



15. RISCHIO RADIAZIONI IONIZZANTI

Il trasporto delle materie radioattive è un'attività funzionale all'uso di tali materie nei diversi campi dell'attività industriale, sanitaria e di ricerca scientifica, nonché allo sfruttamento delle proprietà delle materie fissili ai fini della produzione di energia da fonte nucleare. Questa attività rientra nel più vasto campo del trasporto delle "merci pericolose" come definite in ambito internazionale "Recommendations on the Transport of Dangerous Goods" ovvero il "Orange Book" delle Nazioni Unite. Le materie radioattive costituiscono la Classe 7 di tali merci pericolose.

Importante è ricordare:

- la natura
- le caratteristiche
- le conseguenze di un incidente di trasporto coinvolgente materiale radioattivo dipendono principalmente da:
 - tipo di collo;
 - forma chimica e fisica del materiale;
 - radiotossicità e attività totale del materiale trasportato;
 - tipologia di trasporto;
 - effetti dell'incidente sull'integrità del collo;
 - altri fattori, quali ogni altra caratteristica di pericolosità dei contenuti, la localizzazione dell'incidente, le condizioni atmosferiche.

Quindi:

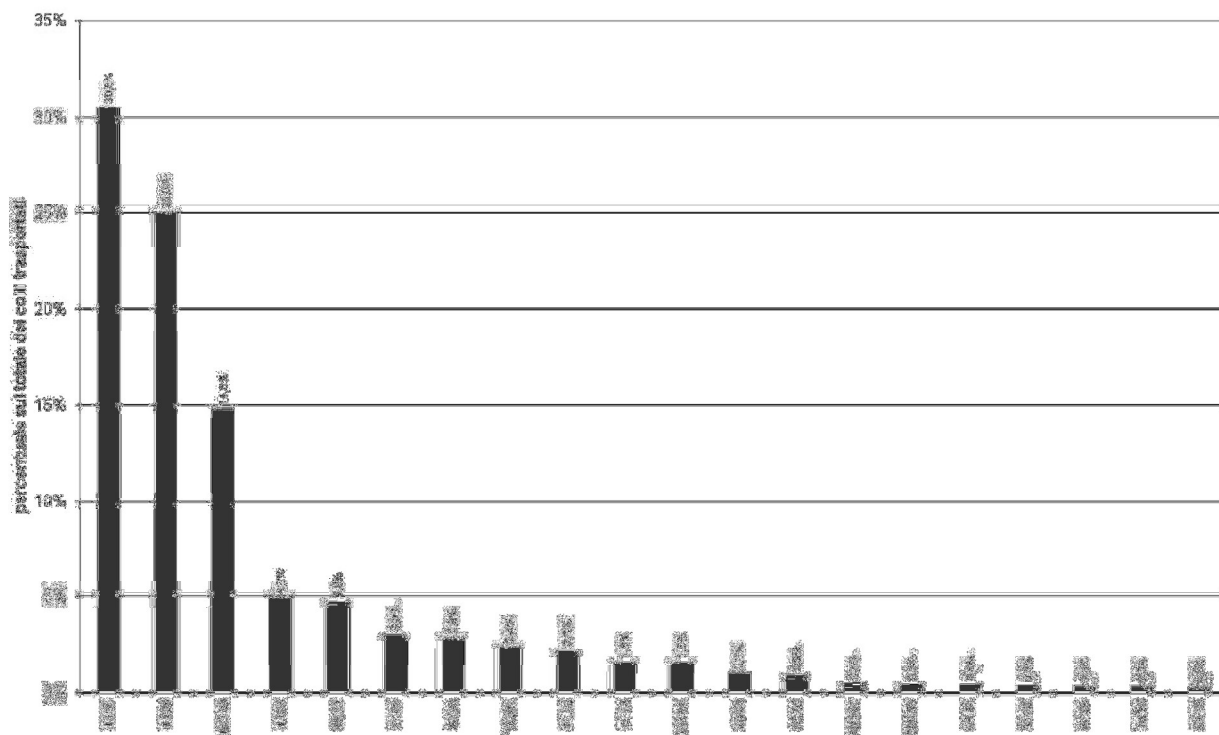
a) trasporto di:

- materiali radioattivi contenenti radionuclidi la cui attività specifica o totale supera i valori della Tavola I, sezione IV della Regolamentazione IAEA per il trasporto di materiali radioattivi – ANPA – Roma 1999, traduzione del volume Regulations for the Safe Transport of Radioactive Safety Standard Series No. ST-1 – IAEA – Vienna 1996);
- trasporti soggetti a comunicazione preventiva;
- materie fissili in qualsiasi quantità.

b) in tutti i casi di eventi incidentali in cui la squadra di primo intervento (VV.F., Trasportatore, Polizia Stradale,.....), rilevi un incendio che coinvolga il vettore, o dove vi sia evidenza di dispersione di materiale radioattivo.

15.1 CARATTERISTICHE DELLE MATERIE RADIOATTIVE TRASPORTATE

L'elaborazione dei dati sul tipo di materie radioattive trasportate, con tutte le tipologie di colli, conferma che la maggior parte di essi contiene radionuclidi utilizzati in campo medico. Il grafico della Figura 14 indica, in percentuale sul totale dei colli, i 20 radionuclidi più frequentemente trasportati nel triennio 2005 - 2007. Il numero di colli che contengono i primi 20 radionuclidi rappresenta il 98% del totale dei colli trasportati. Si noti come il contenuto del 70% dei colli trasportati è costituito solamente dai primi tre radionuclidi 131I, 125I e 99Mo. Negli ultimi anni, si rileva altresì un incremento di trasporto di 18F dovuto all'utilizzo del radioisotopo in ambito diagnostico [(In vivo viene usato per la visualizzazione scintigrafica in campo oncologico, cardiologico (metabolismo cardiaco, del flusso coronario, etc.) e neurologico (diagnosi Alzheimer, epilessia, lesioni cerebrali traumatiche, etc.). Tempo di dimezzamento: 110 min..



