



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

**VALUTAZIONE DELL'IMPATTO RADIOLOGICO RELATIVO AI PRIMI TREDICI
TRASPORTI DI COMBUSTIBILE NUCLEARE IRRAGGIATO DAL DEPOSITO
AVOGADRO DI SALUGGIA (VC) ALL'IMPIANTO DI RITRATTAMENTO DI
SELLAFIELD (GRAN BRETAGNA).**

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

1. PREMESSA

Questa relazione tecnica è stata redatta al termine delle operazioni relative ai tredici trasporti di combustibile nucleare irraggiato dal Deposito Avogadro di Saluggia all'impianto di ritrattamento di Sellafield (GB).

I trasporti sono stati effettuati nel periodo aprile 2003 – febbraio 2005 per un totale di 259 elementi UO_2 di combustibile nucleare irraggiato proveniente dalla Centrale nucleare di Garigliano.

In essa, per facilitare la consultazione e per fornire un quadro completo della situazione, sono riassunti i risultati di tutte le misure radiometriche effettuate durante le tredici operazioni di trasferimento del combustibile nucleare irraggiato (intese come ciclo completo di estrazione dalla piscina, caricamento nei contenitori di trasporto e trasporto).

2. IL RUOLO DI ARPA

Le operazioni di trasferimento del combustibile nucleare irraggiato hanno visto Arpa Piemonte impegnata su due fronti:

1. Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo

I controlli radiometrici dei livelli di contaminazione e di irraggiamento sono effettuati, in ottemperanza della vigente normativa, da parte dell'Esercente e del Vettore. Inoltre è necessaria l'individuazione di un Ente terzo, organismo *super partes*, che ha il compito di certificare il rispetto dei limiti fissati dalla IAEA per il trasporto di materie radioattive. Il certificato di non contaminazione viene trasmesso alle ferrovie francesi per ottenere l'autorizzazione al transito del convoglio ferroviario sul territorio francese.

Arpa Piemonte è stata individuata come Ente terzo. In completa autonomia decisionale sulla tipologia e sui modi sono stati eseguiti controlli:

- sui vagoni ferroviari che hanno trasportato i casks vuoti in arrivo dall'impianto di Sellafield (contaminazione trasferibile alfa e beta-gamma, rateo di dose gamma);
- sui casks pieni in assetto di trasporto sul veicolo stradale (contaminazione trasferibile alfa e beta-gamma, rateo di dose gamma e neutronica).

2. Monitoraggio radiologico ambientale

Al fine di valutare correttamente l'impatto radiologico che le operazioni di trasferimento del combustibile nucleare irraggiato possono produrre sull'ambiente e sulla popolazione è stato messo a punto un piano di monitoraggio nel quale sono stati individuati i punti ritenuti significativi in cui effettuare:

- il prelievo e l'analisi di matrici ambientali: suolo ed erba – matrici ritenute significative per la rilevazione di eventuali deposizioni al suolo – e particolato atmosferico (aria) – per rilevare eventuali rilasci di effluenti gassosi;
- l'esecuzione di misure di dose ambientale per la valutazione della dose alla popolazione;
- l'esecuzione di misure di spettrometria gamma in campo al fine di monitorare l'eventuale contaminazione dei siti dopo le operazioni di trasferimento.

Le matrici da campionare, le analisi e le misure da eseguire sono state scelte nei vari punti di prelievo in funzione delle differenti operazioni che si sono svolte in ognuno di essi.

Sono stati individuati tre siti oggetto di indagine:

- il Deposito Avogadro di Saluggia, dove sono state effettuate le operazioni di movimentazione del combustibile nucleare irraggiato per il trasferimento dello stesso nei contenitori di trasporto (casks). La peculiarità della situazione ha suggerito l'introduzione di nuovi punti di campionamento intorno al Deposito ad integrazione di quelli già individuati per le campagne di monitoraggio periodicamente effettuate nel Comprensorio nucleare di Saluggia;
- il punto di trasferimento multimodale di Vercelli, dove sono state effettuate le operazioni di trasferimento dei casks dai veicoli stradali ai vagoni ferroviari;
- la stazione ferroviaria di Vercelli, dove il convoglio ha effettuato una breve sosta tecnica per l'aggancio del locomotore prima della partenza per la Francia.

Sito	Matrice o misura	Indagine eseguita
Deposito Avogadro	suolo	spettrometria gamma
	erba	spettrometria gamma
	aria	spettrometria gamma; attività alfa totale e beta totale
	dose ambientale gamma	dosimetri a TLD
Punto trasferimento Vercelli	dose ambientale gamma	dosimetri a TLD
	contaminazione piazzale	spettrometria gamma in campo
	dose ambientale gamma	dosimetri a TLD
Stazione ferroviaria Vercelli	dose ambientale gamma	dosimetri a TLD
	contaminazione dei binari	spettrometria gamma in campo

Inoltre è stato inserito un ulteriore punto di misura successivamente al 13° trasporto del febbraio 2005: in occasione di tale trasporto il convoglio ferroviario ha effettuato una sosta tecnica in un'area adibita al ricovero del materiale rotabile situata nella periferia ovest del comune di Chivasso (TO) a causa di una manifestazione non violenta che ne ha impedito il normale avanzamento. In analogia a quanto avviene per la stazione ferroviaria di Vercelli si è proceduto a monitorare l'eventuale contaminazione dei binari dopo la sosta.

