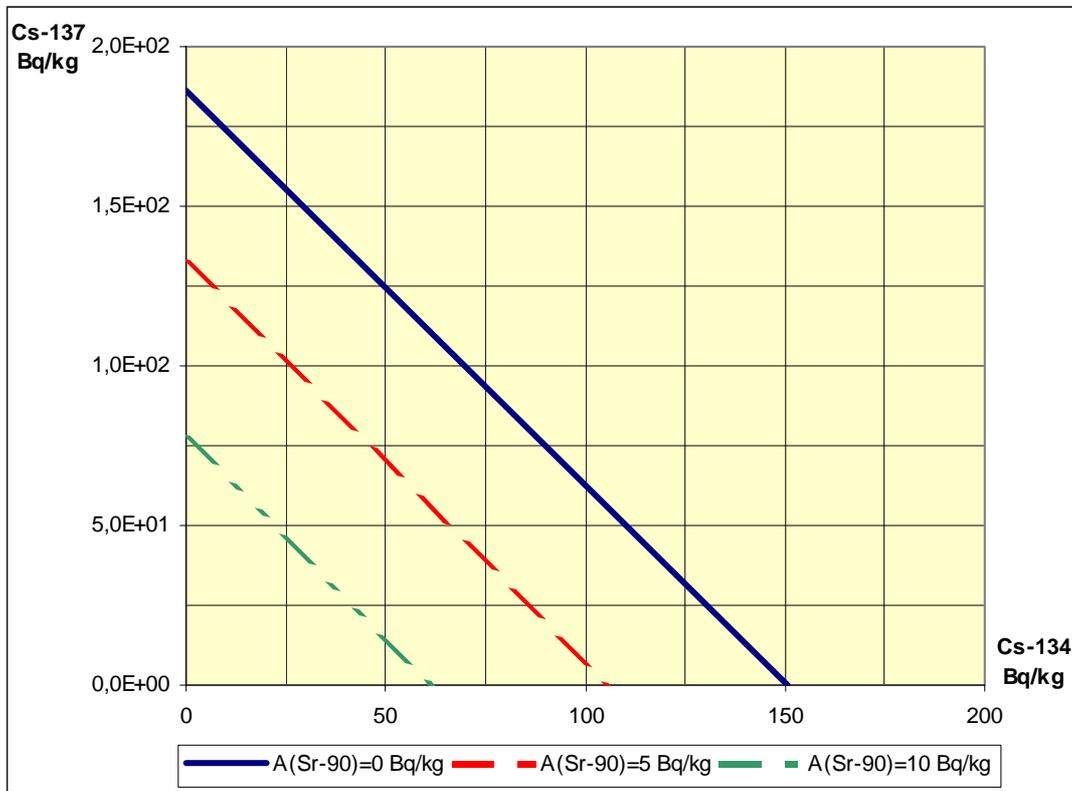
$$\sum_{j,m} \frac{C_{j,m}}{R(g)_{j,m}} < 1$$

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):

Volumi medi inalati m³/anno			
<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/m³] 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.

Concentrazioni di riferimento $R(g)_j$ in Bq/m³ $E_{limite} = 1\text{mSv/anno}$			
Particolato atmosferico			
<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 – $E_{non\ rilevanza} = 10\ \mu\text{Sv/anno}$ – 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 $E_{limite} = 1\ \text{mSv/anno}$ 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/m³ e Bq/m² 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.

Sui filtri dell'aria vengono eseguite misure di attività alfa e beta totali dopo aver atteso il decadimento dei radionuclidi naturali a vita breve; sul pacchetto settimanale viene poi eseguita una misura di spettrometria gamma.

I dosimetri a TLD utilizzati per la misura della dose ambientale gamma sono lasciati esposti per tutto l'intervallo di tempo compreso tra due trasporti successivi ed inviati dopo ogni trasporto all'Istituto di Radioprotezione dell'Enea (laboratorio di Saluggia) per la lettura.

6. RISULTATI DELLE MISURE

Nelle tabelle e nei grafici seguenti sono riportati gli andamenti della contaminazione delle matrici riportate al paragrafo 3; il periodo considerato (anni 2000-2003) comprende l'evento alluvionale del 15-16 ottobre 2000 per poterne evidenziare l'eventuale impatto dal punto di vista radiologico sull'ambiente e sulla popolazione.

Acqua potabile Acquedotto del Monferrato

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nell'acqua potabile prelevata presso il campo pozzi della Cascina Giarrea dell'Acquedotto del Monferrato (SQ1).

