
CENTRO TEMATICO REGIONALE RADIOATTIVITA' AMBIENTALE

Relazione tecnica trasporti CAOR I/58-10/01, CAOR I/59-10/02, CAOR I/60-10/03 e CAOR I/61-10/04

VALUTAZIONE DELL'IMPATTO RADIOLOGICO AMBIENTALE RELATIVO ALL'ULTIMO TRASPORTO (SEDICESIMO (20/06/2010)) DI COMBUSTIBILE NUCLEARE IRRAGGIATO DALLA CENTRALE NUCLEARE DI CAORSO (PC) ALL'IMPIANTO DI RITRATTAMENTO AREVA DI LA HAGUE (FRANCIA).

(R. Sogni, L. Gaidolfi, L. Achilli, A. Gazzola, C. Terzoni)

INDICE

1. Premessa
2. Il ruolo dell'ARPA
 - 2.1. *Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo*
 - 2.2. *Monitoraggio radiologico ambientale*
3. Metodologia di misura
 - 3.1. *Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo*
 - 3.2. *Monitoraggio radiologico ambientale*
4. Risultati delle misure
 - 4.1. *Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo*
 - 4.2. *Monitoraggio radiologico ambientale*
5. Conclusioni

1. PREMESSA

Il **sedicesimo trasporto** (del 20/06/2010), secondo per l'anno 2010, ha interessato gli ultimi 4 contenitori, ovvero gli ultimi 64 elementi di combustibile dei 1032 inizialmente stoccati nella piscina della centrale di Caorso.

Con quest'ultimo trasporto si è infatti concluso il trasferimento di tutto il combustibile nucleare irraggiato presente nella centrale nucleare di Caorso all'impianto di ritrattamento Areva di La Hague (F), previsto nell'ambito degli indirizzi strategici ed operativi di Sogin definiti nel decreto 2 dicembre 2004 del Ministero delle attività produttive e nell'accordo fra Sogin e Areva, sottoscritto il 27 aprile 2007, che prevedeva il trasporto, il trattamento ed il condizionamento delle circa 235 tonnellate di combustibile irraggiato ancora presente in Italia, di cui 190 tonnellate nella centrale di Caorso. La conclusione di tale importante attività si stima abbia consentito l'allontanamento dal Sito di Caorso di circa il 99% della radioattività presente.

Il trattamento del combustibile irraggiato (riprocessamento) permette, infatti, di separare le materie ancora valorizzabili, per le quali Areva si è impegnata a individuare un futuro reimpiego, dai rifiuti finali, che saranno restituiti in una forma condizionata che ne riduce il volume e ne garantisce la sicurezza nel lungo termine presso il deposito nazionale (ancora da individuare).

L'intera campagna di trasporti dall'Italia alla Francia originanti da Caorso è durata complessivamente circa due anni e mezzo (16/12/2007 – 20/06/2010), rispettando pertanto quanto inizialmente pianificato (tre anni). Entro il 2025, i rifiuti vetrificati derivanti dal riprocessamento rientreranno in Italia in contenitori speciali.

I trasporti del combustibile di Caorso sono stati effettuati con i contenitori denominati TN17-2 e messi a disposizioni dalla TN International (azienda specializzata nei trasporti internazionali del gruppo Areva). Tali contenitori (di massa complessiva di circa 80 tonnellate) sono conformi agli standard IAEA per il trasporto di materiale radioattivo e sono stati approvati sia dalla Competente Autorità Francese sia da quella Italiana (APAT, oggi ISPRA) e sono progettati per trasportare fino a 17 elementi di combustibile di tipo BWR (biossido di uranio arricchito (UO₂)).

Il trasporto in Italia è stato realizzato da vettori autorizzati al trasporto di materiale radioattivo e fissili speciali ai sensi dell'art.5 della Legge n°1860 del 31/12/1962 c.m.e.i. e dell'art.21 del D.Lgs 230/95 c.m.e.i.

Nel caso specifico di Caorso i trasporti sul territorio Italiano sono affidati dalla TN International alla MIT Nucleare (vettore stradale e titolare delle autorizzazioni di trasporto) e a Trenitalia (vettore ferroviario).

Vari Ministeri, Agenzie ministeriali ed Autorità/Enti locali sono stati coinvolti secondo le rispettive competenze nel processo autorizzativo e di sorveglianza sui trasporti.

La logistica del trasporto si compone dell'arrivo dei contenitori vuoti (in più spedizioni) e la partenza successiva di 2 e 2 contenitori (colli classificati come UN 3329).

I 4 contenitori vanno quindi a comporre un treno, rispettivamente di 4 vagoni speciali più naturalmente locomotori, vetture, carri scudo, bagagliaio, seguito da un ulteriore "treno scorta".

Il ciclo completo di ciascuna spedizione è denominato round trip.

Si sono complessivamente svolte tutte le 16 spedizioni (round trip) previste, per un totale di 61 movimenti del contenitore TN 17/2, di tipo multimodale: su strada dalla centrale nucleare di Caorso al nodo di scambio multimodale presso la stazione ferroviaria di Caorso, su ferrovia dalla stazione ferroviaria di Caorso al punto di trasferimento multimodale di Valognes (F) e nuovamente su strada da Valognes all'impianto di La Hague.

Il raccordo ferroviario di Caorso adibito a sito di trasferimento (transfer point) è stato realizzato dalla Sogin, che ha acquisito l'asset dello scalo ferroviario della stazione ferroviaria di Caorso, modificandolo ed attrezzandolo secondo uno specifico progetto approvato da RFI e presentato all'ex APAT, sotto la cui vigilanza sono state effettuate tutte le operazioni di movimentazione.

In base a precisi accordi contrattuali la gestione del raccordo ferroviario durante la campagna di trasporto è avvenuta a cura del vettore autorizzato MIT Nucleare, titolare delle necessarie autorizzazioni, mentre le operazioni di movimento ferroviario sono state effettuate dal Vettore Autorizzato ferroviario Trenitalia.

Nell'ambito dei trasporti, l'ARPA di Piacenza ha svolto un ruolo sia di garanzia sul rispetto delle normative di trasporto (Ente Terzo) sia istituzionale per il monitoraggio della radioattività ambientale.

In questa ultima relazione tecnica sono riportati i risultati delle misure radiometriche effettuate durante le complessive **sedici** operazioni di trasferimento (intese come cicli completi di estrazione dalla piscina, caricamento nei contenitori di trasporto e trasporto) del combustibile nucleare irraggiato.

2. IL RUOLO DELL'ARPA

Le operazioni di trasferimento del combustibile nucleare irraggiato vedono il Centro Tematico Regionale (CTR) "Radioattività ambientale" ARPA di Piacenza impegnato su due fronti:

2.1. Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo

I controlli radiometrici dei livelli di contaminazione e di irraggiamento dei contenitori sono effettuati da parte dell'Esercente (Sogin) e del Vettore (MIT Nucleare) secondo le rispettive competenze attribuite dalla normativa specifica e secondo un protocollo di misura condiviso ed approvato.

Ai controlli di cui sopra, l'accordo tra operatori del settore prevede, per il trasporto transfrontaliero di combustibile nucleare, l'intervento di un Ente terzo, organismo super partes, che ha il compito di certificare per ogni trasporto il rispetto dei limiti fissati a livello internazionale dalla IAEA per il trasporto di materie radioattive.

Il pertinente certificato viene trasmesso, da parte del Vettore, alle ferrovie francesi per ottenere l'autorizzazione al transito del convoglio ferroviario sul territorio francese.

L'Ente Terzo prescelto gode di massima autonomia decisionale rispetto ai protocolli tecnici da adottare per le misure radiometriche.

Il Centro Tematico Regionale (CTR) "Radioattività ambientale" ARPA di Piacenza è stato individuato come Ente terzo.

L'ARPA ha infatti stipulato una convenzione col vettore MIT Nucleare per svolgere l'incarico di Ente Terzo per la radiometria dei contenitori trasportati.

In particolare, vengono eseguiti controlli:

- ◆ sui vagoni ferroviari che hanno trasportato i contenitori vuoti in arrivo dall'impianto di La Hague (contaminazione trasferibile e fissa, rateo di dose gamma);
- ◆ sui contenitori pieni in assetto di trasporto prima della partenza dalla centrale di Caorso (contaminazione trasferibile alfa e beta-gamma, rateo di dose gamma e neutronico).

2.2. Monitoraggio radiologico ambientale

Al fine di valutare l'impatto radiologico che le operazioni di trasferimento del combustibile nucleare irraggiato producono sull'ambiente e sulla popolazione è stato messo a punto da parte di ARPA un piano di monitoraggio straordinario.

Il piano di monitoraggio messo in atto per ogni spedizione è strutturato su:

- ◆ l'esecuzione di misure di rateo di dose ambientale, eseguite sia con strumenti radiometrici in campo sia con dosimetri passivi ad integrazione, per la valutazione della dose alla popolazione;
- ◆ il prelievo e l'analisi di varie 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 spettrometria gamma in campo al fine di verificare l'assenza di contaminazione al punto di scambio multimodale presso la stazione ferroviaria di Caorso, 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 svolgono in ognuno di essi.

