

CATENA ALIMENTARE

Screening in LSC per individuare i punti critici di ingresso dei radionuclidi da contaminazione

Pietro Cazzola¹, Andrea Carrara¹, Dario Bossi², Marco Montafia², Paolo Manzone³, Emiliana Balocchi¹

¹ Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Piemonte, Liguria e Valle d'Aosta – Sezione di Vercelli

² Servizio Veterinario Area C - ASL Vercelli

³ WAVE S.n.c.

Il sistema nazionale di sorveglianza della diffusione di radionuclidi di origine antropica attualmente operativo è basato su reti di controllo ambientale che valutano anche, con principi radioprotezionistici, la disponibilità alimentare degli elementi radioattivi tenendo conto degli usi locali; garantisce, cioè, dosi statisticamente basse per la popolazione.

Ciò nonostante è possibile che, a livello locale, esistano realtà, peraltro difficilmente evidenziabili da un sistema globale, in cui vi siano rischi per la salute di piccole fasce di popolazione esposte a contaminazioni presenti in contesti ambientali particolari come i comprensori montani.

Nel passaggio di uno e, talvolta, due anelli della catena alimentare può avvenire una diminuzione della concentrazione, ma si può anche rilevare un aumento della biodisponibilità dei radioisotopi dovuta al loro legame con molecole biochimiche di primaria importanza, facilmente assimilabili a livello intestinale e immesse rapidamente nei cicli metabolici.

Sarebbe pertanto auspicabile un approccio sanitario, complementare al tradizionale sistema di sorveglianza, volto a identificare e recidere le vie di ingresso e di trasmissione dei nuclidi nella catena alimentare anche in queste particolari realtà. Questo potrebbe consistere in una scansione dei percorsi dei contaminanti per mezzo di indicatori utilizzando una metodologia che consenta *screening* numericamente significativi, dotata di una sensibilità sufficiente allo scopo e tale da permettere di individuare i punti critici.

Si propone, pertanto, uno *screening* preliminare della radioattività da contaminazioni umane su latte di stalla la cui scelta, quale indicatore, è dettata dal suo facile campionamento, dalla facilità di approccio analitico e dalla diffusione degli allevamenti ovi-caprini e bovini da latte tale da per-

mettere un controllo del territorio abbastanza vasto e sicuramente significativo nella sorveglianza veterinaria degli alimenti di origine animale.

Il presente lavoro propone una metodologia analitica di *screening* in grado di monitorare la presenza generica di radionuclidi di origine antropica in un numero significativo di campioni, con una sensibilità paragonabile a quella dei tradizionali metodi spettrometrici ed eseguibile in tempi analitici contenuti; la scelta è stata indirizzata verso un metodo basato su lettura per Scintillazione Liquida (LSC), che può garantire la rapidità e la sensibilità richieste.

La metodica allestita è stata poi testata in parallelo alla Spettrometria Gamma per valutarne l'idoneità e al fine di adottarla quale sistema di *screening* preventivo.

Materiali

Reagenti

- *Cocktail* di scintillazione “Insta-Gel” della ditta PerkinElmer.

- Serie di *standard* non quenziati della ditta PerkinElmer per la calibrazione automatica del contatore a Scintillazione Liquida.

- Soluzione *standard* “ISOTRAK SIZ44” contenente 200 ($\pm 1\%$) kBq (Bequerel = unità di misura della radioattività corrispondente alle disintegrazioni nucleari per secondo) di ⁹⁰Sr in 5 ml corrispondenti a 40 Bq/ μ l.

Soluzione di lavoro I: 100 μ l di soluzione di lavoro I (ISOTRAK SIZ44) si diluiscono con 1900 μ l di HCl 1N (1:20) ottenendo un'attività di 2 Bq/ μ l corrispondente a 120 DPM/ μ l (Disintegrazioni Per Minuto = unità di misura della radioattività corrispondente alle disintegrazioni nucleari per minuto).



- Soluzione di lavoro II: 100 μl di soluzione di lavoro I si diluiscono con 1900 μl di H_2O ultra pura (1:20) ottenendo una soluzione contenente 0,1 Bq/ μl corrispondente a 6 DPM/ μl .

- Soluzione *standard* di calibrazione QCYB41 certificata della ditta Isotrak–AEA Technology QSA.