I valori sono tutti inferiori alle M.A.R.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l	2σ	Cs-137 Bq/l	2σ	Co-60 Bq/l	2σ
Acqua di rete	17/05/2000	SQ1	< 2,6E-03		< 9,8E-03		< 6,3E-03	
	21/09/2000		< 6,9E-03		< 6,5E-03		< 4,8E-03	
	06/12/2000		< 1,3E-03		< 1,8E-03		< 1,3E-03	
	18/01/2001		< 8,3E-04		< 1,7E-03		< 3,2E-03	
	07/03/2001		< 9,4E-04		< 1,1E-03		< 1,5E-03	
	12/06/2001		< 1,8E-03		< 2,7E-03		< 1,4E-03	
	03/10/2001		< 1,2E-03		< 1,4E-03		< 1,3E-03	
	18/12/2001		< 2,0E-03		< 2,3E-03		< 2,3E-03	
	19/02/2002		< 1,0E-03		< 2,2E-03		< 5,5E-04	
	12/03/2002		< 5,8E-04		< 1,6E-03		< 8,1E-04	
	28/06/2002		< 1,6E-03		< 1,8E-03		< 1,4E-03	
	08/11/2002		< 1,9E-03		< 2,2E-03		< 2,0E-03	
	20/12/2002		< 2,1E-03		< 1,0E-03		< 1,8E-03	

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ
	27/02/2003		< 2,2E-03	< 2,4E-03	< 2,5E-03
	01/04/2003		< 1,9E-03	< 3,2E-03	< 3,1E-03
	18/06/2003		< 2,8E-03	< 2,5E-03	< 2,1E-03
	08/09/2003		< 2,7E-03	< 3,4E-03	< 2,1E-03
	11/12/2003		< 1,9E-03	< 2,0E-03	< 2,1E-03

Acqua piezometri

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 e Sr-90 nell'acqua dei piezometri posti all'interno del Centro ENEA. E' presente contaminazione da Sr-90 con valori tipici per questa matrice - dovuta alle esplosioni nucleari in atmosfera degli anni '50 e '60 - mentre per gli altri radionuclidi i valori sono tutti inferiori alle M.A.R. ad eccezione di due 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. Il piezometro 20 è stato smantellato nella seconda metà del 2001 per lavori del Centro ENEA.

Campione	Data prelievo	P.	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	Sr-90 ¹ Bq/l 2σ
Acqua piezometro 18	09/03/2000	SP18	< 1,7E-03	< 2,2E-03	< 2,0E-03	< 3,3E-04
	24/05/2000		< 4,3E-03	< 4,2E-03	< 4,4E-03	-
	22/09/2000		< 1,1E-03	< 3,3E-03	< 3,0E-03	< 1,1E-04
	08/11/2000		< 2,4E-03	< 1,3E-03	< 2,7E-03	< 1,1E-04
	07/12/2000		< 1,6E-03	< 1,4E-03	< 7,3E-04	-
	20/02/2001		< 1,9E-03	< 2,2E-03	< 1,0E-03	-
	08/06/2001		< 1,4E-03	< 3,7E-03	< 1,7E-03	-
	19/09/2001		< 9,2E-04	< 1,3E-03	< 1,6E-03	-
	05/12/2001		< 1,5E-03	< 1,6E-03	< 1,1E-03	-
	14/03/2002		< 2,4E-03	< 2,9E-03	< 2,0E-03	9,5E-04 18%
	20/06/2002		< 3,0E-03	< 2,8E-03	< 1,3E-03	
	20/09/2002		< 1,9E-03	< 1,8E-03	< 1,8E-03	
	19/12/2002		< 1,7E-03	< 2,4E-03	< 1,4E-03	
	31/03/2003		< 2,3E-03	< 2,3E-03	< 7,5E-04	*
	26/06/2003		< 2,0E-03	< 2,5E-03	< 1,9E-03	
	15/10/2003		< 1,7E-03	< 2,3E-03	< 1,9E-03	
	18/12/2003		< 2,6E-03	< 3,2E-03	< 2,9E-03	

* analisi in corso

¹ Per il 2002 i dati relativi alla contaminazione da Sr-90 si riferiscono al campione composito annuale.

Campione	Data prelievo	P.	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	Sr-90 Bq/l 2σ
Acqua piezometro 19	09/03/2000	SP19	< 4,1E-03	< 5,8E-03	< 5,0E-03	2,1E-03 17%
	24/05/2000		< 3,1E-03	< 3,4E-03	< 4,3E-03	-
	22/09/2000		< 1,1E-03	< 3,0E-03	< 2,3E-03	< 1,1E-04
	08/11/2000		< 2,5E-03	< 2,6E-03	< 2,5E-03	< 1,1E-04
	07/12/2000		< 1,2E-03	< 1,3E-03	< 7,3E-04	-
	19/01/2001		< 1,5E-03	< 1,3E-03	< 1,5E-03	-
	20/02/2001		< 2,0E-03	2,7E-03 76%	< 1,6E-03	-
	27/06/2001		< 2,5E-03	< 3,3E-03	< 1,9E-03	-
	05/12/2001		< 1,2E-03	< 1,3E-03	< 1,2E-03	-
	14/03/2002		< 2,6E-03	< 2,5E-03	< 9,1E-04	-
	20/06/2002		< 2,9E-03	< 3,3E-03	< 1,1E-03	
	20/09/2002		< 2,0E-03	< 1,9E-03	< 2,4E-03	
	19/12/2002		< 2,0E-03	< 1,2E-03	< 2,4E-03	
	31/03/2003		< 2,9E-03	< 3,6E-03	< 1,5E-03	*
	26/06/2003		< 3,2E-03	< 2,0E-03	< 2,1E-03	
	15/10/2003		< 2,8E-03	< 2,1E-03	< 2,6E-03	
	18/12/2003		< 2,2E-03	< 2,6E-03	< 1,3E-03	