Sito	Matrice o misura	Indagine eseguita
Area ricovero materiale rotabile Chivasso	contaminazione dei binari	spettrometria gamma in campo

3. METODOLOGIA DI MISURA

1. Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo

Le misure di contaminazione trasferibile alfa e beta-gamma sono state realizzate, secondo protocolli prestabiliti, tramite l'effettuazione di *smear test* in diversi punti delle superfici accessibili dei casks e dei vagoni e successive determinazioni di laboratorio con rivelatore proporzionale a flusso di gas.

Le misure di rateo di dose $H^*(10)$ gamma e neutronica sono state realizzate, anch'esse secondo protocolli prestabiliti, con rateometri portatili con sonde, rispettivamente, Geiger-Muller *pancake* e He-3.

2. Monitoraggio radiologico ambientale

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 delle operazioni oggetto del monitoraggio.

I risultati delle analisi sono espressi come concentrazioni di attività per il singolo radionuclide riferite alla massa o al volume della matrice considerata (Bq/kg , Bq/m^2 e Bq/m^3). 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 sia stata rivelata contaminazione da parte di un certo radionuclide è stata comunque considerata la M.A.R. come limite superiore per la concentrazione del radionuclide stesso (nelle tabelle si vedrà il simbolo <).

Particolare attenzione è stata posta, attraverso adeguate procedure, alla riferibilità e ripetibilità del dato: ad esempio le concentrazioni di contaminanti dei suoli sono sempre state riferite al peso secco, in modo da risultare indipendenti dalla quantità di acqua presente al momento del prelievo.

Sui campioni di suolo, erba ed aria (pacchetto settimanale) è stata 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. Sul campione di aria giornaliero sono inoltre state eseguite misure di attività alfa totale e beta totale ritardate con un rivelatore proporzionale a flusso di gas.

I dosimetri a TLD utilizzati per la misura della dose ambientale gamma sono stati esposti per tutto l'intervallo di tempo compreso tra due trasporti successivi.

Le misure di spettrometria gamma in campo sono state realizzate con uno spettrometro portatile, dotato di rivelatore al Germanio iperpuro, per permettere l'individuazione della presenza dei radioisotopi Cs-134, Cs-137 e Co-60 nei casi in cui non sia agevole il prelievo di campioni (piazzali di cemento, massicciata e traversine ferroviarie).

4. RISULTATI DELLE MISURE

1. Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo

La normativa internazionale fissa i limiti per la contaminazione trasferibile e per il rateo di dose, sia per l'imballaggio pieno (cask) che per il veicolo di trasporto, così come riassunto in tabella 1.

Tabella 1: requisiti per il trasporto

Grandezza	Limite sulla superficie del cask	Limite sulla superficie del vagone ferroviario
Contaminazione trasferibile alfa	0,4 Bq/cm ² *	0,04 Bq/cm ² *
Contaminazione trasferibile beta	4 Bq/cm ² *	0,4 Bq/cm ² *
Rateo di dose a contatto	2 mSv/h ($\gamma + n$)	5 μ Sv/h (γ)

*mediato su una superficie di 300 cm² per ogni punto della superficie accessibile; efficienza di rimozione 10%.

Nelle tabelle 2 e 3 sono riportati i valori massimi riscontrati nel corso dei tredici trasporti.

Le misure eseguite hanno confermato l'ampio rispetto dei limiti riportati in tabella 1: in particolare il rateo di dose $H^*(10)$ a contatto dei casks si è rivelato sempre inferiore al 2% del massimo valore ammesso. I valori misurati indicano che già ad 1 metro di distanza dalle superfici laterali dei veicoli di trasporto (cioè nella zona potenzialmente accessibile ai membri della popolazione nel corso dei trasporti) sono confrontabili con il fondo naturale di radiazioni.

I valori del rateo di dose gamma $H^*(10)$ misurati sui vagoni ferroviari non si discostano dal fondo naturale medio della zona. Il vagone 1 in occasione del 1° trasporto non è stato controllato perché ha trasportato il cask 1 direttamente dalla fabbrica e mai utilizzato.

Tabella 2: valori massimi di contaminazione trasferibile e di rateo di dose misurati sui casks

