

Presupposti Tecnici del piano nazionale delle misure protettive contro le emergenze nucleari e radiologiche e relative basi

Aggiornamento per gli eventi di origine transfrontaliera

Seminario ISPRA del 1 dicembre 2010

Ing. Giovanni Bava



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Contenuti

- Perché una revisione dei presupposti tecnici
- Gli impianti transfrontalieri
- Gli scenari incidentali
- Il termine di sorgente
- Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia
- Considerazioni operative utili per il Piano



Perché una revisione dei presupposti tecnici

I presupposti tecnici del Piano Nazionale 1997 tenevano già conto dei possibili eventi al di fuori del territorio nazionale, tuttavia si è ritenuto di dover considerare:

- L'evoluzione della tecnologia e delle modalità operative
- La disponibilità di studi aggiornati
- L'influenza di nuovi fattori di rischio esterni
- Le indicazioni del DPC di potenziare il livello di protezione offerto dal piano



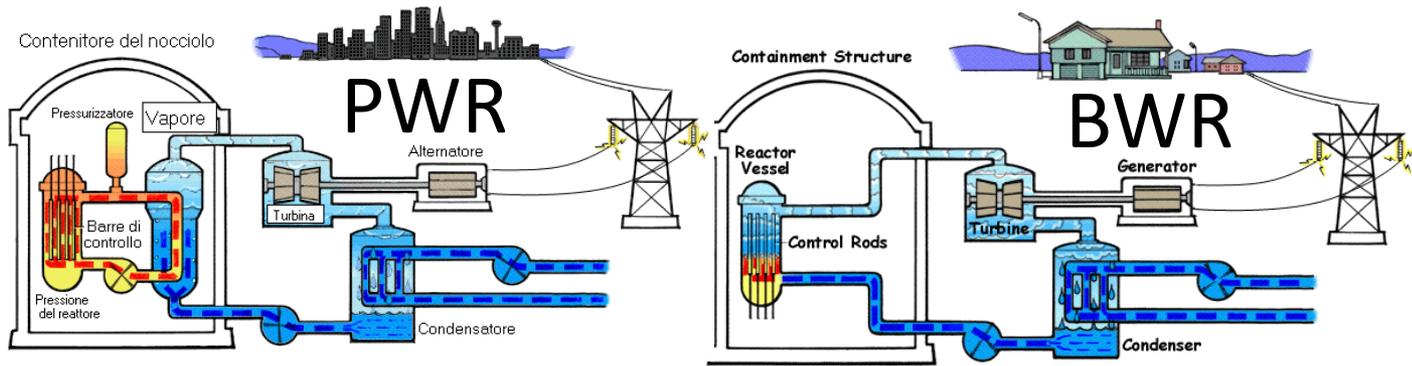
Gli impianti transfrontalieri



ISPRA

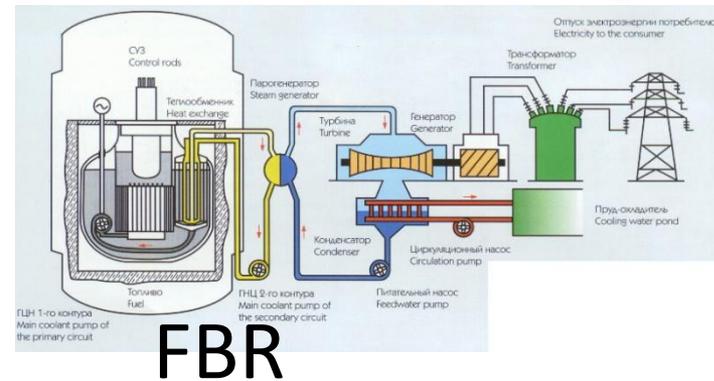
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Gli impianti transfrontalieri



Criteri di scelta degli impianti di riferimento:

- maggior vicinanza al territorio italiano,
 - caratteristiche orografiche del territorio interposto,
 - direzione dei venti dominanti etc.
- Non sono basati su valutazioni di merito sul loro livello di sicurezza.



FBR



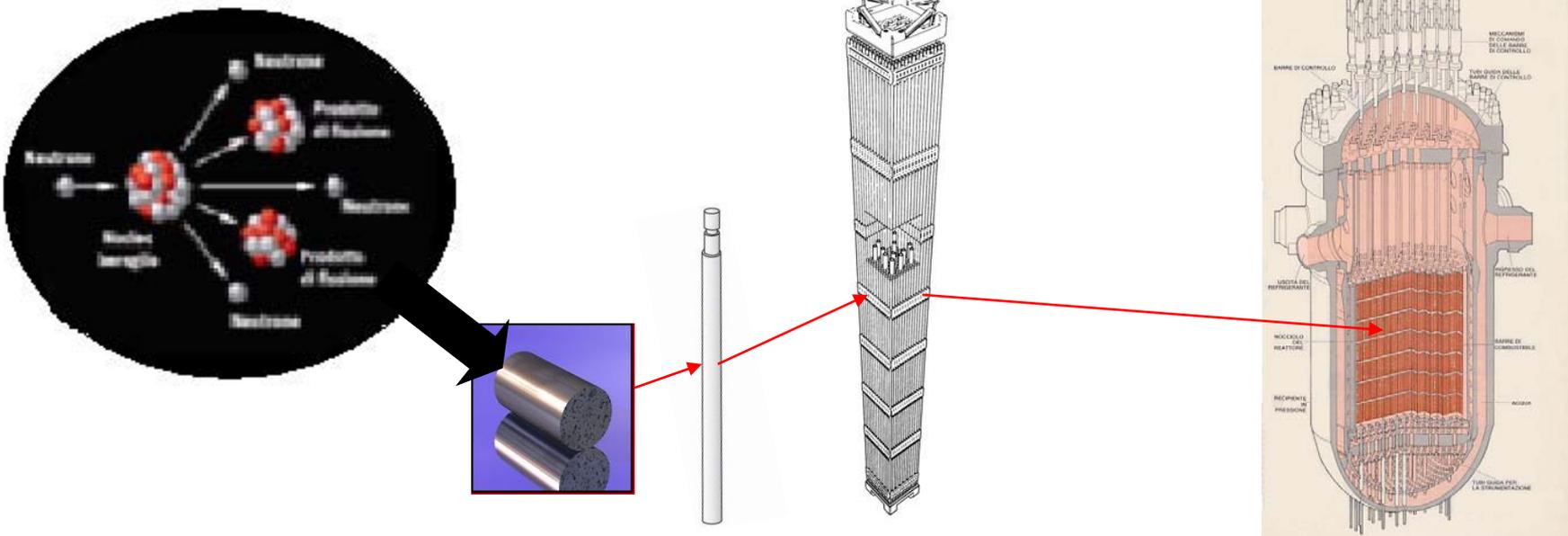
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Gli scenari incidentali

La radioattività risiede principalmente nel reattore, ove oltre al calore generato, all'interno di barriere, sono presenti i prodotti di fissione, in quantità rilevanti.