I 20 radionuclidi più trasportati in rapporto percentuale al totale dei colli trasportati:
il dato è mediato per gli anni 2005, 2006 e 2007. Fonte ISPRA

15.2 TIPI DI COLLO

I dati riportati in tabella 4, relativi all'anno 2007 (fonte ISPRA), evidenziano che la maggior parte dei colli trasportati, circa il 98% su un totale di 292.000, riguarda colli esenti e colli di tipo A. I colli di Tipo A rappresentano il 40,7% del totale dei colli trasportati, pari a circa 119.000 colli e sono in gran parte utilizzati per il trasporto di sorgenti radioattive per uso medico ed in qualche caso per uso industriale. Sia i colli di Tipo A che i colli esenti sono caratterizzati dalla limitata attività che è possibile trasportare in relazione alla forma fisica della materia radioattiva. I colli di Tipo B rappresentano il 2,8% del totale dei colli trasportati, pari a 8176 colli e sono costituiti in gran parte da apparecchiature, contenenti sorgenti radioattive in forma speciale, per l'esecuzione di gammagrafie in campo aperto nei cantieri di costruzione. C'è da considerare che, nel numero totale dei colli di tipo B trasportati, sono comprese le spedizioni di una stessa apparecchiatura per gammagrafia, movimentata dalla sede della società operante nel settore dei controlli non distruttivi, al cantiere di lavoro e viceversa. Le sorgenti in forma speciale utilizzate in questo tipo di apparecchiature, certificate come colli di tipo B, contengono radionuclidi quali ^{192}Ir , ^{137}Cs , ^{75}Se e ^{169}Yb .

TIPO DI COLLO	NUMERO DI COLLI	% SUL TOTALE
Collo esente	164688	56,4
Tipo A	118844	40,7
Collo industriale	292	0,1
Tipo B	8176	2,8

Totale colli trasportati **292000**

Le norme tecniche, che stabiliscono l'insieme delle disposizioni e dei requisiti di sicurezza applicabili al trasporto internazionale delle materie radioattive, sono contenute nella "Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material" TS-R-I pubblicata dall'Agenzia Internazionale dell'Energia Atomica (IAEA) di Vienna.



In virtù di accordi e/o convenzioni internazionali tale regolamentazione è stata adottata per la classe 7, al fine di stabilire standard e requisiti di sicurezza per il trasporto delle merci pericolose per ciascuna modalità di trasporto (strada – ADR, ferrovia – RID, mare – IMDG, acque interne – ADN, aereo – DGR). Le suddette normative richiedono che il trasporto delle materie radioattive sia effettuato utilizzando contenitori adeguati, alla quantità, all'attività e allo stato fisico e chimico del contenuto, oltre che ad eventuali proprietà fissili. La regolamentazione IAEA definisce una diversa tipologia di collo (imballaggio + contenuto radioattivo) in relazione alle caratteristiche della sostanza che viene trasportata. Le tipologie e le caratteristiche degli imballaggi utilizzati nelle attività di trasporto sono: colli esenti, imballaggi industriali, colli di tipo A, di Tipo B e di Tipo C. L'imballaggio deve rispettare specifici limiti in termini di capacità di schermaggio delle radiazioni e di rilascio dei contenuti radioattivi, tali da garantire un limitato impatto radiologico già nelle immediate vicinanze dal punto dell'incidente. La tabella che segue, riporta le più comuni tipologie di imballaggi con l'indicazione dei limiti di attività ammessi e delle prove di qualificazione previste.

Categorie del collo	Limiti di attività per contenuti	
	Forma speciale	Altre forme
Esente	10-3 A1	10-3 A2

Non sono richieste prove di qualificazione, ma il rispetto di requisiti generali tali da assicurare un livello di dose massima sulla superficie del collo di 5 μ Sv/h

Industriale	= =	2×10^{-3} A2/g l'attività totale per collo o collezione di colli è limitata dal massimo livello di radiazione (< 10 mSv/h a 3 m dal materiale non schermato)
Tipo A	A1	A2

Non sono progettati per resistere agli incidenti gravi, ma devono resistere a piccoli incidenti che si verificano durante le operazioni di carico, scarico e magazzinaggio. Le prove cui devono resistere sono:

- esposizione ad una violenta pioggia (5 cm/h per 1 h);
- caduta su bersaglio rigido da un'altezza dipendente dalla massa del collo (max. 1,2 m);
- compressione con una massa pari a 5 volte la massa del collo;
- penetrazione attraverso la caduta di una barra standard di acciaio sul collo dall'altezza di 1 m.

A seguito delle prove non ci deve essere fuoriuscita del contenuto e l'aumento del livello di dose sulla superficie del collo deve essere minore del 20%.

Tipo B e Fissile	> A1 fino all'attività massima consentita dal certificato di approvazione di modello di collo	> A2 fino all'attività massima consentita dal certificato di approvazione di modello di collo
------------------	--	--

Sono progettati per mantenere le funzioni di contenimento, schermaggio e, per i materiali fissili, di sotto-criticità in condizioni di incidente molto severo. Queste condizioni di incidente sono rappresentate dalle seguenti prove:

- caduta su bersaglio rigido da un'altezza di 9 m;
- caduta da 1 m su punzone in acciaio;



- fuoco con temperatura di fiamma di 800 °C per ½ h;
- immersione a profondità di 15 m d'acqua per 8 h (200 m per combustibile irraggiato, ma in questo caso la durata è di 1 h).

