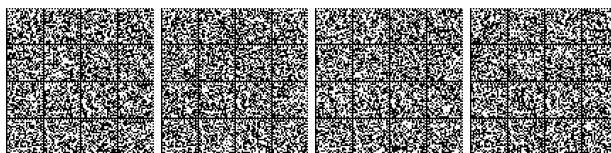


**TABELLA 2 - DATI SUGLI IMPIANTI NUCLEARI DI POTENZA ESTERI  
DISTANZA DAI CONFINI ITALIANI INFERIORE AI 200 KM [U]**

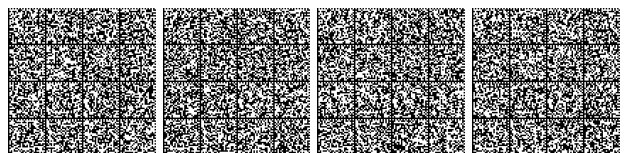
NOME IMPIANTO	NAZIONE	COORDINATE IMPIANTO	Distanza approssimativa dal CONFINO	GESTORE	TIPO IMPIANTO	DI	POTENZA
PHENIX	FRANCIA	44.08N - 04.42E	~180 Km	CEA/EDF	FBR		233 MWe
TRICASTIN 1,2,3,4	FRANCIA	44.08N - 04.42E	~180 Km	EDF	PWR		4 x 915 MWe
CRUAS 1,2,3,4	FRANCIA	44.40N - 04.46E	~150 Km	EDF	PWR		4 x 915 MWe
St. ALBAN 1,2	FRANCIA	45.24N - 04.42E	~150 Km	EDF	PWR		2 x 1335MWe
BUGEY 2,3,4,5	FRANCIA	45.48N - 05.15E	~130 Km	EDF	PWR		2 x 880, 2 x 910 MWe
FESSENHEIM 1,2	FRANCIA	47.56N - 07.33E	~180 Km	EDF	PWR		2 x 880 MWe
MUEHLEBERG	SVIZZERA	46.44N - 08.11E	~100 Km	BKW	BWR		355 MWe
GOESGEN	SVIZZERA	47.15N - 07.46E	~100 Km	KKG	PWR		970 MWe
BEZNAU 1,2	SVIZZERA	47.32N - 07.42E	~120 Km	NOK	PWR		2 x 365 MWe
LEIBSTADT	SVIZZERA	47.36N - 08.11E	~110 Km	KKL	BWR		1165 MWe
GUNDREMMINGE N B-C	GERMANIA	48.28N - 10.15E	~150 Km	KGB	BWR		1284 - 1288 MWe
ISAR 1,2	GERMANIA	48.38N - 12.23E	~160 Km	KKI	BWR PWR		878 MWe 1400 MWe
KRŠKO	SLOVENIA	45.58N - 15.29E	~140 Km	NEK	PWR		656 MWe



## **ALLEGATO 2**

### **BASI TECNICHE PRESUPPOSTI TECNICI**

*Viene riportato il testo integrale del documento APAT (adesso ISPRA) “**Basi tecniche per l’aggiornamento dei presupposti del piano nazionale delle misure protettive contro le emergenze nucleari e radiologiche. Eventi di origine transfrontaliera**” Rev. 1 – Novembre 2006, senza modifiche editoriali o tipografiche.*





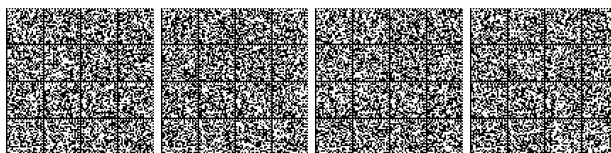
# APAT

*Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici*

## **Basi tecniche per l'aggiornamento dei presupposti del piano nazionale delle misure protettive contro le emergenze nucleari e radiologiche. Eventi di origine transfrontaliera**

Rev. 1 - Novembre 2006

*Il presente rapporto è parte integrante del documento "Presupposti tecnici del piano nazionale delle misure protettive contro le emergenze nucleari e radiologiche – Aggiornamento per gli eventi di origine transfrontaliera - Rev.1 - Nov. 2006".*



**INDICE**

1. PREMESSA .....	
2. PRINCIPALI ELEMENTI DEI PRESUPPOSTI TECNICI PER EVENTI DI ORIGINE TRANSFRONTALIERA ASSUNTI A BASE DEL PIANO DEL 1997 .....	
3. ELEMENTI DI BASE AGGIORNATI .....	
3.1. Generalità .....	
3.2. Il quadro di riferimento internazionale.....	
3.3. Considerazioni ai fini della rivalutazione dei presupposti tecnici.....	
3.4. Termine di sorgente e scenari incidentali.....	
3.5. Stima delle conseguenze radiologiche .....	
RIFERIMENTI.....	
ALLEGATO I.....	
TERMINE DI SORGENTE NEL CONTENIMENTO PRIMARIO .....	
RISULTATI DEGLI STUDI CONDOTTI NEGLI STATI UNITI.....	
ALLEGATO II.....	
LIVELLI DI INTERVENTO DELL' ALLEGATO XII AL DECRETO LEGISLATIVO n° 230/1995 e successive modifiche .....	



## 1. PREMESSA

Il presente documento illustra le basi tecniche per una rivalutazione dei presupposti tecnici del Piano Nazionale delle misure protettive contro le emergenze radiologiche, definiti nel 1995 sulla base di studi svolti dall'ex ANPA (ora APAT) e dall'Istituto Superiore di Sanità negli anni precedenti.

La rivalutazione è stata condotta con riferimento ad eventi di origine transfrontaliera, così come previsto dall'art. 121 del D.L.vo n. 230 del 1995 e successive modifiche, tenuto altresì conto dell'intento espresso dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri di estendere le capacità di protezione offerte dal piano attualmente in vigore.

Il Piano Nazionale, emesso nel 1997 sulla base dei suddetti presupposti, tiene conto del carattere transfrontaliero delle possibili conseguenze di eventi incidentali a centrali elettronucleari, drammaticamente evidenziato dall'incidente di Chernobyl. Esso considera, comunque, le diverse caratteristiche tecnologiche degli impianti occidentali rispetto a quelli in funzione negli anni '80 nell'ex-Unione Sovietica. Tali caratteristiche consentono di accreditare, anche nel caso di scenari incidentali particolarmente degradati comportanti la fusione del nocciolo (denominati incidenti "severi"), una certa capacità del sistema di contenimento di limitare il rilascio all'ambiente degli elementi radioattivi che si possono liberare dal reattore.

Pur potendosi confermare, anche alla luce delle valutazioni più recenti, l'elevato grado di cautela offerto dai presupposti tecnici a base del piano del 1997, si è ravvisata comunque l'opportunità di effettuare una rivalutazione di tali presupposti per tener conto:

- dell'evoluzione della tecnologia (ad es.: negli impianti sono state rafforzate le protezioni contro incidenti "severi"),
- della disponibilità di studi aggiornati sul comportamento incidentale degli impianti e sulle possibili conseguenze radiologiche di eventi severi a grandi distanze,
- delle modifiche introdotte in alcuni impianti, quali ad es. l'incremento della potenza estratta dal reattore e l'utilizzo di combustibile ad alto bruciamento,
- delle posizioni più recenti assunte in ambito internazionale in materia di emergenza esterna, in particolare nei paesi confinanti ove sono in esercizio impianti nucleari.

In aggiunta a ciò, in tempi più recenti è emersa anche l'esigenza di valutare l'influenza, nella determinazione delle basi tecniche della pianificazione, dei nuovi fattori di rischio associati alla persistente situazione di crisi internazionale.

Per sviluppare le necessarie valutazioni di aggiornamento, essendo i presupposti tecnici riferiti ad impianti in esercizio nei paesi confinanti, si è ritenuto necessario acquisire informazioni sugli approcci adottati presso tali paesi. Ulteriori elementi sono stati altresì acquisiti in tema di basi tecniche per la pianificazione d'emergenza negli Stati Uniti, anche perché tale approccio risulta nella sostanza mutuato dalla Slovenia per la definizione della pianificazione di emergenza per l'impianto di Krško che, come noto, è l'impianto tra i più prossimi ai confini nazionali. Elementi informativi sono stati infine raccolti sull'approccio adottato dall'Austria.

Il quadro internazionale delineato attraverso la suddetta ricognizione ha portato a confermare che i presupposti tecnici del piano nazionale del 1997 risultano in generale in linea con le prassi oggi adottate negli altri paesi ove sono presenti impianti in esercizio, ed offrono un buon grado di copertura rispetto a situazioni incidentali derivanti da guasti con probabilità di accadimento molto basse.



Tuttavia, in considerazione dell'intento del Dipartimento della Protezione Civile di estendere le capacità di copertura previste dal piano nazionale, tenuto altresì conto che la pianificazione di emergenza rappresenta l'ultimo dei livelli previsti nell'approccio della difesa in profondità, adottato nella filosofia di sicurezza delle installazioni nucleari quale protezione a fronte della componente residua del rischio, i presupposti tecnici sono stati rivalutati facendo riferimento a situazioni ancor più degradate di quelle assunte a base del piano del 1997.

Tali situazioni sono state definite in modo tale da costituire un iniluppo rispetto a quelle utilizzate a riferimento per le pianificazioni di emergenza nei paesi che ospitano gli impianti prossimi al confine nazionale. In particolare, le situazioni considerate sono rappresentative di scenari di riferimento caratterizzati da un processo di danneggiamento del reattore e da una perdita della funzione di contenimento. Rispetto a scenari incidentali di tale natura si è però considerato ragionevole dar credito ad un'efficacia, quanto meno parziale, delle capacità di mitigazione esistenti sul sito.

Si deve inoltre considerare che le difese adottate per gli impianti operanti in altri paesi non sono comunque note nei dettagli, la qual cosa suggerisce di ampliare lo spettro degli scenari di riferimento. Detti scenari, sulla base di considerazioni di plausibilità e di probabilità, verrebbero presumibilmente esclusi per impianti analoghi installati sul territorio nazionale, per i quali, la conoscenza puntuale delle relative caratteristiche di sicurezza sarebbe in ogni caso garantita dallo sviluppo del processo autorizzativo.

## **2. PRINCIPALI ELEMENTI DEI PRESUPPOSTI TECNICI PER EVENTI DI ORIGINE TRANSFRONTALIERA ASSUNTI A BASE DEL PIANO DEL 1997**

In questo paragrafo vengono sintetizzati i principali elementi contenuti nei presupposti tecnici del piano del 1997, che ponevano l'attenzione esclusivamente su eventi incidentali che traggono origine all'interno dell'impianto.

### *Tipologie di scenari incidentali*

Per gli scopi della pianificazione di emergenza nazionale in vigore si ritenne opportuno utilizzare i risultati degli studi di sicurezza e delle analisi di incidente sviluppati negli anni '80 in ambito internazionale ai fini della progettazione e dei processi autorizzativi delle centrali nucleari, anche con l'adozione di metodologie probabilistiche.

Nell'ambito delle valutazioni delle conseguenze ambientali e sanitarie, e quindi della predisposizione delle misure di emergenza necessarie, si ritenne conveniente raggruppare gli scenari risultanti dagli studi in due classi (A e B), con conseguenze crescenti in termini di rilascio di radioattività all'ambiente (rispettivamente da circa 50 a circa 3000 TBq). Ciascuna classe era rappresentativa di una molteplicità di sequenze incidentali ipotizzabili. In particolare, ai fini della pianificazione, sono stati scelti scenari incidentali appartenenti alla classe B, caratterizzati dalla fusione generalizzata del nocciolo e dalla degradazione dei sistemi di abbattimento e di contenimento delle sostanze radioattive rilasciate a seguito dell'incidente; in detti scenari si tiene peraltro conto degli interventi di recupero ragionevolmente ipotizzabili da parte del personale d'impianto.

Scenari più gravosi vennero esclusi sulla base della considerazione che essi potevano ritenersi conseguenti a fenomenologie dalla caratterizzazione fisica molto incerta o all'assenza di qualsiasi intervento di recupero, indipendentemente dai tempi di evoluzione della sequenza, assunzione di per sé molto cautelativa.



*Scenario di riferimento*

Le basi tecniche del piano nazionale del 1997 derivano, tra l'altro, da un lavoro effettuato in collaborazione con l'AGIP Nucleare e sono documentate anche in un rapporto emesso dal CSNI dell'OECD/NEA (rif. G), nella parte b (Possible revision of Accident Sequences According to the Indications of Recent Source Term Studies: An Example Prepared by ENEA/DISP”).

L'approccio che fu sviluppato si basava sulle seguenti considerazioni:

- le sequenze considerate erano tutte quelle a probabilità più bassa di quella della fusione del nocciolo di un fattore pari a  $5 \times 10^{-2}$  (in altri termini si ipotizzava che potessero aver luogo ulteriori degradazioni successivamente alla fusione del nocciolo);
- per una gran parte delle sequenze incidentali, i tempi di evoluzione erano tali da poter considerare anche la possibilità che il personale operativo potesse mettere in atto provvedimenti mitigativi, a valle della fusione del nocciolo, tali da cambiare l'evoluzione successiva dei rilasci;
- sulla base delle evidenze derivanti dall'esperienza operativa, in particolare dai risultati delle ispezioni periodiche effettuate sugli impianti, si teneva conto del fatto che potessero essere presenti, fin da prima dell'innescò dell'incidente, aperture indesiderate nel contenimento, tali da dare luogo ad un incremento dei rilasci all'esterno. Nell'ipotesi di presenza di tali aperture, si è cautelativamente supposto che esse non influenzino l'andamento delle pressioni ma esclusivamente i rilasci;
- l'intervento dei sistemi di mitigazione consentiva di porre completamente termine al rilascio.