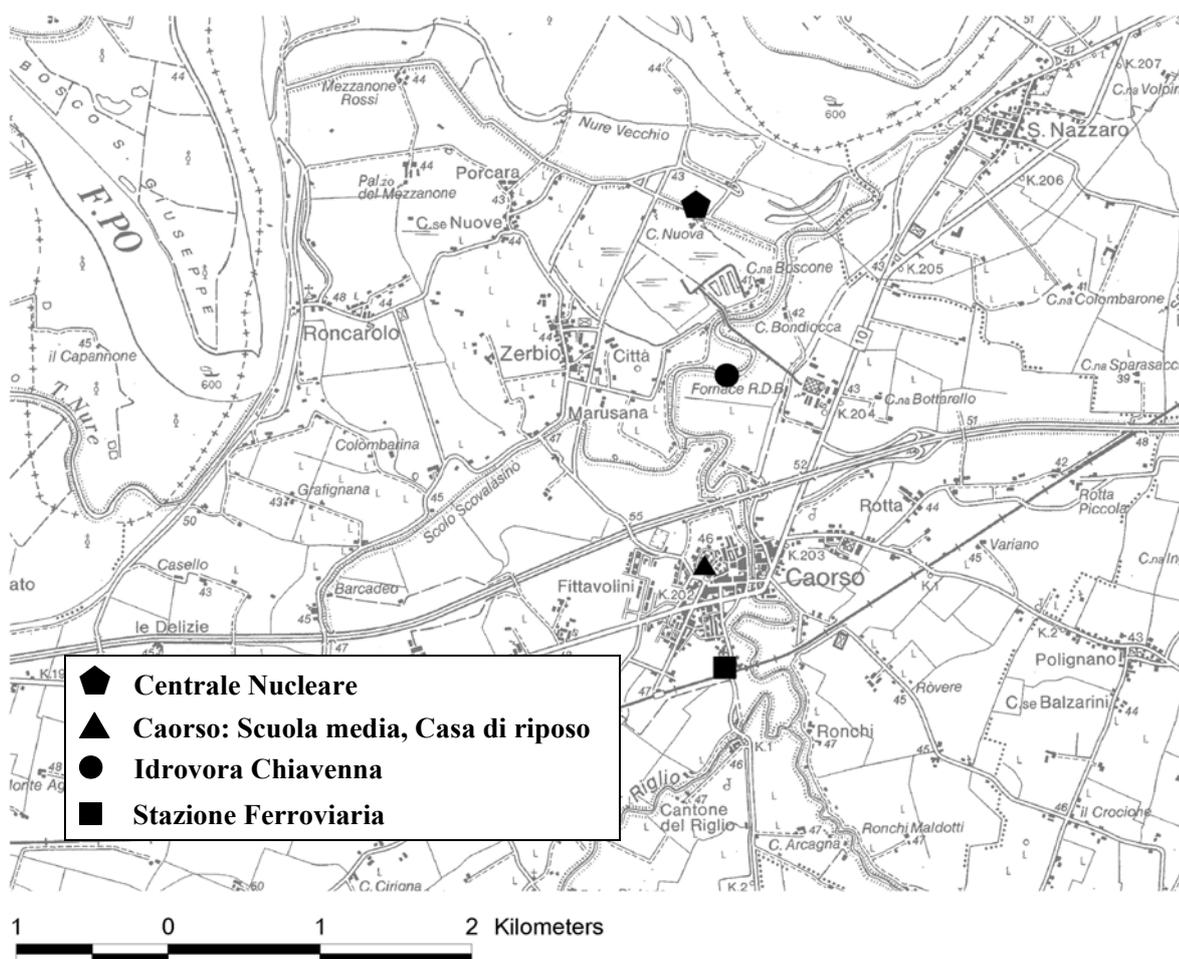
Sono stati individuati due siti oggetto di indagine:

- presso l'idrovora Chiavenna, punto ritenuto rappresentativo relativamente alle operazioni di movimentazione del combustibile nucleare irraggiato svolte nella centrale nucleare di Caorso, operazioni effettuate per il trasferimento del combustibile stesso nei contenitori di trasporto (cask). La peculiarità delle attività svolte ha infatti suggerito l'introduzione di un nuovo punto di campionamento intorno alla centrale, ubicato presso l'idrovora Chiavenna, lungo la direzione prevalente dei venti, che va ad integrare quelli già individuati per le campagne di monitoraggio annualmente effettuate nel comprensorio nucleare di Caorso a partire dal 1980;

- il punto di trasferimento multimodale di Caorso, presso la stazione ferroviaria di Caorso, dove vengono effettuate le operazioni di trasferimento dei cask dai veicoli stradali ai vagoni ferroviarie e la sosta tecnica per la composizione del treno prima della partenza per la Francia.

Sono altresì eseguite specifiche misure in punti sensibili individuati lungo il percorso stradale dalla centrale alla stazione ferroviaria.

Le figure seguenti riportano le planimetrie delle due aree individuate con indicati i punti di misura istituiti.



		operazioni trasferimento cask	operazioni trasferimento cask		campo
Dose ambientale	2 (*)	Dopo le operazioni trasferimento cask	Dopo le operazioni trasferimento cask	-	Intensità esposizione gamma
	8 (**)	“	“	-	Intensità esposizione gamma e neutronica

(*) Punti sensibili lungo il percorso stradale dalla centrale alla stazione ferroviaria ubicati:

- ◆ Scuola media Caorso
- ◆ Casa di riposo Caorso

(**) al perimetro dello scalo ferroviario della stazione FFSS di Caorso si effettueranno altresì misure di intensità di esposizione γ e n in aria con strumentazione radiometrica portatile durante la movimentazione dei contenitori di trasporto del combustibile irraggiato dai carrelli stradali ai carri ferroviari.

3. METODOLOGIA E STRUMENTAZIONE DI MISURA

3.1. 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 contenitori pieni e dei vagoni ferroviari e successive determinazioni di laboratorio con contatori proporzionali a flusso di gas a basso fondo (Contatore proporzionale a flusso di gas Berthold mod. LB 770-2). Sono altresì eseguite misure in situ di attività beta-gamma totale, tramite l'esecuzione di screening test con appositi fazzoletti di carta, utilizzando contaminometri portatili a larga superficie (Contaminometro Automess 6150 AD-K).

Le misure di rateo di dose $H^*(10)$ gamma e neutronica sono state realizzate, anch'esse secondo protocolli prestabiliti, rispettivamente con monitori portatili con sonde plastico scintillatore (Rateometro Automess 6150 AD-b/H) e He-3 (Dosimetro Berthold LB 123N).

La tabella 3 riporta le sensibilità di misura della strumentazione utilizzata.

Tabella 3: Ordini di grandezza delle sensibilità di misura, espresse in termini di M.D.R (Minima Dose Rilevabile) o M.A.R. (Minima Attività Rivelabile)

Parametro	Alfa totale smear (Bq/cm ²)	Beta totale smear (Bq/cm ²)	Dose gamma (mSv/h)	Dose neutronica (mSv/h)
MAR	0.001	0.002	$1 \cdot 10^{-5}$	$2.5 \cdot 10^{-5}$

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, alla superficie o al volume della matrice considerata (Bq/kg, Bq/m² e Bq/m³ rispettivamente). La sensibilità della misura viene indicata dalla M.A.R. (Minima Attività Rivelabile): tale grandezza rappresenta la minima quantità di radioattività che lo strumento di misura 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 e dell'erba sono sempre 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 viene eseguita una misura di spettrometria gamma per la determinazione qualitativa e quantitativa dei radionuclidi gamma emettitori eventualmente presenti nella matrice considerata: tale analisi permette infatti la determinazione simultanea di un gran numero di radionuclidi, sia artificiali che naturali, ed in particolare permette di individuare la presenza dei radioisotopi Cs-137, principale prodotto di fissione e Co-60, principale prodotto di attivazione (Catene di spettrometria gamma con rivelatori al germanio iperpuro di tipo p o tipo n).

Sul campione di aria sono inoltre eseguite misure attività alfa e beta totale con contatori proporzionali a flusso di gas a basso fondo.

I dosimetri a termoluminescenza (TLD 100) utilizzati per la misura della dose ambientale gamma sono lasciati esposti per tutto l'intervallo di tempo compreso tra due trasporti successivi e sottoposti a lettura presso il laboratorio ARPA (Lettore dosimetri TLD Toledo Pitman).

Presso la stazione ferroviaria di Caorso sono altresì eseguite ulteriori misure dosimetriche ambientali, i cui punti sono stati ridefiniti nel dettaglio a seguito del primo trasporto in funzione delle procedure operative verificate.

Durante la giornata in cui vengono effettuati i trasporti, presso il raccordo ferroviario sono altresì svolte misure di dose ambientale gamma e neutronica mediante l'utilizzo di strumentazione portatile.

Presso la stazione ferroviaria di Caorso, dopo ogni trasporto, sono eseguite misure di spettrometria gamma in campo utilizzando uno spettrometro portatile dotato di rivelatore al Germanio iperpuro (Catena di spettrometria gamma in campo con rivelatore al germanio iperpuro di tipo *n*).

Sono state eseguite misure di "zero" prima dell'inizio delle operazioni di trasporto negli stessi punti e sulla stesse matrici individuate.

La tabella 4 riporta le sensibilità di misura della strumentazione utilizzata, considerando tempi di conteggio dei campioni pari a 3600 sec. per analisi del suolo mediante spettrometria gamma in campo e pari a 60000 sec. per le altre analisi.

Tabella 4: Ordini di grandezza delle sensibilità di misura, espresse in termini di M.D.R (Minima Dose Rilevabile) o M.A.R. (Minima Attività Rilevabile)

Parametro	Cs137 suolo (Bq/kg p.s.)	Cs137 suolo (Bq/m ²)	Cs137 erba (Bq/kg p.s.)	Cs137 aria (Bq/m ³)	Alfa totale aria (Bq/m ³)	Beta totale aria (Bq/m ³)	Dose gamma TLD (μSv/h)
MAR	1	30	1	$0.05 \cdot 10^{-3}$	$1.00 \cdot 10^{-5}$	$4.00 \cdot 10^{-5}$	$7.0 \cdot 10^{-2}$

4. RISULTATI DELLE MISURE

4.1. Controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo

La normativa internazionale (Regolamentazione AIEA per il trasporto di materiali radioattivi - Safety Standards Series No. ST-1 – IAEA – Vienna 1996; Regolamento per il trasporto internazionale di sostanze pericolose su strada (ADR) - direttiva 96/35/CE; Regolamento per il trasporto internazionale di sostanze pericolose su ferrovia (RID) - direttiva 96/49/CE) fissa i limiti per la contaminazione trasferibile e per il rateo di dose, sia per l'imballaggio pieno (collo) che per il veicolo di trasporto, così come riassunto in tabella 5.

Tabella 5: limiti ammissibili per il trasporto previsti dalla IAEA

Grandezza	Limite sulla superficie del cask (collo)	Limite sulla superficie del vagone ferroviario vuoto
Contaminazione trasferibile alfa	0,4 Bq/cm ² *	0,04 Bq/cm ² *
Contaminazione trasferibile beta/gamma ed alfa a bassa tossicità **	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%.

** per emettitori alfa a bassa tossicità si intendono: uranio naturale; uranio impoverito; torio naturale; uranio 235 o uranio 238; torio 232; torio 228 e torio 230 quando contenuti in minerali o concentrati fisici e chimici; o emettitori alfa con tempo di dimezzamento inferiore a 10 giorni.