A seguito delle prove il collo deve mantenere una capacità di schermaggio tale da assicurare un valore di dose non superiore a 10 mSv/h ad 1 m dalla superficie ed una perdita dei contenuti inferiore a 10 A2 per 85Kr ed inferiore ad A2 in una settimana per tutti gli altri radionuclidi.

Tipo C (trasporto aereo)	3000 A1 fino all'attività massima consentita dal certificato di approvazione del modello di collo	3000 A2 fino all'attività massima consentita dal certificato di approvazione del modello di collo
------------------------------------	---	--

Sono progettati per mantenere le funzioni di contenimento, schermaggio e, per i materiali fissili, di sotto-criticità in condizioni di incidente aereo molto severo. Queste condizioni di incidente sono rappresentate dalle seguenti prove:

- caduta su bersaglio rigido da un'altezza di 9 m;
- caduta da 3 m su punzone in acciaio;
- fuoco con temperatura di fiamma di 800 °C per 1 h;
- immersione a profondità di 200 m per 1 h.

A seguito delle prove il collo deve mantenere una capacità di schermaggio tale da assicurare un valore di dose non superiore a 10 mSv/h ad 1 m dalla superficie ed una perdita dei contenuti inferiore a 10 A2 per 85Kr ed inferiore ad A2 in una settimana per tutti gli altri radionuclidi.

15.2.1 COLLI ESENTI

I colli esenti possono contenere solo piccole quantità di materie radioattive e pertanto gli incidenti di trasporto che li coinvolgono avranno conseguenze radiologiche tali da non richiedere speciali misure protettive; saranno tuttavia possibili episodi di contaminazione. I limiti di attività per colli esenti non possono superare i valori della Tavola III, sezione IV della Regolamentazione IAEA per il trasporto di materiali radioattivi.



Tipo di collo	Numero ONU	Contenuto tipico	Massima attività o livello di contaminazione del collo	Massimi livelli di radiazione ammissibili	
				Collo integro	Collo danneggiato
Collo esente - imballaggio vuoto	2908	Imballaggio vuoto con limitata contaminazione residua dotato di un idoneo sistema di contenimento	$< 400 \text{ Bq/cm}^2$ emettitori beta, gamma e alfa a bassa tossicità $< 40 \text{ Bq/cm}^2$ altri alfa emettitori	$< 5 \mu\text{Sv/h}$ alla superficie del collo	Non specificato
Collo esente - quantità limitate di materiale radioattivo	2910	Quantità estremamente basse di materiale radioattivo	$< 10^{-3} \text{ A}_1$ (solidi in forma speciale e gas) $< 10^{-3} \text{ A}_2$ (altri solidi e gas) $< 10^{-4} \text{ A}_2$ (liquidi) $< 2 \times 10^{-2} \text{ A}_2$ (H-3, gas)		
Collo esente - strumenti, articoli e manufatti	2909	Materiali radioattivi, colli esenti - articoli fabbricati con Uranio naturale o Uranio impoverito o Torio naturale	$< \text{A}_1$ (solidi in forma speciale) $< \text{A}_2$ (altri solidi) $< 10^{-1} \text{ A}_2$ (liquidi) $< 10^{-2} \text{ A}_1$ (gas in forma speciale) $< 10^{-2} \text{ A}_2$ (altri gas) $< 2 \times 10^{-2} \text{ A}_2$ (H-3 gas)		$< 0,1 \text{ mSv/h}$ a 10 cm dalla superficie esterna di ogni strumento o articolo non imballato
Collo esente - strumenti, articoli	2911	Materiali radioattivi, colli esenti - strumenti o articoli			

15.2.2 COLLI INDUSTRIALI

I colli industriali (di tipo IP-1, IP-2 e IP-3) possono contenere quantità di materiali a debole attività specifica (LSA) e di oggetti contaminati superficialmente (SCO) tali che il livello di radiazioni a 3 m da materiali o

oggetti non schermati sia inferiore a 10 mSv/h. In caso di perdita di contenimento, in prossimità del luogo dell'incidente possono essere necessarie misure protettive per limitare l'esposizione esterna ed interna. E' anche possibile la contaminazione dell'ambiente circostante. I limiti di attività per colli industriali non possono superare i valori della Tavola V, sezione V della Regolamentazione IAEA per il trasporto di materiali radioattivi:

Tipo di collo	Numero ONU	Contenuto tipico	Massima attività o livello di contaminazione del collo	Massimi livelli di radiazione ammissibili	
				Collo integro	Collo danneggiato
Collo industriale tipo IP-1	2912 2913 3326	LSA-I minerali e concentrati di uranio e torio, uranio naturale non irraggiato, uranio impoverito	Limitata dal livello di radiazione a 3 m dalla superficie del materiale non schermato, dell'oggetto o dell'insieme di oggetti (p. 411, 521)	I-BIANCA: < 0,005 mSv/h alla superficie del collo	10 mSv/h a 3 m dalla superficie del materiale non schermato, dell'oggetto o dell'insieme di oggetti
		LSA-I liquidi, LSA-II e LSA-III solidi non combustibili		II-GIALLA: < 0,5 mSv/h alla superficie del collo < 0,01 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo III-GIALLA: < 0,5 mSv/h alla superficie del collo < 0,01 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo III-GIALLA in uso esclusivo: < 10 mSv/h alla superficie del collo > 0,1 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo (p. 533)	
Collo industriale tipo IP-2 e IP-3	2912 3321 3322 3324 3325	LSA-I liquidi, LSA-II e LSA-III solidi non combustibili	Limitata dal livello di radiazione a 3 m dalla superficie del materiale non schermato, dell'oggetto o dell'insieme di oggetti (p. 411, 521) e non superiore ai valori della Tavola V, sezione V (p. 525)		
Collo industriale tipo IP-1, IP-2 e IP-3	2912 2913 3321 3322 3324 3325 3326	LSA-I liquidi, LSA-II e LSA-III liquidi, gassosi e solidi combustibili, SCO-I, SCO-II			