Il calore generato deve essere asportato, per evitare surriscaldamenti, I prodotti di fissione devono essere contenuti.



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Gli scenari incidentali

Inventario di radioisotopi nel reattore

Nel reattore sono presenti decine di radioisotopi, in quantità variabili, nella tabella ne sono presentati alcuni.

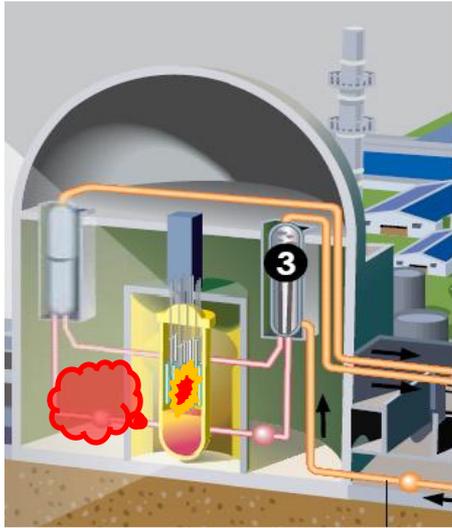
Si deve tener presente che la potenza termica dei reattori di interesse si aggira nell'intervallo di 300 ÷ 1400 MWe

RADIONUCLIDE	Bq/MWe
Xe 133	$10^{15} \div 10^{16}$
I 131	10^{15}
Cs 137	10^{14}
Te 132	10^{15}
Sr 90	10^{14}
Ru 103	10^{14}
La 140	$10^{12} \div 10^{13}$
Pu 241	10^{14}

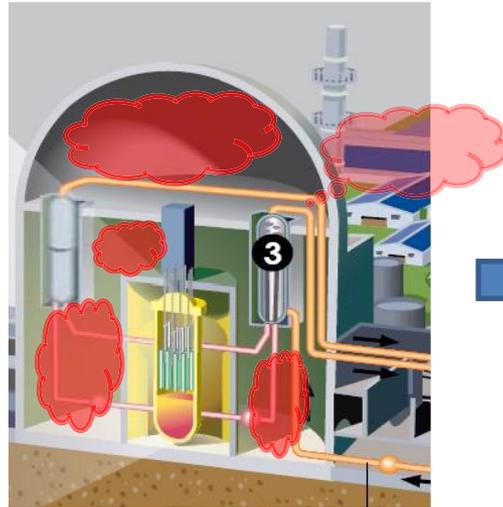


Gli scenari incidentali

Le valutazioni del piano precedente involuppano correttamente circa il 90% delle sequenze già evolute nella fusione del reattore, alla luce degli studi sistematici più recenti effettuati negli USA



Rilascio di prodotti di fissione dal sistema primario (es.: Iodio 75% dell'inventario nel caso involuppo delle sequenze di fusione del nocciolo non estreme)



Fuoriuscita dal contenimento.

Sequenze con bypass del contenimento o con fallimento grave e precoce del contenitore

Frazioni di inventario che riescono a fuoriuscire nei vari scenari

- normali perdite <math>< 1/1000</math>
- Piccolo foro per qualche ora o rottura ritardata di qualche giorno ~ 1/1000 (Piano Precedente)
- Rotture di dimensioni più rilevanti qualche per cento.



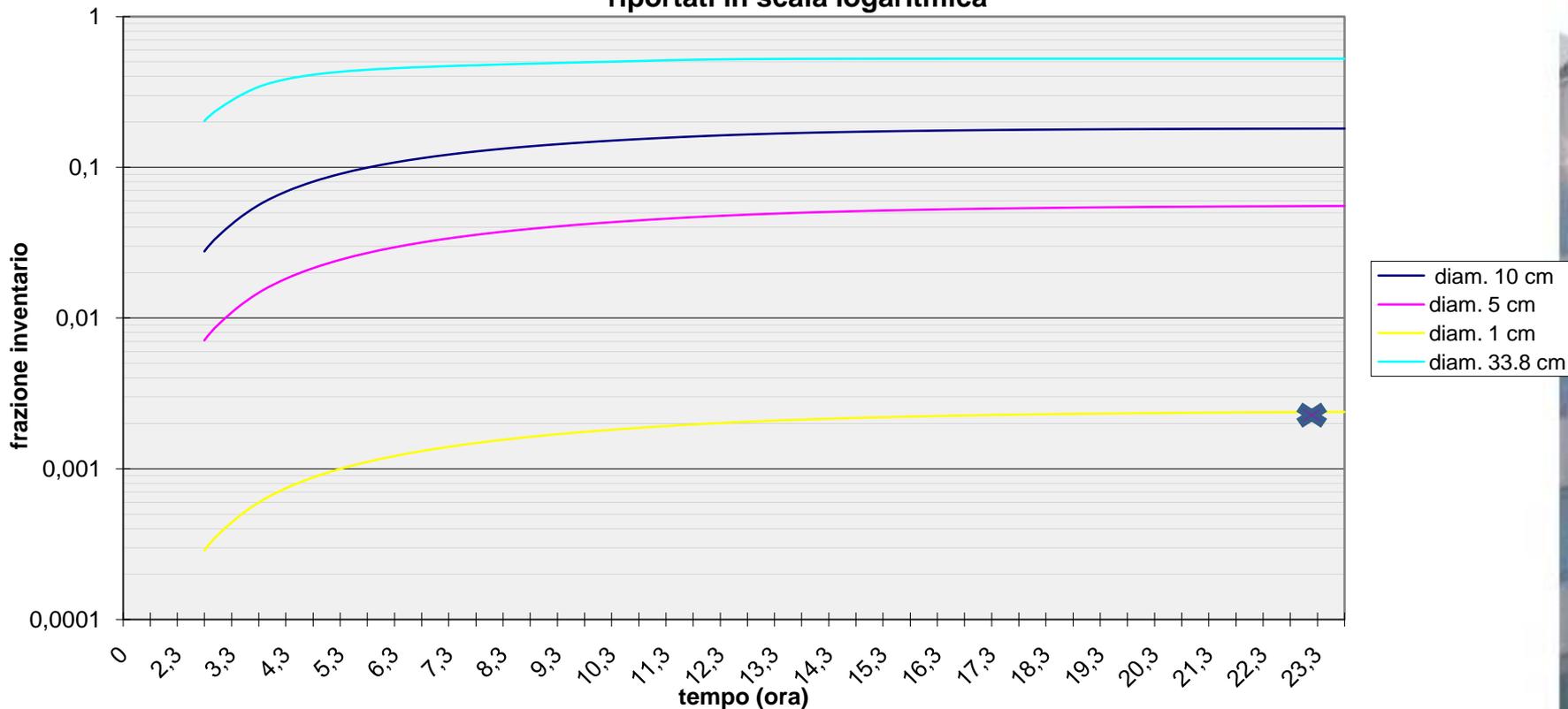
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Gli scenari incidentali