- Bianco: 10 ml di H_2O acidificata con 20 μl di HCl 1 N viene addizionata, in vial, di 0,1 gr di Gel di Silice, si agita e si aggiungono 50 μl di Giallo di Bromocresolo, si aggiungono 10 ml di Scintillatore e si agita vigorosamente.

Apparecchiature

- Contatore a Scintillazione Liquida “Packard Tri-Carb 2500”.

- Spettrometro gamma Ortec 905-4 con *detector* NaI da 3 x 3 pollici.

Metodi

Scelta e caratteristiche particolari della metodica LSC

La scelta del metodo di lettura per scintillazione liquida è dettata dal fatto che, con questa tecnica, i radioisotopi gamma emittenti, come il ^{137}Cs , vengono letti con un'efficienza molto alta mentre lo ^{90}Sr e l' ^{90}Y in equilibrio, oltre eventuali altri beta emittenti ad alta energia, producono una radiazione “Cerenkov” che consente letture particolarmente sensibili.

Dovendo valutare, a un primo livello di *screening*, la presenza di tutti i radionuclidi di origine antropica, al fine di comprendere tutte le emissioni beta e gamma è stata utilizzata una finestra di lettura da 15 a 2.000 keV mentre la taratura del sistema e la valutazione dell'affidabilità del metodo sono state effettuate applicando i tradizionali parametri di validazione dei metodi quantitativi su standard preparati per aggiunta di Stronzio 90.

Non essendo possibile la correzione dell'efficienza di lettura senza conoscere lo specifico radionuclide né, tantomeno, in presenza contemporanea di molti elementi radioattivi, si è scelto di tarare il sistema specificamente nei confronti dello Stronzio 90, in modo da aver sempre indicata la quantità massima possibile del radioisotopo; la presenza di altri elementi attivi viene comunque rilevata con una indicazione generale del tasso di radioattività espressa in CPS (Colpi Per Secondo = unità di misura generica consistente nei lampi luminosi per secondo emessi dal campione).

Pertanto, l'affidabilità del metodo è stata valutata applicando i tradizionali parametri di validazione metodologica (precisione, accuratezza, limite di rivelazione ecc.) utilizzando uno *standard* certificato opportunamente aggiunto al latte con cui sono stati effettuati i test.

Vista la presenza ubiquitaria di isotopi radioattivi naturali e la loro variabilità nei materiali biologici quali il latte, si è proposto di sottrarre un Bianco *standard* rappresentato da una sospensione di Gel di Silice con addizione di Giallo di

Bromocresolo in grado di simulare, per opacità e colore, gli effetti di *quenching* (spegnimento delle energie emesse a opera della matrice) e “Cerenkov” dell'alimento pur garantendo un bianco facilmente riproducibile perché esente da contaminazioni indesiderate, con un livello di radioattività endogena basso e abbastanza costante.

Metodo di lettura in LSC

I campioni di latte, il Bianco e i campioni addizionati di *standard* sono stati trasferiti, ciascuno in ragione di 10 ml, in *vials* di polietilene e agitati con 10 ml di cocktail di scintillazione fino alla formazione di gel.

Le determinazioni sono state effettuate con contatore per scintillazione liquida “Packard Tri-Carb 2500”, calibrato con il programma automatico in dotazione utilizzando la serie di *standard* non “quenciati” della ditta PerkinElmer, programmato come segue:

- tempo di lettura di 100 minuti o 2 Sigma = 2,5 %;
- regione di lettura da 15 a 2000 keV;
- correzione dei fenomeni di luminescenza;
- monitoraggio dell'eterogeneità del campione;
- correzione dei campioni colorati;
- *High Sensitivity Count Mode*;
- controllo delle cariche elettrostatiche;
- sottrazione del Bianco posto nella prima posizione.

Curva di compensazione del *quenching* e della radiazione “Cerenkov” per lo ^{90}Sr

Al fine di trasformare i risultati da CPM (Colpi Per Minuto = dato grezzo letto dallo strumento e consistente nei lampi di luce per minuto emessi dal campione) alla concentrazione reale (Bq/l) del radionuclide, è stata costruita una curva di compensazione di questi due effetti, specifica per lo ^{90}Sr (figura 1).

La soluzione di standardizzazione viene preparata aggiungendo a 60 ml di latte intero UHT del commercio 300 μl di Cloroformio e 100 μl di Giallo di Bromocresolo al fine di ottenere una soluzione con effetto “quenciante” superiore a quello dei normali campioni di latte da esaminare.