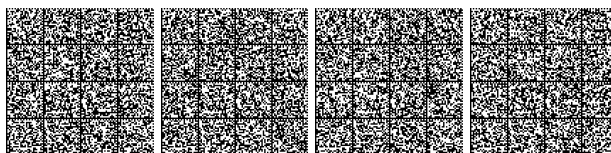
In generale, il risultato finale dello studio svolto sulla base del suddetto approccio indica che, a parte i gas nobili, la massima frazione di rilascio dei prodotti di fissione volatili all'ambiente, in caso di incidente per reattori di tipo PWR, è dell'ordine di  $10^{-3}$ .

In particolare, i risultati si sono tradotti nel seguente termine di sorgente, espresso in frazioni di rilascio dell'inventario dei prodotti di un reattore tipo LWR da 1000 MWe, applicato ai fini della definizione del piano nazionale di emergenza:

Tabella 1 – Termine di sorgente del piano 1997

Elementi	Frazioni dell'inventario rilasciate
<b>Gas Nobili</b>	$10^{-1}$
<b>I - Cs</b>	$6.8 \times 10^{-4}$
<b>Te - Sb</b>	$1.2 \times 10^{-3}$
<b>Ru - Rh</b>	$7.0 \times 10^{-5}$
<b>Sr -Ba</b>	$3.8 \times 10^{-4}$
<b>La - Att</b>	$5.4 \times 10^{-6}$

Tali frazioni sono da considerarsi come valori iniluppo e sono rilasciate con le modalità e la tempistica di seguito indicate. A tre ore dall'innescò dell'incidente cominciano





ad essere rilasciati dal nocciolo verso il contenimento i gas nobili e gli aerosol. Di conseguenza inizia anche la dispersione nell'ambiente attraverso le aperture del contenimento.

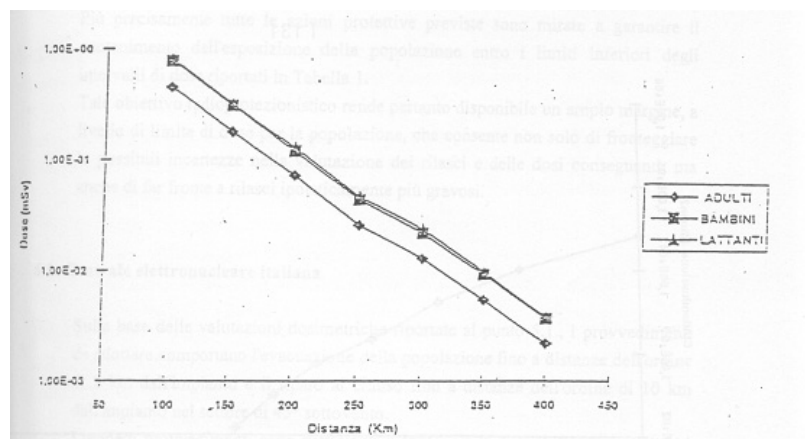
La durata dei rilasci al contenimento è di tre ore per iodio e cesio e di 7 ore per tutti gli altri radionuclidi. A 24 ore dall'insacco dell'incidente non si hanno ulteriori rilasci di aerosol all'ambiente, mentre solo dopo 10 giorni termina il rilascio di gas nobili. Alle suddette frazioni di rilascio corrisponde un'attività rilasciata all'ambiente di circa 3000 TBq.

### Conseguenze radiologiche

Le valutazioni relative agli scenari su descritti, effettuate per distanze variabili da 100 a 400 km dal punto del rilascio, hanno evidenziato che:

- nelle prime ore successive al rilascio il contributo principale alla dose, sia efficace che alla tiroide, è dovuto all'inalazione di aria contaminata. I radionuclidi che contribuiscono maggiormente alla dose da inalazione sono alcuni isotopi dello iodio, del tellurio e del rutenio;
- l'andamento della dose equivalente alla tiroide da inalazione per le tre classi di età, in funzione della distanza dal punto di rilascio, è del tipo di quello riportato nella figura che segue;
- i valori più elevati riguardano il gruppo di popolazione dei bambini, come evidenziato dalla stessa figura;
- si deve tener conto degli intervalli di variabilità nei parametri che schematizzano i fenomeni (coefficienti utilizzati nei modelli di diffusione, dati meteorologici etc).

Dose equivalente alla tiroide da inalazione in funzione della distanza



Le valutazioni dosimetriche hanno evidenziato che sul territorio nazionale non vengono raggiunti livelli di dose di riferimento per l'adozione d'interventi protettivi, raccomandati a livello internazionale. E' stata comunque ravvisata la necessità di attuare tempestivamente il controllo delle condizioni diffusive e radiometriche effettivamente esistenti al momento dell'emergenza, anche al fine di un'eventuale adozione di provvedimenti specifici, quali il riparo al chiuso o la iodoprofilassi, in presenza di particolari condizioni meteorologiche locali.



Particolare importanza è stata attribuita anche alle stime previsionali dell'andamento, nel tempo e sul territorio italiano, della contaminazione radioattiva e dei conseguenti livelli di dose, elaborate sulla base sia delle informazioni fornite dallo stato estero in cui l'evento si è verificato, riguardanti l'entità del rilascio, sia dei dati radiometrici e delle condizioni diffusive e meteorologiche in atto.

Per quanto concerne le azioni finalizzate alla riduzione dell'irradiazione interna conseguente all'ingestione di alimenti contaminati, i presupposti tecnici a base del piano del 1997 indicano la necessità di attivare una campagna di controllo radiometrico della catena alimentare in tutte le aree interessate dal passaggio della nube, al fine di adottare, sulla base degli esiti delle misure, gli opportuni provvedimenti restrittivi a carico di determinate derrate. I presupposti tecnici indicano altresì l'esigenza di aumentare la frequenza delle misure effettuate dalle reti di rilevamento della radioattività ambientale, operanti sull'intero territorio nazionale, al fine di conseguire un completo controllo della situazione generale.

### 3. ELEMENTI DI BASE AGGIORNATI

#### 3.1. Generalità

Come indicato in premessa, oggi vi sono nuovi elementi che suggeriscono l'opportunità di una rivalutazione dei presupposti tecnici che furono assunti a base del piano in vigore.

Uno dei motivi risiede nell'opportunità di tener conto degli innumerevoli e sistematici studi che hanno portato negli Stati Uniti alla definizione di una specifica guida tecnica (NUREG 1465, RG 1.183 del 2000) per i termini di sorgente da utilizzare nella progettazione e localizzazione degli impianti. I risultati di tali studi sono sintetizzati nell'allegato.

Bisogna inoltre tener conto del fatto che, negli ultimi anni, sono state apportate diverse modifiche agli impianti in esercizio che hanno riguardato:

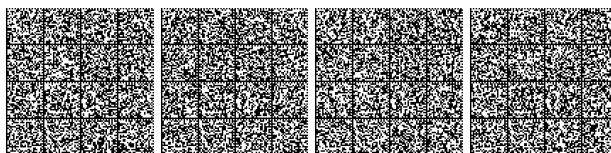
- la messa a punto di procedure di gestione degli incidenti sempre più perfezionate,
- l'installazione di nuovi sistemi per fronteggiare eventi incidentali di tipo "severo",
- in taluni casi, l'incremento della potenza estratta dal reattore (ad esempio nel caso del reattore di Krško in Slovenia),
- l'utilizzo di combustibile ad alto bruciamento (più arricchito in nuclidi fissili, scaricato a circa 60000 MWd/tonn), che consente di prolungare i cicli di ricarica.

Molte delle innovazioni introdotte sono indirizzate all'incremento della sicurezza degli impianti, contribuendo pertanto a ridurre ulteriormente la probabilità di accadimento di sequenze incidentali di tipo severo che comportano significativi rilasci di radioattività all'ambiente.

E' opportuno soffermarsi sulle ultime due modifiche sopra descritte, maggiormente indirizzate ad un aumento dell'efficienza degli impianti, per verificarne le implicazioni sulle previsioni di rilascio di sostanze radioattive all'ambiente a seguito di eventi incidentali.

L'incremento della potenza presenta una diretta proporzionalità con il termine di sorgente, ma rimane sempre limitato a qualche percento della potenza iniziale.

L'incremento del bruciamento può portare, solo con il nocciolo all'equilibrio, a limitati incrementi dell'inventario di nocciolo, principalmente per quanto attiene ai prodotti di attivazione; durante il periodo di transizione verso l'equilibrio, invece, ci si attende una lieve riduzione [F]. Nel rif. [T] sono riportati i risultati di studi effettuati negli Stati Uniti sull'argomento. Detti risultati confermano una ridotta variazione dell'inventario dei



radionuclidi contenuti nel nocciolo; più in particolare, da tali valutazioni emerge che, all'aumento del bruciamento (al di sopra dei 60 GWd/MTU), gli inventari dei prodotti di fissione a vita breve rimangono costanti o si riducono, mentre gli inventari degli attinidi, meno importanti per gli eventi in esame, tendono ad aumentare (fattore 1,2 – 1,5). L'entità delle variazioni è comunque tali da rientrare nelle incertezze dei calcoli e da essere, spesso, coperte dalle cautele contenute nelle valutazioni quantitative dell'inventario di riferimento.

In aggiunta a quanto sopra indicato, in relazione alla persistente situazione di crisi internazionale, caratterizzata da un più elevato rischio di azioni terroristiche contro obiettivi sensibili, si pone inoltre l'esigenza di valutare le implicazioni di tali possibili scenari ai fini della definizione delle basi tecniche per le pianificazioni di emergenza.

Al riguardo, per quanto attiene alla valutazione delle possibili conseguenze radiologiche a lunga distanza di eventi severi a centrali nucleari oltre frontiera, è opportuno tener conto dei risultati di alcuni studi effettuati dall'ANPA in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità [N] e, più di recente, in APAT [M]. Nell'ambito di tali studi sono state effettuate simulazioni per stimare le possibili conseguenze sul territorio nazionale di scenari incidentali catastrofici a carico di impianti prossimi ai confini. In dette simulazioni viene assunta deterministicamente la perdita completa del sistema di contenimento e la totale assenza di interventi mitigativi sull'impianto. Per eventi di questa gravità, nei quali non viene appunto ipotizzata alcuna mitigazione, i modelli di calcolo utilizzati per la stima della dispersione atmosferica di contaminanti e delle conseguenze radiologiche indicano che su aree del territorio nazionale non precisabili a priori in termini di posizione ed estensione possono verificarsi condizioni tali da richiedere, quanto meno, la considerazione di provvedimenti di somministrazione di iodio stabile e di riparo al chiuso. In particolare, pur nell'ambito delle incertezze dei calcoli, vengono stimati valori di dose efficace individuale che si collocano nell'ordine delle decine di mSv.

In scenari di tale gravità, sulla base di dette valutazioni, non si può inoltre escludere che, in alcune aree più limitate, si possano superare i livelli inferiori dell'intervallo di dose evitabile per il quale la detta normativa suggerisce di prendere in considerazione l'adozione di provvedimenti di evacuazione. Viene comunque ragionevolmente escluso il raggiungimento di valori di dose proiettata per cui la normativa nazionale (Allegato XII al D.L.vo. n.230/1995) ritiene sempre giustificata l'adozione di provvedimenti di intervento. Tuttavia, come tra l'altro emerge dalla ricognizione sulle prassi internazionali di seguito riportata, valutazioni di questo tipo, molto utili a fini conoscitivi, non sono utilizzate per scelte di pianificazione aventi a riferimento gli intervalli di dose evitabile citati. Al riguardo va considerata l'opportunità, tenuta presente a livello internazionale, di modulare comunque l'entità e l'estensione delle scelte di pianificazione sulla base di considerazioni di probabilità degli scenari incidentali di riferimento, pur nel rispetto dei criteri di cautela che discendono dall'applicazione del principio della difesa in profondità. Inoltre, l'evacuazione è normalmente contemplata nelle pianificazioni esclusivamente per aree limitate e prossime agli impianti ed in condizioni in cui è possibile avere un elevato grado di confidenza sul reale beneficio dell'intervento, a fronte dei rischi connessi con lo spostamento di parti di popolazione, nonché sull'andamento del rilascio radioattivo e della sua dispersione.

### 3.2. Il quadro di riferimento internazionale

Nell'ambito della rivalutazione dei presupposti tecnici, come anticipato in premessa, dovendosi far riferimento ad eventi incidentali ipotizzabili presso installazioni collocate nei paesi confinanti (i.e. Francia, Svizzera, Slovenia) e limitrofi (ad es. Germania), si è ritenuto particolarmente rilevante acquisire elementi informativi circa le basi tecniche e le predisposizioni di emergenza adottate in tali paesi e sono stati al riguardo interpellati gli organismi di controllo dei paesi stessi. E' stato inoltre ulteriormente approfondito l'approccio



adottato negli Stati Uniti, sia in relazione al fatto che esso è nella sostanza mutuato dalla Slovenia per la pianificazione d'emergenza relativa alla centrale di Krško, sia per tener conto dei mutamenti occorsi negli anni recenti per quanto riguarda la definizione dei termini di sorgente e dei criteri di pianificazione. In tale ricognizione, particolare attenzione è stata altresì rivolta ad individuare eventuali aggiornamenti delle basi tecniche delle pianificazioni d'emergenza introdotti per tener conto dell'attuale situazione di crisi internazionale, caratterizzata da un aumentato rischio di azioni terroristiche. Elementi informativi sono stati altresì acquisiti circa l'approccio adottato dall'Austria che, come è noto, non ha impianti sul proprio territorio ma risulta esposta al rischio d'incidenti presso le centrali in esercizio nei paesi confinanti.