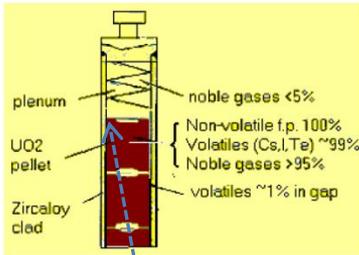
✘ Fughe di progetto

rilasci iodio
riportati in scala logaritmica



ISPRA

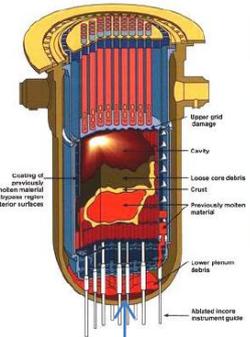
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Gap

Gli scenari incidentali

Evoluzione di un tipico incidente severo (sintesi dei risultati di studi svolti in USA)



Vessel

FASI FENOMENOLOGICHE DEL RILASCIO DAL SISTEMA PRIMARIO

fase di rilascio	Attività refrigerante	Attività del "gap"	Evoluzione nel vessel	Rilascio fuori dal Vessel	Rilascio successivo dal vessel	
rilasci al contenimento	associati alla ridotta contaminazione del refrigerante primario	piccola percentuale dei nuclidi più volatili (gas nobili, iodio, cesio)	quantità significativa dei nuclidi volatili e piccola parte nuclidi poco volatili	quantità significativa di nuclidi poco volatili	ri volatilizzazione e rilascio dei nuclidi prima depositatisi nel refrigerante primario	
tempo	0	≅ 20 s	0.5 h	1.8 h	3.8 h	11.8h
eventi	innesco incidente	fessurazione prima rottura tubazione primaria	cambiamento di geometria e inizio fusione combustibile	rottura fondo vessel	raffreddamento dei frammenti di nocciolo fuso	fine dei rilasci al contenimento



Gli scenari incidentali

Frazioni dell'inventario di nocciolo che si trasferiscono dal reattore al contenimento (US NRC)

Rilasci nel contenimento per un impianto di tipo PWR

	Gap Release	Early In-Vessel	Ex-Vessel	Late In-Vessel	Tot.	Tot. BWR
Duration (Hours)	0.5	1.3	2.0	10.0	13.8	12
Noble Gases	0.05	0.95	0	0	1	1
Halogens (I, Br)	0.05	0.35	0.25	0.1	0.75	0.61
Alkali Metals (Cs, Rb)	0.05	0.25	0.35	0.1	0.75	0.61
Tellurium group (Te, Sb,Se)	0	0.05	0.25	0.005	0.305	0.305
Barium, Strontium	0	0.02	0.1	0	0.12	0.12
Noble Metals (Ru, Tc, Co)	0	0.0025	0.0025	0	0.005	0.005
Cerium group (Ce, Pu, Np)	0	0.0005	0.005	0	0.0055	0.0055
Lanthanides (La, Zr, Am)	0	0.0002	0.005	0	0.0052	0.0052



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Gli scenari incidentali

Le nuove ipotesi incidentali

Eventi interni:

Fusione totale, contenimento parzialmente integro

(si ritiene realistico dar credito a interventi di Accident Management almeno sul contenimento)

Eventi Esterni:

- Contenimento distrutto, recupero della refrigerazione

(azioni di Accident Management con i sistemi rimasti integri)

- Contenimento distrutto, fusione totale ex vessel, credito ad interventi di mitigazione

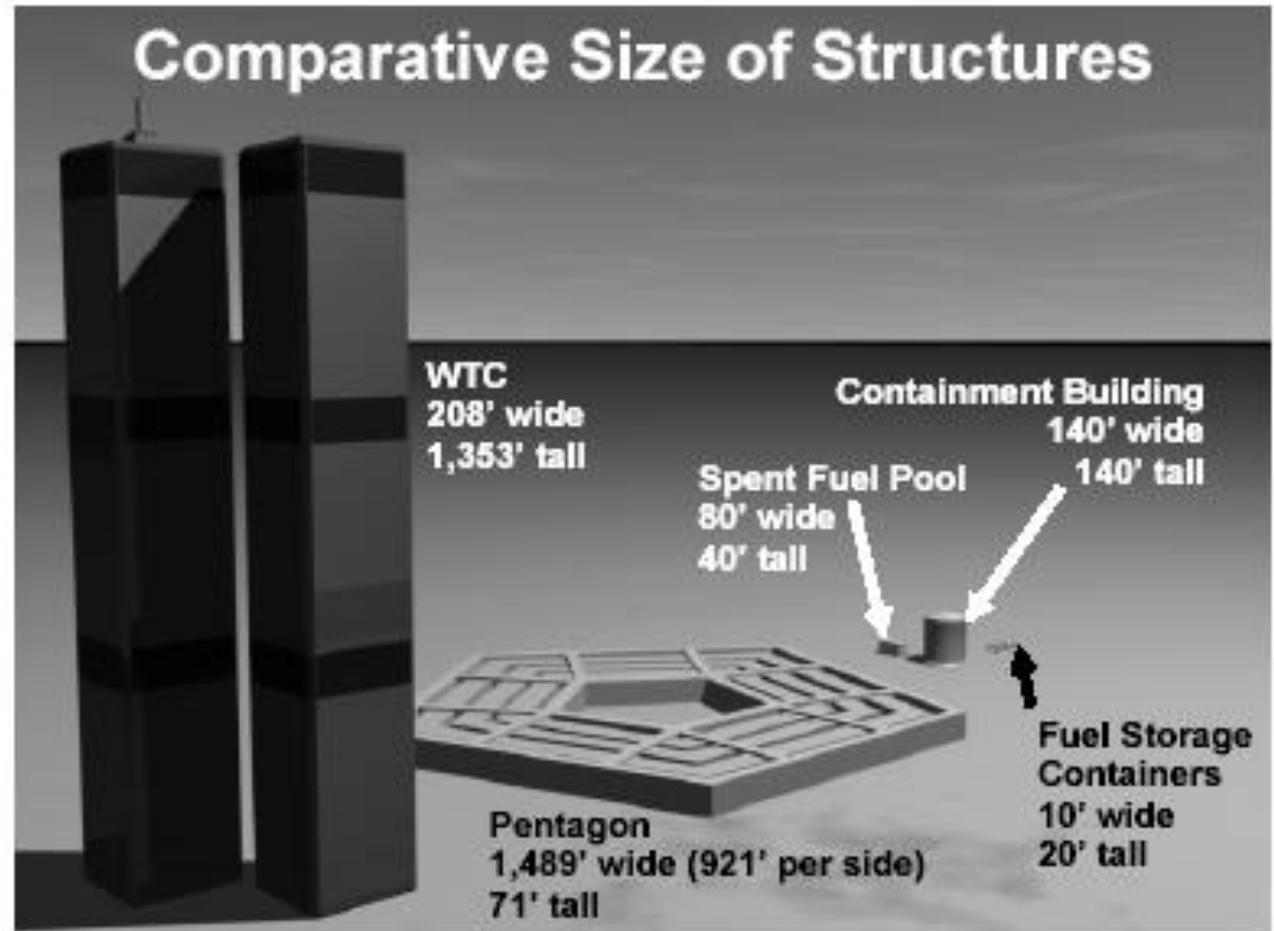
(si ritiene che tra gli scenari possibili ve ne siano diversi che consentono azioni mitigative rustiche e parzialmente efficaci)

Inoltre si è ricercato l'inviluppo dei termini di sorgente assunti negli studi relativi alle pianificazioni d'emergenza nei paesi confinanti.