		Contaminazione α		Contaminazione β		Rateo di dose $\gamma+n$ H*(10) a contatto		Rateo di dose γ H*(10) a contatto	
		Bq/cm ²	2 σ	Bq/cm ²	2 σ	mSv/h	2 σ	mSv/h	2 σ
1° trasporto	Cask 1	0,00040	39%	0,6341	9%	0,0390	14%	0,0053	10%
	Cask 2	0,03038	10%	0,5948	9%	0,0190	14%	0,0053	10%
2° trasporto	Cask 1	0,01220	14%	0,7295	9%	0,0140	14%	0,0027	10%
	Cask 2	0,00306	26%	0,3546	9%	0,0130	14%	0,0016	10%
3° trasporto	Cask 1	0,00159	35%	0,3054	9%	0,0160	14%	0,0015	10%
	Cask 2	0,00098	47%	0,1473	9%	0,0210	14%	0,0020	10%
4° trasporto	Cask 1	0,01256	16%	0,5301	9%	0,0165	14%	0,0023	10%
	Cask 2	0,00114	43%	0,1994	9%	0,0109	14%	0,0015	10%
5° trasporto	Cask 1	0,00547	20%	0,3077	9%	0,0138	14%	0,0017	10%
	Cask 2	0,00327	25%	0,1406	9%	0,0134	14%	0,0181	10%
6° trasporto	Cask 1	0,00449	22%	0,3286	9%	0,0136	14%	0,0127	10%
	Cask 2	0,00949	16%	1,1640	9%	0,0138	14%	0,0026	10%
7° trasporto	Cask 1	0,00582	19%	0,6972	9%	0,0130	14%	0,0030	10%
	Cask 2	0,01040	15%	0,3532	9%	0,0118	14%	0,0030	10%
8° trasporto	Cask 1	0,00573	19%	0,3071	9%	0,0099	14%	0,0016	10%
	Cask 2	0,01806	12%	0,2296	9%	0,0110	14%	0,0029	10%
9° trasporto	Cask 1	0,01503	13%	0,3861	9%	0,0153	14%	0,0042	10%
	Cask 2	0,00380	23%	0,0851	9%	0,0173	14%	0,0025	10%
10° trasporto	Cask 1	0,00899	16%	0,3251	9%	0,0092	14%	0,0017	10%
	Cask 2	0,00788	17%	0,1753	9%	0,0149	14%	0,0013	10%
11° trasporto	Cask 1	0,01261	14%	0,3012	9%	0,0131	14%	0,0032	10%
	Cask 2	0,02411	11%	0,4097	9%	0,0245	14%	0,0024	10%
12° trasporto	Cask 1	0,03062	10%	0,1822	9%	0,0219	14%	0,0021	10%
	Cask 2	0,14900	8%	1,3409	9%	0,0152	14%	0,0012	10%
13° trasporto	Cask 1	0,01916	12%	0,2301	9%	0,0164	14%	0,0023	10%
	Cask 2	0,04909	9%	0,7812	9%	0,0165	14%	0,0020	10%

Tabella 3: valori massimi di contaminazione trasferibile e di rateo di dose sui vagoni ferroviari

		Contaminazione α		Contaminazione β		Rateo di dose $\gamma+n$ $H^*(10)$ a contatto		Rateo di dose $\gamma H^*(10)$ a contatto	
		Bq/cm ²	2 σ	Bq/cm ²	2 σ	mSv/h	2 σ	mSv/h	2 σ
1° trasporto	Vagone 1	Non controllato*		Non controllato*		-		Non controllato*	
	Vagone 2	0,00330	14%	0,0166	9%	-		Fondo ambientale	
2° trasporto	Vagone 1	0,00186	34%	0,0295	11%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00052	62%	0,0757	9%	-		Fondo ambientale	
3° trasporto	Vagone 1	0,00837	16%	0,0267	11%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00374	24%	0,0419	10%	-		Fondo ambientale	
4° trasporto	Vagone 1	0,00063	59%	0,0225	11%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00067	55%	0,0355	10%	-		Fondo ambientale	
5° trasporto	Vagone 1	0,00064	58%	0,0430	10%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00097	47%	0,0378	10%	-		Fondo ambientale	
6° trasporto	Vagone 1	0,00211	31%	0,0167	12%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00110	45%	0,0517	10%	-		Fondo ambientale	
7° trasporto	Vagone 1	0,00706	18%	0,0725	10%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00142	37%	0,0327	11%	-		Fondo ambientale	
8° trasporto	Vagone 1	0,00385	23%	0,0888	9%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00160	35%	0,0690	10%	-		Fondo ambientale	
9° trasporto	Vagone 1	0,00193	33%	0,1306	9%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00183	34%	0,1181	9%	-		Fondo ambientale	
10° trasporto	Vagone 1	0,00156	36%	0,0317	11%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00165	38%	0,0252	11%	-		Fondo ambientale	
11° trasporto	Vagone 1	0,00147	39%	0,0134	13%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,0063	19%	0,0161	12%	-		Fondo ambientale	
12° trasporto	Vagone 1	0,00101	45%	0,0354	10%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00197	33%	0,0902	9%	-		Fondo ambientale	
13° trasporto	Vagone 1	0,00275	28%	0,0964	9%	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0,00197	32%	0,0505	10%	-		Fondo ambientale	

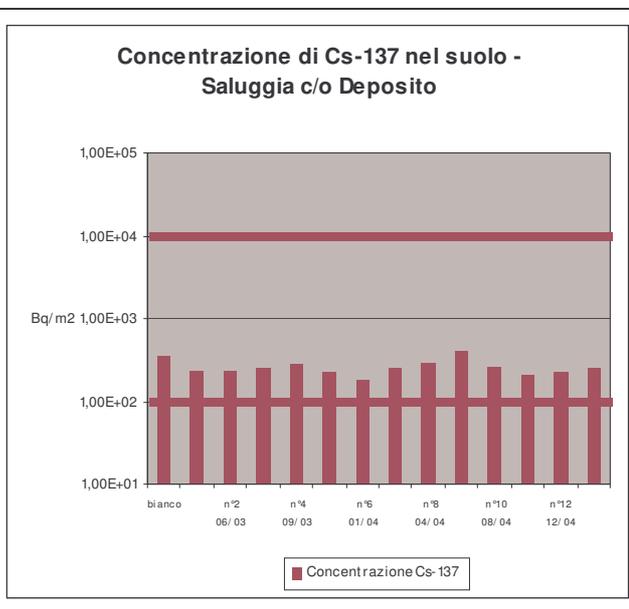
* Non controllato perché mai utilizzato

2. Monitoraggio radiologico ambientale

Prima dell'inizio delle operazioni di trasferimento del combustibile irraggiato sono state effettuate misure di bianco sulle matrici individuate. Successivamente, durante e/o a conclusione di ogni ciclo completo di operazioni, le misure sono state ripetute negli stessi punti. Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati delle misure.