Dal riferimento [G] è possibile ricavare la posizione sul termine di sorgente adottato ai fini della pianificazione dell'emergenza in vari altri paesi negli anni '90. Tali posizioni non risultano significativamente mutate.

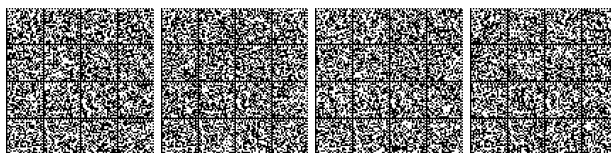
Nella tabella che segue vengono presentati alcuni dati relativi ad impianti posti a distanze inferiori a 200 km dai confini nazionali.

Si riporta poi nel seguito una breve sintesi delle principali informazioni riguardanti le prassi dei paesi confinanti e limitrofi.



**TABELLA 2 - DATI SUGLI IMPIANTI NUCLEARI DI POTENZA ESTERI  
Distanza dai confini italiani inferiore ai 200 KM [U]**

NOME IMPIANTO	NAZIONE	COORDINATE IMPIANTO	Distanza approssimativa dal CONFINO	GESTORE	TIPO IMPIANTO	DI	POTENZA
PHENIX	FRANCIA	44.08N - 04.42E	~180 Km	CEA/EDF	FBR		233 MWe
TRICASTIN 1,2,3,4	FRANCIA	44.08N - 04.42E	~180 Km	EDF	PWR		4 x 915 MWe
CRUAS 1,2,3,4	FRANCIA	44.40N - 04.46E	~150 Km	EDF	PWR		4 x 915 MWe
St. ALBAN 1,2	FRANCIA	45.24N - 04.42E	~150 Km	EDF	PWR		2 x 1335MWe
BUGEY 2,3,4,5	FRANCIA	45.48N - 05.15E	~130 Km	EDF	PWR		2 x 880, 2 x 910 MWe
FESSENHEIM 1,2	FRANCIA	47.56N - 07.33E	~180 Km	EDF	PWR		2 x 880 MWe
MUEHLEBERG	SVIZZERA	46.44N - 08.11E	~100 Km	BKW	BWR		355 MWe
GOESGEN	SVIZZERA	47.15N - 07.46E	~100 Km	KKG	PWR		970 MWe
BEZNAU 1,2	SVIZZERA	47.32N - 07.42E	~120 Km	NOK	PWR		2 x 365 MWe
LEIBSTADT	SVIZZERA	47.36N - 08.11E	~110 Km	KKL	BWR		1165 MWe
GUNDREMMINGE N B-C	GERMANIA	48.28N - 10.15E	~150 Km	KGB	BWR		1284 - 1288 MWe
ISAR 1,2	GERMANIA	48.38N - 12.23E	~160 Km	KKI	BWR PWR		878 MWe 1400 MWe
KRŠKO	SLOVENIA	45.58N - 15.29E	~140 Km	NEK	PWR		656 MWe



## Svizzera

Gli scenari incidentali di riferimento selezionati per la pianificazione d'emergenza sono così raggruppati [B]:

- A. eventi incidentali senza danneggiamento del nocciolo,
- B. eventi incidentali con danneggiamento del nocciolo e corretto funzionamento del contenimento e dei sistemi di filtrazione,
- C. eventi incidentali con danneggiamento del nocciolo e considerando un incorretto funzionamento del contenimento.

I termini di sorgente associati ai suddetti scenari sono presentati nella seguente tabella.

Le zone delineate intorno all'impianto ai fini della pianificazione di emergenza sono così suddivise [B]:

- zona 1 – area di raggio di circa 3 – 5 chilometri,
- zona 2 – area di raggio di circa 20 chilometri,
- zona 3 – resto del Paese.

Tabella 3 - Termini di sorgente adottati in Svizzera per i diversi scenari considerati

Termine di sorgente	A Incidenti senza danneggiamento del nocciolo		B Incidenti severi con danneggiamento del nocciolo e sfiato del contenimento		C Incidenti severi con danneggiamento del nocciolo e perdita dal contenimento	
	Riferimento per Zona 1		Riferimento per Zona 2		Riferimento per Zona 3	
Gruppi di Radionuclidi	Attività (Bq)	Frazioni	Attività (Bq)	Frazioni	Attività (Bq)	Frazioni
Gas Nobili	1,00E+16	8,00E-04	3,00E+18	3,00E-01	3,00E+18	3,00E-01
Iodii	1,00E+12	4,00E-08	1,00E+14	7,00E-06	1,00E+15	7,00E-05
Aerosols (Cesio)	1,00E+11	2,00E-09	1,00E+13	5,00E-07	1,00E+15	5,00E-05
Inizio del rilascio	dopo 0 ore		dopo 6 ore		dopo 6 ore	
Durata del rilascio	8 ore		2 ore		2 ore	

Con riferimento agli eventi di tipo C) viene assunto un termine di sorgente, per i radionuclidi guida (Iodio e Cesio), di 1000 TBq, quindi di ordine di grandezza analogo a quanto assunto negli attuali presupposti tecnici del piano di emergenza nazionale.

Per la zona 3, quella cioè di livello nazionale, l'Autorità di Controllo ha indicato che *“non sono con tutta probabilità richieste misure di protezione civile durante il passaggio della nube. Ciononostante, qualora la tipologia dell'evento fosse tale da richiedere l'adozione di contromisure a più ampio raggio, esse verrebbero ordinate, dalle strutture competenti dell'organizzazione di emergenza, senza necessità di piani preventivi dettagliati”*.



In Svizzera non sono state identificate specifiche zone del territorio d'interesse per la pianificazione di emergenza a fronte di incidenti transfrontalieri [B].

Dopo l'11 settembre 2001, le autorità svizzere hanno svolto una rivalutazione delle esistenti misure di protezione. La rivalutazione ha portato a concludere che le centrali svizzere godono di un elevato livello di protezione contro eventi di caduta d'aereo e di sabotaggio. Sulla base di tali conclusioni i piani di emergenza esterni non sono stati aggiornati.

### Francia

I rilasci di prodotti di fissione all'atmosfera, associabili ad ipotetici scenari incidentali da considerare a riferimento per le pianificazioni di emergenza esterna, sono divisi in tre categorie differenti S1, S2, S3, caratterizzate da un diverso comportamento del sistema di contenimento [Z]:

- S1 corrisponde ad incidenti severi con rottura precoce del sistema di contenimento (alcune ore). Tali incidenti risultano però difficilmente rappresentabili dal punto di vista fenomenologico, quindi per essi non è richiesta una pianificazione a priori;
- S2 corrisponde ad incidenti severi con perdita differita (almeno un giorno) del contenimento, causata da una sovrappressione interna o dalla presenza di un'apertura esistente già prima dell'evento incidentale. Tuttavia, attraverso l'adozione di misure destinate a potenziare la resistenza del contenimento, i rilasci possono essere ricondotti a quelli della categoria S3;
- S3 corrisponde a rilasci indiretti dal contenimento, dovuti ad esempio ad una perforazione dello stesso nella parte bassa, causata dal materiale fuso del nocciolo dopo un giorno dall'innesco dell'incidente. Viene quindi assunto che il contenimento trattiene gran parte dei prodotti di fissione e che il suolo agisca poi da filtro per tutti i contaminanti radioattivi, ad eccezione dei gas nobili.

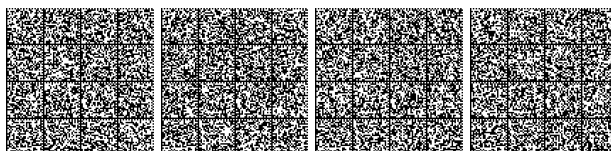
Tabella 4 – Termini di sorgente adottati in Francia per le diverse categorie di incidente

	Frazioni dell'inventario di nocciolo %				
	Gas Nobili	Iodio		Cesio	Stronzio
		Organico	non organico		
<b>S1</b>	80	0.6	60	40	5
<b>S2</b>	75	0.55	2.7	5.5	0.6
<b>S3</b>	75	0.55	0.31	0.35	0.04

Naturalmente la probabilità di accadimento decresce da S3 a S1.

Per i piani di emergenza è assunto come presupposto tecnico il termine di sorgente S3.

Documenti più recenti [H] hanno consentito di meglio precisare i presupposti tecnici attualmente in vigore, che si riferiscono alla pianificazione locale. Non risulta che siano state predisposte pianificazioni nazionali analoghe a quella in vigore in Italia. Esistono invece piani



nazionali definiti “secret-classified”, indirizzati alla difesa da eventi derivanti da azioni terroristiche.

L’evento dimensionante il Piano di Emergenza locale è così caratterizzato:

- una perdita rilevante di refrigerante primario,
- che ha luogo prima della ricarica,
- con sistemi di refrigerazione di emergenza e spruzzatori del contenimento indisponibili,
- in presenza di una perdita dal contenitore primario dello 0,3%<sup>1</sup>,
- senza assunzione della ritenzione dei prodotti di fissione nel sistema di refrigerazione primario,
- assumendo l’utilizzo dei filtri a sabbia, in grado di trattenere il 90% dei prodotti di fissione tranne lo iodio organico ed i gas nobili, a partire dalla 24<sup>a</sup> ora.

Il termine di sorgente, espresso in frazioni dell’inventario di nocciolo, risulta quindi essere quello corrispondente all’ipotesi S3 sopra illustrata.

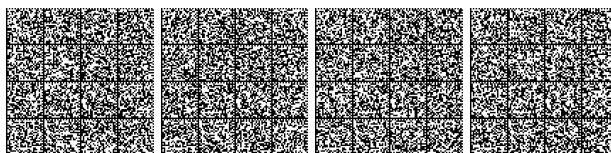
Tabella 5 – Frazioni di rilascio per la condizione incidentale S3

Famiglie radionuclidi	di	Frazioni dell’inventario di nocciolo %	di
Gas nobili		75	
Alogeni		0,86	
Cesio		0,35	
Tellurio		0,35	
Stronzio		0,04	
Rutenio		0,03	
Lantanidi		0,005	
Attinidi		0,005	

Ai fini della valutazione delle conseguenze radiologiche all’esterno viene ipotizzato il rilascio al suolo con velocità del vento di 5 m/s, in condizioni di diffusione normali, senza pioggia. Non si tiene inoltre conto delle eventuali contromisure adottate per la protezione della popolazione (riparo al chiuso, evacuazione).

La pianificazione d’emergenza riguarda le misure che devono essere prese nelle prime 24 ore; più in particolare, sono distinte due fasi: una pronta (relativa alle prime sei ore) ed un’altra per la quale è richiesto un certo livello di analisi e concertazione da parte dei soggetti preposti. Le aree interessate dalle contromisure sono costituite da zone circolari nell’intorno dell’impianto, caratterizzate dai raggi e dalle misure protettive che seguono:

<sup>1</sup> Anche se non specificato nel riferimento citato trattasi di frazioni del volume libero del contenimento rilasciate giornalmente





- riparo al chiuso (applicato alla fase pronta): 2 km
- riparo al chiuso (ove necessario nella fase successiva): 10 km
- evacuazione (prevista solo nella seconda fase): 5 km
- predistribuzione dello iodio: 10 km.

La comunicazione in riferimento [H] chiarisce, inoltre, che dopo gli eventi terroristici dell'undici settembre 2001 sono stati avviati studi, in particolare finalizzati a valutare le conseguenze di un evento di caduta d'aereo, classificati come segreto di Stato. Questi studi non condurranno tuttavia ad una variazione dei piani di emergenza esterna degli impianti nucleari, poiché essi non sono indirizzati alla gestione delle possibili conseguenze derivanti da eventi di tale natura.

Esistono, come già accennato, piani dedicati alla protezione da attacchi terroristici<sup>2</sup>, che sono tuttavia classificati. I diversi piani, indirizzati a rischi differenti, sono predisposti per poter essere usati contemporaneamente da più autorità.

### **Stati Uniti**

Negli Stati Uniti la pianificazione di emergenza esterna si pone l'obiettivo di predisporre una serie d'interventi la cui adozione permetta di limitare l'esposizione alle radiazioni della popolazione a fronte di un ampio spettro di eventi incidentali, che possono originare dosi superiori ai livelli d'intervento stabiliti dalle linee guida dell'Environmental Protection Agency - EPA (10 mSv dose efficace, 50 mSv dose alla tiroide).

Per la definizione delle basi tecniche della pianificazione l'approccio non si basa sulla selezione di una singola sequenza incidentale ma sulla definizione di parametri in sviluppo, derivanti dallo studio delle possibili conseguenze e delle caratteristiche del rilascio all'ambiente per un ampio spettro di sequenze incidentali, indipendentemente dal livello di probabilità [Q].

Tale approccio ha portato alla individuazione di due aree intorno agli impianti, definite Emergency Planning Zones (EPZ), la prima di raggio pari a 10 miglia, la seconda di raggio pari a 50 miglia, nelle quali procedere alla pianificazione di interventi urgenti finalizzati al controllo delle dosi associate rispettivamente al passaggio della nube radioattiva rilasciata (irraggiamento ed inalazione) o alla possibile ingestione di alimenti contaminati.

Va notato che i criteri alla base della determinazione dell'estensione delle zone all'interno delle quali pianificare le contromisure di emergenza sono determinati anche alla luce di considerazioni relative alla probabilità di accadimento degli scenari incidentali ed alle relative conseguenze. La distanza di 10 miglia per la prima zona d'emergenza risulta essere quella oltre la quale non si prevede di eccedere i livelli delle Protective Actions Guidelines (PAGs) dell'EPA per incidenti base di progetto e per incidenti di fusione nocciolo meno gravosi (sostanzialmente quelli per i quali si dà credito alla funzione di contenimento). Essa è altresì quella oltre la quale, nel caso d'incidenti severi più gravi (quelli ad esempio meno probabili per i quali si considera un'eventuale indisponibilità della funzione di contenimento), è possibile ottenere una drastica riduzione di effetti deterministici, mediante l'adozione di contromisure urgenti di evacuazione all'interno della zona stessa.