15.2.3 COLLI DI TIPO A

I colli di tipo A sono costruiti per garantire che, in caso di incidente con rilascio di materiale radioattivo o di perdita di schermatura, una persona priva di mezzi di protezione che sostenga per meno di 30 minuti ad 1



metro dal collo danneggiato non riceva una dose superiore a 50 mSv (questa dose è considerata accettabile in situazione incidentale sia per i lavoratori che per gli individui della popolazione). I limiti di attività per colli di tipo A non possono superare i valori A1 o A2 della Tavola I, sezione IV della Regolamentazione IAEA per il trasporto di materiali radioattivi:

Tipo di collo	Numero ONU	Contenuto tipico	Massima attività o livello di contaminazione del collo	Massimi livelli di radiazione ammissibili	
				Collo integro	Collo danneggiato
Tipo A	2915 3332 3327 3333	radiofarmaci; rifiuti radioattivi LLW	< A ₁ se in forma speciale < A ₂ se non in forma speciale, non fissile o fissile esente ^b	I-BIANCA: < 0,005 mSv/h alla superficie del collo	< 20% di incremento rispetto alle normali condizioni di trasporto < 100 mSv/h a 1 m se il contenuto è fuoriuscito dal collo
				II-GIALLA: < 0,5 mSv/h alla superficie del collo	
				< 0,01 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo	
				III-GIALLA: < 2 mSv/h alla superficie del collo	
				< 0,1 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo	
				III-GIALLA in uso esclusivo: < 10 mSv/h alla superficie del collo > 0,1 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo	

b. L'espressione « fissile esente » è rapportato unicamente alle materie esenti in virtù del paragrafo n. 417 del Règlement de transport des matières radioactives – IAEA Édition de 2012

15.2.4 COLLI DI TIPO B E C

I colli di tipo B e di tipo C sono costruiti per garantire quantità molto elevate di materie radioattive. I contenitori siano progettati per resistere ad incidenti anche gravi, con conseguenze radiologiche limitate. E' tuttavia possibile ipotizzare, per condizioni incidentali particolarmente gravose, un impatto radiologico di maggiore entità nella zona intorno all'incidente ed è perciò necessario avere una rapida valutazione dei livelli di esposizione e di contaminazione al fine di disporre i provvedimenti del caso. I limiti di attività per colli di tipo B e C superano i valori A1 e A2 della Tavola I, sezione IV della Regolamentazione IAEA per il trasporto di materiali radioattivi e non possono superare i valori previsti dal certificato di approvazione del modello di collo