Gli scenari incidentali

Le nuove ipotesi incidentali sono particolarmente gravi



Si deve obbiettivamente considerare che un evento esterno distruttivo è assai improbabile



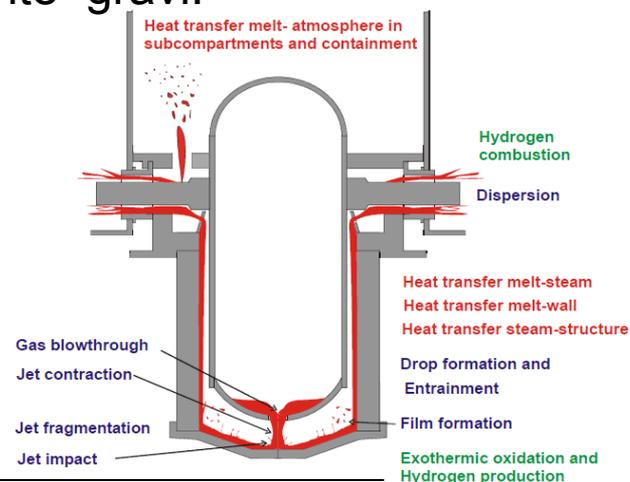
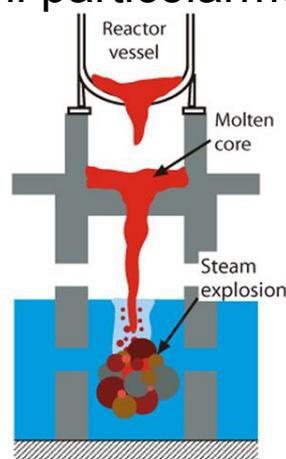
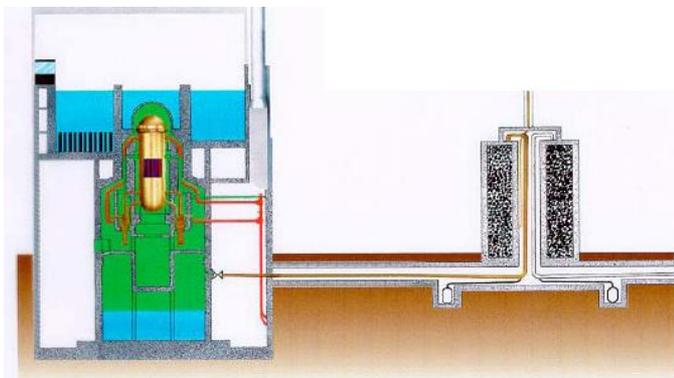
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Gli scenari incidentali

Le nuove ipotesi incidentali sono particolarmente gravi

Molti sforzi sono stati fatti, in tutti i paesi che hanno impianti nucleari, per studiare i fenomeni che potrebbero generare situazioni estreme che possano dar luogo a sfide inaccettabili per il contenimento. A seguito di tali studi, gli impianti sono stati modificati e **sono state predisposte procedure di Severe Accident Management e misure diversificate di mitigazione**, con un approccio sempre più armonizzato tra vari paesi. La probabilità che si verifichino gli scenari più severi ipotizzati nei presupposti tecnici è pertanto da considerarsi realmente molto bassa. Si è potuto comunque rispondere all'esigenza di considerare situazioni particolarmente gravi.



Gli scenari incidentali

Le nuove ipotesi incidentali

Gli impianti di nuova progettazione si propongono l'obiettivo di escludere il verificarsi di fenomenologie particolarmente gravi o di resistere alle sfide che non possono essere escluse su basi scientifiche solide.

Gli esercenti e autorità di controllo, conoscendo intimamente gli impianti, la loro progettazione, le modalità di costruzione, di prova e di esercizio, sono quindi oggi nelle condizioni di porre tali obiettivi in primo piano.



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



Il termine di sorgente
=
Quantità, composizione,
energia e tempi di
rilascio dei prodotti di
fissione all'ambiente



Il termine di sorgente

Per gli scenari incidentali ipotizzati, sono stati quindi stimati i relativi termini di sorgente. Le situazioni esaminate, come già specificato, riguardano:

1. fusione del nocciolo e contenimento parzialmente integro,
2. Cedimento del contenimento e controllo dell'incidente in modo che il reattore non fonda completamente,
3. Cedimento del contenimento e fusione del nocciolo con interventi mitigativi atti a ridurre i rilasci di 1/10



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il termine di sorgente

Frazioni di inventario rilasciati all'ambiente per diverse tipologie di evento in un PWR

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	0,05
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



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il termine di sorgente

Confronti

Radio isotopi	Piano precedente	Chernobyl	Nuovi Presupposti
Gas Nobili	10^{-1}	1	1
I - Cs	6.8×10^{-4}	0,2 - 0,6	0,075
Te - Sb	1.2×10^{-3}	0,25 - 0,6	0,075
Ru- Rh	7.0×10^{-5}	0,035	0,05
Sr -Ba	3.8×10^{-4}	0,04 - 0,06	0,012
La- Att	5.4×10^{-6}	0,035	0,00052

Frazioni di inventario



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il termine di sorgente

la nuova ipotesi inviluppa quello dei paesi confinanti

Gruppi di Isotopi	Piano Nazionale 1997	Ipotesi francese	Ipotesi slovena	Ipotesi svizzera	Ipotesi Nuovo Piano
Gas Nobili	1,00E-01	7,50E-01		3,00E-01	1
Alogeni	6,80E-04	8,60E-03	1,00E-03* ÷ 1,00E-04	7,00E-05	7,5E-02
Metalli Alcalini	6,80E-04	3,50E-03		5,00E-05	7,5E-02
Gruppo del Tellurio	1,20E-03	3,50E-3		-	5E-02
Bario, Stronzio	3,80E-04	4,00E-04		-	1,2E-02
Metalli Nobili	7,00E-5	3,0E-4		-	5E-04
Gruppo del Cerio	-	3.00-04		-	5.5 E-04
Lantanidi	5,40E-06	5,40E-05		-	5.2E-04