Sono altresì fissati ulteriori livelli massimi di rateo di dose in assetto di trasporto:

- 2 mSv/h ($\gamma + n$) alla superficie esterna (a contatto) del veicolo stradale;
- 0.1 mSv/h ($\gamma + n$) a 2 metri dalle superfici verticali del veicolo stradale.

In tabella 6 sono riportati i valori massimi riscontrati nei trasporti effettuati.

Tabella 6: valori massimi di contaminazione trasferibile (Bq/cm²) e di rateo di dose misurati (mSv/h) su casks e vagoni ferroviari

		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
trasporto n° 1 16/12/2007	Cask 1	< 0.0007		0.0178	0.0014	0.0139	6%	0.0059	5%
	Cask 2	0.0015	0.0004	0.0747	0.0034	0.0195	6%	0.0095	5%
	Vagone 1	0.0030	0.0006	0.0039	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0009	0.0003	0.0331	0.0020	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 2 24/02/2008	Cask 3	< 0.0007		0.0068	0.0007	0.0074	6%	0.0027	5%
	Cask 4	< 0.0007		0.0049	0.0009	0.0098	6%	0.0038	5%
	Cask 5	< 0.0010		0.1467	0.0067	0.0136	6%	0.0056	5%
	Cask 6	< 0.0007		0.0114	0.0012	0.0100	6%	0.0040	5%
	Vagone 1	Non sottoposto a		Non sottoposto a controllo *		-		Non sottoposto a	

		controllo *						controllo *	
	Vagone 2	< 0.0010		0.0043	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0021	0.0005	0.0086	0.0011	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0050	0.0007	0.0338	0.0023	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 3 06/04/2008	Cask 7	0.0010	0.0004	0.0950	0.0039	0.0074	6%	0.0036	5%
	Cask 8	< 0.0008		0.0043	0.0007	0.0094	6%	0.0046	5%
	Cask 9	< 0.0009		< 0.0021		0.0055	6%	0.0028	5%
	Cask 10	< 0.0007		0.0058	0.0008	0.0111	6%	0.0051	5%
	Vagone 1	< 0.0009		< 0.0023		-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0018	0.0005	0.0048	0.0010	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0016	0.0005	0.0039	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0020	0.0005	0.0026	0.0008	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 4 25/05/2008	Cask 11	< 0.0008		< 0.0022		0.0091	6%	0.0041	5%
	Cask 12	< 0.0008		0.0094	0.0010	0.0093	6%	0.0037	5%
	Cask 13	< 0.0008		0.0035	0.0007	0.0144	6%	0.0059	5%
	Cask 14	< 0.0008		0.0024	0.0006	0.0230	6%	0.0080	5%
	Vagone 1	0.0019	0.0005	0.0065	0.0010	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	< 0.0008		0.0031	0.0007	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0038	0.0007	0.0067	0.0010	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0030	0.0006	0.0088	0.0011	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 5 29/06/2008	Cask 15	< 0.0007		0.0031	0.0006	0.0075	6%	0.0044	5%
	Cask 16	< 0.0007		0.0151	0.0013	0.0145	6%	0.0064	5%
	Cask 17	< 0.0007		0.0052	0.0008	0.0105	6%	0.0060	5%
	Cask 18	< 0.0007		0.0029	0.0007	0.0172	6%	0.0056	5%
	Vagone 1	0.0008	0.0003	0.0046	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0019	0.0005	0.0043	0.0009	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0035	0.0007	0.0096	0.0012	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0028	0.0006	0.0076	0.0011	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 6 07/09/2008	Cask 19	< 0.0007		0.0071	0.0010	0.0149	6%	0.0056	5%
	Cask 20	< 0.0007		0.0085	0.0010	0.0138	6%	0.0062	5%
	Cask 21	< 0.0007		< 0.0016		0.0201	6%	0.0046	5%
	Cask 22	< 0.0007		< 0.0016		0.0143	6%	0.0053	5%
	Vagone 1	0.0010	0.0003	0.0036	0.0007	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0011	0.0004	0.0021	0.0007	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0010	0.0004	< 0.0016		-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0025	0.0005	0.0036	0.0008	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 7 19/10/2008	Cask 23	< 0.0008		< 0.0017		0.0108	6%	0.0045	5%
	Cask 24	< 0.0008		0.0038	0.0010	0.0175	6%	0.0145	5%
	Cask 25	< 0.0008		< 0.0016		0.0057	6%	0.0033	5%
	Cask 26	< 0.0008		0.0055	0.0010	0.0133	6%	0.0073	5%
	Vagone 1	0.0119	0.0012	0.0524	0.0031	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0012	0.0004	0.0039	0.0008	-		Fondo ambientale	

	Vagone 3	0.0054	0.0009	0.0131	0.0013	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0014	0.0004	0.0031	0.0007	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 8 30/11/2008	Cask 27	< 0.0009		0.0063	0.0009	0.0139	6%	0.0040	5%
	Cask 28	< 0.0009		0.0132	0.0012	0.0159	6%	0.0051	5%
	Cask 29	0.0011	0.0004	0.0041	0.0007	0.0130	6%	0.0039	5%
	Cask 30	< 0.0009		0.0033	0.0007	0.0153	6%	0.0053	5%
	Vagone 1	0.0012	0.0004	0.0061	0.0009	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0032	0.0007	0.0062	0.0010	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0037	0.0007	0.0051	0.0009	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0031	0.0007	0.0048	0.0009	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 9 22/02/2009	Cask 31	< 0.0008		0.0138	0.0014	0.0089	6%	0.0042	5%
	Cask 32	0.0013	0.0004	0.0119	0.0012	0.0073	6%	0.0026	5%
	Cask 33	0.0011	0.0004	0.0035	0.0008	0.0060	6%	0.0027	5%
	Cask 34	< 0.0008		< 0.0024		0.0047	6%	0.0019	5%
	Vagone 1	0.0016	0.0004	0.0064	0.0009	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	< 0.0008		0.0029	0.0007	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0021	0.0005	0.0058	0.0009	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0011	0.0004	0.0041	0.0008	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 10 19/04/2009	Cask 35	< 0.0007		< 0.0029		0.0065	6%	0.0032	5%
	Cask 36	< 0.0007		0.0175	0.0015	0.0128	6%	0.0038	5%
	Cask 37	< 0.0007		< 0.0029		0.0062	6%	0.0022	5%
	Cask 38	< 0.0009		< 0.0021		0.0103	6%	0.0052	5%
	Vagone 1	< 0.0007		< 0.0029		-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	< 0.0009		< 0.0032		-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	< 0.0009		< 0.0032		-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	< 0.0007		< 0.0029		-		Fondo ambientale	
trasporto n° 11 24/05/2009	Cask 39	< 0.0008		0.0061	0.0010	0.0105	6%	0.0025	5%
	Cask 40	0.0008	0.0003	0.0023	0.0007	0.0105	6%	0.0025	5%
	Cask 41	< 0.0008		< 0.0023		0.0083	6%	0.0028	5%
	Cask 42	< 0.0008		0.0209	0.0017	0.0106	6%	0.0023	5%
	Vagone 1	0.0012	0.0004	< 0.0033		-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0043	0.0007	0.0034	0.0011	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0009	0.0003	0.0044	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0038	0.0007	0.0075	0.0010	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 12 28/06/2009	Cask 43	< 0.0007		< 0.0031		0.0136	6%	0.0025	5%
	Cask 44	0.0006	0.0003	< 0.0031		0.0124	6%	0.0036	5%
	Cask 45	0.0007	0.0003	0.0046	0.0009	0.0107	6%	0.0025	5%
	Cask 46	< 0.0007		0.0029	0.0007	0.0071	6%	0.0021	5%
	Vagone 1	< 0.0007		< 0.0026		-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0027	0.0006	0.0044	0.0009	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0052	0.0008	0.0081	0.0012	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0016	0.0004	0.0059	0.0010	-		Fondo	

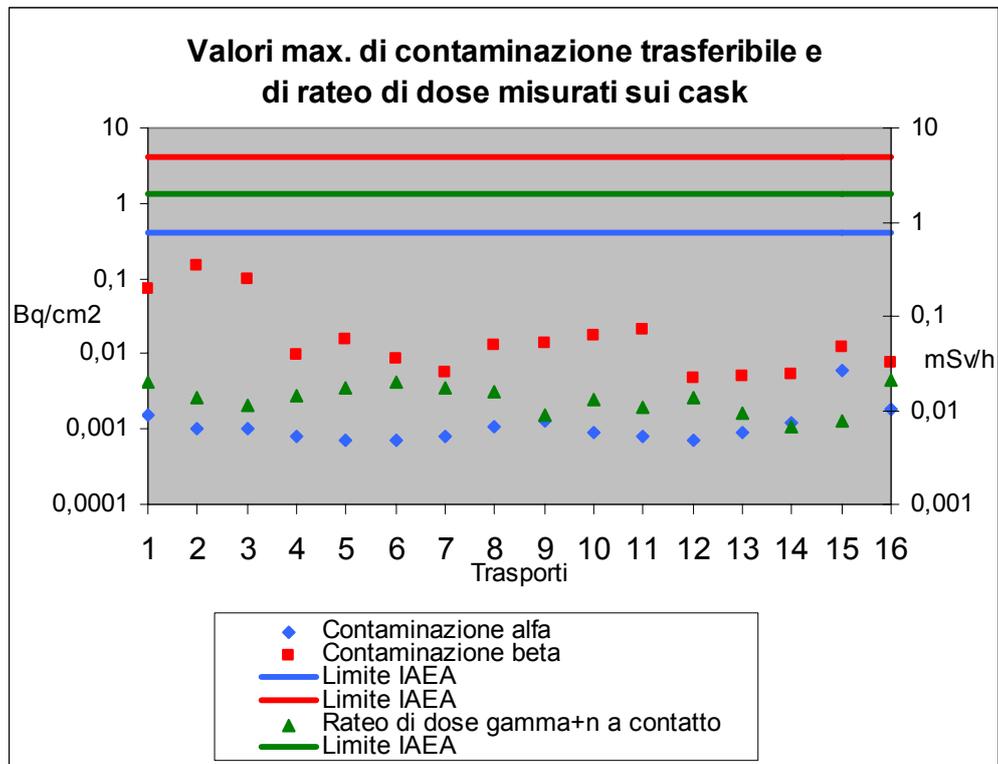
								ambientale	
trasporto n° 13 02/08/2009	Cask 47	< 0.0009		0.0050	0.0008	0.0070	6%	0.0030	5%
	Cask 48	< 0.0009		< 0.0026		0.0047	6%	0.0022	5%
	Cask 49	0.0006	0.0003	0.0022	0.0007	0.0059	6%	0.0020	5%
	Cask 50	< 0.0007		< 0.0023		0.0092	6%	0.0018	5%
	Vagone 1	0.0022	0.0005	0.0033	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0042	0.0008	0.0145	0.0013	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	< 0.0009		0.0030	0.0007	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0020	0.0005	0.0043	0.0008	-		Fondo ambientale	
trasporto n° 14 06/12/2009	Cask 51	< 0.0009		0.0047	0.0009	0.0056	6%	0.0025	5%
	Cask 52	0.0012	0.0004	0.0053	0.0009	0.0067	6%	0.0030	5%
	Vagone 1	0.0035	0.0007	0.0112	0.0013	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	< 0.0009		< 0.0034		-		Fondo ambientale	
trasporto n° 15 09/05/2010	Cask 53	0.0031	0.0007	0.0048	0.0009	0.0055	6%	0.0025	5%
	Cask 54	0.0061	<i>0.0009</i>	0.0119	0.0014	0.0077	6%	0.0027	5%
	Cask 55	0.0017	0.0005	0.0046	0.0008	0.0069	6%	0.0018	5%
	Cask 56	0.0013	0.0004	< 0.0028		0.0053	6%	0.0018	5%
	Cask 57	< 0.0007		< 0.0027		0.0073	6%	0.0025	5%
	Vagone 1	0.0008	0.0003	0.0057	0.0009	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0053	0.0008	0.0089	0.0012	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0021	0.0005	0.0040	0.0011	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0007	0.0003	0.0026	0.0007	-		Fondo ambientale	
	Vagone 5	< 0.0007		< 0.0028		-		Fondo ambientale	
trasporto n° 16 20/06/2010	Cask 58	0.0011	0.0004	0.0029	0.0007	0.0070	6%	0.0030	5%
	Cask 59	0.0018	0.0005	0.0077	0.0010	0.0112	6%	0.0032	5%
	Cask 60	< 0.0010		< 0.0028		0.0211	6%	0.0051	5%
	Cask 61	< 0.0010		< 0.0028		0.0049	6%	0.0022	5%
	Vagone 1	0.0027	0.0006	0.0040	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 2	0.0011	0.0004	0.0036	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 3	0.0010	0.0004	0.0038	0.0008	-		Fondo ambientale	
	Vagone 4	0.0065	0.0010	0.0119	0.0013	-		Fondo ambientale	