<sup>2</sup> Vi sono piani indirizzati alla prevenzione (Vigipirate), altri indirizzati alla mitigazione delle conseguenze radiologiche (Piratom) di attacchi terroristici.



Tale approccio consente di sviluppare una pianificazione di dettaglio per le due zone di emergenza, che costituisce comunque strumenti utili per adottare eventuali contromisure anche al di là delle zone stesse, nel caso di eventi particolarmente gravi.

In sintesi, si può affermare che l'approccio adottato negli Stati Uniti prevede la considerazione di un ampio spettro di eventi incidentali, modulata comunque sulla base di considerazioni probabilistiche. In altri termini, situazioni incidentali particolarmente gravose (ad esempio incidenti di fusione del nocciolo e fallimento del sistema di contenimento) vengono considerate, ma, alla luce delle loro bassa probabilità di accadimento, contromisure urgenti (ad es. evacuazione) vengono definite in sede di pianificazione, entro il raggio delle 10 miglia intorno all'impianto, essenzialmente con l'obiettivo di minimizzare per tali eventi effetti acuti sulla popolazione.

Questo approccio, definito nell'ambito del riferimento [K] per gli impianti nucleari in esercizio, ha trovato successivamente conferma anche in successive posizioni dell'Ente di Controllo degli Stati Uniti (Nuclear Regulatory Commission - NRC), relativamente ad impianti di nuova generazione [S].

Si ritiene inoltre d'interesse citare alcune pubbliche posizioni della stessa NRC in relazione alla difesa degli impianti a seguito degli eventi del 11 settembre 2001 [D]. Le azioni richieste agli esercenti dall'NRC, a valle degli attentati, hanno riguardato in particolare il rafforzamento delle misure di protezione fisica.

Sul piano della preparazione per l'emergenza sono stati richiesti agli esercenti provvedimenti intesi essenzialmente a migliorare la capacità di risposta in caso di esplosioni o incendi. Recentemente, con un bollettino emesso nel Luglio 2005, l'NRC ha espressamente richiesto agli esercenti informazioni sulle modalità con le quali eventi di origine dolosa sono stati inseriti tra le categorie di emergenze previste dalla pianificazione interna.

L'NRC non ritiene probabile che attacchi terroristici, incluso l'attacco aereo, possano dar luogo a rilasci all'ambiente tali da produrre effetti importanti sulla salute della popolazione - e comunque superiori rispetto a quelli già assunti a riferimento per i piani di emergenza in atto - sulla base delle seguenti caratteristiche intrinseche degli impianti:

- essi sono tra le strutture industriali più robuste, in grado di resistere anche ad eventi estremi quali uragani, tornado e terremoti;
- hanno sistemi di sicurezza ridondanti e sono eserciti da personale ben addestrato;
- sono dotati di barriere multiple per proteggere il reattore e per prevenire o minimizzare i rilasci all'esterno;
- sono predisposte strategie di mitigazione e misure specifiche atte a ridurre la probabilità di danno al nocciolo del reattore ed il conseguente rilascio di radioattività all'ambiente esterno;
- è da ritenersi improbabile che si verifichino significativi rilasci di radioattività a seguito di un attacco terroristico alle piscine di combustibile.

Sulla base delle valutazioni di sicurezza e di protezione fisica condotte, l'NRC non ha pertanto ritenuto di modificare le basi tecniche delle attuali pianificazioni d'emergenza.



### Slovenia

Dal riferimento [ I ] è stato possibile chiarire come nella Repubblica Slovena vi siano Piani di emergenza Locali, Regionali e Nazionali, questi ultimi indirizzati anche a far fronte ad incidenti che si originano nei paesi confinanti.

I presupposti tecnici dei diversi piani non fanno riferimento a singole sequenze incidentali, ma a cosiddette “categorie di emergenza” che raggruppano diverse sequenze. La più gravosa di dette categorie considera diversi possibili livelli di danneggiamento del combustibile e del contenimento, assumendo nel caso peggiore che abbia luogo la fusione del nocciolo ed il fallimento della funzione di contenimento.

Per tale scenario estremo la pianificazione prevede la predisposizione di mezzi per attuare una evacuazione fino ad una distanza di 10 km. Detto provvedimento non è tuttavia dettato da specifiche ipotesi di rilascio all’ambiente e da stime puntuali delle relative conseguenze, ma piuttosto deriva da una trasposizione dell’approccio americano che, come detto, richiede di individuare deterministicamente un’area di evacuazione che si estende fino a 10 miglia. L’obiettivo primario è quello di prevenire entro tale distanza l’insorgenza di eventuali effetti deterministici a seguito delle sequenze incidentali più gravose.

I risultati dello studio probabilistico di sicurezza di livello 2 indicano comunque che l’insieme delle sequenze che possono dar luogo a significativi rilasci di radioattività all’ambiente corrisponde ad una piccola percentuale del totale delle sequenze incidentali con fusione nocciolo (circa il 3%). Da tali studi emerge, ad esempio, che nel caso di tali sequenze e con riferimento ai radionuclidi dello Iodio, possono essere rilasciate (con una probabilità dell’ordine di  $3 \times 10^{-6}$  eventi/anno) frazioni dell’inventario del nocciolo dell’ordine del 30 %.

Tali scenari, pur se non assunti a riferimento per la pianificazione di emergenza in vigore, vengono tuttavia considerati nell’ambito delle attività di valutazione a supporto del processo decisionale che vengono svolte dall’autorità di sicurezza in situazioni di reale emergenza. Nella tabella che segue sono indicate le ipotesi di termine di sorgente adottate per dette valutazioni dall’autorità di controllo slovena. Tali ipotesi sono mutate essenzialmente dal riferimento AIEA [L].

Tabella 6 – Condizioni incidentali considerate in Slovenia per la valutazione delle emergenze

Condizione di nocciolo	Temperatura del combustibile	Elemento	Frazione rilasciata dal nocciolo
Camicia del combustibile intatta – Perdita normale	316°C	Attività contenuta nel refrigerante	
Spikes risultante da arresto rapido o depressurizzazione, nocciolo coperto	316°C	100 % dell’attività contenuta nel refrigerante, tenendo conto degli spikes	
Rilascio dal gap (Rottura della camicia) (nocciolo scoperto per 15-30 min.)	650 - 1250°C	Xe, Kr	0.05
		I	0.05
		Cs	0.05
Fusione del nocciolo (nocciolo scoperto per più di 30 min.)	>1650°C	Xe, Kr	0.95
		I, Br	0.35
		Cs, Rb	0.25



	Te, Sb, Se	<b>0.15</b>
	Ba	<b>0.04</b>
	Sr	<b>0.03</b>
	Ce, Np, Pu	<b>0.01</b>
	Ru, Mo, Tc, Rh, Pd	<b>0.008</b>
	La, Y, Pm, Zr, Nd,	
	Eu, Nb, Pr, Sm	<b>0.002</b>

L'autorità di controllo slovena ha inoltre confermato che, dopo l'evento del 11 settembre 2001 la pianificazione di emergenza non è stata aggiornata per prendere in considerazione scenari indotti da atti terroristici, a fronte dei quali sono state invece rafforzate le misure di protezione fisica della centrale.

### **Germania**

In **Germania**, è stato istituito un “*Integrated Measurement and Information System*”, con caratteristiche di flessibilità tali da coprire tutte le tipologie di incidenti in impianti nucleari [P].

Detto sistema, con l'ausilio di esperti, consente di stimare la probabilità e l'entità dei rilasci conseguenti agli incidenti.

Grazie alla flessibilità del sistema, non si è ritenuto di apportare cambiamenti successivamente agli eventi terroristici del settembre 2001.

Risulta infine che gli studi svolti in quel paese [E] hanno portato alla conclusione che, per le potenze tipiche degli impianti nucleari esistenti, non ci si deve aspettare che possano essere richiesti interventi di riparo al chiuso per distanze superiori a 300 km anche nel caso estremo di rilascio dell'intero inventario del nocciolo all'ambiente.

Le stesse valutazioni concludono altresì che, per rilasci conseguenti a scenari analoghi a quelli assunti a riferimento nel presente studio, a distanze superiori a 100 km non vengono superati valori di dose efficace (integrata in 7 giorni) pari a 10 mSv, riferiti alla popolazione adulta.

### **Austria**

Da quanto riportato nel rapporto austriaco relativo alla Convenzione sulla Sicurezza Nucleare, il piano di emergenza adottato in Austria si basa su di un termine di sorgente generico applicato alle centrali collocate in prossimità dei confini. Tale termine di sorgente fa riferimento ad un rilascio massimo ipotizzabile.

Per quanto concerne le possibili conseguenze radiologiche e le associate contromisure, la pianificazione prevede 5 livelli per tutte le tipologie di emergenze radiologiche, rapportati alle possibili dosi (da 0,5 a 250 mSv); a fronte di ciascuno di detti livelli sono identificate le possibili contromisure.

L'evacuazione non risulta comunque contemplata tra le misure urgenti oggetto di pianificazione, in quanto non necessaria. Ciò è stato confermato dalle valutazioni condotte da



un gruppo di lavoro misto Ceco-Austriaco sulle possibili conseguenze di eventi incidentali di tipo "severo" a carico dell'impianto di Temelin (a 50 km dai confini).

Sono comunque disponibili presso le autorità preposte alla gestione delle emergenze modelli previsionali, atti a valutare le conseguenze di eventi incidentali che dovessero verificarsi negli impianti dei paesi limitrofi, anche sulla base di dati ed informazioni forniti dai paesi stessi nell'ambito di specifici accordi.

L'Austria ha comunque dichiarato di voler procedere ad un adeguamento della pianificazione sulla base di un termine di sorgente più realistico, che tenga conto della probabilità degli eventi, così come risultante dai moderni studi probabilistici di sicurezza.

### 3.3. Considerazioni ai fini della rivalutazione dei presupposti tecnici

In sintesi, la ricognizione effettuata sugli approcci adottati a livello internazionale sopra esposta, ed in particolare dai paesi confinanti con impianti in esercizio, ha confermato come:

- le pianificazioni di emergenza assumano quali basi tecniche di riferimento scenari incidentali caratterizzati da una fusione del nocciolo, con parziale degradazione della funzione di contenimento;
- nei casi in cui si prenda a riferimento uno spettro di scenari incidentali comprendente anche situazioni più degradate, le misure protettive urgenti più impegnative (ad es. evacuazione) vengono pianificate in zone comunque prossime all'installazione, sulla base di considerazioni probabilistiche;
- in tutti casi si prevede la predisposizione di appropriate capacità di monitoraggio e di valutazione del reale andamento dell'evento incidentale in modo da tarare conseguentemente gli effettivi interventi protettivi da attuare.

Nella tabella di seguito è riportato un quadro delle frazioni di rilascio assunte nelle pianificazioni esterne dei paesi confinanti, a confronto con quanto assunto per il piano nazionale in vigore in Italia.

Tabella 7 – Confronto tra i termini di sorgente utilizzati i paesi limitrofi e quello alla base del piano nazionale 1997

Gruppi di Isotopi	Piano Nazionale 1997	Ipotesi francese	Ipotesi slovena	Ipotesi svizzera
Gas Nobili	1,00E-01	7,50E-01		3,00E-01
Alogeni	6,80E-04	8,60E-03	Non è stato adottato alcun termine di sorgente specifico come riferimento per la pianificazione. <sup>3</sup>	7,00E-05
Metalli Alcalini	6,80E-04	3,50E-03		5,00E-05
Gruppo del Tellurio	1,20E-03	3,50E-3		-
Bario, Stronzio	3,80E-04	4,00E-04		-

<sup>3</sup> Le frazioni di rilascio che, approssimativamente, darebbero luogo ad una dose inferiore a 10 mSv a distanze superiori a quelle per le quali sono previste azioni pianificate possono essere stimate dell'ordine dei  $10^{-3} \div 10^{-4}$ [E].



<b>Metalli Nobili</b>	7,00E-5	3,0E-4		
<b>Lantanidi</b>	5,00 E-06	5,00E-05		

Dalla tabella si può notare che il termine di sorgente assunto nel piano nazionale in vigore risulta inferiore esclusivamente a quello assunto in Francia, di circa un fattore 10 per gas nobili, alogeni e metalli alcalini.

La differenza evidenziata non risulta comunque determinante ai fini della scelta delle contromisure da prevedere a lunga distanza in sede di pianificazione, come sarà evidenziato dai risultati delle valutazioni condotte per l'aggiornamento dei presupposti tecnici, oggetto del presente documento.

Dalla ricognizione è altresì emerso che in relazione alla crisi internazionale in atto, caratterizzata dall'aumentato rischio di possibili azioni terroristiche contro gli impianti, in generale le azioni adottate sono state indirizzate a rafforzare le misure preventive di protezione fisica, potenziando eventualmente le capacità di risposta all'emergenza di sito, senza però rivedere le basi tecniche per le pianificazioni di emergenza esterna.

Le valutazioni condotte nell'ambito dei piani di difesa civile sono state dichiarate a carattere riservato ed esulano dagli obiettivi di questa rivalutazione dei presupposti tecnici.