- Valori dedotti dalle valutazioni relative alle dosi assunte a 10 km

Frazioni di inventario



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il termine di sorgente

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

Isotopi	Rilasci (TBq)
Kr 85 m	10^6
Kr 85	10^4
Sr 89	5×10^4
Sr-90	10^3
Te 132	10^5
I 131	10^5
Ne 133	5×10^6
Ne 135	10^6
Ne 138	5×10^6
Cs 134 - 137	5×10^4
Ce 144	10^3



Il trasporto dei contaminanti radioattivi

Gli isotopi radioattivi 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, sono:

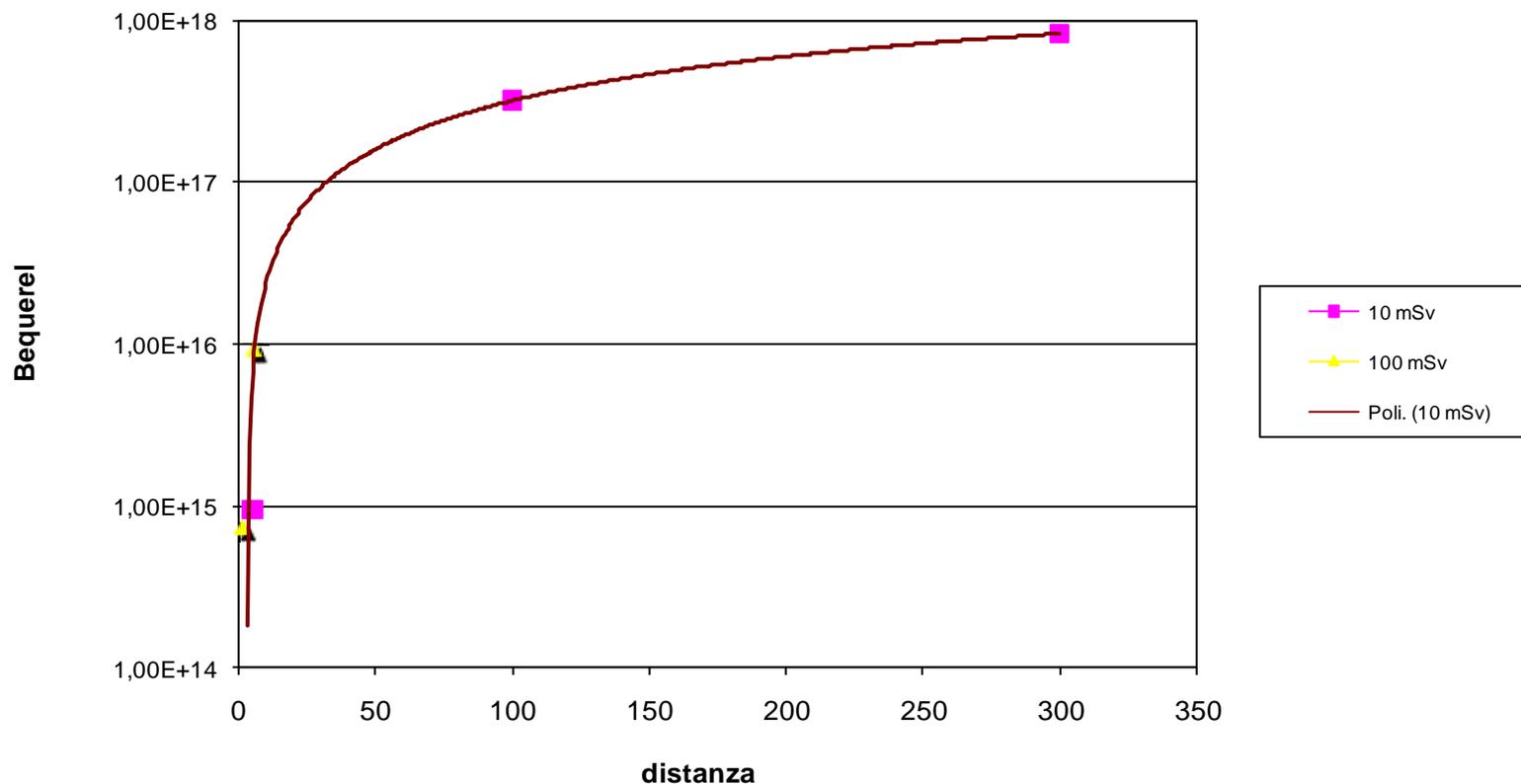
Iodio 131, Stronzio 90, Cesio 134, Tellurio 132 e Cerio 144.



Il trasporto dei contaminanti radioattivi

Valutazioni effettuate in Germania (I131 – rilascio immediato – deposizione secca)

I131 - Rilasci necessari per dar luogo a dosi di 10 mSv



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il trasporto dei contaminanti radioattivi

Termine di sorgente St Alban

Radioisotopo	Rilascio (Bq)	Rateo (Bq/sec) 2 ore
Cs 137	2.10E+16	2.92E+12
I 131	3.10E+17	4.31E+13
Cs 134	3.70E+16	5.14E+12
Ce 144	2.20E+15	3.06E+11
Te 132	2.90E+17	4.03E+13
Sr 89	5.40E+16	7.50E+12
Sr 90	2.50E+15	3.47E+11
Ru 103	2.80E+15	3.89E+11
Ru 106	7.35E+14	1.02E+11
Xe 133	8.20E+18	1.14E+15
Kr 88	1.00E+18	1.39E+14

Il livello della scala MES



Il trasporto dei contaminanti radioattivi

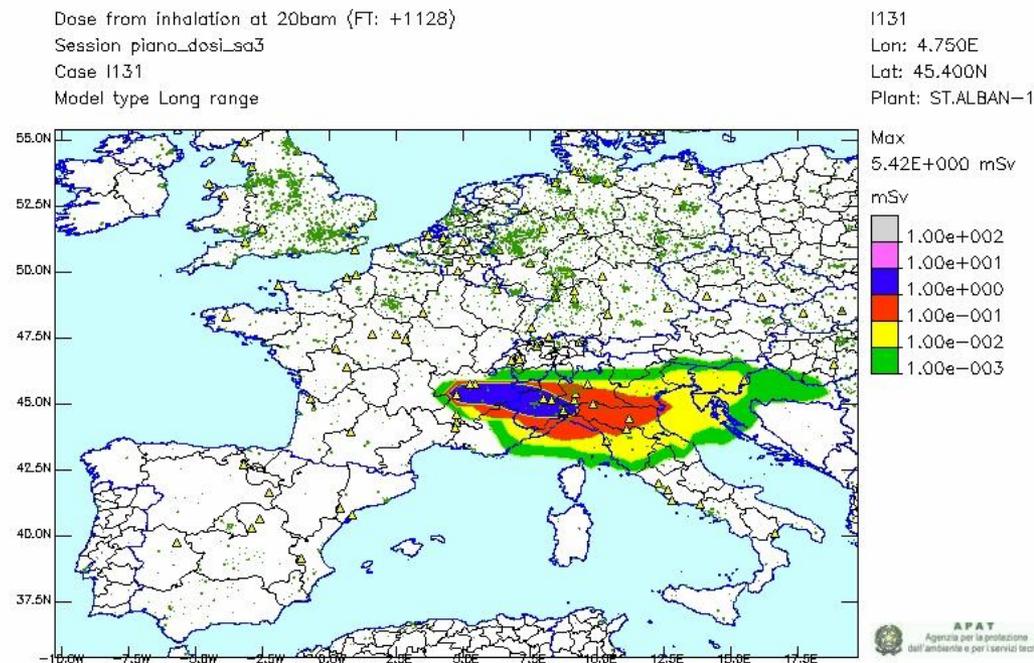
Per le simulazioni è stato utilizzato il codice Apollo del sistema ARIES (Accidental Release Impact Evaluation System), che è il sistema di calcolo adottato a livello nazionale per la valutazione della dispersione atmosferica a lunga distanza di inquinanti stabili o con decadimento rilasciati da sorgenti puntiformi.