Tabella 4: contaminazione del suolo presso il Deposito Avogadro di Saluggia

Trasporto	Co-60	Cs-134	Cs-137	Err %	Am-241
bianco	< 10,66	< 15,79	344,28	10%	< 74,22
n°1 04/03	< 10,30	< 7,72	235,40	7%	< 37,89
n°2 06/03	< 7,39	< 7,74	232,29	9%	< 38,72
n°3 08/03	< 7,28	< 7,74	254,81	7%	< 54,60
n°4 09/03	< 16,70	< 12,71	275,48	7%	< 65,35
n°5 11/03	< 8,78	< 10,29	228,31	10%	< 57,71
n°6 01/04	< 7,20	< 6,98	177,79	10%	< 38,10
n°7 03/04	< 6,07	< 8,98	250,77	7%	< 34,32
n°8 04/04	< 17,35	< 13,50	294,00	7%	< 67,48
n°9 03/04	< 6,62	< 20,29	401,44	10%	< 110,29
n°10 08/04	< 10,79	< 12,39	263,69	8%	< 63,92
n°11 10/04	< 10,82	< 6,87	210,23	12%	< 49,94
n°12 11/04	< 12,46	< 10,28	220,88	12%	< 56,54
n°13 02/05	< 7,67	< 6,64	250,19	13%	< 32,57



I valori di concentrazione di Cs-137 nel suolo (si tratta di terreno riportata) risentono della normale variabilità stagionale e sono comparabili con i valori medi della zona dopo l'incidente di Chernobyl: le concentrazioni normalmente riscontrate nell'area di interesse variano nell'intervallo 100-10000 Bq/m², rappresentato nel grafico dalle due linee orizzontali.

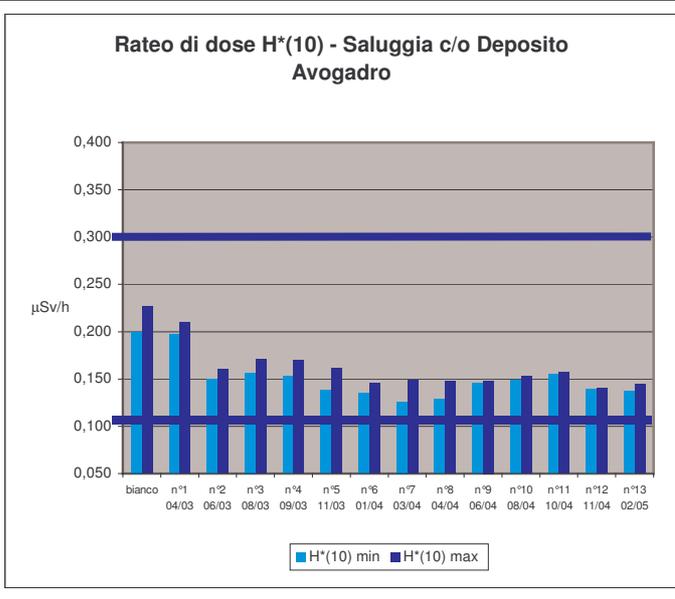
Tabella 5: contaminazione dell'erba presso il Deposito Avogadro di Saluggia

Trasporto	Co-60	Cs-134	Cs-137	Am-241	Unità
bianco	< 1,39	< 1,22	< 1,9	< 4,72	Bq/kg
n°1 04/03	< 1,39	< 1,01	< 1,37	< 3,44	Bq/kg
n°2 06/03	< 1,10	< 0,87	< 1,00	< 3,10	Bq/kg
n°3 08/03	< 1,00	< 0,76	< 1,00	< 2,40	Bq/kg
n°4 09/03	< 0,86	< 0,70	< 0,90	< 3,10	Bq/kg
n°5 11/03	< 0,39	< 0,58	< 1,30	< 5,10	Bq/kg
n°6 01/04	< 0,89	< 0,66	< 0,93	< 1,60	Bq/kg
n°7 03/04	< 0,75	< 0,87	< 0,89	< 3,10	Bq/kg
n°8 04/04	< 0,81	< 0,74	< 1,30	< 1,50	Bq/kg
n°9 06/04	< 0,30	< 0,75	< 0,81	< 2,50	Bq/kg
n°10 08/04	< 0,56	< 0,82	< 0,98	< 1,60	Bq/kg
n°11 10/04	< 1,12	< 1,01	< 1,22	< 3,20	Bq/kg
n°12 11/04	< 0,55	< 0,81	< 0,95	< 1,13	Bq/kg
n°13 02/05	< 0,51	< 0,63	< 1,10	< 3,20	Bq/kg

I valori di concentrazione nell'erba sono sempre inferiori alla M.A.R. Le concentrazioni occasionalmente riscontrate nell'area di interesse variano nell'intervallo 1-10 Bq/kg, rappresentato nel grafico dalle due linee orizzontali.