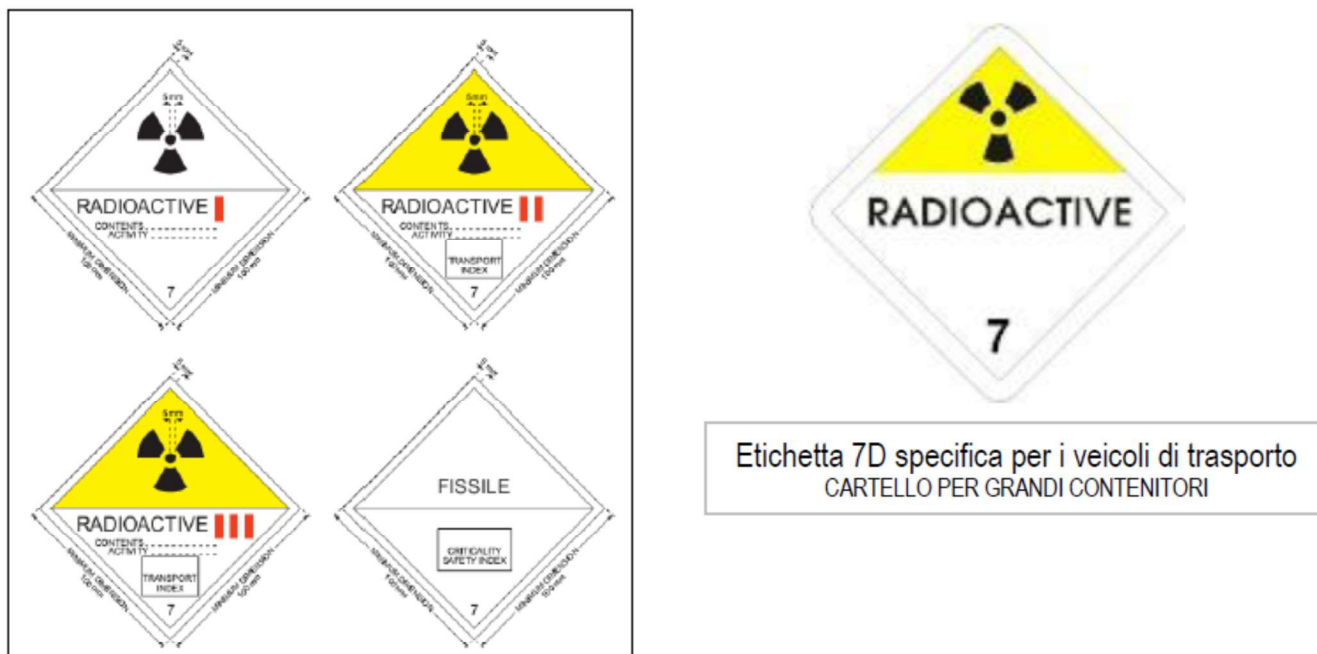
Tipo di collo	Numero ONU	Contenuto tipico	Massima attività o livello di contaminazione del collo	Massimi livelli di radiazione ammissibili	
				Collo integro	Collo danneggiato
Tipo B	2916 2917 3328 3329	Quantità di materiali radioattivi superiori a quelle consentite per colli industriali o di tipo A; combustibile nucleare irraggiato; rifiuti radioattivi HLW; sorgenti ad alta attività (Co-60, Ir-192); Pu-239	Limitata dal certificato di approvazione del modello di collo (p. 415). Se trasportato per via aerea e non qualificato come materiale a bassa dispersività: < 3000 A ₁ o 100000 A ₂ se in forma speciale < 3000 A ₂ se non in forma speciale (p. 416)	I-BIANCA: < 0,005 mSv/h alla superficie del collo II-GIALLA: < 0,5 mSv/h alla superficie del collo < 0,01 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo III-GIALLA: < 2 mSv/h alla superficie del collo < 0,1 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo	< 20% di incremento rispetto alle normali condizioni di trasporto (p. 646b) < 10 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo danneggiato (p. 656b)
Tipo C (solo per trasporto aereo)	3323 3330	Quantità di materiali radioattivi superiori a quelle consentite per colli industriali, di tipo A o di Tipo B	Limitata dal certificato di approvazione del modello di collo (p. 415).	III-GIALLA in uso esclusivo: < 10 mSv/h alla superficie del collo > 0,1 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo (p. 533)	< 20% di incremento rispetto alle normali condizioni di trasporto (p. 646b) < 10 mSv/h a 1 m dalla superficie del collo danneggiato (p. 656b, 669b)

15.2.5 COLLI CONTENENTI MATERIE FISSILI

Questi colli possono trasportare combustibile nucleare irraggiato, combustibile nucleare non irraggiato o altro materiale fissile. Il combustibile nucleare irraggiato non è oggetto di questa pianificazione poiché per lo stesso è previsto un piano di emergenza specifico ai sensi del punto 3.3 del già citato D.P.C.M. 10 febbraio 2006 Linee guida per la pianificazione di emergenza per il trasporto di materie radioattive e fissili, in attuazione dell'articolo 125 del Decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230 e successive modificazioni ed integrazioni. Le conseguenze radiologiche dell'incidente sono funzione delle caratteristiche e della quantità del materiale trasportato nonché delle condizioni incidentali. Sono pertanto ipotizzabili tutti gli scenari descritti nei casi precedenti. I limiti di attività per colli contenenti materie fissili non possono superare i valori previsti dal certificato di approvazione del modello di collo. I colli contenenti materiale fissile devono comunque soddisfare i requisiti del modello per il tipo di collo necessario alla radioattività del materiale fissile (tipo IP-2, IP-3, A, B o C).

15.3 FORMA CHIMICA E FISICA DEL MATERIALE

Il materiale trasportato può essere in forma non disperdibile (sorgenti sigillate, solidi, oggetti contaminati) o disperdibile (liquidi, polveri, gas, sorgenti non sigillate). **Le etichette per il riconoscimento del materiale sono:**







- Il materiale in forma non disperdibile:
 - non provoca la contaminazione di persone, veicoli, superfici, suolo ed aria;
 - può dare origine ad elevati livelli di irraggiamento;
 - in presenza di incendio prolungato le sue caratteristiche possono degradarsi originando contaminazione.
- Il materiale in forma disperdibile:
 - può provocare la contaminazione di persone, veicoli, superfici, suolo, aria, alimenti ed acqua potabile;
 - può dare origine ad elevati livelli di irraggiamento;
 - può essere associato a rischi aggiuntivi quali corrosione, ossidazione e infiammabilità.

15.3.1 RADIOTOSSICITÀ E ATTIVITÀ TOTALE DEL MATERIALE TRASPORTATO

La radiotossicità del materiale influenza le conseguenze radiologiche sulle persone in caso di inalazione e/o ingestione; è pertanto importante in caso di materiale in forma disperdibile e in caso di incendio.

L'attività totale influenza le conseguenze radiologiche sia in presenza di materiale in forma disperdibile (contaminazione) che presenza di materiale in forma non disperdibile (irraggiamento).