Il sistema è operativo presso il Centro di Emergenza dell'ISPRA. ARIES è stato utilizzato ipotizzando **condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli, individuate sulla base di effettive situazioni atmosferiche verificatesi nell'arco di qualche anno.**



Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

St Alban - Dosi efficaci da inalazione di Iodio 131 dopo 48 ore – Gruppo di popolazione dei bambini



Intervallo di dose mSv	Territorio impegnato nel caso di incidente alla centrale di St. Alban
1 < dose < Val. max	(1 - 3,5) Piemonte, Valle d'Aosta, aree delle regioni Lombardia e Liguria
0,1 – 1	Gran parte del Nord Italia

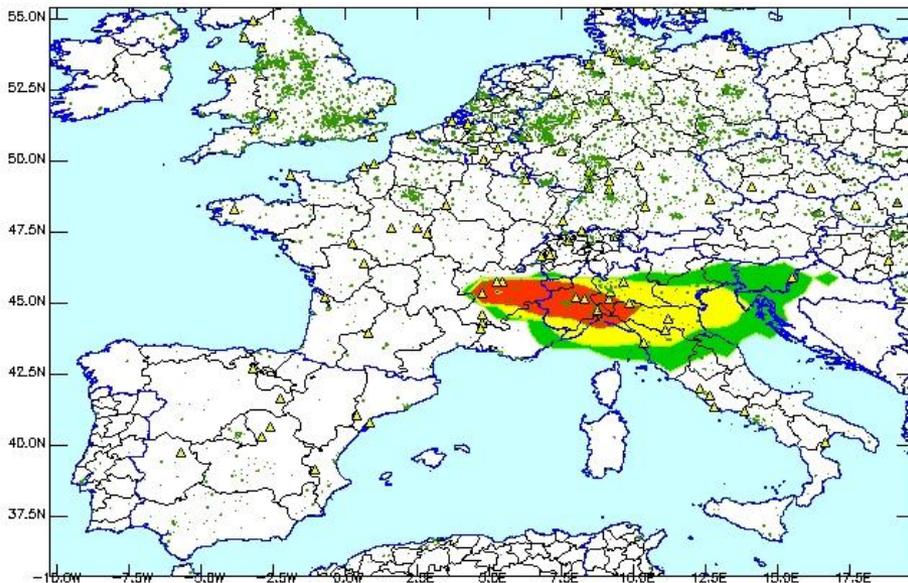
Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

St Alban - Dosi equivalenti alla tiroide da inalazione di I131 dopo 48 ore – Gruppo di popolazione dei bambini

Dose from inhalation at 20bam (FT: +1488)
Session 200603311427
Case I131
Model type Long range

I131
Lon: 4.750E
Lat: 45.400N
Plant: ST.ALBAN-1

Max
1.06E+002 mSv
mSv
1.00e+002
1.00e+001
1.00e+000
1.00e-001



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

Intervallo di dose mSv	Territorio impegnato nel caso di incidente alla centrale di St. Alban
10 < dose < val. max	(10-70) Piemonte, Valle d'Aosta, aree Liguria, Lombardia, E. Romagna



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Krsko



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

trasporto dei contaminanti radioattivi

Termine di sorgente Krsko

Fattore riduttivo dovuto alla
diversa potenza termica
rispetto a St. Alban pari a

0,48

7° livello della scala INES



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

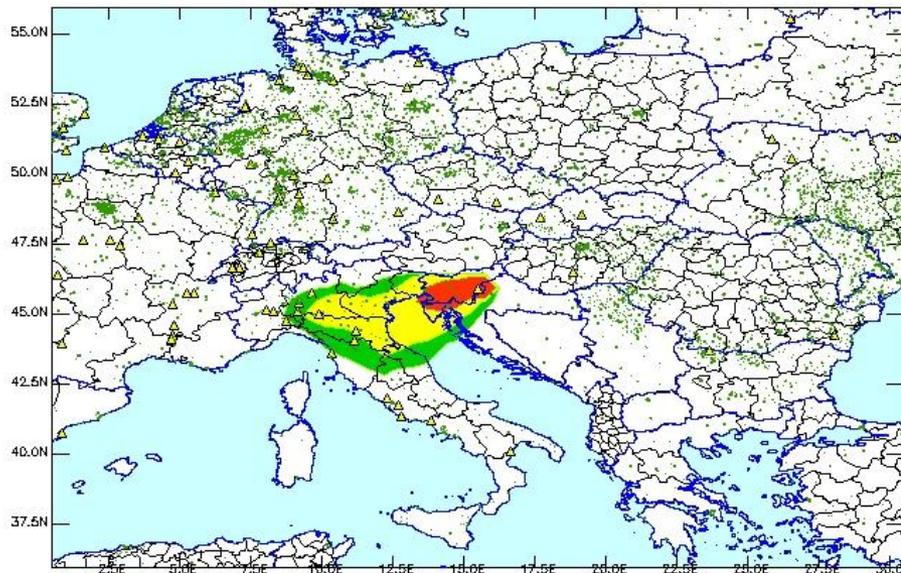
Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

Krško - Dosi efficaci da inalazione di Iodio 131 dopo 48 h - Gruppo di popolazione dei bambini

Dose from inhalation at 20bam {FT: +1128}
Session Piano_dosi_k3
Case I131
Model type Long range

I131
Lon: 15.483E
Lat: 45.967N
Plant: KRSKO

Max
4.91E+000 mSv
mSv
1.00e+001
1.00e+000
1.00e-001
1.00e-002



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

Intervallo di dose	Territorio impegnato nel caso di incidente alla centrale di Krško
$1 < \text{dose} < \text{Val. max}$	(1 -1,5) Aree limitate del Friuli Venezia Giulia
0,1 – 1	Regioni del Nord- Est ed Emilia Romagna



