

Spedizione di miscele di materiale radioattivo.

di Franco CIOCE
Esperto Qualificato di Radioprotezione
Consulente ADR/RID/ADN per il trasporto merci pericolose

Già in altre occasioni è stata spiegata ed evidenziata la difficoltà di classificazione e conseguente scelta degli imballaggi destinati a contenere il materiale radioattivo.

Per questa classe di pericolosità (classe 7) non esiste (anzi, non esiste più) la rubrica n.a.s. (non altrimenti specificata) che contempla le miscele di prodotti chimici.

Nel caso delle sostanze radioattive si è soliti pensare al singolo radioisotopo ma raramente vengono esaminati i casi di spedizione di miscela.

Ma l'assenza di esempi non significa che questi casi siano inesistenti né che siano semplicemente una somma aritmetica dei singoli componenti.

Il paragrafo 2.2.7.2.2.4 dell'ADR ci introduce senza mezzi termini nel mondo delle formule e in questo caso con una formula direttamente riservata alle miscele di radionuclidi conosciuti.

Vedremo così come affrontare le possibili classificazioni del materiale radioattivo e la scelta del corretto o idoneo contenitore minimale, garantendo così i requisiti di sicurezza necessari per la spedizione.

Esempio 1:

ipotizziamo di dover spedire una miscela radioattiva solida costituita da:

- 5 GBq di ^{241}Am
- 50 GBq di ^{60}Co
- 150 GBq di ^{137}Cs

Le ulteriori caratteristiche fisiche della miscela sono:

- Non è in "Forma Speciale" (Special Form);
- La massa complessiva della miscela è di 800 gr.

Dobbiamo ora determinare la classificazione da attribuire alla nostra miscela e quindi la tipologia di collo da adottare.

Vediamo innanzitutto se la miscela può essere considerata come "spedizione esente" così come definita al § 2.2.7.2.2.1 c) ¹ ossia in totale esclusione dal regolamento ADR.

Nella prossima tabella, riportiamo nelle diverse colonne i dati tratti dalla tabella 2.2.7.2.1.1 dell'ADR:

- 1) Simbolo del radionuclide;
- 2) Attività in Bq di ogni radionuclide;
- 3) Il valore di attività specifica (attività/peso) di ciascun isotopo;

¹ Il punto 402.3 del volume "Specific Safety Guide No. SSG-26 - Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 Edition)" spiega in modo chiaro come devono essere intese le due colonne trasposte poi nel regolamento ADR: "Table 2 of the Transport Regulations includes activity concentration limits and activity limits for consignments which may be used for exempting materials and consignments from the requirements of the Transport Regulations, including applicable administrative requirements. If a material contains radionuclides where either the activity concentrations or the activity for the consignment is less than the limits in Table 2 of the Transport Regulations, then the shipment of that material is exempt (i.e. the Transport Regulations do not apply)".

- 4) Il valore di “spedizione esente” per ogni radionuclide;
- 5) Il valore limite di concentrazione per ogni nuclide espresso in Bq/gr.

1	2	3	4	5
Simbolo nuclide e numero atomico	Attività in Bq	Attività specifica su 800 gr.	Limite di attività per spedizione esente in Bq	Limite di attività specifica per materia esente in Bq/gr
²⁴¹ Am	5 x 10 ⁹	1,6 x 10 ⁷	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁰
⁶⁰ Co	5 x 10 ¹⁰	1,25 x 10 ⁶	1 x 10 ⁵	1 x 10 ¹
¹³⁷ Cs	1,5 x 10 ¹¹	1,25 x 10 ⁶	1 x 10 ⁴	1 x 10 ¹

verifichiamo così che i valori delle colonne 4) e 5) sono sempre superati dai rispettivi valori delle colonne 2) e 3): dunque la nostra miscela non può essere considerata “esclusa”² e deve essere spedita secondo le disposizioni regolamentari dell’ADR.

Ora, trattandosi di una miscela, non avremo un unico valore di A₁ o A₂ da considerare e dal quale partire per valutare la tipologia di contenitore da utilizzare ma dovremo ricorrere alla formula enunciata in precedenza e qui riproposta:

$$X_m = \frac{1}{\sum_i \frac{f(i)}{X(i)}}$$

Abbiamo detto che la miscela non è sotto forma speciale: quindi dovremo calcolare il valore A₂ di riferimento ricordandoci le definizioni dei vari termini:

- *f(i)* è la frazione di attività o di attività specifica del radionuclide *i* nella miscela;
- *X(i)* è l’appropriato valore di A₁ o A₂, o il limite di attività specifica per materiale esente o il limite di attività per una spedizione esente relativo al radionuclide *i*; e
- *X_m* è il valore calcolato di A₁ o A₂, o il limite di attività specifica per materiale esente o il limite di attività per una spedizione esente nel caso di una miscela.