* analisi in corso

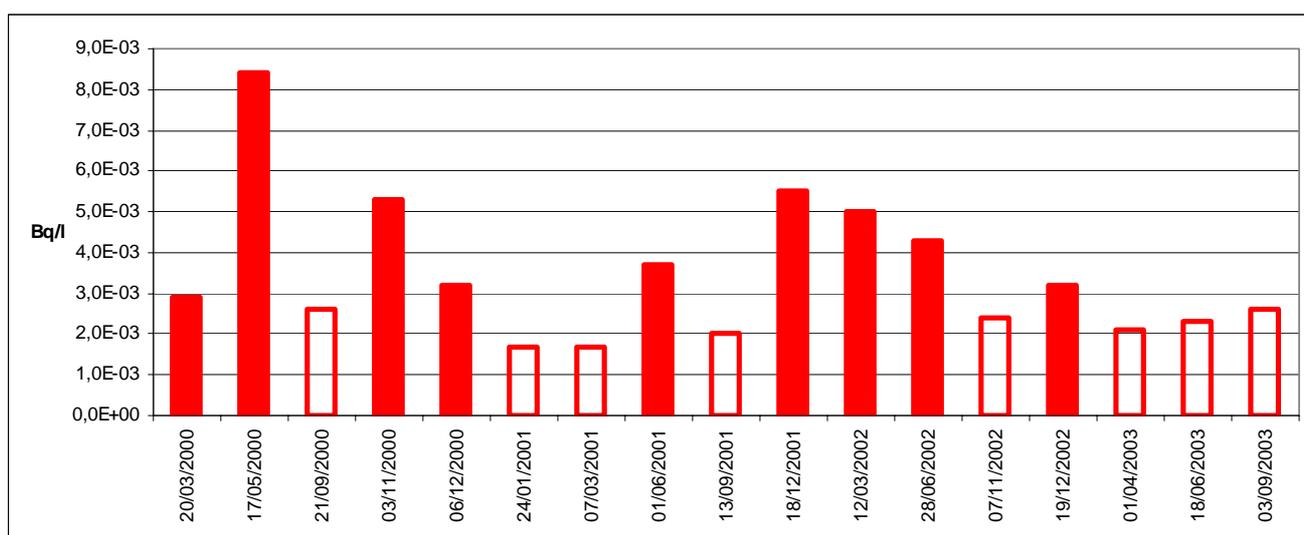
Campione	Data prelievo	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	Sr-90 Bq/l 2σ
Acqua piezometro 20	09/03/2000	< 1,7E-03	< 1,9E-03	< 2,0E-03	< 3,3E-04
	24/05/2000	< 6,5E-03	< 7,8E-03	< 7,6E-03	-
	22/09/2000	< 6,8E-03	< 8,2E-03	< 6,0E-03	< 1,1E-04
	08/11/2000	< 1,7E-03	< 2,3E-03	< 3,0E-03	< 1,1E-04
	07/12/2000	< 1,2E-03	1,4E-03 74%	< 1,4E-03	-
	19/01/2001	< 1,6E-03	< 2,1E-03	< 2,0E-04	-
	20/02/2001	< 2,3E-04	< 2,4E-04	< 7,7E-04	-