* Non sottoposto a controllo in quanto accompagnato in arrivo da un "Certificato di non contaminazione"

Le misure eseguite hanno confermato l'ampio rispetto dei limiti riportati in tabella 5, in particolare:

- i valori misurati della contaminazione trasferibile alfa, si sono sempre mantenuti rispettivamente al di sotto del 2% del limite ammissibile per i colli ed al di sotto del 30% del limite ammissibile per i vagoni ferroviari;
- i valori misurati della contaminazione trasferibile beta, si sono sempre mantenuti rispettivamente al di sotto del 4% del limite ammissibile per i colli ed al di sotto del 9% del limite ammissibile per i vagoni ferroviari;
- i valori del rateo di dose gamma H*(10) misurati sui vagoni ferroviari non si discostano dal fondo naturale medio della zona;

- i valori del rateo di dose gamma e neutronica $H^*(10)$ misurati a contatto dei colli sono inferiori di due ordini di grandezza al limite ammissibile ed altresì sensibilmente inferiori ai valori previsionali calcolati da AREVA assumendo stime cautelative dell'inventario di radioattività presente negli elementi di combustibile.



4.2. Monitoraggio radiologico ambientale

Prima dell'inizio delle operazioni di trasferimento del combustibile irraggiato sono state effettuate misure di "zero" (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 eseguite.

Tabella 7: contaminazione del suolo (Bq/kg peso secco)

Trasporto	Località	Co-60	Cs-137	Am-241	K-40
Situazione "zero"	Idrovora	< 0.14	14.50±0.73	< 0.98	496.30±23.90
	Chiavenna	< 0.15	5.07±0.31	< 1.37	404.12±20.09
N° 1 16/12/2007	Idrovora	< 1.14	14.88±0.77	< 1.14	476.90±23.30
N° 2 24/02/2008	Idrovora	< 0.13	15.10±0.75	< 0.91	425.30±20.60
	Idrovora				

N° 3 06/04/2008	Chiavenna	< 0.12	11.68±0.63	< 0.23	453.60±23.30
N° 4 25/05/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.18	33.68±1.67	< 1.28	280.40±15.10
N° 5 29/06/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.11	89.85±4.40	< 1.17	299.20±15.30
N° 6 07/09/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.18	5.48±0.61	< 1.35	160.30±17.41
N° 7 19/10/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.16	15.07±1.59	< 0.45	523.80±54.50
N° 8 30/11/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.26	13.52±1.44	< 1.86	557.80±58.10
N° 9 22/02/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.25	16.26±1.72	< 2.25	551.50±57.50
N° 10 19/04/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.20	9.04±0.97	< 1.91	483.60±50.30
N° 11 24/05/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.21	9.39±1.01	< 1.72	493.90±51.40
N° 12 28/06/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.16	9.08±0.97	< 0.45	494.80±51.40
N° 13 02/08/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.14	6.42±0.68	< 0.90	446.50±46.30
N° 14 06/12/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.23	8.63±0.93	< 1.19	577.70±60.40
N° 15 09/05/2010	Idrovora Chiavenna	< 0.07	7.12±0.77	< 1.47	471.00±49.20
N° 16 20/06/2010	Idrovora Chiavenna	< 0.17	7.74±0.83	< 1.92	539.20±56.30

I valori di concentrazione di Cs-137 nel suolo riscontrati nell'area circostante la centrale di Caorso dopo l'incidente di Chernobyl variano mediamente nell'intervallo 1-20 Bq/kg peso secco. La contaminazione da Cs-137 rilevata in occasione dei campionamenti eseguiti, pur se in alcuni casi superiore rispetto alla variabilità media dei dati di altri rilievi, è comunque attribuibile esclusivamente all'incidente di Chernobyl.

Tabella 8: contaminazione del suolo mediante spettrometria γ in campo (Bq/m²)

Trasporto	Località	Co-60	Cs-137	Am-241	K-40
Situazione "zero"	stazione ferroviaria	< 49.47	112.80±39.70	< 64.26	10300.00±673.00
		< 23.13	123.20±55.00	< 73.78	10160.00±680.00
N° 1 16/12/2007	stazione ferroviaria	< 39.20	< 40.65	< 81.32	8876.00±612.44
N° 2 24/02/2008	stazione ferroviaria	< 30.27	< 47.49	< 69.09	6882.00±543.68
N° 3 06/04/2008	stazione ferroviaria	< 32.26	< 34.52	< 38.47	7588.00±417.34
N° 4 25/05/2008	stazione ferroviaria	< 43.95	< 44.38	< 83.70	8126.00±609.45
N° 5 29/06/2008	stazione ferroviaria	< 22.80	< 26.10	< 50.00	8101.00±473.00
N° 6 07/09/2008	stazione ferroviaria	< 27.29	< 32.79	< 49.16	8278.00±447.01
n° 7 19/10/2008	stazione ferroviaria	< 28.68	< 24.15	< 51.00	8175.00±449.63
n° 8 30/11/2008	stazione				

	ferroviaria	< 26.85	68.56±27.56	< 19.61	8061.00±427.23
n° 9 22/02/2009	stazione ferroviaria	< 21.84	< 36.89	< 51.28	8134.00 ± 447.37
n° 10 19/04/2009	stazione ferroviaria	< 28.16	< 23.92	< 56.08	8441.00 ± 422.05
n° 11 24/05/2009	stazione ferroviaria	< 26.85	< 30.63	< 42.39	8432.00 ± 505.92
n° 12 28/06/2009	stazione ferroviaria	< 33.98	< 33.87	< 53.29	7838.00 ± 423.25
n° 13 02/08/2009	stazione ferroviaria	< 28.99	< 30.94	< 59.79	8445.00 ± 439.14
n° 14 06/12/2009	stazione ferroviaria	< 15.56	< 28.68	< 50.56	7934.00 ± 428.44
n° 15 09/05/2010	stazione ferroviaria	< 25.46	< 25.36	< 49.59	7244.00 ± 412.91
N° 16 20/06/2010	stazione ferroviaria	< 31.87	< 30.19	< 38.53	8043.00 ± 402.15

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

Tabella 9: contaminazione dell'erba (Bq/kg peso secco)

Trasporto	Località	Co-60	Cs-137	Am-241	K-40
Situazione "zero"	Idrovora Chiavenna	< 0.40	2.06±0.80	< 4.04	587.60±47.00
		< 0.89	3.39±0.89	< 6.92	631.34±44.51
n° 1 16/12/2007	Idrovora Chiavenna	< 0.61	8.46±0.99	< 7.18	679.61±42.90
n° 2 24/02/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.62	1.23±0.48	< 0.88	902.30±48.40
n° 3 06/04/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.75	1.18±0.63	< 6.80	814.40±50.20
n° 4 25/05/2008	Idrovora Chiavenna	< 1.01	1.41±0.77	< 9.01	600.80±51.40
n° 5 29/06/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.55	4.43±0.62	< 0.80	646.90±37.60
n° 6 07/09/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.30	8.51±1.14	< 1.30	564.09±61.77
n° 7 19/10/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.86	1.28±0.62	< 1.37	373.30±43.80
n° 8 30/11/2008	Idrovora Chiavenna	< 0.50	3.45±0.67	< 1.25	342.30±39.50
n° 9 22/02/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.74	9.53±1.22	< 1.09	277,30±32.90
n° 10 19/04/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.74	2.37±0.74	< 6.72	796.50±86.20
n° 11 24/05/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.63	5.59±0.91	< 7.17	677.70±73.70
n° 12 28/06/2009	Idrovora Chiavenna	< 1.07	< 1.21	< 11.40	624.00±71.40
n° 13 02/08/2009	Idrovora Chiavenna	< 0.40	1.99±0.39	< 0.69	377.90±40.90
n° 14 06/12/2009	Idrovora Chiavenna	< 1.56	< 1.93	< 11.48	1693.00±183.00

n° 15 09/05/2010	Idrovora Chiavenna	< 0.98	< 1.20	< 6.55	912.30±99.50
N° 16 20/06/2010	Idrovora Chiavenna	< 0.78	< 1.53	< 9.84	1071.00±118.00

I valori di concentrazione di Cs-137 nell'erba sono rilevabili, anche se prossimi alla M.A.R.; le concentrazioni attualmente riscontrate nell'area variano nell'intervallo 0.5-10 Bq/kg peso secco.