Calcoliamo innanzitutto l’attività totale della miscela:

5 GBq (5 x 10⁹ Bq) di ²⁴¹Am + 50 GBq (5 x 10¹⁰ Bq) di ⁶⁰Co + 150 GBq (1,5 x 10⁹ Bq) di ¹³⁷Cs = **205 GBq (2,05x 10¹¹ Bq) totali**

Per facilità di calcolo riportiamo inizialmente tutti i valori in GBq e calcoliamo la frazione F(i) di ogni singolo nuclide come componente dell’attività totale “F(i)” (nuk/A tot):

- F(i) di ²⁴¹Am : 5 GBq/205 GBq = 0,02439
- F(i) di ⁶⁰Co : 50 GBq/205 GBq = 0,243902
- F(i) di ¹³⁷Cs : 150 GBq/205 GBq = 0,731707

Come controprova, verifichiamo che la somma delle F(i) restituisca il valore “1”:

- 0,02439 + 0,243902 + 0,731707 = 1

Indichiamo ora i limiti A₂ di ciascun nuclide:

- ²⁴¹Am = 1 x 10⁻³ TBq = 1 GBq
- ⁶⁰Co = 4 x 10⁻¹ TBq = 400 GBq
- ¹³⁷Cs = 6 x 10⁻¹ TBq = 600 GBq

Il valore A₂ della nostra miscela lo calcoleremo sostituendo opportunamente i valori così ricavati:

² Il testo IAEA prima citato utilizza i termini “exempted” ed “excepted” per definire rispettivamente le spedizioni escluse (non soggette al regolamento IAEA) ed esentate (esenzione parziale).

$$A_2 = \frac{1}{\frac{0,02439}{1} + \frac{0,243902}{400} + \frac{0,731707}{600}} =$$

$$A_2 = \frac{1}{0,02439 + 0,00061 + 0,00122} =$$

$$A_2 = \frac{1}{0,02622} = 41,00183$$

Determiniamo ora quanto “pesa” (q=quota) la nostra miscela rispetto al valore di A_2 determinato:

$$q A_2 = 205 \text{ GBq} / 41,00183 = 4,99977.$$

Già questo rapporto (> 1) ci suggerisce che il limite A_2 derivato è stato superato ma una ulteriore controprova la possiamo verificare confrontando il valore di A_2 determinato (41 GBq) e il valore di attività della nostra miscela (205 GBq): nettamente superiore.

Il collo minimale utilizzabile, avendo superato il limite dei colli di tipo A, è dunque di tipo B(U) o B(M).

Le caratteristiche dei nuclidi costituenti la nostra miscela non consentono di definire la miscela come “fissile” (non contiene isotopi di U^{233} , U^{235} , Pu^{239} o Pu^{241}): i conseguenti numeri ONU non sono utilizzabili:

- UN 3328 MATERIALI RADIOATTIVI, COLLO DI TIPO B(U), FISSILI
- UN 3329 MATERIALI RADIOATTIVI, COLLO DI TIPO B(M), FISSILI
- UN 3330 MATERIALI RADIOATTIVI, COLLO DI TIPO C, FISSILI

Verifichiamo per puro scrupolo e per esercizio che neppure le classificazioni come “colli esenti” sono applicabili:

- UN 2908 → la nostra miscela non è un contenitore vuoto;
- UN 2909 → la nostra miscela non è un articolo fabbricato con Uranio o Torio;
- UN 2910 → i limiti inferiori ($10^{-3} A_2 = 41 \text{ MBq}$) di cui alla tabella 2.2.7.2.4.1.2 (Limiti di attività per colli esenti) sono ampiamente superati di almeno 3 ordini di grandezza;
- UN 2911 → la nostra miscela non è uno strumento o un articolo;
- UN 3507 → la nostra miscela non è costituita da UF_6 (esafluoruro di uranio).

Col medesimo criterio valutativo possiamo affermare che i numeri UN 2913 e UN 3326 riferiti agli Oggetti Contaminati Superficialmente (SCO-I e SCO-II ³) non sono attribuibili a questo specifico caso poiché non rispondono alle definizioni enunciate al paragrafo 2.2.7.2.3.2 (non è un oggetto solido sulla quale superficie accessibile c'è presenza di contaminazione fissa o trasferibile).

Proseguendo con questo metodo di esclusione ragionata, valutiamo se la miscela può essere considerata all'interno della rubrica 2.2.7.2.3.1 del materiale radioattivo L.S.A. (Low Specific Activity = bassa attività specifica).

Confrontiamo subito le definizioni disponibili con la realtà delle caratteristiche radiologiche riscontrate sulla nostra miscela:

LSA-I = (i) minerali di uranio e torio e concentrati di questi minerali o altri minerali contenenti radionuclidi naturali; (ii) uranio naturale, uranio impoverito, torio naturale o loro composti ... omissis...; (iii) materiale radioattivo per il quale il valore di A_2 è illimitato. ... omissis... ; oppure (iv) altro materiale nel quale l'attività è completamente distribuita nell'insieme del materiale e l'attività specifica media stimata non supera 30 volte

³ Oggetto contaminato superficialmente (SCO)** , un oggetto solido che non è esso stesso radioattivo, ma sulla cui superficie è distribuito un materiale radioattivo.

i valori dell'attività specifica indicata da 2.2.7.2.2.1 a 2.2.7.2.2.6. ... omissis...: → la nostra miscela non è costituita da Torio o Uranio, non ha un valore di A₂ illimitato e supera di 30 volte i valori di attività specifica; quindi non è classificabile come LSA-I.