Tabella 6: rateo di dose ambientale γ H*(10) presso il Deposito Avogadro di Saluggia

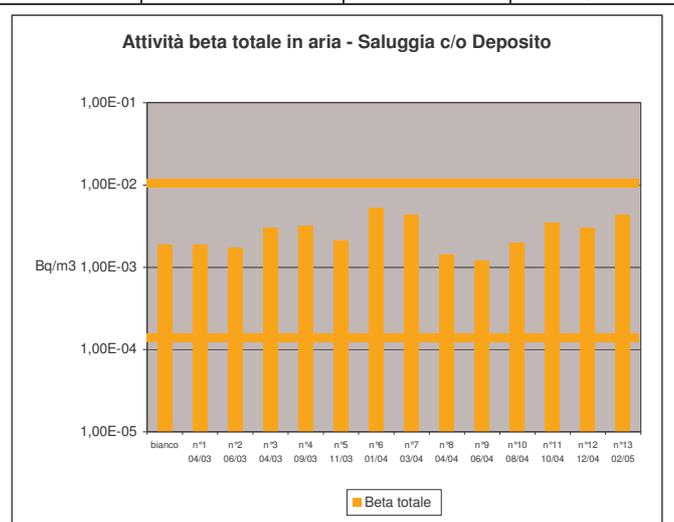
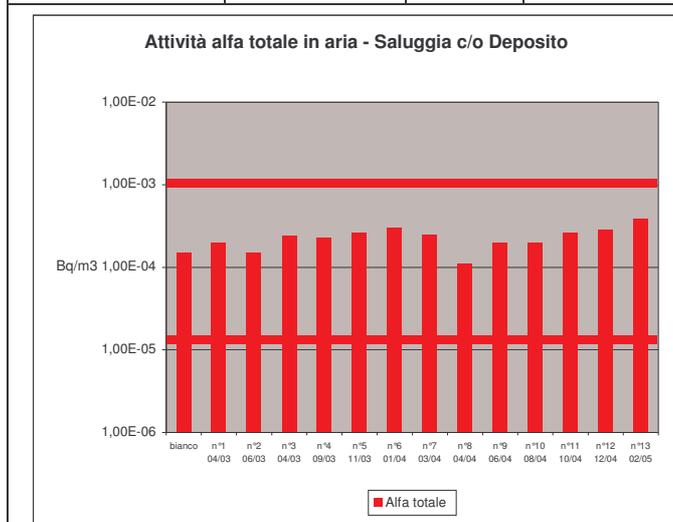
Trasporto	min	Err %	max	Err %	Unità
bianco	0,200	10%	0,226	10%	μ Sv/h
n°1 04/03	0,197	10%	0,210	10%	μ Sv/h
n°2 06/03	0,150	3%	0,160	3%	μ Sv/h
n°3 08/03	0,157	4%	0,171	4%	μ Sv/h
n°4 09/03	0,153	5%	0,170	5%	μ Sv/h
n°5 11/03	0,138	8%	0,161	8%	μ Sv/h
n°6 01/04	0,135	7%	0,146	7%	μ Sv/h
n°7 03/04	0,126	8%	0,149	8%	μ Sv/h
n°8 04/04	0,129	7%	0,148	7%	μ Sv/h
n°9 06/04	0,145	7%	0,148	5%	μ Sv/h
n°10 08/04	0,149	8%	0,153	4%	μ Sv/h
n°11 10/04	0,155	3%	0,157	4%	μ Sv/h
n°12 11/04	0,139	7%	0,140	9%	μ Sv/h
n°13 02/05	0,137	9%	0,145	5%	μ Sv/h



I valori del rateo di dose ambientale γ H*(10) misurati presso il Deposito Avogadro di Saluggia non si discostano dal fondo naturale medio della zona, che nell'area di interesse varia nell'intervallo 0,1-0,3 μ Sv/h, rappresentato nel grafico dalle due linee orizzontali.