Si allestisce poi una curva con 0-2-4-6-8-10 ml di soluzione di standardizzazione addizionati, rispettivamente, di 10-8-6-4-2-0 ml di H_2O ultra pura; a ciascuno, si aggiungono 50 μl di soluzione di lavoro I, corrispondente a 6.000 DPM di ^{90}Sr (120 DPM / μl x 50 μl), quindi si prosegue contando i 6 *vials* come previsto nel manuale dello strumento per effettuare la curva di *quenching*.

I dati ottenuti dal plottaggio della curva e in particolare i valori di efficienza % e di tSIE (trasformata dell'Indice Spettrale dello standard Esterno = indicatore quantitativo di *quenching*) sono stati riportati in tabella e sottoposti ad analisi di regressione lineare.

Valutazione dell'efficienza di lettura per ^{90}Sr

L'efficienza reale ottenibile in una lettura di dati grezzi (CPM) di ^{90}Sr in un latte, tenendo conto che in scintillazione

liquida l'effetto di *quenching*, che determina l'oscuramento delle radiazioni emesse dai radionuclidi, si sovrappone a quello "Cerenkov", che, con finestra così ampia, tende a produrre un sovraconteggio, è normalmente superiore al 100%; inoltre, trattandosi della sovrapposizione di due effetti discordanti e complessi, si rende necessario accertare quanto differenti radioattività del campione possano influenzare l'efficienza di conteggio.

Si è proceduto a 3 letture in tempi diversi di campioni di 10 ml di latte intero UHT del commercio con attività di 24.000, 48.000, 96.000 e 192.000 DPM di ⁹⁰Sr ottenute per aggiunta, alle stesse aliquote di latte, rispettivamente di 10-20-40-80 µl di soluzione *standard* "ISOTRAK SIZ44".

Per ciascuna attività, le letture in CPM sottratte del Bianco (dato grezzo prodotto dallo strumento) sono state mediate ed è stata calcolata l'efficienza come % di quanto letto dal contatore rispetto alle DPM di ⁹⁰Sr effettivamente aggiunte ai campioni.

Inoltre, per evidenziare la linearità della correlazione tra le quantità di radioisotopo aggiunto e quanto rilevato dopo l'elaborazione matematica, è stato costruito un grafico relazionale tra le DPM aggiunte e le DPM medie determinate per correzione dei CPM con curva di compensazione (figura 2).

Valutazione dell'accuratezza di recupero per ⁹⁰Sr e della sua linearità

L'accuratezza del recupero di ⁹⁰Sr aggiunto al latte è stata valutata su tre concentrazioni diverse di contaminante comprese tra valori comparabili a quelli normalmente rilevabili sul territorio.

Si preparano 3 campioni standard pipettando 10 ml di latte UHT del commercio e addizionando 10-20-40 µl di soluzione di lavoro II (corrispondenti a 60-120-240 DPM aggiunte). I campioni sono stati contati 3 volte, in momenti diversi, contro la curva di compensazione e dai valori medi delle DPM, sottratti del Bianco, è stata calcolata, per ciascuna concentrazione, l'Accuratezza applicando la formula:

$$\text{Accuratezza} = 100 \times (\text{Media DPM} - \text{DPM aggiunte}) / \text{DPM aggiunte}$$

Inoltre, per accertare la corrispondenza lineare tra i valori attesi e quanto determinato, è stato costruito un grafico relazionale tra le DPM aggiunte e le DPM medie lette dopo correzione con curva di compensazione (figura 3).

Metodo di lettura in Spettrometria Gamma

Sono state standardizzate letture di 200 ml di latte in contenitori di plastica effettuando, previamente, la calibrazione strumentale, tanto per le energie quanto per l'efficienza, con la

soluzione *standard* di calibrazione certificata QCYB41; tutti i campioni sono stati contati per 15 ore (54.000 secondi) e la quantizzazione è stata limitata al ¹³⁷Cs.

Determinazione sperimentale con i due metodi su campioni di latte

Sono stati testati 72 campioni, 53 di latte bovino e 19 di caprino appositamente prelevati in condizioni controllate in alpeggio, con i metodi di lettura descritti, tanto in LSC che in Spettrometria Gamma (tabella 4, figura 4).