LSA-II : *(i) acqua con concentrazione ... omissis...; (ii) altri materiali nei quali l'attività è completamente distribuita nell'insieme del materiale e l'attività specifica media stimata non supera 10⁻⁴ A₂/g per i solidi e ... omissis...:* → la nostra miscela è solida e presenta una attività specifica di 2,56x10⁸ (205 GBq/800 gr), superiore al limite di 4x10⁶ (10⁻⁴ A₂/gr) e anche in questo caso non è classificabile come LSA-II.

LSA-III: *Solidi (per esempio: rifiuti condizionati, o materiali attivati), ... omissis..., nei quali: (i) il materiale radioattivo è completamente distribuito in un solido o in un insieme di oggetti solidi, o è uniformemente distribuito in una matrice legante solida e compatta (come cemento, bitume e ceramica); ... omissis... (iii) l'attività specifica media stimata del solido, escluso ogni materiale schermante, non superi 2x10⁻³ A₂/g.:* → l'attività specifica della nostra miscela è di 2,56x10⁸ Bq/gr ed è quindi superiore al limite di 8x10⁷ Bq/gr e quindi non è classificabile come LSA-III.

Infine, come già detto sopra, essendo sempre superato il limite derivato di A₂ non può essere utilizzato un contenitore di tipo A.

Esempio 2:

Proviamo ora con una analoga spedizione di una miscela solida di 1500 gr di peso e costituita dai seguenti radionuclidi:

- ¹²⁹I = 4x10³ Bq
- ¹³³Ba = 8x10³ Bq
- ⁵⁷Co = 7x10³ Bq
- ¹³⁷Cs = 9x10³ Bq

Impieghiamo la medesima tabella usata in precedenza:

1	2	3	4	5
Simbolo nuclide e numero atomico	Attività in Bq	Attività specifica su 1500 gr. (Bq/gr)	Limite di attività per spedizione esente in Bq	Limite di attività specifica per materia esente in Bq/gr
¹²⁹ I	4x10 ³	2,667	1 x 10 ⁵	1 x 10 ²
¹³³ Ba	8x10 ³	5,333	1 x 10 ⁶	1 x 10 ²
⁵⁷ Co	7x10 ³	4,667	1 x 10 ⁶	1 x 10 ²
¹³⁷ Cs	9x10 ³	6,000	1 x 10 ⁴	1 x 10 ⁴
totale	2,8x10 ⁴			

Anche se una prima veloce visione ci indica che i singoli limiti non sono stati superati, ovviamente dobbiamo valutare la possibile applicazione alla nostra miscela (somma di tutti i nuclidi): utilizziamo ancora la formula di cui al § 2.2.7.2.2.4:

- F(i) di ¹²⁹I : 4x10³ Bq/2,8x10⁴ Bq = 1,43x10⁻¹
- F(i) di ¹³³Ba : 8x10³ Bq/2,8x10⁴ Bq = 2,86x10⁻¹
- F(i) di ⁵⁷Co : 7x10³ Bq/2,8x10⁴ Bq = 2,86x10⁻¹
- F(i) di ¹³⁷Cs : 9x10³ Bq/2,8x10⁴ Bq = 3,21x10⁻¹

Come controprova, verifichiamo ancora che la somma delle F(i) restituisca il valore "1":

$$- 1,43 \times 10^{-1} + 2,86 \times 10^{-1} + 2,86 \times 10^{-1} + 3,21 \times 10^{-1} = 1$$

Consideriamo ora i valori limite di “spedizione esente” sopra riportati e ricaviamo il valore corrispondente (spedizione esente) sostituendo opportunamente i valori così ricavati:

$$A_2 \frac{1}{\frac{1,43 \times 10^{-1}}{1 \times 10^{-5}} + \frac{2,86 \times 10^{-1}}{1 \times 10^{-6}} + \frac{2,86 \times 10^{-1}}{1 \times 10^{-6}} + \frac{3,21 \times 10^{-1}}{1 \times 10^{-4}}} =$$

$$A_2 = \frac{1}{1,43 \times 10^{-6} + 2,86 \times 10^{-7} + 2,86 \times 10^{-7} + 3,21 \times 10^{-5}} =$$

$$A_2 = \frac{1}{3,41 \times 10^{-5}} = 2,93 \times 10^4$$

Il peso-quota della nostra miscela diventa:

$$q \text{ esclusa} = 2,8 \times 10^4 / 2,93 \times 10^4 = 9,55 \times 10^{-1}.$$

Il valore ottenuto è inferiore a “1”: pertanto la spedizione ed il trasporto di questa miscela NON sono soggetti al regolamento ADR (esclusa).