In relazione ad eventi d'area particolarmente gravosi, indotti dall'esterno - ad esempio la caduta intenzionale di un aereo civile - diversificate appaiono allo stato le motivazioni che nei diversi paesi hanno portato ad escludere la necessità di rivalutare a fronte di tali eventi le basi tecniche delle pianificazioni di emergenza esterna. Al riguardo le motivazioni addotte si riferiscono principalmente al rafforzamento delle misure di prevenzione, alla bassa probabilità dell'evento, connessa con la difficile manovrabilità del velivolo e, più in generale, al rafforzamento delle misure di controllo sul traffico aereo, nonché con la elevata resistenza delle strutture di una centrale nucleare. Restano peraltro in corso (ad esempio negli Stati Uniti ed in Francia) studi ed approfondimenti per la valutazione dei possibili effetti di tali eventi.

Un aspetto importante che, comunque, in generale viene evidenziato riguarda la disponibilità presso le installazioni di elevate capacità di mitigazione (sistemi ridondanti e separati, barriere multiple, procedure di emergenza); tale disponibilità rende molto improbabile che eventi indotti dall'esterno possano determinare danneggiamenti estesi del nocciolo del reattore, e pertanto indurre eventi più gravosi di quelli attualmente assunti a base delle pianificazioni d'emergenza.

Il quadro internazionale delineato porta a confermare che i presupposti tecnici del piano nazionale in vigore risultano in generale in linea con le prassi oggi adottate negli altri paesi ove sono presenti impianti in esercizio, ed offrono un buon grado di copertura rispetto a situazioni incidentali derivanti da guasti con probabilità di accadimento molto basse.

Tuttavia, tenuto conto del fatto che la pianificazione di emergenza rappresenta l'ultimo dei livelli previsti nell'approccio della difesa in profondità, adottato nella filosofia di sicurezza delle installazioni nucleari quale protezione a fronte della componente residua del rischio, in considerazione altresì dell'intento del Dipartimento della protezione civile di estendere le capacità di copertura previste dal piano nazionale, si ritiene ad oggi opportuno effettuare una rivalutazione dei presupposti tecnici, facendo riferimento a situazioni in sviluppo rispetto a quelle utilizzate nei paesi che ospitano gli impianti prossimi al confine nazionale. Tale rivalutazione dovrebbe involuppare efficacemente scenari di riferimento caratterizzati da



un processo di danneggiamento del reattore e da una perdita della funzione di contenimento. Rispetto a tali scenari incidentali è però da ritenersi ragionevole dar credito ad un'efficacia, quanto meno parziale, delle capacità di mitigazione esistenti sul sito.

In sintesi, sulla base delle suddette considerazioni si ritiene quindi di dover assumere un termine di sorgente avente le seguenti caratteristiche:

- involucri i termini di sorgente assunti per le pianificazioni d'emergenza nei paesi confinanti con impianti nucleari nel loro territorio,
- sia rappresentativo di situazioni incidentali originatisi nell'impianto, di massima gravità, comportanti la totale fusione del nocciolo, nel corso delle quali si può realisticamente contare sulla disponibilità, almeno parziale, dei sistemi di abbattimento e di contenimento dei rilasci,
- sia rappresentativo di situazioni incidentali indotte dall'esterno, tali da determinare un danneggiamento del sistema di contenimento, rispetto alle quali peraltro si possa dar credito all'attuazione di interventi mitigativi di tipo sintomatico, finalizzati a contenere il danneggiamento delle barriere del reattore deputate a limitare i rilasci di radioattività all'ambiente (es.: iniezione e spruzzamento di acqua, estinzione incendi); anche se le sequenze di tal tipo e gli associati interventi mitigativi non sono individuabili in maniera sistematica per i fattori d'incertezza che ne caratterizzano l'evoluzione, la suddetta assunzione appare ragionevole, data la disponibilità sugli impianti di numerosi sistemi mitigativi, la disponibilità di procedure che coprono spettri di situazioni estremamente ampi nonché la preparazione richiesta al personale.

#### 3.4. Termine di sorgente e scenari incidentali

Più in particolare, il nuovo termine di sorgente, espresso in termini di frazioni d'inventario rilasciate all'ambiente, viene costruito sulla base degli elementi contenuti nella seguente tabella, nella quale sono considerati i seguenti scenari:

- a. Evento di totale fusione del nocciolo, perforazione del vessel e sistema di contenimento parzialmente degradato (si assume un tasso di perdita dal contenimento pari a tre volte quello di progetto); questo evento viene considerato l'involuppo degli scenari di incidente severo, che possono originarsi all'interno dell'impianto, con parziale degradazione della funzione di contenimento ed abbattimento dei prodotti di fissione;
- b. Evento di perdita del sistema di contenimento e di danno al nocciolo del reattore fino al rilascio di tutto il contenuto dei prodotti di fissione che si raccolgono nell'intercapedine delle guaine degli elementi di combustibile ("gap"); questo evento presuppone che in presenza di un cedimento del contenimento e di danni ulteriori a carico degli altri sistemi d'impianto, il personale riesca ad intraprendere, con successo, azioni intese ad arrestare il processo di fusione del nocciolo nella fase di surriscaldamento generalizzato;
- c. Evento di perdita del sistema di contenimento, totale fusione del nocciolo, perforazione del vessel, parziale abbattimento dei rilasci<sup>4</sup>; questo evento è rappresentativo di quella classe di eventi in cui si assume che il contenimento sia distrutto, il processo di fusione del reattore abbia luogo in modo inarrestabile, ma il personale di impianto riesca a mettere in atto azioni di abbattimento dei rilasci (es.:

<sup>4</sup> Si adotta un fattore moltiplicativo 1 per ottenere il rilascio dei gas nobili, che pertanto si assume vengano totalmente trasferiti all'atmosfera, un fattore 0,1 per tener conto dell'abbattimento degli altri isotopi prima del rilascio all'atmosfera.



allagamento della cavità e/o continuo spruzzamento di acqua nel contenitore danneggiato).

Va evidenziato che, con l'adozione di un termine di sorgente di tale entità, le basi tecniche della pianificazione nazionale verrebbero ad assumere a riferimento un evento classificato nella classe 7 della scala INES dell' AIEA.

Data la tipologia degli impianti presenti in prossimità del confine nazionale, ed in analogia a quanto assunto nei Presupposti Tecnici del Piano Nazionale del 1995, si è considerato un impianto di tipo ad acqua in pressione.





Tabella 8 - Frazioni di rilascio all'ambiente per diverse tipologie di evento

Isotopi	Evento di totale fusione del nocciolo, perforazione del vessel e contenimento parzialmente degradato (1)	Evento di distruzione del contenimento e danno al nocciolo fino a rilascio di tutto il contenuto nel "gap" (2)	Evento di distruzione del contenimento, totale fusione del nocciolo, perforazione del vessel, parziale abbattimento dei rilasci (3).	Presupposti Tecnici del Piano Nazionale 1996	Inviluppo (4)
Gas nobili	0,004	0,05	1	0,1	1
Alogeni	0,003	0,05	0,075	0,00068	0,075
Metalli Alcalini	0,003	0,05	0,075	0,00068	0,075
Gruppo del Tellurio	0,0012	0	0,0305	0,0012	0,0305
Bario e Stronzio	0,00048	0	0,012	0,00038	0,012
Metalli Nobili	0,00002	0	0,0005	7.0E-05	0,0005
Gruppo del Cerio	0,00002	0	0,00055	5.4E-06	0,00055
Lantanidi	0,00002	0	0,00052	5.4E-06	0,00052

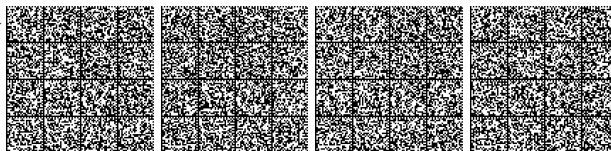
Le frazioni di rilascio sono state ottenute come segue:

(1) Si ipotizza un incidente severo con fusione totale del nocciolo, sfondamento del vessel, termine di sorgente nel contenimento tratto dal NUREG 1465, tasso di fuga anomalo dal contenimento (1,6% del volume al giorno - più di tre volte superiore quello di progetto) per circa 6 ore

(2) US NRC Regulatory Guide 1.183 frazioni di rilascio relative alla fase di "gap release", direttamente all'ambiente.

3 Si ipotizza lo stesso rilascio al contenimento di cui alla nota 1, con la completa indisponibilità del contenitore primario, ma con l'intervento di meccanismi di abbattimento dei rilasci che consentano di accreditare fattori di riduzione pari a 0,1. Detti fattori sono tra i più cautelativi se si fa riferimento a interventi di spruzzamento o di allagamento [rif. L].

(3) Inviluppa, tra l'altro, l'ipotesi di cui al punto 2, con un tasso di fuga dal contenimento del 40 % del volume al giorno, assunto per 6 ore (foro di circa 20 cm di diametro).



Le suddette frazioni, applicate ad un impianto tipo PWR della potenza di 1000 Mwe portano a rilasci all'ambiente, espressi in TBq, i cui ordini di grandezza sono riportati nella seguente tabella, per alcuni radionuclidi

Tabella 9 – Applicazione delle frazioni di rilascio involuppo ad un impianto PWR di 1000 MWe

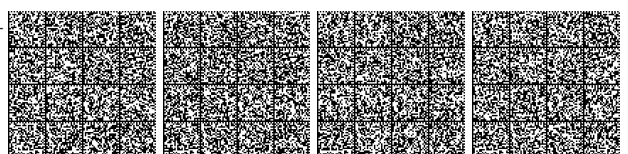
Isotopi	Rilasci (TBq)
<b>Kr 85 m</b>	$10^6$
<b>Kr 85</b>	$10^4$
<b>Sr 89</b>	$5 \times 10^4$
<b>Sr-90</b>	$10^3$
<b>Te 132</b>	$10^5$
<b>I 131</b>	$10^5$
<b>Xe 133</b>	$5 \times 10^6$
<b>Xe 135</b>	$10^6$
<b>Xe 138</b>	$5 \times 10^6$
<b>Cs 134 - 137</b>	$5 \times 10^4$
<b>Ce 144</b>	$10^3$

In analogia con le ipotesi dei presupposti tecnici assunti a base del piano in vigore, si considera un rilascio al suolo della durata di qualche ora.

### 3.5. Stima delle conseguenze radiologiche

Assumendo il termine di sorgente sopra definito sono state effettuate alcune simulazioni sulla dispersione in atmosfera, a grandi distanze, dei radionuclidi rilasciati, prendendo a riferimento due impianti particolarmente prossimi ai confini nazionali: Krško (Slovenia) e di St Alban (Francia). La scelta di queste due centrali ai fini delle stime condotte in questo studio deriva esclusivamente dalla loro posizione in termini di maggior vicinanza al territorio italiano, di caratteristiche orografiche del territorio interposto, di direzione dei venti dominanti etc. rispetto ad altre installazioni e non implica alcuna valutazione di merito sul loro livello di sicurezza.

Per le simulazioni è stato utilizzato il codice Apollo del sistema ARIES (Accidental Release Impact Evaluation System), che rappresenta il sistema di calcolo adottato a livello nazionale per la valutazione della dispersione atmosferica a lunga distanza di inquinanti stabili o con decadimento rilasciati da sorgenti puntiformi. Il sistema è operativo presso il Centro di Emergenza dell'APAT. ARIES è stato utilizzato ipotizzando condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli, individuate sulla base di effettive situazioni atmosferiche verificatesi nell'arco di qualche anno.



In particolare, i parametri di rilascio utilizzati nelle simulazioni sono stati così caratterizzati:

*Forma fisica:* si distinguono diverse classi di radionuclidi, in funzione del relativo comportamento:

- Gas nobili
- Alogeni
- Metalli Alcalini
- Gruppo del Tellurio
- Bario e Stronzio
- Metalli Nobili
- Gruppo del Cerio
- Lantanidi

*Forma chimica:* le forme chimiche considerate negli studi sono molto varie e ripercorrono gli scenari più probabili.

*Entità del rilascio:* il rilascio all'ambiente è rappresentato dalla frazione di inventario dei radionuclidi contenuti nel nocciolo allo spegnimento del reattore. Sono stati assunti i seguenti valori.

Tabella 10 – Frazioni di rilascio per i gruppi di radionuclidi, utilizzate nelle valutazioni

Isotopi	Frazioni di rilascio
<b>Gas nobili</b>	1
<b>Alogeni</b>	0,075
<b>Metalli Alcalini</b>	0,075
<b>Gruppo del Tellurio</b>	0,0305
<b>Bario e Stronzio</b>	0,012
<b>Metalli Nobili</b>	0,0005
<b>Gruppo del Cerio</b>	0,00055
<b>Lantanidi</b>	0,00052

Dette simulazioni sono state effettuate ipotizzando il rilascio dei seguenti radionuclidi, individuati come più rilevanti ai fini della valutazione delle dosi sulla base degli inventari pesati con i fattori di dose relativi ai gruppi più esposti della popolazione:

- Iodio 131 ( $\approx 10^{17}$  Bq)



- Stronzio 90 ( $\approx 10^{15}$  Bq),
- Cesio 134 ( $\approx 10^{16}$  Bq),
- Tellurio 132 ( $\approx 10^{17}$  Bq), Cerio 144 ( $\approx 10^{15}$  Bq).

Altezza del rilascio: rilascio al suolo

L'energia associata al rilascio si considera relativamente modesta e tale da non influenzare le concentrazioni al suolo dei vari radionuclidi rispetto al rilascio a quota campagna.

Tempo di rilascio: due ore.

Al fine di dare un'immagine visiva degli andamenti risultanti dalle simulazioni effettuate con il codice ARIES, nelle Figg. 1 e 2 vengono mostrate, a scopo esemplificativo, le distribuzioni territoriali delle dosi da inalazione per il gruppo di popolazione dei bambini, riferite per i due casi allo Iodio 131.