Acqua di pozzo

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nell'acqua di pozzo prelevata presso il pozzo privato SP1 sito in Località Benne di Saluggia. In questa matrice è stata riscontrata, a partire dal 1996, la presenza di contaminazione radioattiva di origine artificiale da parte di Co-60, certamente imputabile ad un evento accidentale occorso nel 1986 nello stabilimento Sorin. Le concentrazioni di Cs-137 sporadicamente osservate sono imputabili all'incidente di Chernobyl e confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l	2σ	Cs-137 Bq/l	2σ	Co-60 Bq/l	2σ
Acqua di pozzo	20/03/2000	SP1	< 9,9E-04		< 1,1E-03		2,9E-03	44%
	17/05/2000		< 3,5E-03		4,9E-03	62%	8,4E-03	66%
	21/09/2000		< 3,1E-03		< 2,5E-03		< 2,6E-03	
	03/11/2000		< 1,3E-03		< 1,3E-03		5,3E-03	52%
	06/12/2000		< 1,6E-03		1,4E-03	74%	3,2E-03	51%
	24/01/2001		< 1,5E-03		< 1,7E-03		< 1,7E-03	
	07/03/2001		< 9,7E-04		< 2,0E-03		< 1,7E-03	
	01/06/2001		< 1,1E-03		< 2,7E-03		3,7E-03	47%
	13/09/2001		< 1,3E-03		< 8,9E-04		< 2,0E-03	
	18/12/2001		< 1,9E-03		< 2,6E-03		5,5E-03	58%
	12/03/2002		< 1,6E-03		< 2,6E-03		5,0E-03	
	28/06/2002		< 1,4E-03		< 2,0E-03		4,3E-03	
	07/11/2002		< 1,8E-03		< 2,8E-03		< 2,4E-03	
	19/12/2002		< 5,8E-03		< 5,9E-03		3,2E-03	58%
	01/04/2003		< 2,8E-03		< 3,1E-03		< 2,1E-03	
	18/06/2003		< 1,8E-03		< 1,1E-03		< 2,3E-03	
	03/09/2003		< 2,5E-03		< 3,1E-03		< 2,6E-03	
	18/12/2003		< 1,8E-03		< 2,9E-03		< 2,8E-03	

Nel grafico è rappresentato l'andamento temporale della contaminazione da Co-60 per il periodo considerato: le barre vuote rappresentano i valori inferiori alla M.A.R.



L'acqua non è potabile per l'alta presenza di inquinanti convenzionali, soprattutto atrazina, ma anche ipotizzandone un consumo indebito e assumendo un consumo giornaliero di 2 l/giorno di

acqua per un adulto (età superiore a 17 anni), utilizzando il corretto coefficiente di dose (tabella IV-4 all. IV D.Leg. 241/2000) si avrebbe – considerando il valore di contaminazione da Co-60 più alto dell'intero periodo considerato – un contributo alla dose efficace da ingestione pari a $2,1E-05$ mSv/anno, nettamente inferiore al limite fissato dalla normativa di 1 mSv/anno per gli individui della popolazione.

Acqua superficiale e sedimenti fluviali

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nell'acqua superficiale della Dora Baltea prelevata a valle del Compensorio nucleare. E' presente contaminazione da Cs-137 con concentrazioni confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione e non si evidenzia la presenza di fenomeni di accumulo.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ
Acqua superficiale	26/05/2000	SF2	< 2,3E-04	2,4E-03 12%	< 2,4E-04
	10/11/2000		< 1,4E-04	2,2E-03 14%	< 1,0E-04
	31/10/2002		< 1,5E-04	2,1E-03 19%	< 1,4E-04
	05/06/2003		< 1,9E-04	4,9E-03 7%	< 1,8E-04
	08/10/2003		< 1,6E-04	1,2E-03 26%	< 8,6E-05

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 nei sedimenti fluviali della Dora Baltea prelevati a valle del Compensorio nucleare. E' presente contaminazione da Cs-137 con concentrazioni confrontabili con quelle comunemente riscontrabili in questa matrice per altre zone della provincia e della regione; in un solo caso è stata riscontrata una traccia di Co-60 riconducibile al citato incidente occorso presso lo stabilimento Sorin nel 1986; non si evidenziano situazioni di accumulo.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Sedimenti fluviali	09/06/2000	SF2	< 3,0E-01	8,9E+00 8%	< 2,5E-01
	29/11/2000		< 2,3E-01	1,0E+01 13%	6,1E-01 60%
	31/10/2002		< 2,2E-01	2,9E+01 10%	< 2,6E-01
	05/06/2003		< 2,5E-01	2,7E+00 17%	< 3,0E-01
	08/10/2003		< 1,8E-01	1,8E+01 4%	< 2,7E-01

Suolo

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 nello strato superficiale (0-5 cm) dei suoli prelevati all'esterno del Compensorio nucleare. 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; inoltre è stata riscontrata fin dal 1995 la presenza di contaminazione da Co-60 nel punto SS3, certamente imputabile al citato evento accidentale occorso nel 1986 nello stabilimento Sorin.