Tabella 7: contaminazione dell'aria presso il Deposito Avogadro di Saluggia

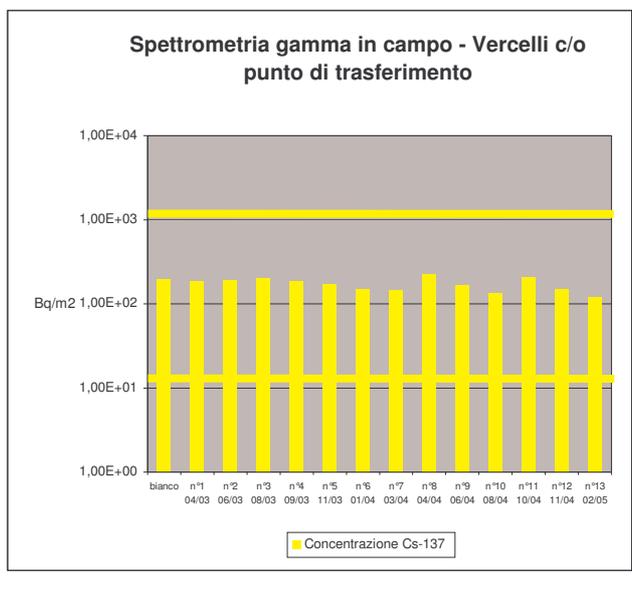
Trasporto	α max	Err %	β max	Err %	Cs-134	Cs-137	Unità
bianco	1,50E-04	39%	1,90E-03	17%	< 1,50E-04	< 1,20E-04	Bq/m ³
n°1 04/03	2,00E-04	34%	1,90E-03	17%	< 1,90E-04	< 2,50E-04	Bq/m ³
n°2 06/03	1,50E-04	15%	1,70E-03	16%	< 6,80E-05	< 8,00E-05	Bq/m ³
n°3 04/03	2,40E-04	34%	3,00E-03	16%	< 1,70E-04	< 2,20E-04	Bq/m ³
n°4 09/03	2,30E-04	40%	3,20E-03	16%	< 2,00E-04	< 3,50E-04	Bq/m ³
n°5 11/03	2,60E-04	39%	2,10E-03	16%	< 3,30E-04	< 2,10E-04	Bq/m ³
n°6 01/04	3,00E-04	17%	5,30E-03	14%	< 1,90E-04	< 5,90E-04	Bq/m ³
n°7 03/04	2,50E-04	21%	4,40E-03	15%	< 1,20E-04	< 2,90E-04	Bq/m ³
n°8 04/04	1,10E-04	14%	1,40E-03	14%	< 3,40E-04	< 5,80E-04	Bq/m ³
n°9 06/04	2,00E-04	29%	1,20E-03	18%	< 5,70E-04	< 7,40E-04	Bq/m ³
n°10 08/04	2,00E-04	27%	2,00E-03	16%	< 1,1E-04	< 1,60E-04	Bq/m ³
n°11 10/04	2,60E-04	44%	3,50E-03	17%	< 9,00E-05	< 9,90E-05	Bq/m ³
n°12 11/04	2,90E-04	34%	3,00E-03	16%	< 1,10E-04	< 1,20E-04	Bq/m ³
n°13 02/05	3,90E-04	25%	4,30E-03	33%	< 1,10E-04	< 1,3E-04	Bq/m ³



Nell'aria non è mai stata riscontrata la presenza di radionuclidi di origine artificiale (concentrazioni sempre inferiori alla M.A.R.). Le attività alfa e beta totali sono riferibili a nuclidi di origine naturale e cosmogenici: le concentrazioni normalmente riscontrate nell'ambiente variano negli intervalli 0,00001-0,001 Bq/m³ per l'attività alfa totale e 0,0001-0,01 Bq/m³ per l'attività beta totale, rappresentati nei grafici dalle due coppie di linee orizzontali.

Tabella 8: spettrometria γ in campo presso il punto di trasferimento di Vercelli

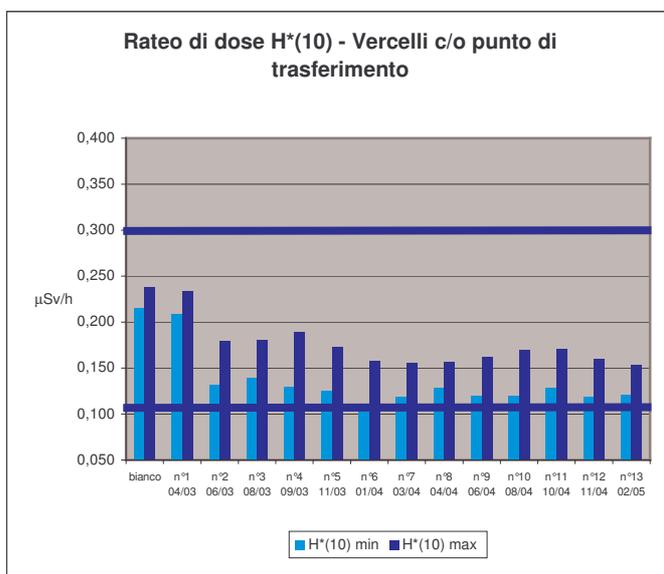
Trasporto	Co-60	Cs-134	Cs-137	Err %	Am-241	Unità
bianco	< 47,36	< 36,05	199,8	21%	< 76,97	Bq/m ²
n°1 04/03	< 20,55	< 26,76	184	19%	< 55,22	Bq/m ²
n°2 06/03	< 23,55	< 17,83	191	19%	< 64,90	Bq/m ²
n°3 08/03	< 24,74	< 27,60	204	28%	< 76,51	Bq/m ²
n°4 09/03	< 18,00	< 31,00	185	19%	< 75,00	Bq/m ²
n°5 11/03	< 14,00	< 24,00	170	20%	< 64,00	Bq/m ²
n°6 01/04	< 23,00	< 22,00	151	19%	< 66,00	Bq/m ²
n°7 03/04	< 8,00	< 22,00	145	16%	< 70,00	Bq/m ²
n°8 04/04	< 16,00	< 17,00	227	15%	< 47,00	Bq/m ²
n°9 06/04	< 6,22	< 20,96	167	16%	< 58,41	Bq/m ²
n°10 08/04	< 9,50	< 27,50	135	20%	< 32,40	Bq/m ²
n°11 10/04	< 8,04	< 9,55	209	13%	< 69,44	Bq/m ²
n°12 11/04	< 8,35	< 20,64	151	18%	< 47,53	Bq/m ²
n°13 02/05	< 8,43	< 21,89	120	22%	< 47,44	Bq/m ²



Le concentrazioni di Cs-137 misurate sul piazzale di movimentazione dei contenitori di trasporto sono correlabili all'incidente di Chernobyl: le concentrazioni normalmente riscontrate in aree lastricate o asfaltate variano nell'intervallo 10-1000 Bq/m², rappresentato nel grafico dalle due linee orizzontali.