I risultati ottenuti sono riportati in maggior dettaglio nelle Tabelle 11 e 12 che seguono.

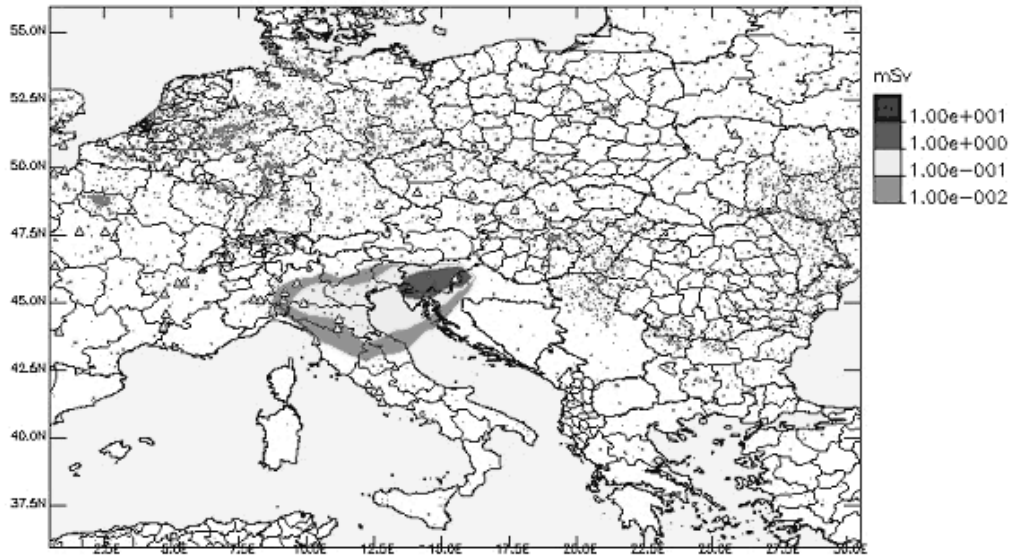
In particolare:

- i valori di dose sono riferiti all'esposizione da inalazione nelle 48 h successive all'evento, in quanto i calcoli effettuati hanno mostrato che il contributo alla dose di tale via di esposizione risulta preponderante. Il contributo delle vie di esposizione da irraggiamento nube e da irraggiamento dal suolo è evidenziato, per i due casi assunti a riferimento, nelle tabelle 13 e 14.
- calcoli effettuati per tempi più lunghi (5 giorni, 7 giorni) non hanno mostrato incrementi significativi rispetto alle dosi valutate per 48 h.
- i radionuclidi che contribuiscono maggiormente alla dose sono lo I 131 e, per un fattore 10 più basso, il Tellurio 132, mentre i contributi degli altri radionuclidi risultano trascurabili.
- i valori di deposizione al suolo, fino a  $10^6$  Bq/mq, sono tali da non far prevedere nelle prime 48 h contributi significativi alla dose dall'irraggiamento diretto dal suolo. Le dosi da irraggiamento dal suolo sono, naturalmente, destinate a crescere successivamente alle 48 h, ma non risultano essere tali da poter variare l'ordine di grandezza delle dosi efficaci; ciò pur assumendo che la deposizione rimanga invariata e che i tempi di esposizione siano dell'ordine del mese. La deposizione al suolo è certamente degna di attenzione ai fini dei controlli radiometrici di medio - lungo termine da effettuarsi sulle matrici alimentari ed ambientali.
- L'andamento temporale della dispersione atmosferica e delle conseguenze radiologiche associate dipende dalle reali condizioni atmosferiche e dalle modalità di rilascio. A titolo indicativo si riportano nelle figure 3 e 4, gli andamenti stimati, per lo Iodio 131, per i casi assunti a riferimento per il presente studio.

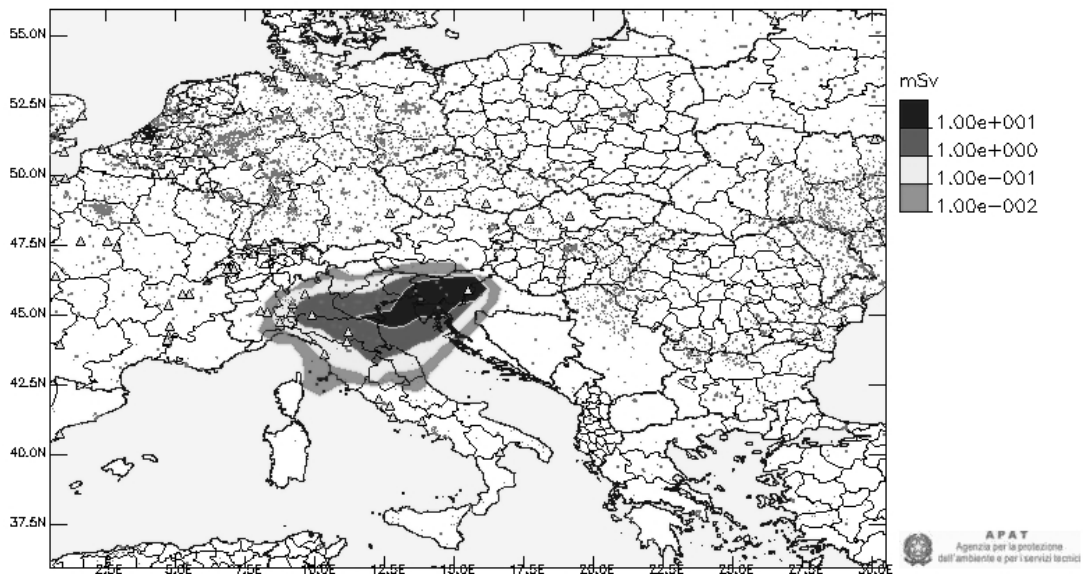


**Esempi di risultati ottenuti dalle simulazioni con il codice ARIES effettuate applicando il termine di sorgente involuppo all'impianto di Krško (Slovenia).**

**Fig.1a** Andamento delle dosi efficaci da inalazione di Iodio 131, per il gruppo di popolazione dei bambini, a 48 ore dall'inizio del rilascio

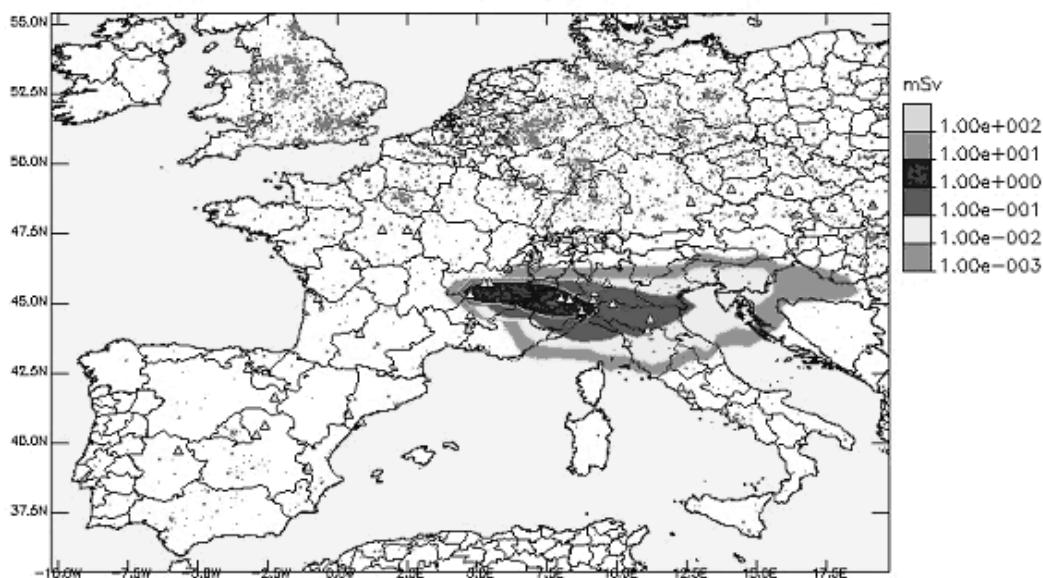


**Fig.1b** Andamento delle dosi equivalenti alla tiroide da inalazione di Iodio 131, per il gruppo di popolazione dei bambini, a 48 ore dall'inizio del rilascio

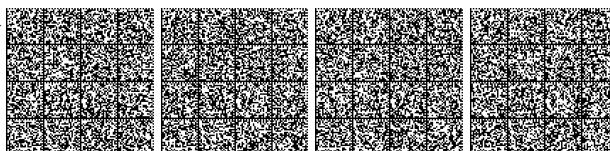
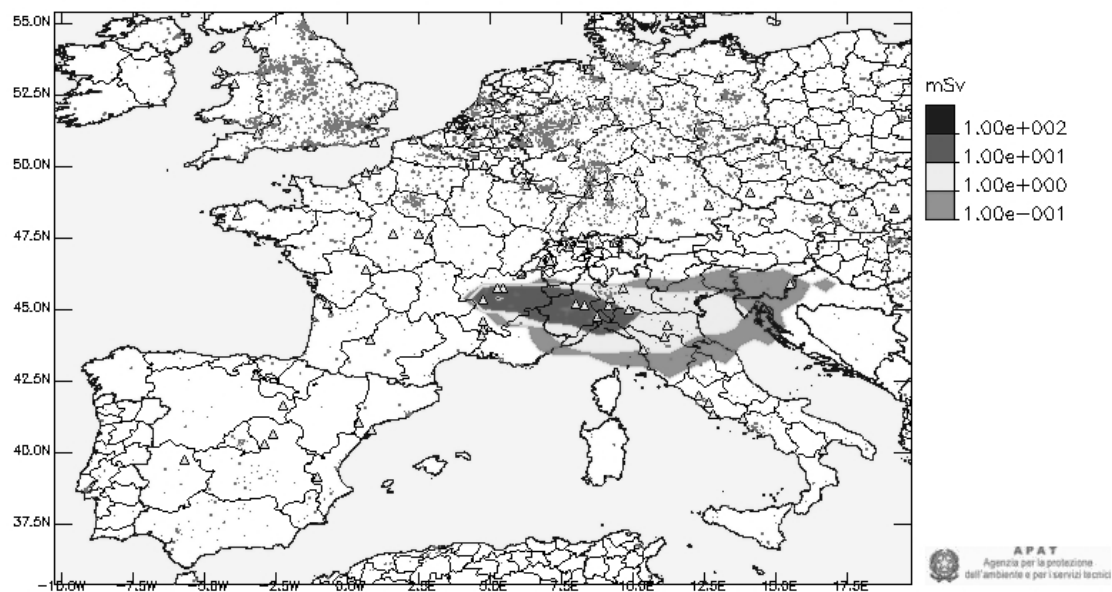


**Esempi di risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate con il codice ARIES applicando il termine di sorgente involuppo all'impianto di S. Alban (Francia).**

**Fig. 2a** Andamento delle dosi efficaci da inalazione di Iodio 131, per il gruppo di popolazione dei bambini, a 48 ore dall'inizio del rilascio.



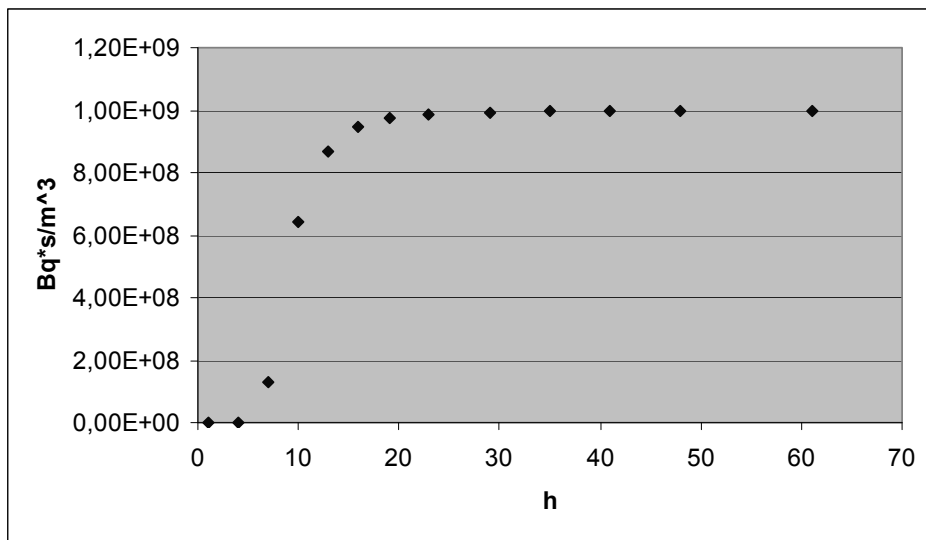
**Fig. 2b** Andamento delle dosi equivalenti alla tiroide da inalazione di Iodio 131, per il gruppo di popolazione dei bambini, a 48 ore dall'inizio del rilascio



**Fig. 3a**

Andamento della concentrazione integrata in aria di Iodio 131 in funzione del tempo.