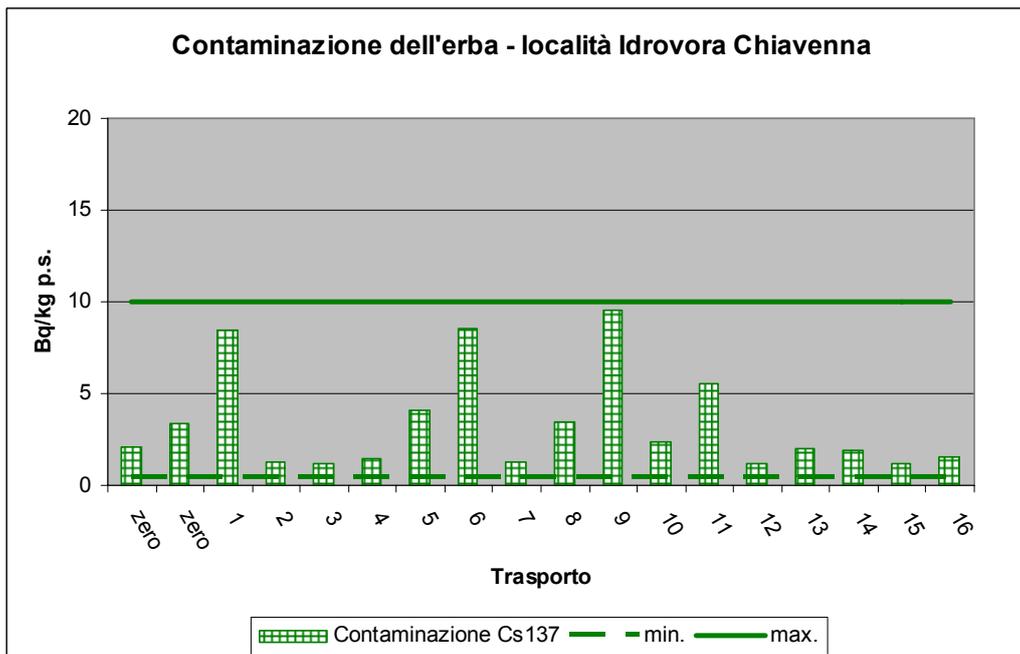
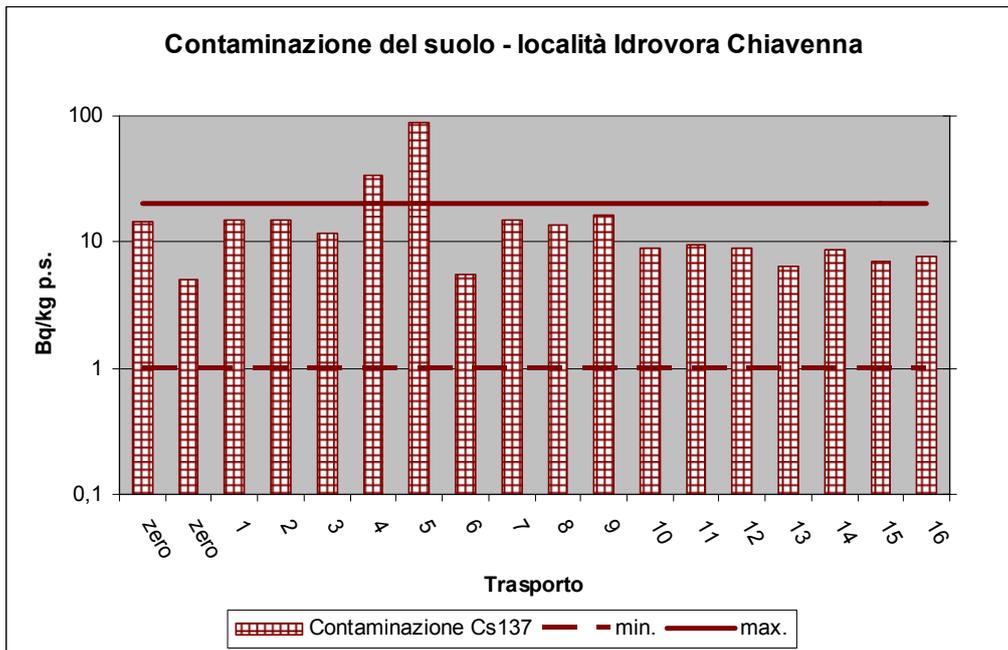


Tabella 10: contaminazione dell'aria (Bq/m³)

Trasporto	Località	Co-60	Cs-137	Am-241	α totale	β totale
Situazione "zero", ovvero precedente inizio operazioni trasporto	Idrovora Chiavenna					
dal 18 al 26/09/2007		< 0.04e-03	< 0.05e-03	< 0.34e-03	(0.33±0.01)e-03	(1.00±0.01) e-03
dal 26 al 03/10/2007		< 0.06e-03	< 0.05e-03	< 0.34e-03	(0.24±0.01)e-03	(0.73±0.019) e-03
dal 03 al 10/10/2007		< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 0.35e-03	(0.51±0.01)e-03	(1.40±0.01) e-03
dal 10 al 17/10/2007		< 0.04e-03	< 0.03e-03	< 1.11e-03	(0.47±0.01)e-03	(1.60±0.02) e-03
dal 17 al 24/10/2007		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.15e-03	(0.13±0.01)e-03	(0.46±0.01) e-03
dal 24 al 31/10/2007		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.13e-03	(0.23±0.01)e-03	(0.73±0.01) e-03
dal 31 al 07/11/2007		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 0.16e-03	(0.22±0.01)e-03	(0.79±0.01) e-03
dal 07 al 14/11/2007		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.05e-03	(0.23±0.01)e-03	(0.90±0.01) e-03
dal 14 al 21/11/2007		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.20e-03	(0.40±0.01)e-03	(1.80±0.02) e-03
dal 21 al 28/11/2007		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.10e-03	(0.30±0.01)e-03	(1.20±0.10) e-03
Situazione successiva inizio operazioni trasporto						
dal 28 al 05/12/2007		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.04e-03	(0.20±0.01)e-03	(0.98±0.02) e-03
dal 05 al 12/12/2007		< 0.08e-03	< 0.05e-03	< 0.22e-03	(0.34±0.01)e-03	(1.60±0.02) e-03
dal 12 al 19/12/2007		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.03e-03	(0.19±0.01)e-03	(1.00±0.01)e-03
dal 19 al 27/12/2007		< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 0.38e-03	(0.30±0.01)e-03	(1.90±0.02)e-03
dal 27 al 02/01/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.17e-03	(0.45±0.01)e-03	(2.20±0.02)e-03
dal 02 al 09/01/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.05e-03	(0.10±0.01)e-03	(0.74±0.01)e-03
dal 09 al 16/01/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.18e-03	(0.06±0.01)e-03	(0.43±0.01)e-03
dal 16 al 23/01/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.09e-03	(0.06±0.01)e-03	(0.50±0.01)e-03
dal 23 al 30/01/2008		< 0.04e-03	< 0.03e-03	< 0.95e-03	(0.15±0.01)e-03	(0.87±0.01)e-03
dal 30 al 06/02/2008		< 0.04e-03	< 0.03e-03	< 0.94e-03	(0.14±0.01)e-03	(0.77±0.01)e-03
dal 06 al 13/02/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.09e-03	(0.13±0.01)e-03	(0.81±0.01)e-03
dal 13 al 20/02/2008	< 0.03e-03	< 0.03e-03	< 0.88e-03	(0.13±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03	
dal 20 al 27/02/2008	< 0.83e-03	< 0.82e-03	< 0.76e-03	(0.13±0.01)e-03	(1.20±0.01)e-03	
dal 27 al 05/03/2008	< 0.07e-03	< 0.06e-03	< 0.42e-03	(0.04±0.01)e-03	(0.70±0.01)e-03	
dal 05 al 12/03/2008	< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.23e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.37±0.01)e-03	
dal 12 al 19/03/2008	< 0.05e-03	< 0.08e-03	< 0.41e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.27±0.01)e-03	
dal 19 al 26/03/2008	< 0.04e-03	< 0.03e-03	< 0.91e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.30±0.01)e-03	