Risultati e discussione

Curva di compensazione del *quenching* e della radiazione "Cerenkov" per lo ⁹⁰Sr

Nella tabella 1 vengono riportati i valori di tSIE e la % di efficienza; nella figura 1 viene riportato l'andamento della Curva di Compensazione ricavata.

Osservando la Curva di Compensazione, si può notare come questa sia praticamente una retta parallela all'asse x e cioè le variazioni di tSIE, che rappresentano le modificazioni dell'effetto di *quench* dovute alla variazione della matrice, non cambiano l'efficienza di lettura, se non in misura minima.

Infatti, analizzando con la regressione lineare i dati sperimentali ottenuti, si ricava un coefficiente di correlazione:

$$R = -1$$

che rappresenta un valore di R indicativo di una retta di equazione:

$$y = mx + b$$

inoltre, la pendenza m risulta essere:

$$m = -0,05$$

che dimostra una pendenza minima negativa, cioè volta in favore di un aumento di efficienza all'aumentare dell'effetto-

tSIE	%Eff
237,56	214,3
200,34	218,7
173,23	223,2
149,51	216,0
133,49	223,7
118,17	222,0

Tabella 1. Valori di tSIE e le % di Efficienza corrispondenti.

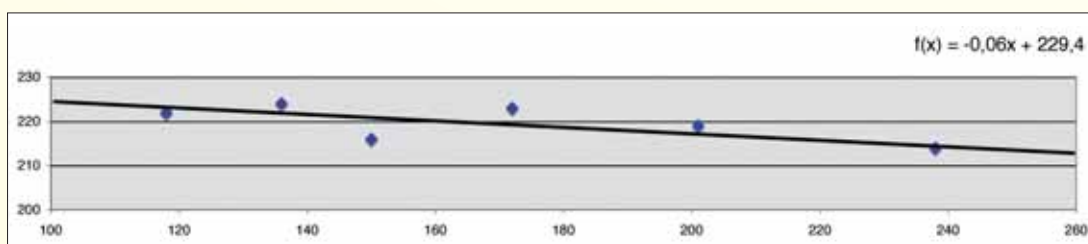


Figura 1. Curva di compensazione del *quenching* e della radiazione "Cerenkov" per lo ⁹⁰Sr.



μl Standard	CPM lette	DPM rilevate	DPM aggiunte	Efficienza %	Eff. % media	SD
10	51725,7	24006,3	24000,0	215,52	226,13	9,54
20	105895,7	48469,1	48000,0	220,62		
40	224258,0	102618,7	96000,0	233,60		
80	450752,3	206354,0	192000,0	234,77		

Tabella 2. Efficienza di lettura per ^{90}Sr .

DPM rilevate	DPM aggiunte	Accuratezza %
72,36	60	+ 20,600
133,53	120	+ 11,275
248,74	240	+ 3,642

Tabella 3. Valutazione dell'accuratezza di recupero per ^{90}Sr .

matrice.

Pertanto l'incidenza della matrice "latte" sulla lettura diretta è praticamente una costante, cioè al suo variare non si notano particolari modificazioni di conteggio; tuttavia lo stesso effetto matrice è in grado di moltiplicare mediamente per 2,26 il numero di CPM di lettura dello ^{90}Sr (tabella 2). Tale effetto, anche se limitato ai soli radioisotopi beta-emittenti ad alta energia, è comunque molto interessante in questa applicazione, poiché produce un'alta sensibilità del metodo nei confronti di questo radionuclide pur garantendo anche il rilevamento del ^{137}Cs e degli altri elementi gamma emittenti.

Valutazione dell'efficienza di lettura per ^{90}Sr

Nella tabella 2 vengono riportati i microlitri di *standard* aggiunti a ogni campione di latte, i valori medi di tre letture, sottratti del bianco, rilevati per ciascuna diluizione (espressi in CPM), la media delle DPM trovate attraverso curva di compensazione, le DPM effettivamente aggiunte, l'efficienza % delle letture grezze (CPM) rispetto all'attività attesa per ciascuna diluizione, l'efficienza % media di tutte le diluizioni e la SD totale evidenziata.

L'efficienza di lettura dei dati grezzi dello ^{90}Sr , dimostratasi del 226,13% con SD di 9,54 (tabella 2), rappresenta il compromesso tra il *quenching*, che produce un'efficienza inferiore al 100% per le note perdite di energia, e la radiazione "Cerenkov" che produce, con una finestra di lettura comprendente un *range* di energie così ampio, un numero di CPM superiore al numero reale di disintegrazioni nucleari per minuto.