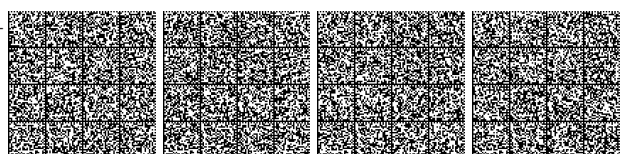
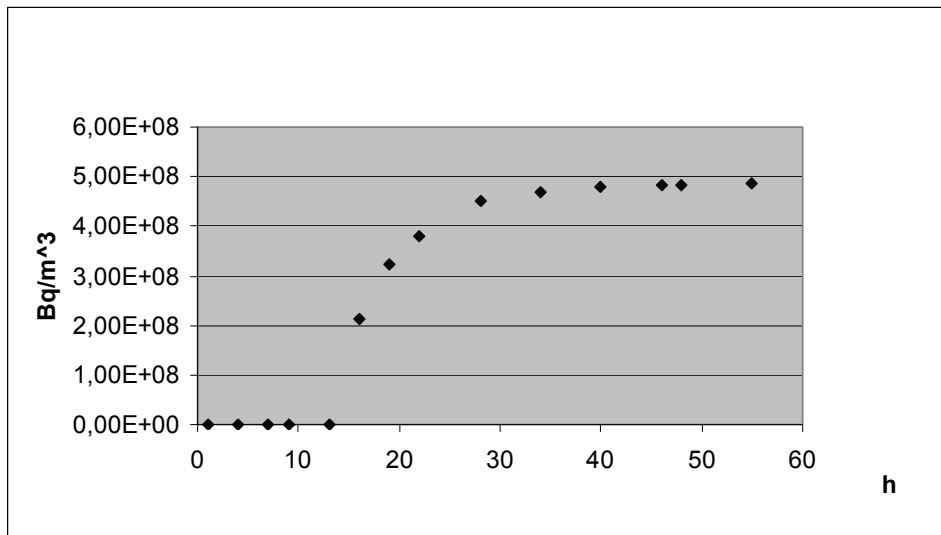
Analisi effettuate con il termine di sorgente involucro applicato alla Centrale di S. Alban - Valori massimi stimati per il territorio italiano.



**Figura 3b**

Andamento della concentrazione integrata in aria di Iodio 131 in funzione del tempo.

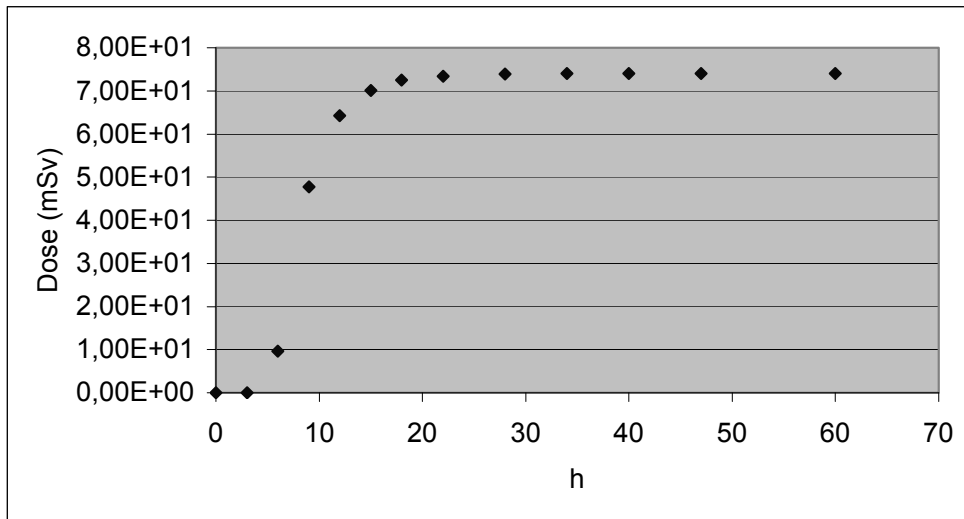
Analisi effettuate con il termine di sorgente involucro applicato alla Centrale di Krško - Valori massimi stimati per il territorio italiano.



**Figura 4a**

Andamento temporale della dose equivalente alla tiroide, da inalazione di Iodio 131, per il gruppo di popolazione dei bambini.

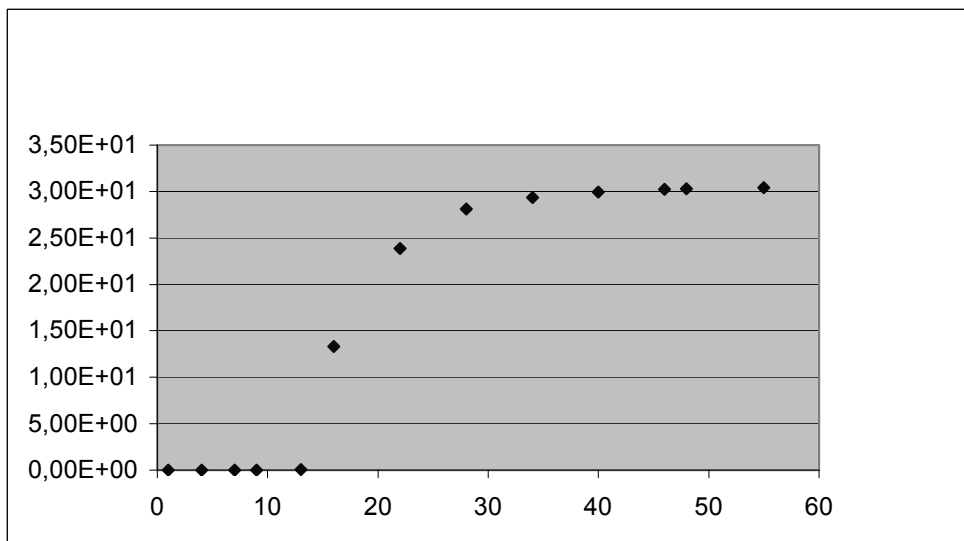
Analisi effettuate con il termine di sorgente involuppo applicato alla Centrale di S. Alban - Valori massimi stimati per il territorio italiano



**Figura 4b**

Andamento temporale della dose equivalente alla tiroide, da inalazione di Iodio 131, per il gruppo di popolazione dei bambini.

Analisi effettuate con il termine di sorgente involuppo applicato alla Centrale di Krško - Valori massimi stimati per il territorio italiano

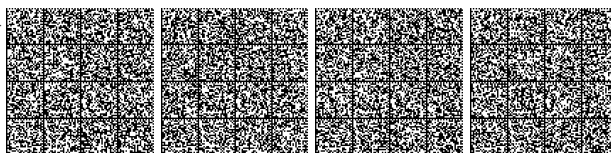




**Tab. 11**  
**Termine di sorgente inviluppo applicato alla centrale di Krško**

**Stima dei valori massimi sul territorio italiano delle dosi da inalazione (mSv), a 48 ore dall'evento, associate ai radionuclidi più rilevanti**

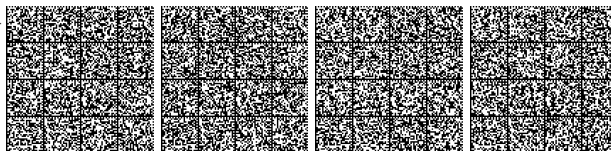
RADIO NUCLIDI	Dose Inalaz. eff. Adulti	Dose Tiroide Inalazione Adulti	Dose eq. Inalazione Adulti	Dose Inalaz. Bambini	Dose eff. Inalazione Bambini	Dose eq. Tiroide Inalazione Bambini	Dose Inalaz. Lattanti	Dose organo critico Adulti	Dose organo critico Bambini	Dose eq. organo critico Lattanti	Dose organo critico Lattanti	Deposizione al suolo -valori massimi Bq/mq
<b>I 131</b>	0,8	16	1,5	1,5	27	1	20	vedi tiroide	vedi tiroide	vedi tiroide	vedi tiroide	$10^5 - 10^6$
<b>Sr 90</b>	0,05	0,001	0,05	0,05	0,001	0,02	0,001	0,5	0,5	0,2	0,2	$10^3 - 10^4$
<b>Cs 134</b>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,03	0,02	0,2	0,2	0,2	0,2	$10^4 - 10^5$
<b>Cs 137</b>	0,04	0,5	0,02	0,02	0,02	0,01	0,1	0,05	0,05	0,03	0,03	$10^4 - 10^5$
<b>Te 132</b>	0,2	3	0,3	0,3	4	0,3	5	vedi tiroide	vedi tiroide	vedi tiroide	vedi tiroide	$10^5 - 10^6$
<b>Ce 144</b>	0,1	0,0002	0,1	0,1	0,0002	0,03	0,0002	0,4	0,4	0,3	0,3	$10^3 - 10^4$



**Tab.12****Termine di sorgente inviluppo applicato alla centrale di St. Alban****Stima dei valori massimi sul territorio italiano delle dosi da inalazione (mSv), a 48 ore dall'evento, associate ai radionuclidi più rilevanti**

RADIO NUCLIDI	Dose eff. Inalaz. adulti	Dose eq. Tiroide Inalazione Adulti	Dose eff. Inalaz. bambini	Dose eq. Tiroide Inalazione Bambini	Dose eff. Inalaz. lattanti	Dose eq. Tiroide Inalaz. lattanti	Dose eq organo critico Adulti	Dose eq organo critico Bambini	Dose eq organo critico lattanti	Dep. ne al suolo valori massimi Bq /mq
I 131	2	40	3,5	70	2,5	50	vedi tiroide	vedi tiroide	vedi tiroide	$10^5 - 10^6$
Sr 90	0,1	0,002	0,1	0,002	0,05	0,002	1	1	0,5	$10^3 - 10^4$
Cs 134	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	3	0,5	0,1	$10^5 - 10^6$
Cs 137	0,08	0,08	0,04	0,04	0,02	0,02	0,2	0,2	0,1	$10^4 - 10^5$
Te 132	0,5	6	0,7	10	0,7	11	vedi tiroide	vedi tiroide	vedi tiroide	$10^5 - 10^6$
Ce 144	0,2	0,0004	0,2	0,0004	0,06	0,0003	1	1	0,5	$10^3 - 10^4$

Dalle tabelle 11 e 12 emerge che le dosi derivanti dallo Iodio sono significativamente superiori a quelle degli altri radionuclidi. I valori di deposizione al suolo, se confrontati con le contaminazioni superficiali che possono dar luogo a dosi significative (ved ad es. Manuale Operativo CEVaD), evidenziano come non ci si debbano aspettare contributi dominanti alla dose da questa fonte di esposizione.

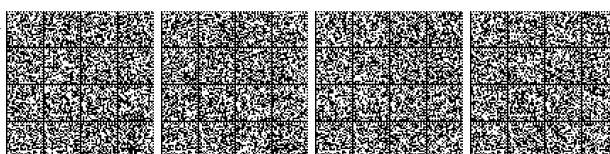


**Tabella 13** - Analisi effettuate con il termine di sorgente involuppo applicato alla Centrale di St. Alban – Contributi alla dose efficace dalle diverse vie di esposizione

Via di esposizione	Dose totale (bambini) mSv	Contributo % alla dose	Isotopo dominante
Irraggiamento nube	0,26	4,7	Te-132
Inalazione	4,74	84,9	I-131
Irraggiamento. suolo (dopo un giorno dalla saturazione)	0,58	10,4	Te-132
<b>Totale</b>	<b>5,58</b>		

**Tabella 14** - Analisi effettuate con il termine di sorgente involuppo applicato alla Centrale di Krško – Contributi alla dose efficace dalle diverse vie di esposizione

Via di esposizione	Dose totale (bambini) mSv	Contributo % alla dose	Isotopo dominante
Irraggiamento nube	0,11	4,5	Te-132
Irraggiamento suolo (dopo un giorno dalla saturazione)	0,24	9,9	Te-132
Inalazione	2,07	85,5	I-131
<b>Totale</b>	<b>2,42</b>		



In sintesi, tenendo anche presenti i margini di variabilità che caratterizzano le stime delle conseguenze radiologiche a lunga distanza, per i due casi ipotizzati, applicando cioè il termine di sorgente involuppo alle centrali di St. Alban e di Krško, si evidenziano i seguenti risultati:

- i valori massimi delle dosi risultano dello stesso ordine di grandezza. Nel caso di St. Alban esse investono aree più ampie;
- su aree delle regioni del Nord e del Centro-nord d'Italia più prossime all'impianto interessato dall'ipotetico evento incidentale, le dosi efficaci da inalazione risultano pari ad alcune unità di mSv e la dose equivalente alla tiroide ad alcune decine di mSv;
- la deposizione al suolo di radionuclidi, che in taluni casi raggiunge valori di  $10^6$  Bq/m<sup>2</sup>, è tale da richiedere il controllo radiometrico delle matrici ambientali ed alimentari su estese superfici del territorio nazionale, finalizzato a fornire le necessarie basi tecniche per eventuali decisioni in merito all'adozione di misure restrittive sugli alimenti.

I risultati delle stime di dose effettuate fanno ritenere che l'eventuale adozione di misure protettive di riparo al chiuso e di somministrazione di iodio stabile permetterebbe di evitare qualche unità di dose efficace ed alcune decine di mSv di dose equivalente alla tiroide. Tali valori di dose evitabile si collocano nell'intorno dei valori inferiori dei livelli d'intervento, per i quali l'Allegato XII al D.L.vo. n. 230/1995 e successive modifiche indica di prendere in considerazione l'eventuale adozione delle succitate contromisure di riparo al chiuso e iodiofilassi.