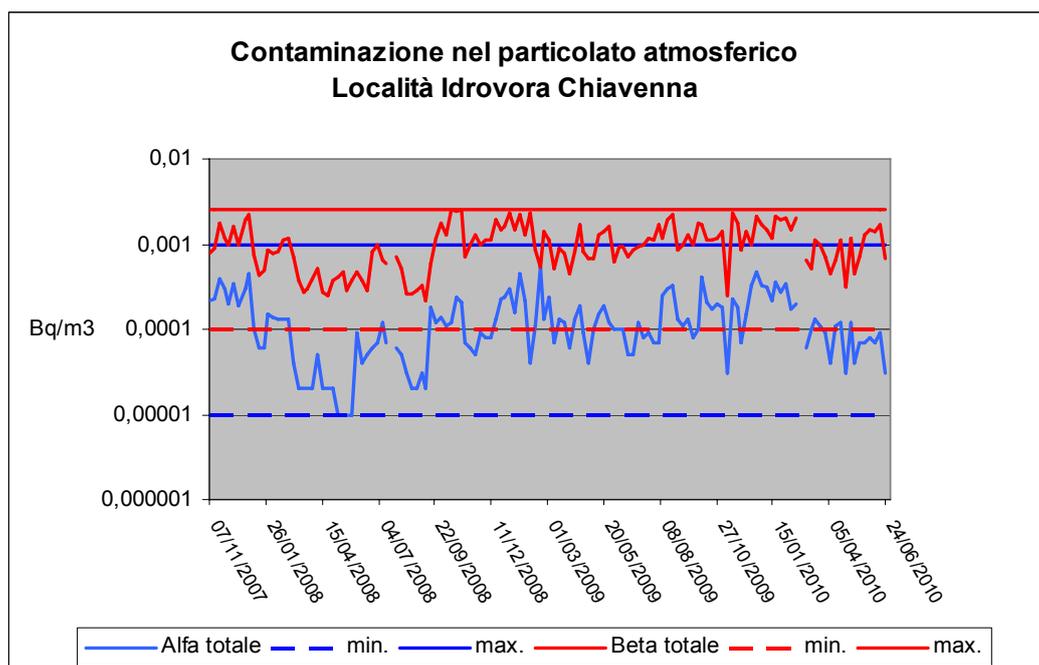
dal 26 al 02/04/2008		< 0.04e-03	< 0.03e-03	< 0.90e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.39±0.01)e-03
dal 02 al 09/04/2008		< 0.06e-03	< 0.05e-03	< 0.34e-03	(0.05±0.01)e-03	(0.51±0.01)e-03
dal 09 al 16/04/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 0.21e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.27±0.01)e-03
dal 16 al 23/04/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 0.98e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.25±0.01)e-03
dal 23 al 30/04/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.00e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.37±0.01)e-03
dal 30 al 07/05/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.10e-03	(0.01±0.01)e-03	(0.42±0.01)e-03
dal 07 al 14/05/2008		< 0.05e-03	< 0.05e-03	< 0.21e-03	(0.01±0.01)e-03	(0.47±0.01)e-03
dal 14 al 21/05/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 0.19e-03	(0.01±0.01)e-03	(0.29±0.01)e-03
dal 21 al 28/05/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.12e-03	(0.01±0.01)e-03	(0.37±0.01)e-03
dal 28 al 04/06/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 0.19e-03	(0.09±0.01)e-03	(0.47±0.01)e-03
dal 04 al 11/06/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.19e-03	(0.04±0.01)e-03	(0.37±0.01)e-03
dal 11 al 18/06/2008		< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 0.42e-03	(0.05±0.01)e-03	(0.29±0.01)e-03
dal 18 al 25/06/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.15e-03	(0.06±0.01)e-03	(0.82±0.01)e-03
dal 25 al 02/07/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 0.21e-03	(0.07±0.01)e-03	(1.00±0.01)e-03
dal 02 al 09/07/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.10e-03	(0.12±0.01)e-03	(0.66±0.01)e-03
dal 09 al 16/07/2008		< 0.05e-03	< 0.04e-03	< 1.00e-03	(0.07±0.01)e-03	(0.58±0.01)e-03
dal 16 al 23/07/2008		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
dal 23 al 30/07/2008		< 0.07e-03	< 0.08e-03	< 0.50e-03	(0.06±0.01)e-03	(0.72±0.01)e-03
dal 30 al 06/08/2008		< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.49e-03	(0.05±0.01)e-03	(0.51±0.01)e-03
dal 06 al 13/08/2008		< 0.04e-03	< 0.08e-03	< 1.80e-03	(0.03±0.01)e-03	(0.26±0.01)e-03
dal 13 al 20/08/2008		< 0.07e-03	< 0.06e-03	< 1.51e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.26±0.01)e-03
dal 20 al 27/08/2008		< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.54e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.29±0.01)e-03
dal 27 al 03/09/2008		< 0.07e-03	< 0.08e-03	< 1.53e-03	(0.03±0.01)e-03	(0.32±0.01)e-03
dal 03 al 10/09/2008		< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.43e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.22±0.01)e-03
dal 10 al 17/09/2008		< 0.06e-03	(0.09±0.05)e-03	< 1.61e-03	(0.18±0.01)e-03	(0.60±0.01)e-03
dal 17 al 24/09/2008		< 0.08e-03	< 0.06e-03	< 1.30e-03	(0.12±0.01)e-03	(1.20±0.01)e-03
dal 24 al 01/10/2008		< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.30e-03	(0.14±0.01)e-03	(1.80±0.02)e-03
dal 01 al 08/10/2008		< 0.07e-03	< 0.05e-03	< 1.40e-03	(0.11±0.01)e-03	(1.30±0.01)e-03
dal 08 al 15/10/2008		< 0.04e-03	< 0.04e-03	< 1.30e-03	(0.12±0.01)e-03	(2.50±0.02)e-03
dal 15 al 22/10/2008		< 0.05e-03	< 0.05e-03	< 1.12e-03	(0.24±0.01)e-03	(2.40±0.02)e-03
dal 22 al 29/10/2008		< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.14e-03	(0.21±0.01)e-03	(2.50±0.02)e-03
dal 29 al 05/11/2008		< 0.05e-03	< 0.05e-03	< 1.25e-03	(0.07±0.01)e-03	(0.73±0.01)e-03
dal 05 al 12/11/2008		< 0.04e-03	< 0.06e-03	< 1.52e-03	(0.06±0.01)e-03	(1.00±0.01)e-03
dal 12 al 19/11/2008		< 0.05e-03	< 0.06e-03	< 1.22e-03	(0.05±0.01)e-03	(1.30±0.01)e-03

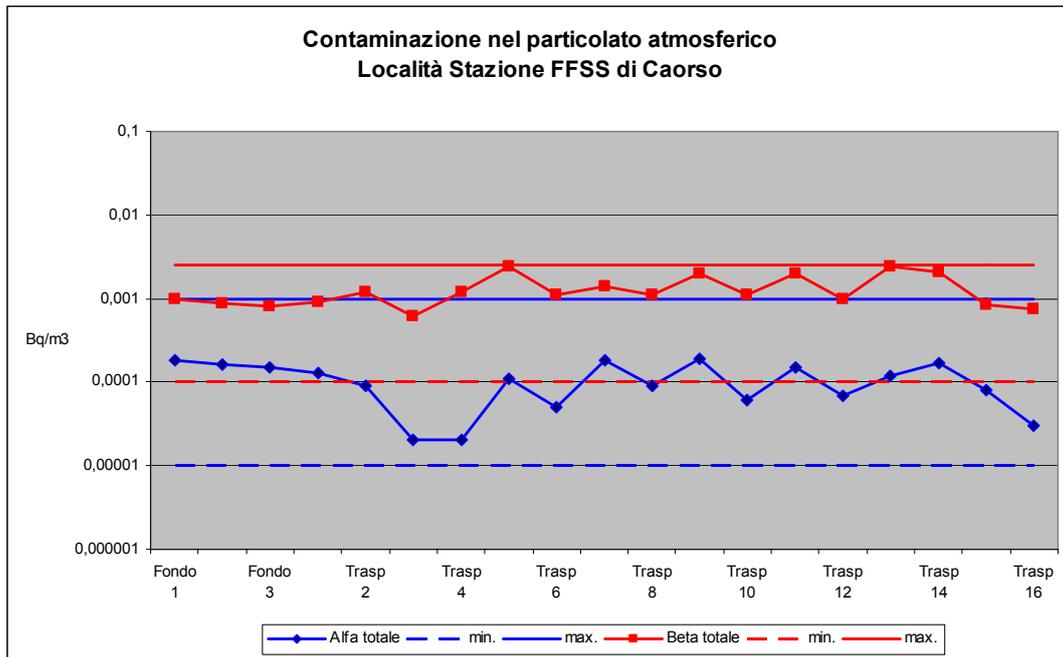
dal 19 al 26/11/2008	< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.55e-03	(0.09±0.01)e-03	(0.99±0.01)e-03
dal 26 al 03/12/2008	< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.61e-03	(0.08±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 03 al 10/12/2008	< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.61e-03	(0.08±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 10 al 17/12/2008	< 0.03e-03	< 0.06e-03	< 1.56e-03	(0.13±0.01)e-03	(1.90±0.02)e-03
dal 17 al 24/12/2008	< 0.06e-03	< 0.07e-03	< 1.50e-03	(0.23±0.01)e-03	(1.50±0.01)e-03
dal 24 al 31/12/2008	< 0.04e-03	< 0.07e-03	< 1.43e-03	(0.24±0.01)e-03	(1.60±0.02)e-03
dal 31 al 07/01/2009	< 0.08e-03	< 0.07e-03	< 1.57e-03	(0.30±0.01)e-03	(2.30±0.02)e-03
dal 07 al 14/01/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.41e-03	(0.16±0.01)e-03	(1.50±0.02)e-03
dal 14 al 21/01/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.58e-03	(0.45±0.01)e-03	(2.20±0.02)e-03
dal 21 al 28/01/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.60e-03	(0.22±0.01)e-03	(1.30±0.01)e-03
dal 28 al 04/02/2009	< 0.08e-03	< 0.07e-03	< 1.22e-03	(0.04±0.01)e-03	(0.23±0.01)e-03
dal 04 al 11/02/2009	< 0.05e-03	< 0.07e-03	< 1.33e-03	(0.11±0.01)e-03	(0.84±0.01)e-03
dal 11 al 18/02/2009	< 0.08e-03	< 0.09e-03	< 3.61e-03	(0.55±0.01)e-03	(0.53±0.01)e-03
dal 18 al 25/02/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.70e-03	(0.13±0.01)e-03	(1.40±0.02)e-03
dal 25 al 04/03/2009	< 0.08e-03	< 0.07e-03	< 0.21e-03	(0.24±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 04 al 11/03/2009	< 0.09e-03	< 0.10e-03	< 0.29e-03	(0.07±0.01)e-03	(0.51±0.01)e-03
dal 11 al 18/03/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.53e-03	(0.13±0.01)e-03	(0.88±0.01)e-03
dal 18 al 25/03/2009	< 0.06e-03	< 0.07e-03	< 1.601e-03	(0.12±0.01)e-03	(0.77±0.01)e-03
dal 25 al 01/04/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.24e-03	(0.06±0.01)e-03	(0.46±0.01)e-03
dal 01 al 08/04/2009	< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.37e-03	(0.13±0.01)e-03	(0.82±0.01)e-03
dal 08 al 15/04/2009	< 0.05e-03	< 0.07e-03	< 1.51e-03	(0.19±0.01)e-03	(1.70±0.02)e-03
dal 15 al 22/04/2009	< 0.08e-03	< 0.06e-03	< 1.33e-03	(0.09±0.01)e-03	(0.82±0.01)e-03
dal 22 al 29/04/2009	< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.32e-03	(0.04±0.01)e-03	(0.68±0.01)e-03
dal 29 al 06/05/2009	< 0.06e-03	< 0.07e-03	< 1.32e-03	(0.10±0.01)e-03	(0.69±0.01)e-03
dal 06 al 13/05/2009	< 0.06e-03	< 0.07e-03	< 1.56e-03	(0.15±0.01)e-03	(1.30±0.01)e-03
dal 13 al 20/05/2009	< 0.05e-03	< 0.07e-03	< 1.83e-03	(0.19±0.01)e-03	(1.40±0.01)e-03
dal 20 al 27/05/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.81e-03	(0.12±0.01)e-03	(1.60±0.01)e-03
dal 27 al 03/06/2009	< 0.05e-03	< 0.08e-03	< 0.93e-03	(0.10±0.01)e-03	(0.63±0.01)e-03
dal 03 al 10/06/2009	< 0.06e-03	< 0.08e-03	< 1.44e-03	(0.10±0.01)e-03	(0.93±0.01)e-03
dal 10 al 17/06/2009	< 0.06e-03	< 0.08e-03	< 1.88e-03	(0.10±0.01)e-03	(0.95±0.01)e-03
dal 17 al 24/06/2009	< 0.05e-03	< 0.10e-03	< 2.20e-03	(0.05±0.01)e-03	(0.72±0.01)e-03
dal 24 al 01/07/2009	< 0.06e-03	< 0.07e-03	< 1.59e-03	(0.05±0.01)e-03	(0.84±0.01)e-03
dal 01 al 08/07/2009	< 0.05e-03	< 0.08e-03	< 1.43e-03	(0.12±0.01)e-03	(0.95±0.01)e-03