Tabella 9: rateo di dose ambientale γ H*(10) presso il punto di trasferimento di Vercelli

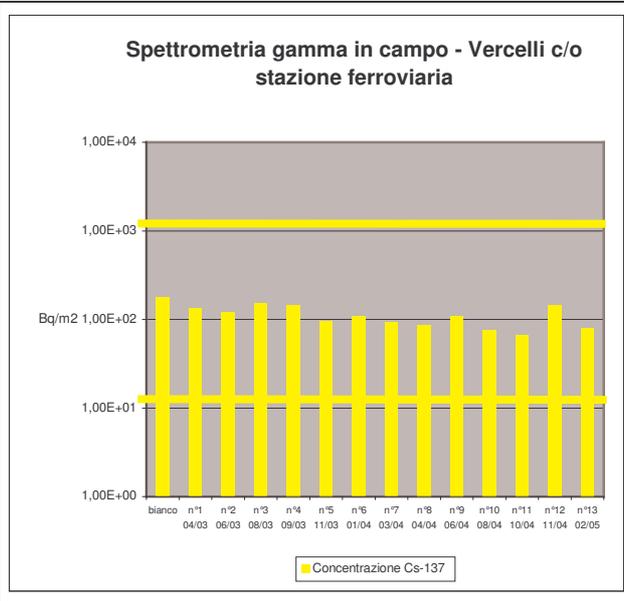
Trasporto	min	Err %	max	Err %	Unità
bianco	0,215	10%	0,238	10%	$\mu\text{Sv/h}$
n°1 04/03	0,209	10%	0,233	10%	$\mu\text{Sv/h}$
n°2 06/03	0,132	2%	0,179	5%	$\mu\text{Sv/h}$
n°3 08/03	0,140	4%	0,181	8%	$\mu\text{Sv/h}$
n°4 09/03	0,130	5%	0,190	5%	$\mu\text{Sv/h}$
n°5 11/03	0,125	6%	0,173	4%	$\mu\text{Sv/h}$
n°6 01/04	0,107	3%	0,158	7%	$\mu\text{Sv/h}$
n°7 03/04	0,119	7%	0,156	8%	$\mu\text{Sv/h}$
n°8 04/04	0,128	7%	0,157	6%	$\mu\text{Sv/h}$
n°9 06/04	0,120	8%	0,162	7%	$\mu\text{Sv/h}$
n°10 08/04	0,120	7%	0,170	9%	$\mu\text{Sv/h}$
n°11 10/04	0,129	8%	0,171	6%	$\mu\text{Sv/h}$
n°12 11/04	0,118	8%	0,160	8%	$\mu\text{Sv/h}$
n°13 02/05	0,121	8%	0,153	8%	$\mu\text{Sv/h}$



I valori del rateo di dose ambientale γ H*(10) misurati presso il punto di trasferimento di Vercelli non si discostano dal fondo naturale medio della zona, che nell'area di interesse varia nell'intervallo 0,1-0,3 $\mu\text{Sv/h}$, rappresentato nel grafico dalle due linee orizzontali.

Tabella 10: spettrometria γ in campo presso la stazione ferroviaria di Vercelli

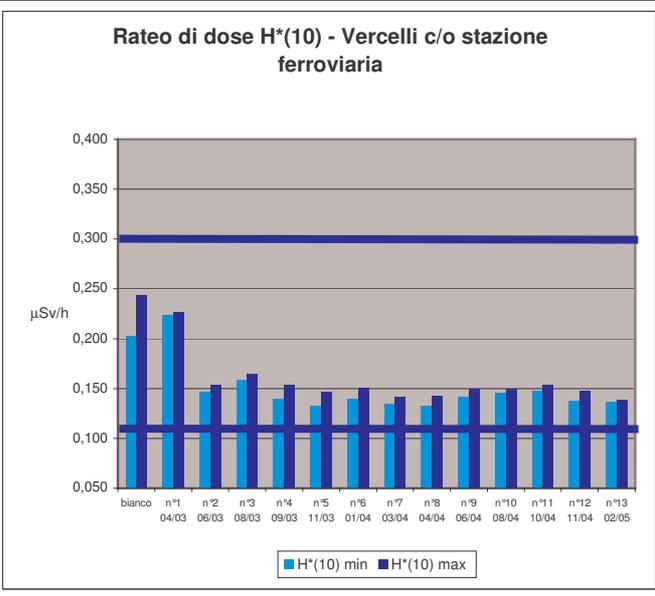
Trasporto	Co-60	Cs-134	Cs-137	Err %	Am-241	Unità
bianco	< 40,53	< 18,7	175,2	14%	< 107,8	Bq/m ²
n°1 04/03	< 59,04	< 61,46	132,6	28%	< 107,8	Bq/m ²
n°2 06/03	< 15,28	< 20,26	120,2	31%	< 57,2	Bq/m ²
n°3 08/03	< 4,20	< 11,21	153,0	40%	< 68,2	Bq/m ²
n°4 09/03	< 21,80	< 24,24	147,0	27%	< 66,6	Bq/m ²
n°5 11/03	< 6,00	< 22,00	97,0	25%	< 67,00	Bq/m ²
n°6 01/04	< 15,00	< 19,00	109,0	22%	< 58,00	Bq/m ²
n°7 03/04	< 9,80	< 16,00	93,0	23%	< 31,00	Bq/m ²
n°8 04/04	< 9,00	< 13,00	87,0	26%	< 31,00	Bq/m ²
n°9 06/04	< 9,96	< 19,23	110,0	35%	< 67,16	Bq/m ²
n°10 08/04	< 16,00	< 19,23	76,39	30%	< 40,43	Bq/m ²
n°11 10/04	< 9,09	< 8,02	66,99	34%	< 40,53	Bq/m ²
n°12 11/04	< 4,00	< 19,87	143,70	37%	< 56,20	Bq/m ²
n°13 02/05	< 8,04	< 13,9	80,70	21%	< 57,44	Bq/m ²