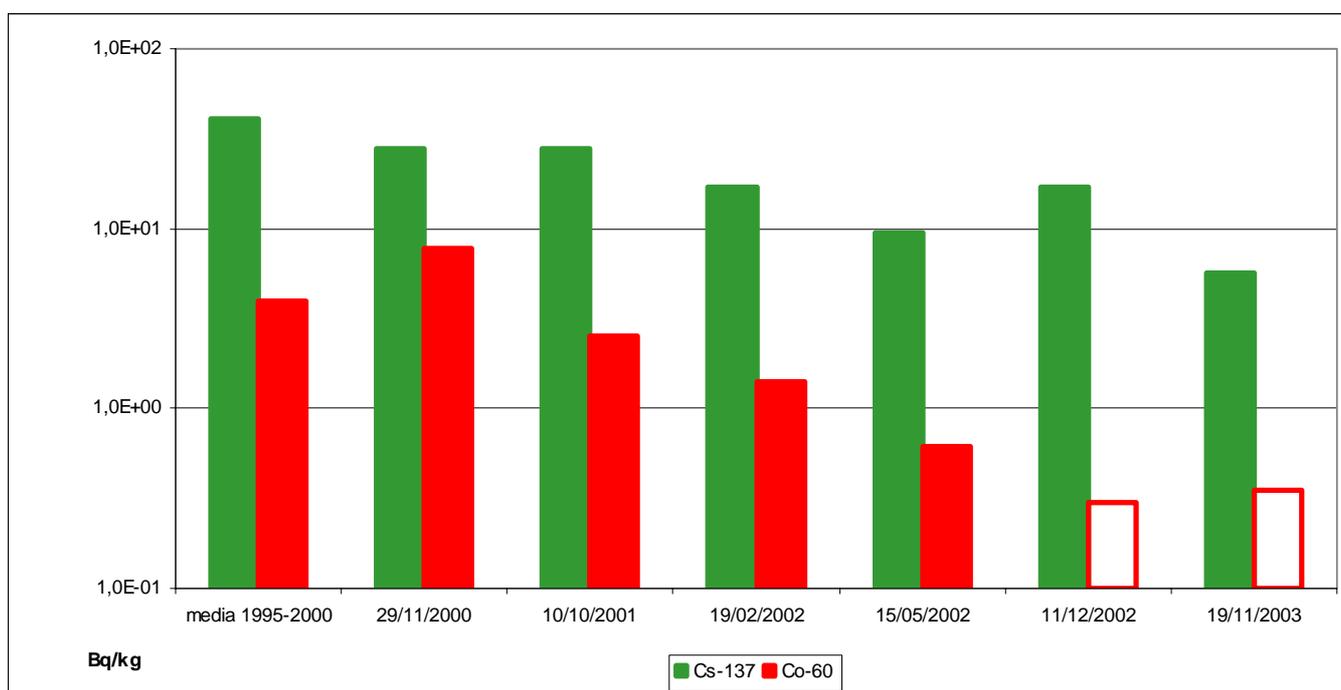
Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Suolo	14/02/2001	SS0 ²	< 5,0E-01		4,7E+01	12%	< 3,9E-01	
	10/10/2001		< 4,3E-01		2,4E+01	12%	< 3,5E-01	
	19/02/2002		< 2,5E-01		1,7E+01	12%	< 1,9E-01	
	15/05/2002		< 1,9E-01		1,3E+01	12%	< 7,4E-02	
	19/12/2002		< 2,9E-01		2,4E+01	10%	< 2,1E-01	

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Suolo	14/02/2001	SS2	< 2,1E-01		2,1E+01	12%	< 2,4E-01	
	10/10/2001		< 2,4E-01		5,5E+01	12%	< 2,0E-02	
	19/02/2002		< 2,1E-01		4,7E+01	12%	< 2,5E-01	
	15/05/2002		< 2,8E-01		2,1E+01	10%	< 3,0E-01	
	11/12/2002		< 3,0E-01		9,6E+00	10%	< 2,8E-01	
	28/01/2003		< 4,3E-01		3,8E+01	4%	< 3,8E-01	
	09/04/2003		< 2,3E-01		3,0E+01	4%	< 3,3E-01	
	02/05/2003		< 1,8E-01		1,9E+01	4%	< 1,9E-01	
	19/11/2003		< 4,8E-01		5,5E+01	4%	< 5,2E-01	

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Suolo	1996-2000	SS3	< 2,0E-01		4,1E+01	8%	4,0E+00	40%
	29/11/2000		< 5,5E-01		2,8E+01	12%	7,7E+00	12%
	10/10/2001		< 3,2E-01		2,8E+01	12%	2,5E+00	22%
	19/02/2002		< 3,7E-01		1,7E+01	12%	1,4E+00	28%
	15/05/2002		< 2,4E-01		9,5E+00	13%	6,1E-01	10%
	11/12/2002		< 3,6E-01		1,7E+01	10%	< 3,0E-01	
	19/11/2003		< 2,8E-01		5,7E+00	8%	< 3,5E-01	

² Il prelievo in tale punto non è più stato possibile a partire dal 2003 per lavori.

Nel grafico sottostante è riportato l'andamento temporale delle contaminazioni dello strato superficiale del suolo da Cs-137 e Co-60 per il punto SS3; le barre vuote rappresentano valori inferiori alla M.A.R. Il primo dato si riferisce alla media per gli anni 1996-2000.