CATEGORIE DEI COLLI			
Condizioni			
Indice di trasporto (TI) (dose a 1 m)	Massimo livello di radiazione in ogni punto della superficie esterna	Categoria	Etichetta
0 ^a	Non più di 0,005 mSv/h	I - BIANCA	
Maggiore di 0 ma non più di 1 ^a 0 < TI < 1	Maggiore di 0,005 mSv/h, ma non più di 0,5 mSv/h	II - GIALLA	
Maggiore di 1 ma non più di 10 1 < TI < 10	Maggiore di 0,5 mSv/h, ma non più di 2 mSv/h	III - GIALLA	
Maggiore di 10 TI > 10	Maggiore di 2 mSv/h, ma non più di 10 mSv/h	III - GIALLA ^b	

15.4 EFFETTI DELL'INCIDENTE SULL'INTEGRITÀ DEL COLLO

Viene riportata una sintesi del documento ISPRA "Rapporto Tecnico ai sensi del D.P.C.M. 10 febbraio 2006 contenente le Linee guida per la pianificazione di emergenza per il trasporto di materie radioattive e fissili, in attuazione dell'art. 125 del decreto legislativo 17 marzo 1995, n. 230 e s.m.i." – Rev. 1 – Aprile 2009, che costituisce la base tecnica di riferimento per l'elaborazione del piano di emergenza. Le valutazioni svolte nel Rapporto Tecnico di ISPRA tengono conto dei requisiti degli standard della IAEA adottati per il trasporto di materie radioattive. Le prove cui sono sottoposti i contenitori ed i limiti di rilascio identificati da detti standard per le condizioni normali e incidentali costituiscono requisiti stabiliti a livello internazionale ed adottati in ambito nazionale. In particolare, i limiti di rilascio identificati per le condizioni incidentali assicurano che le conseguenze alla popolazione rimangano contenute entro valori che consentono una adeguata gestione dell'emergenza. Sempre nel Rapporto Tecnico di ISPRA sono stati identificati due scenari di riferimento sulla cui base dimensionare la pianificazione dell'emergenza per le diverse modalità di trasporto. **Tali scenari, aventi caratteristiche di inviluppo, sono stati definiti per la modalità di trasporto stradale**, tenendo presenti i dati statistici delle attività di trasporto in ambito nazionale per quanto attiene alla tipologia dei radionuclidi e degli imballaggi trasportati; inoltre, in riferimento alle quantità trasportate, gli scenari tengono conto dei livelli di comunicazione preventiva delle spedizioni stabiliti dall'articolo 8 del D.P.C.M. 10 febbraio 2006. A tal fine, nel contesto dei due scenari, per quanto attiene al tipo di incidente ipotizzato per la stima delle conseguenze radiologiche sulle quali dimensionare le predisposizioni da prevedere nella pianificazione di emergenza, è stato considerato, sempre nel caso di trasporto stradale, un:

- **Impatto lieve** impatto di moderata entità Le conseguenze di tali incidenti sono ovviamente ricomprese nell'ambito di quelle stimate per l'incidente molto grave e ad essi possono applicarsi le medesime predisposizioni per l'emergenza, ovviamente graduate in maniera opportuna, in relazione all'effettiva entità dell'evento. Anche la sosta imprevista nel corso del trasporto, imputabile ad esempio a guasti o blocchi di dimostranti, anche se non possa considerarsi un vero e proprio incidente, rappresenta comunque un elemento di criticità da tenere in debita considerazione soprattutto in caso di trasporto di particolari materie radioattive (come grandi sorgenti di irraggiamento o materie fissili). Per quanto attiene alle quantità delle materie

radioattive, sono individuati due livelli ai quali sono associati due diversi scenari, facendo riferimento a una spedizione con colli di tipo A di materiale in forma non speciale. Può causare quindi solo una limitata perdita di contenimento del collo, con conseguenze radiologiche limitate: livello di rischio basso.

- **Impatto severo** Incidente con un impatto del mezzo di trasporto senza che si sviluppi un incendio o dove l'incendio conseguente non interessi il carico radioattivo. Può causare la perdita di contenimento del collo, con conseguenze radiologiche potenzialmente rilevanti: livello di rischio da medio ad alto.
 - **Incidente grave con incendio prolungato** impatto del mezzo di trasporto con altro mezzo (ad es. una autocisterna trasportante prodotti infiammabili) e successivo sviluppo d'incendio che si prolunga nel tempo e che coinvolge il carico radioattivo. Un incendio prolungato che coinvolga direttamente il collo può causare la perdita del potere schermante e/o una perdita di contenimento del collo stesso, con conseguenze radiologiche potenzialmente rilevanti: livello di rischio da medio ad alto.
 - **Difetto strutturale** del collo potrebbe ridurre la sua resistenza ad eventi esterni rispetto alle caratteristiche di progetto.
 - **fattori di rischio aggiuntivi:**
 - o condizioni meteo (vento e pioggia) che possono influenzare i livelli di deposizione al suolo e la dimensione della zona intorno al luogo dell'incidente interessata dal fenomeno;
 - o veicoli di trasporto utilizzati per le operazioni di soccorso e persone contaminate che, allontanandosi dal luogo dell'incidente, possono diffondere contaminazione.
- In aggiunta al rischio radiologico alcuni materiali presentano ulteriori rischi:
- o combustione spontanea (torio e uranio in forma metallica);
 - o corrosione (nitrato di uranile);
 - o esplosione (gas compressi);
 - o tossicologico.