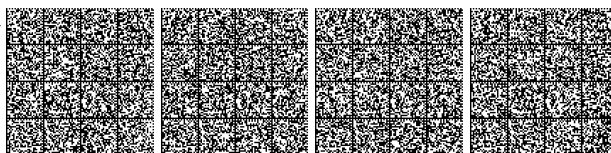


**RIFERIMENTI**

- [A]- HSK- AN- 4626 “*Position of the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate regarding the Safety of the Swiss Nuclear Power Plants in the Event of an Intentional Aircraft Crash*” Wurenlingen, March 2003
- [B] - HSK “*Concept for the Emergency Protection in the Vicinity of Nuclear Power Plants*” March 1998
- [C] - Oxford Research Group “*The implications of September 11<sup>th</sup> for the Nuclear Industry*” February 2003
- [D] US NRC fact sheet “*Safety and Security Improvements at Nuclear Plants*” ....
- [E] – OECD NEA Radiation Protection ISBN 92-64-02140-X “*Short-term Countermeasures in Case of a Nuclear or Radiological Emergency*”
- [F] - Tomaž Nemeč, Andreja Peršič, Tomaž Žagar, Bojan Žefran “*Determination of Source Term for Krško NPP Extended Fuel Cycle*” *International Conference Nuclear Energy for New Europe 2004 Portorož - Slovenia - September 6-9*
- [G] - OECD NEA/CSNI “*Current National Source Term Positions and Practices in OECD Member Countries*” (1990)
- [H] Comunicazione ad APAT della Direzione Generale della Sicurezza Nucleare e della Radioprotezione Francese (DGSNR) del 11 Maggio 2005.
- [I] – Comunicazioni ad APAT del Ministero per la pianificazione Ambientale e Spaziale della Repubblica Slovena del 16 e del 17 marzo 2005
- [J] - REPUBLIC OF SLOVENIA - *National Report on Fulfilment of the Obligations of the Convention on Nuclear Safety - The first Slovenian report in accordance with article 5 - Ljubljana, August 1998*
- [K] – US NRC - NUREG 0654 FEMA REP 1 - *Criteria for preparation and evaluation of radiological emergency response plans and preparedness in support of NPPs - 1980*
- [L] - IAEA TECDOC 955 - *Generic assessment procedures for determining actions during reactor accidents.*
- [M] – APAT – Roberto Mezzanotte - *Valutazioni e considerazioni per la definizione di nuovi presupposti tecnici del piano nazionale di emergenza relativo ad incidenti nucleari transfrontalieri.*
- [N] – Alonzi, Mancioffi, Rogani – *La modellistica come strumento per la pianificazione – 2002*
- [O] – Comunicazione ad APAT dall’Autorità di controllo Svizzera (HSK) del 28 febbraio 2005 con oggetto “*Off-site emergency planning*”
- [P] – Comunicazione ad APAT del Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germania, del 5 Luglio 2005 con oggetto “*Off-site emergency planning*”
- [Q] – IAEA – Safety Requirements N° GS-R-2 “*Preparedness and response for a Nuclear and Radiological Emergency.*”
- [R] - US NRC NUREG 0654 – FEMA REP 1 – Rev. 1 Supp 3 “*Criteria for preparation and evaluation of radiological emergency response plans and preparedness in support of nuclear power Plants Criteria for protective actions recommendations for Severe accidents – Draft revised report for interim use and comment - 1996*”



- [S] - US NRC SECY – 97 – 020 “Results of evaluation of emergency planning for evolutionary and advanced reactors” - 1997
- [T] - US NRC NUREG/CR-6703 PNNL 13257 “Environmental Effects of Extending Fuel Burnup Above 60 GWd/MTU” - 2001
- [U] – IAEA Reference Data Series n. 2 “Nuclear Power Reactors in the World” – April 2005.
- [V] - US NRC Bulletin 2005-02: *Emergency preparedness and response actions for security based events*
- [Z] - *Taking into Account Severe Accidents in the Design and Control of French PWR's* (articolo) by J. Brisbois and A. L'Homme (CEA-IPSN FONTENAY-AUX-ROSES) N. Schektman (EDF/SPT)
- [AA]- Manuale operativo del CEVaD – Giugno 2005
- [AB] - WHO/SDE/PHE/99.6 - *Guidelines for Iodine Prophylaxis following Nuclear Accidents* - Update 1999 World Health Organization Geneva 1999
- [AC] – Comunicazione ad APAT del Ministero Federale dell'Agricoltura, Foreste, Ambiente e gestione delle acque austriaco – BML FUW-UW.1.1.9/0020-V/7/2006 del 29/6/2006



## ALLEGATO I

### TERMINE DI SORGENTE NEL CONTENIMENTO PRIMARIO

#### RISULTATI DEGLI STUDI CONDOTTI NEGLI STATI UNITI

Negli Stati Uniti sono stati pubblicati documenti che sintetizzano i risultati di molti studi (i più rilevanti sono elencati al termine di questo allegato). Le conclusioni riportate in tali documenti riguardano esclusivamente i rilasci **all'interno del contenimento**, dal momento che il passo successivo è giudicato troppo condizionato dalle specificità di impianto.

Il termine di sorgente, ossia quantità, composizione e tempi di rilascio dei prodotti di fissione all'ambiente dipende innanzitutto dalla composizione e dall'entità dei prodotti di fissione presenti nel contenimento durante un incidente. Esso dipende quindi dal cosiddetto dall' "*in-containment source term*".

Per determinare tale "*source term*" si deve conoscere l'entità del rilascio dal circuito primario del reattore al contenimento e gli effetti dei meccanismi di abbattimento di radioattività ipotizzabili nel contenimento stesso.

Dall'esame sistematico delle possibili sequenze incidentali è emerso che sono più frequenti quelle con il circuito primario a bassa pressione; è emerso inoltre che una sequenza a bassa pressione determina, durante la prima fase dell'incidente, un rilascio maggiore al contenimento.

Sulla base di queste considerazioni l'incidente preso a riferimento per il calcolo del termine di sorgente è un incidente in cui la fusione del nocciolo interviene in condizioni di bassa pressione così da avere la stima più cautelativa relativamente ai rilasci nel contenimento.

I valori dell' "*in-containment source term*" sono da considerarsi conservativi per quanto riguarda il tempo iniziale del rilascio al contenimento mentre, per il resto, essi sono valori tipici rappresentativi di sequenze con bassa pressione nel circuito primario nel momento in cui interviene la degradazione del nocciolo e la rottura del vessel.

I rilasci dei prodotti di fissione dal nocciolo al contenimento sono legati alle diverse fasi fenomenologiche che si succedono durante l'incidente, caratterizzate dal grado di fusione del combustibile, dalla sua localizzazione, dall'integrità del recipiente in pressione, dalle interazioni tra materiale fuso e calcestruzzo.

Sono state così individuate 5 diverse fasi di rilascio. I fenomeni che le caratterizzano, i tempi di intervento, la durata e i rilasci possono essere così riassunti:

Coolant activity phase: inizia con la rottura della tubazione primaria e termina con la rottura della prima barretta. L'attività rilasciata nel contenimento è quella associata alla ridotta contaminazione del refrigerante primario.

Per un PWR in caso di "large LOCA" (rottura a ghigliottina double-ended) la durata di tale fase è 10-30 sec. mentre per un LOCA di 6 pollici è di almeno 10 minuti.

Per un BWR questa fase è tipicamente più lunga. I tempi dei PWR possono pertanto essere cautelativamente utilizzati anche per i BWR.



Gap activity release: inizia con la rottura della prima barretta e finisce quando la temperatura della massa di combustibile fuso è tale per cui i prodotti di fissione più volatili cominciano ad essere rilasciati dal combustibile stesso.

In questa fase si assiste al rilascio nel contenimento di una piccola percentuale dell'inventario totale dei radionuclidi più volatili, in particolare gas nobili, iodio e cesio.

La durata di questa fase è di 30 minuti sia per i BWR che per i PWR.

Early in-vessel release: inizia quando la temperatura nel nocciolo raggiunge valori tali da determinare cambiamenti di geometria e fusione del combustibile e di altri materiali del nocciolo che vanno così a depositarsi nella parte bassa del vessel; essa termina con la rottura del fondo del vessel che determina la caduta di frammenti fusi nella cavità sottostante.

Durante questa fase una quantità significativa di nuclidi volatili e una piccola parte di nuclidi meno volatili sono rilasciati nel contenimento, la quantità rilasciata dipende dalla ritenzione dei radionuclidi nel refrigerante primario che, a sua volta, è funzione del tempo di residenza dei nuclidi nel refrigerante stesso. Una sequenza incidentale a bassa pressione causa una produzione di aerosol che abbandonando il circuito primario raggiunge il contenimento.

Una durata rappresentativa per questa fase è di 1.3 ore per un PWR e di 1.5 ore per un BWR.

Ex-vessel release: inizia quando frammenti di nocciolo fuso fuoriescono dal vessel e termina quando i frammenti sono stati raffreddati al punto tale da non rilasciare quantità significative di prodotti di fissione.

Il 90% dei prodotti di fissione (ad eccezione del tellurio e del rutenio) sono rilasciati in 2 ore nei PWR e in 3 ore nei BWR. Il tellurio e il rutenio sono rilasciati in 5 ore nei PWR e in 6 ore nei BWR. I tempi maggiori per i BWR sono dovuti alla maggior quantità di zirconio presente.

Late in-vessel release: inizia dalla rottura del vessel e procede simultaneamente con la fase di Ex-vessel release.

Durante questa fase alcuni nuclidi volatili che precedentemente si erano depositati nel refrigerante primario, possono ridivenire volatili e raggiungere il contenimento.

Una durata rappresentativa di questa fase è di 10 ore.

Le tabelle riportano sia la durata delle 4 fasi di rilascio nel contenimento (durante la fase di rilascio della "coolant activity" la radioattività rilasciata nel contenimento è quella associata con la ridotta contaminazione del refrigerante primario) che la frazione di inventario dei diversi prodotti di fissione rilasciata nel contenimento.





Rilasci nel contenimento per un impianto di tipo BWR\*

	Gap Release**	Early In-Vessel	Ex-Vessel	Late In-Vessel
Duration (Hours)	0.5	1.5	3.0	10.0
Noble Gases	0.05	0.95	0	0
Halogens	0.05	0.25	0.30	0.01
Alkali Metals	0.05	0.20	0.35	0.01
Tellurium group	0	0.05	0.25	0.005
Barium, Strontium	0	0.02	0.1	0
Noble Metals	0	0.0025	0.0025	0
Cerium group	0	0.0005	0.005	0
Lanthanides	0	0.0002	0.005	0

\*Frazioni dell'inventario di nocciolo

\*\* Il rilascio dal gap è pari al 3% se viene mantenuta la refrigerazione nel lungo termine

Rilasci nel contenimento per un impianto di tipo PWR\*

	Gap Release**	Early In-Vessel	Ex-Vessel	Late In-Vessel
Duration (Hours)	0.5	1.3	2.0	10.0
Noble Gases	0.05	0.95	0	0
Halogens (I, Br)	0.05	0.35	0.25	0.1
Alkali Metals (Cs, Rb)	0.05	0.25	0.35	0.1
Tellurium group (Te, Sb, Se)	0	0.05	0.25	0.005
Barium, Strontium	0	0.02	0.1	0
Noble Metals (Ru, Tc, Co)	0	0.0025	0.0025	0
Cerium group (Ce, Pu, Np)	0	0.0005	0.005	0
Lanthanides (La, Zr, Am)	0	0.0002	0.005	0

\*Frazioni dell'inventario di nocciolo

\*\* Il rilascio dal gap è pari al 3% se viene mantenuta la refrigerazione nel lungo termine



La concentrazione dei prodotti di fissione nell'atmosfera del contenimento dipende sia dall'entità dei rilasci dal nocciolo al contenimento che dagli effetti dei meccanismi di rimozione e abbattimento di radioattività presenti nel contenimento stesso.

I meccanismi di rimozione o abbattimento dall'atmosfera del contenimento dei prodotti di fissione possono essere di tipo ingegneristico come gli spray, le piscine di soppressione nei BWR, i sistemi di filtraggio, l'allagamento della cavità del reattore oppure possono essere processi naturali come la deposizione degli aerosol.

Gli effetti di tali meccanismi dipendono molto dalle caratteristiche impiantistiche quindi risulta molto difficile fornire valori tipici e applicabili in tutte le situazioni.

### Principali riferimenti

1. US NRC Regulatory Guide 1.183 "Alternative radiological Source Terms for evaluating design basis accidents at nuclear power reactors" – July 2000
2. *Accident Source Term for Light-Water Nuclear Power Plants* , L. Soffer, S.B. Burson, C. M. Ferrell, R. Y. Lee, J. N. Ridgely NUREG-1465, Feb. 1995
3. *Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plant* NUREG-1150, december 1990
4. *Estimate of Radionuclide Release Characteristics Into Containment Under Severe Accident Conditions* H. P. Nourbakhsh - NUREG/CR-5747 BNL-NUREG-52289, January 1992



**ALLEGATO II****LIVELLI DI INTERVENTO DELL'ALLEGATO XII AL DECRETO LEGISLATIVO  
n° 230/1995 e successive modifiche****Tabella A Livelli di intervento di emergenza per l'adozione di misure protettive,  
espressi in millisievert**

TIPO DI INTERVENTO	
Riparo al chiuso	Da alcune unità ad alcune decine di dose efficace
Somministrazione di iodio stabile – tiroide	Da alcune decine ad alcune centinaia di dose equivalente
Evacuazione	Da alcune decine ad alcune centinaia di dose efficace

**Tabella B - Valori di soglia di dose proiettata in un intervallo di tempo inferiore a due  
giorni, espressi in gray.**

ORGANO O TESSUTO	DOSE PROIETTATA (Gy)
Corpo intero (midollo osseo)	1
Polmoni	6
Pelle	3
Tiroide	5
Cristallino	2
Gonadi	3
Feto	0,1

Dei due riferimenti di dose indicati in Tabella A per ciascuna azione protettiva considerata, il valore inferiore rappresenta il livello di dose evitabile al di sotto del quale non si ritiene giustificata l'adozione della contromisura, mentre quello superiore rappresenta il livello al di sopra del quale l'introduzione della contromisura dovrebbe essere garantita.

I valori di soglia della Tabella B sono quelli per i quali è da considerare sempre giustificata l'adozione di provvedimenti d'intervento.