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

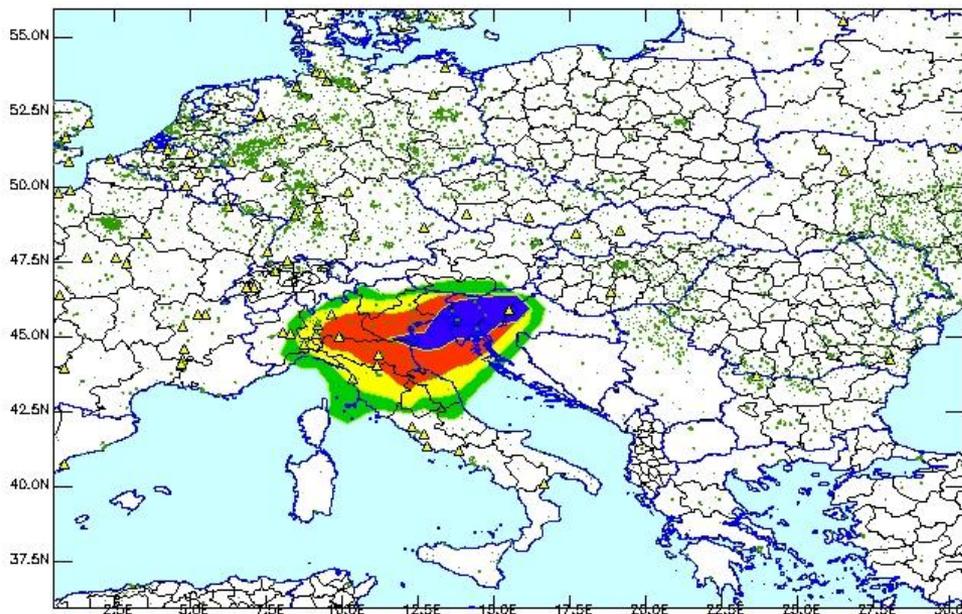
Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

Krško - Dosi equivalenti alla tiroide da inalazione di Iodio 131 dopo 48 ore - Gruppo di popolazione dei bambini

Dose from inhalation at 20bam (FT: +1488)
Session Piano_dosi_k3
Case I131
Model type Long range

I131
Lon: 15.483E
Lat: 45.967N
Plant: KRSKO

Max
9.56E+001 mSv
mSv
1.00e+001
1.00e+000
1.00e-001
1.00e-002



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

Intervallo di dose	Territorio impegnato nel caso di incidente alla centrale di Krško
10 < dose < val. max	(10-27) Aree delle regioni in prossimità del confine di nord-est



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

Contributi alla dose efficace dalle diverse vie di esposizione

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

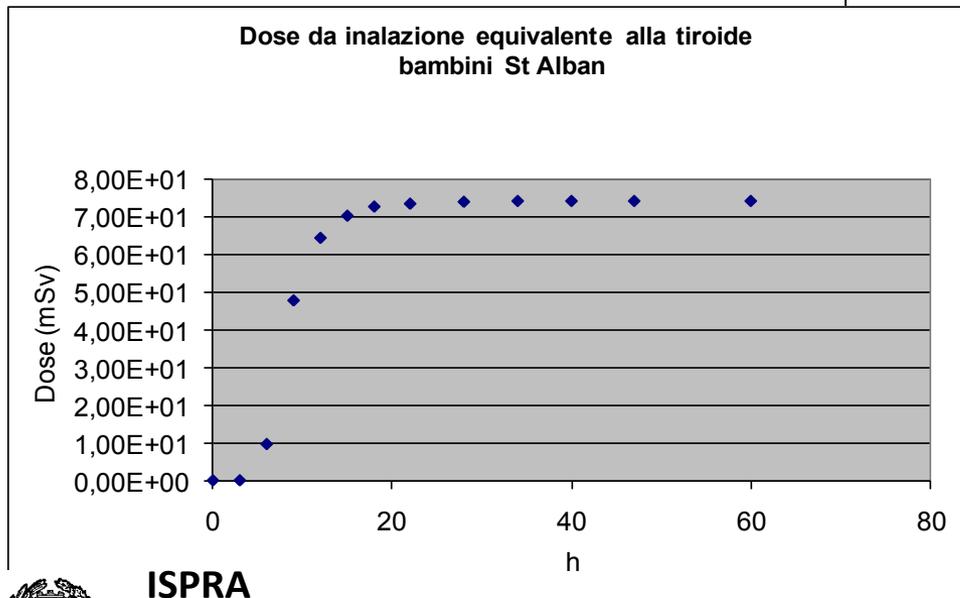
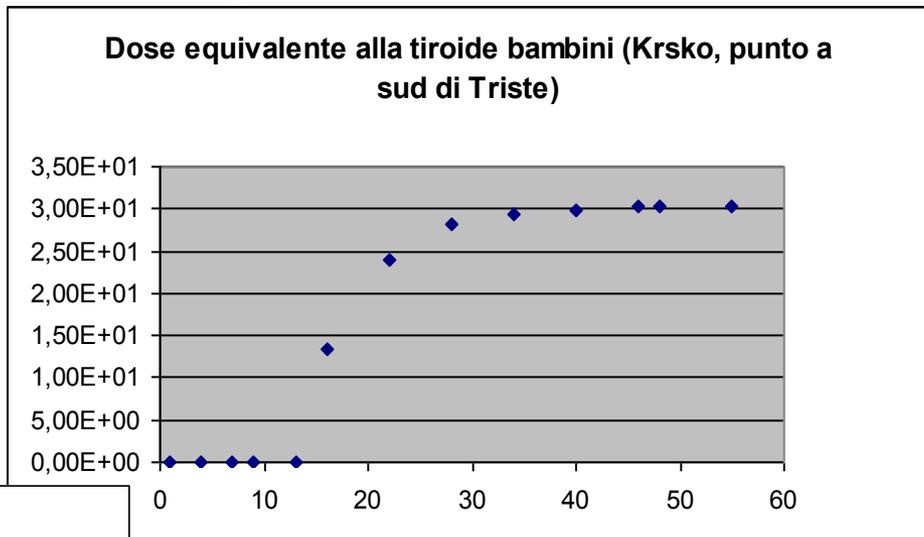