dal 08 al 15/07/2009	< 0.05e-03	< 0.08e-03	< 1.39e-03	(0.08±0.01)e-03	(1.00±0.01)e-03
dal 15 al 22/07/2009	< 0.05e-03	< 0.08e-03	< 1.57e-03	(0.09±0.01)e-03	(1.20±0.01)e-03
dal 22 al 29/07/2009	< 0.07e-03	< 0.05e-03	< 0.12e-03	(0.07±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 29 al 05/08/2009	< 0.07e-03	(0.08±0.04)e-03	< 1.84e-03	(0.07±0.01)e-03	(1.70±0.01)e-03
dal 05 al 12/08/2009	< 0.03e-03	< 0.04e-03	< 0.83e-04	(0.25±0.01)e-03	(1.20±0.01)e-03
dal 12 al 19/08/2009	< 0.06e-03	< 0.07e-03	< 1.59e-03	(0.30±0.01)e-03	(1.90±0.02)e-03
dal 19 al 26/08/2009	< 0.10e-03	< 0.09e-03	< 0.23e-04	(0.32±0.01)e-03	(2.20±0.02)e-03
dal 26 al 02/09/2009	< 0.11e-03	(0.13±0.07)e-03	< 0.07e-03	(0.13±0.01)e-03	(0.87±0.01)e-03
dal 02 al 09/09/2009	< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.50e-03	(0.11±0.01)e-03	(1.00±0.01)e-03
dal 09 al 16/09/2009	< 0.04e-03	< 0.07e-03	< 1.25e-03	(0.13±0.01)e-03	(1.30±0.01)e-03
dal 16 al 23/09/2009	< 0.05e-03	(0.06±0.03)e-03	< 1.29e-03	(0.08±0.01)e-03	(1.00±0.01)e-03
dal 23 al 30/09/2009	< 0.05e-03	(0.06±0.03)e-03	< 1.26e-03	(0.10±0.01)e-03	(1.80±0.01)e-03
dal 30 al 07/10/2009	< 0.05e-03	< 0.05e-03	< 1.20e-03	(0.42±0.01)e-03	(1.70±0.01)e-03
dal 07 al 14/10/2009	< 0.06e-03	< 0.05e-03	< 1.32e-03	(0.21±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 14 al 21/10/2009	< 0.04e-03	< 0.06e-03	< 1.06e-03	(0.17±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 21 al 28/10/2009	< 0.05e-03	< 0.05e-03	< 1.10e-03	(0.20±0.01)e-03	(1.20±0.01)e-03
dal 28 al 04/11/2009	< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 1.38e-03	(0.18±0.01)e-03	(1.40±0.01)e-03
dal 04 al 11/11/2009	< 0.03e-03	< 0.06e-03	< 1.17e-03	(0.03±0.01)e-03	(0.25±0.01)e-03
dal 11 al 18/11/2009	< 0.09e-03	< 0.09e-03	< 0.31e-03	(0.23±0.01)e-03	(2.30±0.02)e-03
dal 18 al 25/11/2009	< 0.05e-03	< 0.06e-03	< 1.36e-03	(0.18±0.01)e-03	(1.80±0.01)e-03
dal 25 al 02/12/2009	< 0.07e-03	< 0.07e-03	< 1.63e-03	(0.07±0.01)e-03	(0.86±0.01)e-03
dal 02 al 09/12/2009	< 0.05e-03	< 0.07e-03	< 1.56e-03	(0.15±0.01)e-03	(1.40±0.01)e-03
dal 09 al 16/12/2009	< 0.07e-03	< 0.09e-03	< 0.32e-03	(0.33±0.01)e-03	(1.00±0.01)e-03
dal 16 al 23/12/2009	< 0.11e-03	< 0.13e-03	< 0.08e-03	(0.47±0.01)e-03	(2.10±0.02)e-03
dal 23 al 30/12/2009	< 0.08e-03	< 0.11e-03	< 0.39e-03	(0.33±0.01)e-03	(1.70±0.01)e-03
dal 30 al 06/01/2010	< 0.04e-03	< 0.05e-03	< 0.11e-03	(0.31±0.01)e-03	(1.50±0.01)e-03
dal 06 al 13/01/2010	< 0.12e-03	< 0.15e-03	< 0.10e-03	(0.22±0.01)e-03	(1.20±0.01)e-03
dal 13 al 20/01/2010	< 0.13e-03	< 0.12e-03	< 0.10e-03	(0.36±0.01)e-03	(2.10±0.02)e-03
dal 20 al 27/01/2010	< 0.06e-03	< 0.10e-03	< 0.06e-03	(0.27±0.01)e-03	(1.90±0.01)e-03
dal 27 al 03/02/2010	< 0.14e-03	< 0.13e-03	< 0.07e-03	(0.35±0.01)e-03	(2.00±0.02)e-03
dal 03 al 10/02/2010	< 0.12e-03	< 0.14e-03	< 0.12e-03	(0.17±0.01)e-03	(1.50±0.02)e-03
dal 10 al 17/02/2010	< 0.06e-03	< 0.12e-03	< 0.09e-03	(0.20±0.01)e-03	(2.00±0.02)e-03
dal 17 al 24/02/2010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
dal 24 al 03/03/2010	< 0.13e-03	< 0.14e-03	< 0.12e-03	(0.06±0.01)e-03	(0.65±0.01)e-03

dal 03 al 10/03/2010		< 0.05e-03	< 0.08e-03	< 0.34e-03	(0.10±0.01)e-03	(0.51±0.01)e-03
dal 10 al 17/03/2010		< 0.15e-03	< 0.14e-03	< 0.10e-03	(0.13±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 17 al 24/03/2010		< 0.09e-03	< 0.11e-03	< 0.08e-03	(0.11±0.01)e-03	(0.97±0.01)e-03
dal 24 al 31/03/2010		< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 0.21e-03	(0.09±0.01)e-03	(0.71±0.01)e-03
dal 31 al 07/04/2010		< 0.12e-03	< 0.13e-03	< 0.11e-03	(0.04±0.01)e-03	(0.46±0.01)e-03
dal 07 al 14/04/2010		< 0.07e-03	< 0.10e-03	< 0.25e-03	(0.11±0.01)e-03	(0.64±0.01)e-03
dal 14 al 21/04/2010		< 0.09e-03	< 0.11e-03	< 0.07e-03	(0.12±0.01)e-03	(1.10±0.01)e-03
dal 21 al 28/04/2010		< 0.05e-03	< 0.05e-03	< 0.19e-03	(0.03±0.01)e-03	(0.31±0.01)e-03
dal 28 al 05/05/2010		< 0.06e-03	< 0.09e-03	< 0.34e-03	(0.12±0.01)e-03	(1.20±0.01)e-03
dal 05 al 12/05/2010		< 0.07e-03	< 0.09e-03	< 0.44e-03	(0.04±0.01)e-03	(0.46±0.01)e-03
dal 12 al 19/05/2010		< 0.04e-03	< 0.06e-03	< 0.20e-03	(0.07±0.01)e-03	(0.72±0.01)e-03
dal 19 al 26/05/2010		< 0.06e-03	< 0.06e-03	< 0.19e-03	(0.07±0.01)e-03	(1.28±0.01)e-03
dal 26 al 02/06/2010		< 0.12e-03	< 0.13e-03	< 0.57e-03	(0.08±0.01)e-03	(1.50±0.01)e-03
dal 02 al 09/06/2010		< 0.05e-03	< 0.06e-03	< 0.23e-03	(0.07±0.01)e-03	(1.42±0.01)e-03
dal 09 al 16/06/2010		< 0.03e-03	< 0.04e-03	< 0.16e-03	(0.09±0.01)e-03	(1.67±0.01)e-03
dal 16 al 23/06/2010		< 0.03e-03	< 0.03e-03	< 0.09e-03	(0.03±0.01)e-03	(0.69±0.01)e-03
Situazione "zero"						
dal 05 al 06/11/2007	stazione ferroviaria	< 0.25e-03	< 0.22e-03	< 0.22e-03	(0.18±0.01)e-03	(1.00±0.03)e-03
dal 27 al 28/11/2007		< 0.18e-03	< 0.25e-03	< 0.16e-03	(0.16±0.01)e-03	(0.88±0.03)e-03
dal 03 al 04/12/2007		< 0.15e-03	< 0.28e-03	< 1.29e-03	(0.15±0.01)e-03	(0.81±0.03)e-03
n° 1 16/12/2007	stazione ferroviaria	< 0.16e-03	< 0.17e-03	< 0.19e-03	(0.13±0.01)e-03	(0.91±0.03)e-03
n° 2 24/02/2008	stazione ferroviaria	< 0.10e-03	< 0.11e-03	< 2.45e-03	(0.09±0.01)e-03	(1.20±0.02)e-03
n° 3 06/04/2008	stazione ferroviaria	< 0.24e-03	< 0.22e-03	< 0.20e-03	(0.02±0.01)e-03	(0.62±0.02)e-03
n° 4 25/05/2008	stazione ferroviaria	< 0.12e-03	< 0.11e-03	< 0.48e-03	(0.02±0.01)e-03	(1.20±0.02)e-03
n° 5 29/06/2008	stazione ferroviaria	< 0.13e-03	< 0.13e-03	< 3.45e-03	(0.11±0.01)e-03	(2.40±0.03)e-03
n° 6 07/09/2008	stazione ferroviaria	< 0.16e-03	< 0.11e-03	< 2.22e-03	(0.05±0.01)e-03	(1.10±0.02)e-03
n° 7 19/10/2008	stazione ferroviaria	< 0.19e-03	< 0.18e-03	< 4.29e-03	(0.18±0.01)e-03	(1.40±0.02)e-03
n° 8 30/11/2008	stazione ferroviaria	< 0.20e-03	< 0.18e-03	< 3.86e-03	(0.09±0.01)e-03	(1.10±0.02)e-03
n° 9 22/02/2009	stazione ferroviaria	< 0.17e-03	< 0.19e-03	< 0.52E-03	(0.19±0.01)e-03	(2.00±0.03)e-03