Suoli coltivati

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 nello strato superficiale (0-5 cm) dei suoli coltivati a mais prelevati nei punti SC1, SC2 e SC3. 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. I valori osservati risultano pressoché costanti nel tempo a causa del rimescolamento degli strati di terreno dovuto all'aratura.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Suolo	16/05/2000	SC1	< 3,8E-01		3,9E+01	10%	< 1,6E-01	
	09/10/2001		< 4,5E-01		3,7E+01	10%	< 3,0E-01	
	06/06/2002		< 2,4E-01		3,4E+01	10%	< 2,6E-01	
	20/09/2002		< 3,1E-01		3,5E+01	10%	< 2,8E-01	
	11/12/2002		< 4,3E-01		3,0E+01	11%	< 2,3E-01	
	01/04/2003		< 3,1E-01		3,5E+01	5%	< 2,4E-01	
	19/11/2003		< 3,7E-01		3,5E+01	5%	< 2,4E-01	

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Suolo	17/05/2000	SC2	< 3,5E-01		3,8E+01	10%	< 3,7E-01	
	09/10/2001		< 2,0E-01		2,5E+01	12%	< 2,1E-01	
	06/06/2002		< 3,6E-01		2,8E+01	10%	< 2,6E-01	
	20/09/2002		< 1,5E-01		2,4E+01	10%	< 1,4E-01	
	11/12/2002		< 4,2E-01		3,0E+01	11%	< 4,4E-01	
	01/04/2003		< 3,5E-01		3,1E+01	5%	< 3,3E-01	
	19/11/2003		< 3,9E-01		3,1E+01	5%	< 3,4E-01	

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Suolo	16/05/2000	SC3	< 3,4E-01		4,4E+01	10%	< 3,3E-01	
	06/06/2002		< 5,2E-01		4,0E+01	10%	< 5,9E-01	
	20/09/2002		< 2,5E-01		4,2E+01	10%	< 1,2E-01	
	11/12/2002		< 6,2E-01		3,5E+01	10%	< 3,6E-01	
	01/04/2003		< 4,0E-01		3,9E+01	5%	< 5,1E-01	
	19/11/2003		< 3,8E-01		3,5E+01	5%	< 3,6E-01	

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 nel mais coltivato nei terreni sopra riportati. I valori sono tutti inferiori alle M.A.R. ad eccezione di un dato relativo a debole contaminazione da Cs-137 del tutto imputabile all'incidente di Chernobyl e confrontabile con le concentrazioni comunemente riscontrabili in questa matrice.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg	2σ	Cs-137 Bq/kg	2σ	Co-60 Bq/kg	2σ
Mais	09/10/2001	SC1	< 5,5E-02		4,5E-01	52%	< 6,1E-02	
	10/09/2002		< 3,3E-01		< 4,2E-01		< 3,5E-01	
	12/12/2003		< 2,7E-01		< 3,3E-01		< 2,5E-01	

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Mais	09/10/2001	SC2	< 3,6E-02	< 8,5E-02	< 1,1E-01
	10/09/2002		< 1,3E-01	< 1,9E-01	< 1,8E-01
	12/12/2003		< 1,9E-01	< 2,0E-01	< 1,4E-01

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Mais	10/10/2001	SC3	< 2,5E-01	< 2,6E-01	< 2,6E-01
	10/09/2002		< 8,9E-02	< 1,1E-01	< 8,4E-02
	12/12/2003		< 1,7E-01	< 1,7E-01	< 1,4E-01

Latte bovino crudo

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 e Sr-90 nel latte bovino crudo prelevato presso le cascine SC1, SC2 e SC3 di Saluggia. Sono presenti 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 - e una contaminazione da Cs-137 del tutto imputabile all'incidente di Chernobyl, non più rivelabile a partire dal II semestre 2001.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	Sr-90 ³ Bq/l 2σ
Latte	16/05/2000	SC1	< 6,7E-02	8,8E-02 62%	< 8,0E-03	< 9,9E-03
	23/11/2000		< 2,3E-01	2,7E-01 62%	< 1,8E-01	< 1,1E-02
	24/01/2001		< 8,6E-02	1,0E-01 68%	< 1,4E-01	-
	07/03/2001		< 1,2E-01	2,1E-01 76%	< 1,2E-01	< 3,1E-02
	22/05/2001		< 1,2E-01	< 1,5E-01	< 1,1E-01	< 3,6E-02
	11/08/2001		< 1,6E-01	< 2,3E-01	< 1,4E-01	-
	19/09/2001		< 9,3E-02	< 1,2E-01	< 1,6E-01	-
	18/12/2001		< 5,7E-02	< 1,0E-01	< 7,8E-02	-
	12/03/2002		< 3,7E-02	< 9,4E-02	< 9,1E-02	2,1E-02 70%
	06/06/2002		< 8,5E-02	< 8,8E-02	< 2,5E-02	
	10/09/2002		< 8,5E-02	< 3,2E-02	< 6,5E-02	
	19/12/2002		< 1,8E-01	< 2,7E-01	< 1,9E-01	
	01/04/2003		< 3,4E-02	< 9,0E-02	< 9,1E-02	*
	18/06/2003		< 2,0E-01	< 2,8E-01	< 9,3E-02	
	03/09/2003		< 1,9E-01	< 3,1E-01	< 2,6E-01	
	11/11/2003		< 2,0E-01	< 2,7E-01	< 1,8E-01	
	24/12/2003		< 2,2E-01	< 2,5E-01	< 2,1E-01	

* analisi in corso

³ Per il 2002 i dati relativi alla contaminazione da Sr-90 si riferiscono al campione composito annuale.