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

Andamento temporale delle dosi

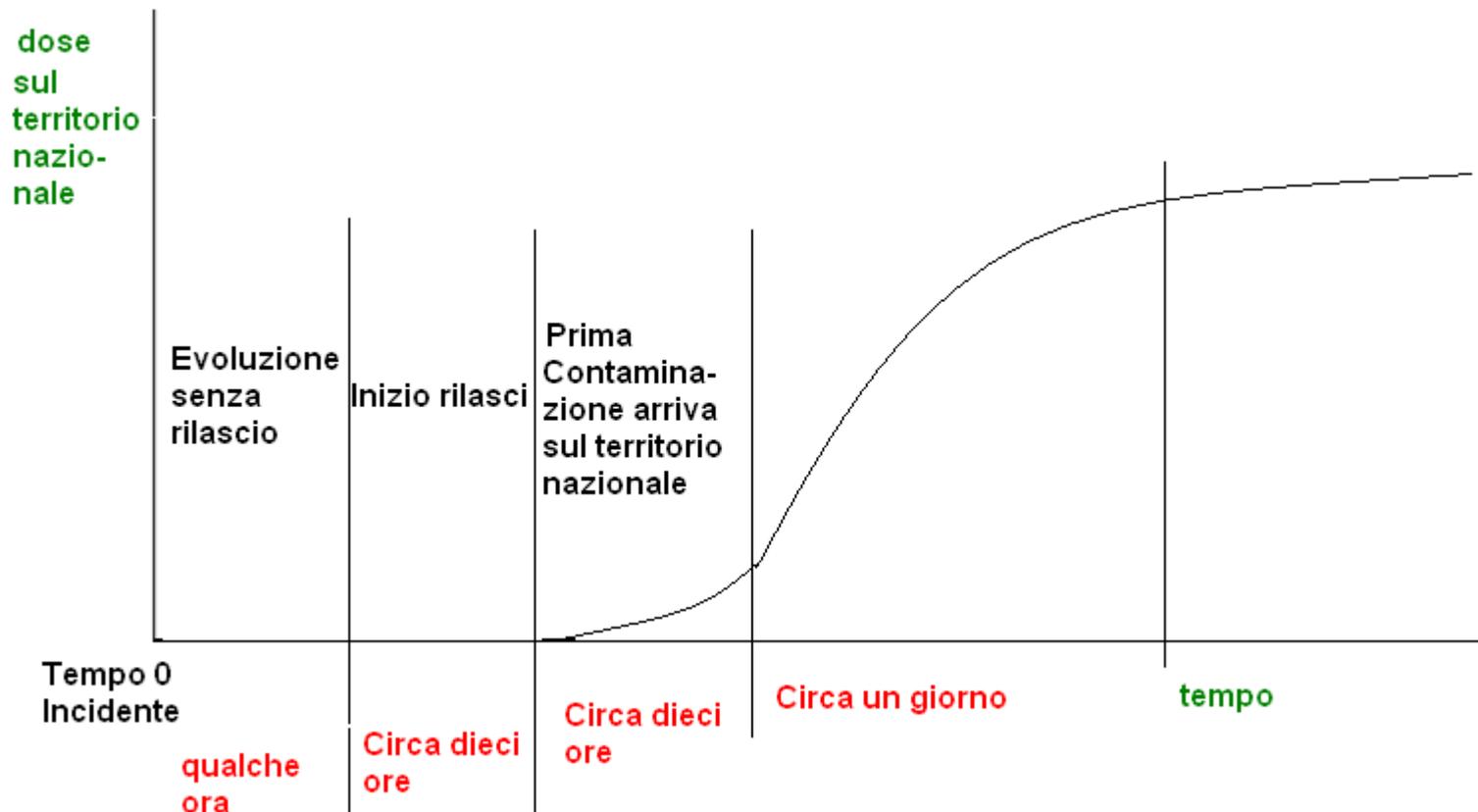


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

Andamento temporale delle dosi



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

Le dosi calcolate risultano quindi evitabili mediante l'adozione di contromisure, per la loro natura e per la loro tempistica, ed i loro valori massimi 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 di riparo al chiuso e iodiofilassi.

Tabella A3.1. Livelli di intervento di emergenza per l'adozione di misure protettive (D.Lgs. 241/00)

Azione protettiva	Livelli di intervento (mSv)	
Riparo al chiuso	da alcune unità ad alcune decine	(dose efficace)
Somministrazione di Iodio stabile	da alcune decine ad alcune centinaia	(dose equivalente)
Evacuazione	da alcune decine ad alcune centinaia	(dose efficace)



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Il trasporto dei contaminanti radioattivi e le conseguenze radiologiche in Italia

I valori di **deposizione al suolo** richiedono attenzione ai fini dei controlli radiometrici di medio - lungo termine da effettuarsi sulle matrici alimentari ed ambientali.

RADIO NUCLIDI	Deposizione al suolo valori massimi Bq/mq
I 131	$10^5 - 10^6$
Sr 90	$10^3 - 10^4$
Cs 134	$10^5 - 10^6$
Cs 137	$10^4 - 10^5$
Te 132	$10^5 - 10^6$
Ce 144	$10^3 - 10^4$



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Considerazioni operative utili per il Piano

1/5

- I radionuclidi che contribuiscono maggiormente sono lo **I-131** e il **Te-132**
- Il contributo dominante alla dose proviene dall'**inalazione**
- La dose nube rimane **invariata per tempi maggiori alle 48 ore**
- I valori massimi delle dosi risultano, per i due casi analizzati, dello **stesso ordine di grandezza**. Nel caso di St Alban vengono interessate aree più ampie.



Considerazioni operative utili per il Piano

2/5

- Per le aree delle regioni del nord e del centro nord (più prossime all'impianto) risultano:
 - ✓ dosi efficaci da inalazione: alcune unità di mSv
 - ✓ dose equivalente alla tiroide: decine di mSv (max 70 mSv- gruppo di popolazione dei bambini).
- La deposizione al suolo di radionuclidi raggiunge valori di 10^6 Bq/m², tali da richiedere il **controllo di matrici ambientali ed alimentari** su estese aree del territorio nazionale.



Considerazioni operative utili per il Piano

3/5

Le stime delle conseguenze radiologiche associate a tali situazioni suggeriscono l'opportunità di prendere in considerazione, per particolari gruppi di popolazione (ad es. bambini e lattanti) in aree del Nord e Centro Nord d'Italia:

- l'eventuale adozione di una misura protettiva di **riparo al chiuso**;
- la previsione della disponibilità e delle modalità di **distribuzione di Iodio stabile**.



Considerazioni operative utili per il Piano

4/5

In relazione a detti provvedimenti, la pianificazione potrà prevedere le predisposizioni per la relativa attuazione. La pianificazione di dette azioni rende disponibile **un ampio margine**, in termini di dosi evitabili, **per tener conto delle incertezze e di scenari ancor più gravosi**.

A fronte di un ipotetico evento reale essi dovrebbero comunque essere **attuati soltanto** qualora **sulla base delle informazioni sull'evento** se ne ravvisasse l'effettiva necessità.



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Considerazioni operative utili per il Piano

5/5

Si sta procedendo a rafforzare i collegamenti con i paesi limitrofi (**allarme pronto, determinazione entità evento**),

È opportuno un continuo aggiornamento delle capacità previsionali sull'evoluzione dell'evento in modo che le azioni siano adeguate e pronte (**capacità di prevedere le tempistiche e le aree interessate sulla base della conoscenza di elementi chiave sullo stato dell'impianto**),

È opportuno prevedere capacità di monitoraggio radiometrico su estese aree del territorio nazionale (**conferma delle aree interessate**).



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

**Grazie per
l'attenzione**