15.5 SCENARI IPOTIZZATI

15.5.1 INCIDENTE MOLTO GRAVE

incidente molto grave di un mezzo di trasporto (impatto più successivo incendio) con a bordo materie radioattive in forma non speciale, in colli di tipo A, con un quantitativo di radioattività pari a 3 A2 (valore limite di attività complessiva al di sopra del quale è prevista la comunicazione preventiva per i colli di tipo A). Tale scenario si ritiene rappresentativo di spedizioni con:

- imballaggi di tipo A e di tipo B al di sotto dei livelli di comunicazione preventiva;
- imballaggi esenti e di tipo industriale;

Le risultanze delle valutazioni delle conseguenze radiologiche suggeriscono l'opportunità di prendere in considerazione, nell'ambito della pianificazione di emergenza, **l'adozione di una misura protettiva di circa 100 metri dal punto del rilascio. Dovrà essere, altresì, prevista la delimitazione di un'area di esclusione, con conseguente allontanamento delle persone presenti, di un raggio di 50 metri dal punto dell'incidente**, riservata agli interventi di primo soccorso, ai rilevamenti radiometrici ed alle verifiche d'integrità dei contenitori. Sulla base delle stime di ricaduta al suolo dei radionuclidi rilasciati e di contaminazione degli alimenti eventualmente prodotti nelle vicinanze del punto d'incidente, si ritiene inoltre opportuno che si realizzi:

- l'attuazione di un programma di monitoraggio radiometrico su matrici ambientali significative, entro un raggio che, in relazione allo scenario ed alla tipologia di materiale trasportato può estendersi fino a 6 km dal punto dell'incidente, al fine di caratterizzare la contaminazione eventualmente conseguente all'evento ai fini di un'eventuale adozione di provvedimenti restrittivi sul consumo di alcuni alimenti;
- il monitoraggio radiometrico su matrici alimentari prodotte nell'area interessata dall'incidente, in un raggio analogo;



In mancanza di informazioni sulle condizioni radiologiche ed ambientali nei primi 50 m. dal punto dell'incidente, si ritiene importante, anche al fine dell'effettuazione degli interventi di soccorso agli individui della popolazione coinvolti nell'incidente, feriti o non in grado di allontanarsi autonomamente, acquisire tempestivamente dati ambientali e dosimetrici nelle immediate vicinanze del luogo dell'evento. Andrebbe altresì valutata la possibilità di spargimento del carico trasportato in un'ampia area ove, per il rateo di esposizione, non valga quindi l'ipotesi di "sorgente puntiforme".

15.5.2 INCIDENTE MOLTO GRAVE

Incidente molto grave di un mezzo di trasporto (impatto e successivo incendio) con a bordo materie radioattive in forma non speciale, in colli di tipo A, con un quantitativo di radioattività pari a 30 A2, ovvero quando non sia possibile reperire informazioni specifiche sul contenuto della spedizione. Le risultanze delle valutazioni delle conseguenze radiologiche associabili al succitato scenario suggeriscono l'opportunità di prendere in considerazione l'adozione di una **misura protettiva di riparo al chiuso per la fase immediatamente successiva all'incidente in un raggio di circa 300 metri dal punto del rilascio**. Dovrà essere, altresì, disposta la delimitazione di un'area di esclusione, con conseguente allontanamento delle persone presenti, in un raggio di 100 metri dal punto dell'incidente, riservata agli interventi di primo soccorso, ai rilevamenti radiometrici ed alle verifiche d'integrità dei contenitori. Sulla base delle stime di ricaduta al suolo dei radionuclidi rilasciati e di contaminazione degli alimenti eventualmente prodotti nelle vicinanze del punto d'incidente, si ritiene inoltre opportuno che in sede di pianificazione venga prevista la disponibilità di adeguate capacità per:

- l'attuazione di un programma di monitoraggio radiometrico su matrici ambientali significative, entro un raggio che, in relazione allo scenario ed alla tipologia di materiale trasportato può estendersi fino a 20 km dal punto dell'incidente, al fine di caratterizzare la contaminazione eventualmente conseguente all'evento, anche ai fini di un'eventuale adozione di provvedimenti restrittivi sul consumo di alcuni alimenti;
- il monitoraggio radiometrico su matrici alimentari prodotte nell'area interessata dall'incidente, in un raggio analogo;
- la valutazione dell'evento incidentale e del quadro radiometrico risultante dal succitato programma a supporto di eventuali decisioni circa l'adozione di provvedimenti restrittivi sul consumo degli alimenti.

In mancanza di informazioni sulle condizioni radiologiche ed ambientali nei primi 50 m. dal punto dell'incidente, si ritiene importante, anche al fine dell'effettuazione degli interventi di soccorso agli individui della popolazione coinvolti nell'incidente, feriti o non in grado di allontanarsi autonomamente, acquisire tempestivamente dati ambientali e dosimetrici nelle immediate vicinanze del luogo dell'evento. Andrebbe altresì valutata la possibilità di spargimento del carico trasportato in un'ampia area ampia ove, per il rateo di esposizione, non valga quindi l'ipotesi di "sorgente puntiforme". Gli scenari illustrati sono presi a riferimento anche in occasione di trasporti di materiale radioattivo in forma speciale ("special form") mediante il relativo parametro A1. In particolare, per quest'ultima tipologia di trasporti, la via di esposizione principale è quella dovuta all'irraggiamento imputabile al degrado dello schermaggio dell'imballaggio di trasporto.

15.6 SPEDIZIONI DI MATERIALE FISSILE

Ferme restando le soglie generali di applicazione della normativa stabilite nell'Allegato I del D.Lgs. n° 230/1995, nel caso di spedizioni che coinvolgano un singolo radioisotopo valgono le seguenti considerazioni:

- a) Attività trasportata inferiore a:

Radionuclide fissile	Attività
U-233	4,50 GBq
U-235	5,09 GBq
Pu-238	0,39 GBq
Pu-239	0,36 GBq
Pu-241	18,8 GBq

Si applicano le considerazioni definite per lo Scenario 1.

- b) Attività trasportata superiore ai valori di cui alla lettera a) precedente si possono applicare le considerazioni definite per lo Scenario 2.