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	Sr-90 Bq/l 2σ
Latte	17/05/2000	SC2	< 1,7E-01	2,3E-01 68%	< 1,1E-01	< 9,9E-03
	09/10/2001		< 2,3E-01	< 2,9E-01	< 2,2E-01	< 7,7E-03
	06/06/2002		< 6,1E-02	< 1,0E-01	< 3,4E-02	3,5E-02 45%
	10/09/2002		< 2,2E-01	< 2,7E-01	< 1,0E-01	
	18/04/2003		< 2,3E-01	< 3,0E-01	< 2,0E-01	*
	17/11/2003		< 2,0E-01	< 2,7E-01	< 2,1E-01	

* analisi in corso

Campione	Data prelievo	Punto	Cs-134 Bq/l 2σ	Cs-137 Bq/l 2σ	Co-60 Bq/l 2σ	Sr-90 Bq/l 2σ
Latte	17/05/2000	SC3	< 1,1E-01	1,2E-01 51%	< 1,4E-01	< 9,9E-03
	10/10/2001		< 1,8E-01	< 2,7E-01	< 2,6E-01	-
	06/06/2002		< 2,2E-01	< 2,7E-01	< 1,4E-01	< 5,4E-03
	10/09/2002		< 1,9E-01	< 2,7E-01	< 1,7E-01	
	18/04/2003		< 3,3E-02	< 1,1E-01	< 9,1E-02	*
	11/11/2003		< 1,6E-01	< 2,8E-01	< 1,7E-01	

* 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 3,5E-03 mSv/anno – considerando i valori di contaminazione da Cs-137 e Sr-90 più alti per l'intero periodo considerato – nettamente inferiore al limite fissato dalla normativa di 1 mSv/anno per gli individui della popolazione.

Ortaggi

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137 e Co-60 negli ortaggi prelevati presso le cascine SC1, SC2 e SC3 di Saluggia. 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	Data prelievo	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Co-60 Bq/kg 2σ
Ortaggi	16/05/2000	< 2,3E-01	1,9E-01 70%	< 2,1E-01
	16/05/2000	< 1,6E-01	< 3,2E-01	< 1,6E-01
	17/05/2000	< 2,4E-01	< 2,9E-01	< 3,4E-01
	09/06/2000	< 2,8E-01	< 3,3E-01	< 3,2E-01
	06/12/2000	< 4,3E-01	< 6,7E-01	< 4,4E-01
	06/12/2000	< 4,8E-01	< 5,7E-01	< 4,4E-01
	22/05/2001	< 9,0E-02	< 1,8E-01	< 1,6E-01
	19/09/2001	< 1,3E-01	< 1,7E-01	< 1,2E-01
	19/09/2001	< 9,3E-02	< 1,0E-01	< 1,1E-01
	06/06/2002	< 2,5E-01	< 3,7E-01	< 3,0E-01
	08/11/2002	< 4,1E-02	< 1,5E-01	< 4,2E-02
	07/11/2002	< 4,7E-01	6,3E-01 54%	< 4,3E-01
	08/11/2002	< 4,1E-01	< 5,0E-01	< 3,9E-01
	10/09/2002	< 2,9E-01	< 3,1E-01	< 3,1E-01
	18/06/2003	< 1,9E-01	6,5E-01 47%	< 2,4E-01
	18/06/2003	< 2,5E-01	< 3,6E-01	< 3,1E-01
	10/12/2003	< 3,6E-01	< 4,7E-01	< 3,2E-01
	11/12/2003	< 4,1E-01	< 5,0E-01	< 2,8E-01
	24/12/2003	< 6,3E-02	< 1,7E-01	< 1,0E-01

Assumendo un consumo giornaliero di 500 g/giorno di ortaggi freschi 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 1,5E-03 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.

Monitoraggio per le operazioni di trasporto del combustibile nucleare

Suolo

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 e Am-241 nello strato superficiale (0-5 cm) di suolo prelevato nel punto SS1, nei pressi del Deposito Avogadro. I risultati sono espressi in Bq/m² per meglio valutare eventuali fenomeni di fall-out.