Le concentrazioni di Cs-137 misurate sui binari della stazione ferroviaria di Vercelli nel punto dove sosta il treno con i contenitori di trasporto sono correlabili all'incidente di Chernobyl: le concentrazioni normalmente riscontrate in aree lastricate o asfaltate variano nell'intervallo 10-1000 Bq/m², rappresentato nel grafico dalle due linee orizzontali.

Tabella 11: rateo di dose ambientale γ H*(10) presso la stazione ferroviaria di Vercelli

Trasporto	min	Err %	max	Err %	Unità
bianco	0,202	10%	0,244	10%	$\mu\text{Sv/h}$
n°1 04/03	0,223	10%	0,227	10%	$\mu\text{Sv/h}$
n°2 06/03	0,147	2%	0,153	3%	$\mu\text{Sv/h}$
n°3 08/03	0,159	3%	0,165	3%	$\mu\text{Sv/h}$
n°4 09/03	0,140	9%	0,153	3%	$\mu\text{Sv/h}$
n°5 11/03	0,133	8%	0,146	2%	$\mu\text{Sv/h}$
n°6 01/04	0,140	3%	0,151	4%	$\mu\text{Sv/h}$
n°7 03/04	0,135	4%	0,142	2%	$\mu\text{Sv/h}$
n°8 04/04	0,133	3%	0,143	2%	$\mu\text{Sv/h}$
n°9 06/04	0,142	4%	0,150	4%	$\mu\text{Sv/h}$
n°10 08/04	0,145	4%	0,150	3%	$\mu\text{Sv/h}$
n°11 10/04	0,148	3%	0,153	2%	$\mu\text{Sv/h}$
n°12 11/04	0,148	3%	0,153	2%	$\mu\text{Sv/h}$
n°13 02/05	0,136	5%	0,139	3%	$\mu\text{Sv/h}$



I valori del rateo di dose ambientale γ H*(10) misurati presso la stazione ferroviaria di Vercelli non si discostano dal fondo naturale medio della zona, che nell'area di interesse varia nell'intervallo 0,1-0,3 $\mu\text{Sv/h}$, rappresentato nel grafico dalle due linee orizzontali.

Tabella 12: spettrometria γ in campo presso l'area ricovero materiale rotabile alla periferia ovest del comune di Chivasso (TO)

Trasporto	Co-60	Cs-134	Cs-137	Err %	Am-241	Unità
bianco	< 4,63	< 17,16	191,8	22%	< 36,29	Bq/m ²
n°13 02/05	< 5,58	< 15,60	151,8	18%	< 85,42	Bq/m ²

Le concentrazioni di Cs-137 misurate sui binari dell'area di ricovero del materiale rotabile alla periferia ovest del comune di Chivasso nel punto dove è rimasto in sosta il treno con i contenitori di trasporto sono correlabili all'incidente di Chernobyl: le concentrazioni normalmente riscontrate in aree lastricate o asfaltate variano nell'intervallo 10-1000 Bq/m². La misura di bianco è stata effettuata su di un binario attiguo a quello di sosta.

5. CONCLUSIONI

I risultati delle misure effettuate durante e dopo le operazioni di trasferimento non hanno evidenziato fenomeni di incremento dei livelli di contaminazione ambientale.

I valori di dose ambientale misurati intorno ai casks indicano che già ad 1 metro di distanza (cioè nella zona potenzialmente accessibile ai membri della popolazione quando i casks sono caricati sui veicoli di trasporto) sono confrontabili con il fondo naturale di radiazioni.

Anche la sosta forzata nei pressi della stazione di Chivasso che è avvenuta in occasione del tredicesimo trasporto non ha comportato alcun incremento dei livelli di dose assorbita dalla popolazione che risiede nel palazzo prossimo all'area di sosta.

Pertanto è possibile affermare che i tredici trasporti non hanno prodotto alcun impatto radiologico sull'ambiente e sulla popolazione (impatto radiologico nullo).