Nel caso di una spedizione che comprenda più tipologie di materiali fissili, si possono applicare le considerazioni relative allo Scenario 1 se è rispettata la seguente condizione (dove il simbolo del radioisotopo indica la sua attività espressa in GBq):

$$\frac{U-233}{4,50GBq} + \frac{U-235}{5,09GBq} + \frac{Pu-238}{0,393GBq} + \frac{Pu-239}{0,360GBq} + \frac{Pu-241}{18,8GBq} \leq 1$$

altrimenti si applicano le considerazioni relative allo Scenario 2.

La rappresentatività rispetto ad altre possibili condizioni di trasporto degli scenari di riferimento individuati è stata valutata a fronte del comportamento che, in relazione al loro contenuto, le diverse tipologie di imballaggi possono avere nelle situazioni incidentali. Considerazioni specifiche sono state, inoltre, svolte in merito alla rappresentatività degli scenari individuati per il trasporto stradale rispetto alle altre modalità di trasporto. In sintesi, i due scenari sono caratterizzati da un incidente molto grave, con impatto del mezzo di trasporto e successivo sviluppo d'incendio, con rilascio di materiale radioattivo da colli di tipo A fortemente danneggiati. Dalle valutazioni svolte, tali scenari risultano rappresentativi di incidenti relativi alle diverse modalità di trasporto e che possono coinvolgere diverse tipologie di contenitori utilizzati. La loro adozione, a fini di pianificazione di emergenza, permette di assicurare un livello di protezione della popolazione, rispetto agli scenari incidentali ipotizzabili per le attività di trasporto di materie radioattive e fissili, sicuramente molto elevato senza peraltro risultare eccessivamente onerosa.

15.7 CONSEGUENZE RADIOLOGICHE ASSOCIATE AGLI SCENARI INCIDENTALI

15.7.1 TRASPORTO STRADALE (ADR)

Spedizioni di materiale radioattivo non soggette a comunicazione preventiva ai sensi dell'articolo 8 del D.P.C.M. 10 febbraio 2006 - si applica lo SCENARIO INCIDENTALE 1.

Spedizioni di materiale radioattivo soggette a comunicazione preventiva ai sensi dell'articolo 8 del D.P.C.M. 10 febbraio 2006 - si applica lo SCENARIO INCIDENTALE 2.

15.7.2 TRASPORTO PER VIA AEREA (ICAO)

Si applicano le considerazioni definite per il trasporto stradale, relativamente allo SCENARIO 2.

Si deve considerare infine che le aree nelle vicinanze della zona di impatto saranno comunque oggetto di provvedimenti di soccorso e di evacuazione temporanea da parte di squadre predisposte, adeguatamente addestrate. Dai risultati di un recente studio, nell'ambito del quale sono state aggiornate le stime relative alle probabilità di incidenti aerei, si evincono i seguenti elementi:

- gli incidenti si verificano essenzialmente nelle fasi di atterraggio e decollo;
- gli aerei che contribuiscono maggiormente all'incremento della probabilità di incidente sono quelli più piccoli, che difficilmente sono adibiti a trasporti del tipo in questione;
- se si assume, molto cautelativamente, che tutti i voli ospitano materiale radioattivo a bordo, la probabilità che si verifichi un incidente risulta comunque molto bassa, pari a 8×10^{-7} per volo;
- negli ultimi anni si è osservata una continua e sensibile riduzione degli incidenti aerei.

La normativa richiede prove dei contenitori rappresentative delle condizioni di incidente aereo solo per i colli di **tipo C**, il cui impiego non è al momento comunque rilevabile dai dati statistici nazionali. Per i colli di **tipo B** vi sono specifiche limitazioni sui quantitativi trasportabili nell'ambito di una singola spedizione (al massimo 3.000 A1 o 100.000 A2 quando i materiali sono in forma speciale o, altrimenti, 3.000 A2). La ragione risiede nella particolare affidabilità del trasporto aereo, nonché nei dati di esperienza che mostrano, per i contenitori di tipo B, una robustezza in grado di offrire un buon livello di protezione.



15.7.3 TRASPORTO PER VIA FERROVIARIA (RID)

Si applicano le considerazioni definite per il trasporto stradale.

15.7.4 TRASPORTO PER VIA ACQUE INTERNE (ADN)

Si applicano, alle fasi di carico/scarico e sosta nelle zone di attracco dei natanti, le considerazioni definite per il trasporto stradale.

15.7.5 TRASPORTO PER VIA MARITTIMA (IMDG)

Si applicano, alle fasi di carico/scarico e sosta nelle aree portuali, le considerazioni definite per il trasporto stradale.

Sintesi delle valutazioni per le procedure operative del Piano d'emergenza:

MODALITÀ DI TRASPORTO	TIPO DI SPEDIZIONE	ATTIVAZIONE DEL PIANO
STRADALE	Materie radioattive non soggette a comunicazione preventiva ai sensi del DPCM 10 febbraio 2006.	In caso di vettore incendiato o in presenza di rilascio di materie radioattive
	Materie fissili	SEMPRE
	Materie radioattive soggette a comunicazione preventiva ai sensi del DPCM 10 febbraio 2006.	SEMPRE
AEREO	Materie radioattive (soggette e non a comunicazione preventiva)	In caso di aeromobile coinvolto in incidente in fase di atterraggio o decollo
	Materie fissili	SEMPRE
FERROVIARIA	Si applicano le considerazioni definite per il trasporto stradale	
ACQUE INTERNE	Si applicano, alle fasi di carico/scarico e sosta nelle zone di attracco dei natanti, le considerazioni definite per il trasporto stradale	