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; la fluttuazione dei dati rientra nella variabilità statistica

Campione	Trasporto	Punto	Co-60 Bq/m ² 2σ	Cs-134 Bq/m ² 2σ	Cs-137 Bq/m ² 2σ	Am-241 Bq/m ² 2σ
Suolo	bianco	SS1	< 10,66	< 15,79	344,28 10%	< 74,22
	n°1/aprile 2003		< 10,30	< 7,72	235,40 7%	< 37,89
	n°2/giugno 2003		< 7,39	< 7,74	232,29 9%	< 38,72
	n°3/agosto 2003		< 7,28	< 7,74	254,81 7%	< 54,60
	n°4/settembre 2003		< 16,70	< 12,71	275,48 7%	< 65,35
	n°5/novembre 2003		< 8,78	< 10,29	228,31 10%	< 57,71

Erba

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, Co-60 e Am-241 nell'erba prelevata nel punto SS1, nei pressi del Deposito Avogadro. I risultati delle misure sono sempre inferiori alla M.A.R.

Campione	Trasporto	Punto	Co-60 Bq/kg 2σ	Cs-134 Bq/kg 2σ	Cs-137 Bq/kg 2σ	Am-241 Bq/kg 2σ
Erba	bianco	SS1	< 1,39	< 1,22	< 1,9	< 4,72
	n°1/aprile 2003		< 1,39	< 1,01	< 1,37	< 3,44
	n°2/giugno 2003		< 1,10	< 0,87	< 1,00	< 3,10
	n°3/agosto 2003		< 1,00	< 0,76	< 1,00	< 2,40
	n°4/settembre 2003		< 0,86	< 0,70	< 0,90	< 3,10
	n°5/novembre 2003		< 0,39	< 0,58	< 1,30	< 5,10

Particolato atmosferico

Concentrazioni di Cs-134, Cs-137, attività alfa e beta totali nel particolato atmosferico prelevato in continuo nel punto SS1 presso il Deposito Avogadro.

Le concentrazioni di Cs-134 e di Cs-137 sono sempre inferiori alla M.A.R.; le concentrazioni di attività alfa e beta totali sono imputabili alla presenza di nuclidi di origine naturale a vita non breve.

Campione	Trasporto	Punto	α -totale Bq/m ³ 2 σ	β -totale Bq/m ³ 2 σ	Cs-134 Bq/m ³ 2 σ	Cs-137 Bq/m ³ 2 σ
Particolato atmosferico	bianco	SS1	1,50E-04 39%	1,90E-03 17%	<1,50E-04	<1,20E-04
	n°1/aprile 2003		2,00E-04 34%	1,90E-03 17%	<1,90E-04	<2,50E-04
	n°2/giugno 2003		1,50E-04 15%	1,70E-03 16%	<6,80E-05	<8,00E-05
	n°3/agosto 2003		2,40E-04 34%	3,00E-03 16%	<1,70E-04	<2,20E-04
	n°4/settembre 2003		2,30E-04 40%	3,20E-03 16%	<2,00E-04	<3,50E-04
	n°5/novembre 2003		2,60E-04 39%	2,10E-03 16%	<3,30E-04	<2,10E-04

Dose ambientale gamma

Ratei di dose ambientale gamma H*(10) minimo e massimo misurati nella zona antistante il Deposito Avogadro. Il valore della dose ambientale gamma misurato è imputabile al fondo naturale di radiazioni ed è confrontabile con i valori medi della zona.

Misura	Trasporto	Punto	Min μ Sv/h 2 σ	Max μ Sv/h 2 σ
Rateo di dose H*(10)	bianco	SS1	0,200 10%	0,226 10%
	n°1/aprile 2003		0,197 10%	0,210 10%
	n°2/giugno 2003		0,150 3%	0,160 3%
	n°3/agosto 2003		0,157 4%	0,171 4%
	n°4/settembre 2003		0,153 5%	0,170 5%
	n°5/novembre 2003		0,138 8%	0,161 8%

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 comprensorio nucleare di Saluggia 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;
- la contaminazione da Co-60 riscontrabile nel suolo SS3 è imputabile ad un incidente occorso nello stabilimento Sorin nel 1986;
- la contaminazione da Co-60 dell'acqua del pozzo privato SP1 sito in località Benne di Saluggia – già riscontrata fin dal 1996 – è imputabile allo stesso incidente. Le concentrazioni di Co-60 sono però estremamente basse e non comportano alcun rischio radiologico (l'acqua comunque non è potabile per l'alta presenza di inquinanti convenzionali, soprattutto atrazina);
- nell'acqua potabile dell'Acquedotto del Monferrato non è mai stata riscontrata la presenza di contaminanti radioattivi di origine artificiale;
- la contaminazione da Cs-137 dell'acqua superficiale della Dora Baltea 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 della Dora Baltea 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 Co-60 occasionalmente riscontrata è imputabile al citato incidente occorso nello stabilimento Sorin nel 1986;
- le operazioni di trasporto del combustibile nucleare irraggiato non hanno prodotto alcun impatto radiologico sull'ambiente e sulla popolazione.

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

9. 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 è previsto il riciclo o la riutilizzazione
- *Sostanza radioattiva*: ogni sostanza che presenti il fenomeno della radioattività