n° 10 19/04/2009	stazione ferroviaria	< 0.18e-03	< 0.15e-03	< 0.41E-03	(0.06±0.01)e-03	(1.10±0.03)e-03
n° 11 24/05/2009	stazione ferroviaria	< 0.14e-03	< 0.19e-03	< 3.59E-03	(0.15±0.01)e-03	(2.00±0.03)e-03
n° 12 28/06/2009	stazione ferroviaria	< 0.19e-03	< 0.20e-03	< 4.39E-03	(0.07±0.01)e-03	(0.99±0.02)e-03
n° 13 02/08/2009	stazione ferroviaria	< 0.32e-03	< 0.55e-03	< 1.69E-03	(0.12±0.01)e-03	(2.40±0.01)e-03
n° 14 06/12/2009	stazione ferroviaria	< 0.17e-03	(0.23±0.11)e-03	< 3.96E-03	(0.17±0.01)e-03	(2.10±0.03)e-03
n° 15 09/05/2010	stazione ferroviaria	< 0.17e-03	< 0.15e-03	< 0.46E-03	(0.08±0.01)e-03	(0.83±0.02)e-03
n° 16 20/06/2010	stazione ferroviaria	< 0.30e-03	< 0.30e-03	< 1.24E-03	(0.03±0.01)e-03	(0.75±0.13)e-03





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 circostante la centrale di Caorso variano nell' intervallo 0,0001-0,0025 Bq/m³ per l'attività beta totale (vedi Rapporti semestrali Sogin relativi alla "Protezione dell'ambiente").

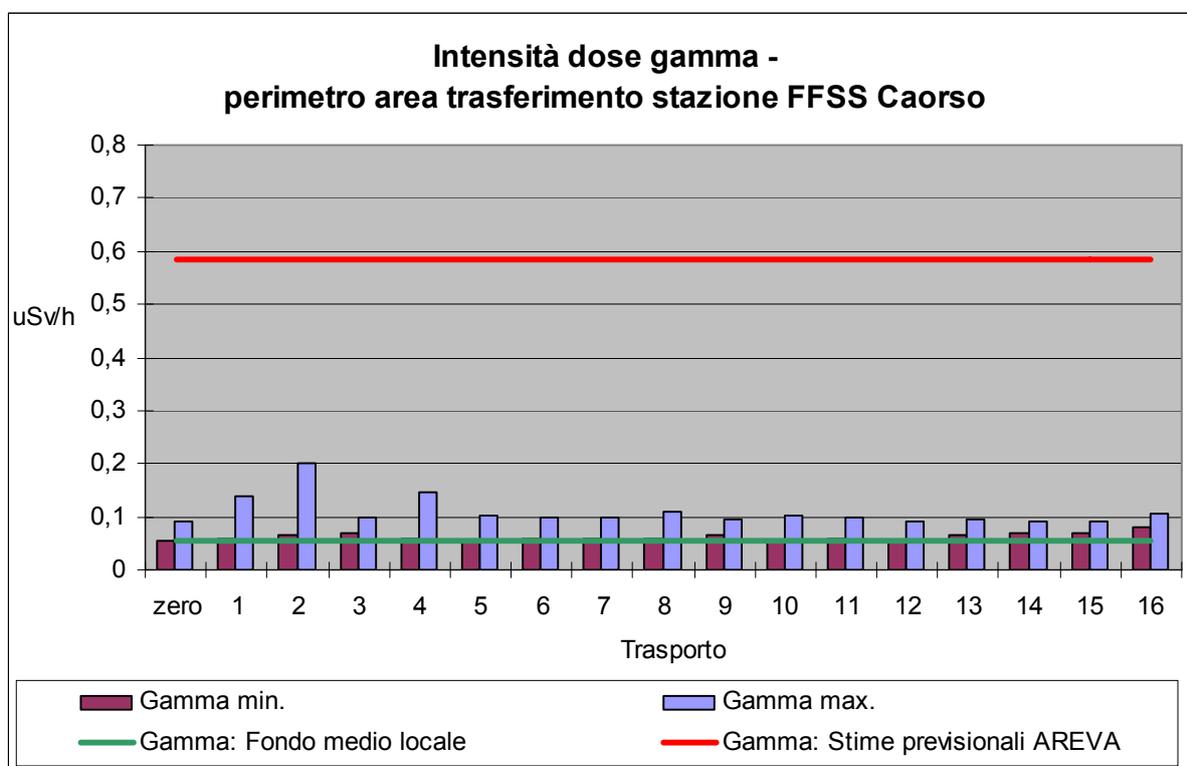
Tabella 11: dose ambientale γ e n – strumentazione portatile (μ Sv/h) H*(10)

Trasporto	Località	γ	N
Situazione "zero"	stazione ferroviaria punto 1	0.070	< 0.025 (**)
	stazione ferroviaria punto 2	0.065	< 0.025 (**)
	stazione ferroviaria punto 3	0.058	< 0.025 (**)
	stazione ferroviaria punto 4	0.078	< 0.025 (**)
	stazione ferroviaria punto 5	0.063	< 0.025 (**)
	stazione ferroviaria punto 6	0.060	< 0.025 (**)
	stazione ferroviaria punto 7	0.055	< 0.025 (**)
	stazione ferroviaria punto 8	0.091	< 0.025 (**)
Trasporto n° 16 20/06/2010	stazione ferroviaria punto 1	0.080	< 0.025
	stazione ferroviaria punto 2	0.080	< 0.025
	stazione ferroviaria		

	punto 3 (*)	0.086	< 0.025
	stazione ferroviaria punto 4 (*)	0.080	< 0.025
	stazione ferroviaria punto 5	0.093	< 0.025
	stazione ferroviaria punto 6	0.080	0.080
	stazione ferroviaria punto 7	0.107	0.040
	stazione ferroviaria punto 8	0.105	< 0.025

(*) misure eseguite in prossimità della recinzione perimetrale, ma dietro i rimorchi "8 assi" dei veicoli utilizzati per il trasporto stradale (posizionati presso la recinzione).

(**) valori inferiori al limite di rilevabilità strumentale (0.025 $\mu\text{Sv/h}$), considerato corrispondente al fondo ambientale



Solo alcuni valori del rateo di dose ambientale gamma e neutronica $H^*(10)$ misurati con strumentazione portatile al perimetro dell'area di trasferimento e sosta dei contenitori presso la stazione ferroviaria di Caorso di proprietà Sogin si discostano dal fondo ambientale medio della zona. Durante la giornata in cui è stato effettuato il trasporto la stazione è stata comunque preclusa al traffico passeggeri/popolazione in generale. Sul lato nord i valori rilevati risultano conformi alle valutazioni di dose effettuate da Sogin in una relazione prodotta a monte della realizzazione di tale area.

Comunque i valori rilevati risultano inferiori ai valori previsionali calcolati da AREVA assumendo stime cautelative dell'inventario di radioattività presente negli elementi di combustibile.

La relazione tecnica non presenta i risultati delle misure di rateo di dose ambientale, eseguite con dosimetri passivi ad integrazione, in quanto sono tuttora in corso verifiche di validazione sui dati stessi.

5. CONCLUSIONI

L'intera attività svolta nel corso di circa due anni e mezzo ha comportato per il Centro Tematico Regionale (CTR) "Radioattività ambientale" ARPA di Piacenza l'esecuzione di circa 12200 controlli radiometrici in qualità di Ente Terzo, così suddivisi:

- ◆ 2928 misure di contaminazione alfa e beta-gamma, 1037 misure di rateo di dose gamma sui vagoni ferroviari che hanno trasportato i contenitori vuoti in arrivo dall'impianto di La Hague;
- ◆ 5795 misure di contaminazione alfa e beta-gamma, 2440 misure di rateo di dose gamma e neutronico sui contenitori pieni in assetto di trasporto prima della partenza dalla centrale di Caorso.

Inoltre, il piano di monitoraggio ambientale straordinario predisposto al fine di valutare l'eventuale impatto radiologico prodotto dalle operazioni di trasferimento del combustibile nucleare irraggiato sull'ambiente e sulla popolazione, ha comportato:

- ◆ l'esecuzione di 320 misure di rateo di dose gamma e neutronico ambientale, eseguite sia con strumenti radiometrici in campo sia con dosimetri passivi ad integrazione;
- ◆ il prelievo e l'analisi di 200 matrici ambientali (suolo, erba e particolato atmosferico);
- ◆ l'esecuzione di 18 misure di spettrometria gamma in campo al punto di scambio multimodale presso la stazione ferroviaria di Caorso, dopo le operazioni di trasferimento.

I controlli e le misure ambientali effettuate hanno evidenziato quanto segue:

- Le misure di contaminazione trasferibile e di rateo di dose eseguite in qualità di Ente Terzo sui contenitori pieni e sui vagoni ferroviari vuoti hanno confermato l'ampio rispetto dei limiti IAEA previsti per il trasporto di materie radioattive.
- I risultati delle misure effettuate durante e dopo le operazioni di trasferimento non hanno evidenziato fenomeni di incremento dei livelli di contaminazione ambientale rispetto al fondo naturale medio della zona.

Pertanto è possibile affermare che anche il **sedicesimo** ed ultimo trasporto, così come tutti i trasporti precedenti, non ha evidenziato alcun impatto radiologico sull'ambiente e sulla popolazione.