Tuttavia, la rispondenza delle DPM calcolate dallo strumento sulla curva di compensazione con quelle teoriche immesse nel campione (tabella 2) e l'eccellente linearità e pendenza della curva relazionale (figura 2), dimostrano che la compensazione matematica di efficienza superiore al 100 % è precisa e accurata come quella che si ottiene nel tradizionale LSC attraverso la curva di *quenching* per campioni con efficienza inferiore al 100%.

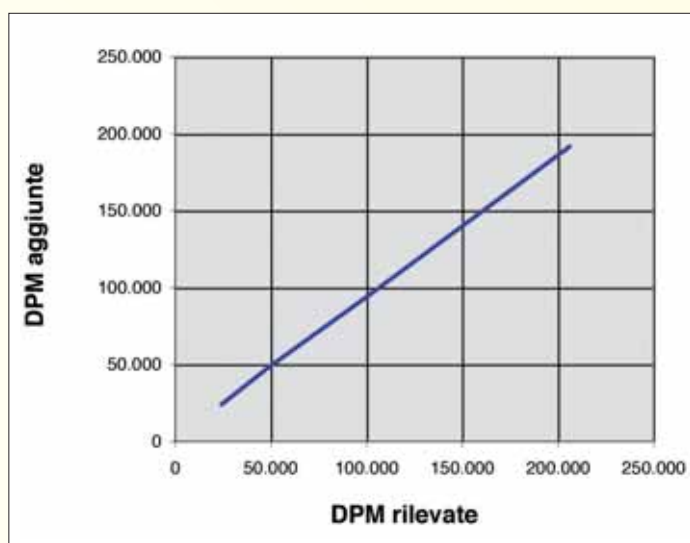


Figura 2. Relazione tra DPM aggiunte e rilevate

Valutazione dell'Accuratezza di Recupero per ^{90}Sr e della sua linearità

Nella tabella 3 vengono riportate le DPM, medie dei tre conteggi, calcolate dall'apparecchio per mezzo della curva di compensazione, le DPM attese, cioè quelle dovute alla soluzione standard di ^{90}Sr aggiunta al latte e la % di Accuratezza calcolata per ciascuna diluizione.

Come si può notare è presente una sovrastima, che va diminuendo all'aumentare della radioattività, dovuta probabilmente alla presenza di nuclidi naturali, non sottratti dal Bianco perché non presenti nei componenti dello stesso, che, essendo praticamente di valore costante, influenzano l'accuratezza in maniera inversamente proporzionale alla quantità di radioattività aggiunta; trattandosi di un metodo di *screening* tale fenomeno non crea comunque particolari problemi poiché può simulare solo falsi positivi tra campioni a bassa attività che, comunque, verranno sottoposti a spettrometria gamma.

La linearità della curva relazionale (figura 3) dimostra una buona correlazione tra l'atteso e il determinato a dosi comparabili a quelle presenti in campo (60 DPM equivalgono a 100 Bq/l).

Dall'andamento si può facilmente rilevare come la relazione sia abbastanza rettilinea con una pendenza prossima ai 45° che garantisce la corrispondenza dei dati.

Determinazione sperimentale con i due metodi su campioni di latte

Nella tabella 4 sono riportati in ordine crescente e separatamente per il latte bovino e quello caprino i valori in CPS/l, corredati dal valore di 2 Sigma %, determinati in LSC come radioattività totale, e i Bq/l di Cesio 137. I valori corrispondenti a presenza di Cesio e i CPS/l superiori a quelli del primo campione positivo alla spettrometria gamma sono riportati in rosso.

Al fine di comparare meglio l'andamento dei valori di CPS/l rilevati in LSC con la presenza o assenza di ^{137}Cs , è stato prodotto il grafico a canne d'organo (figura 4) in cui è rappresentata la distribuzione dei dati rilevati nelle classi, con ampiezza di 5 CPS, comprese tra 60 e 150 CPS/l distinguendo con il colore i campioni contenenti il Cesio da quelli negativi per l'isotopo.

Come si può notare nella tabella 4, la presenza di ^{137}Cs viene rilevata, in spettrometria gamma, solo nei campioni che eguagliano o superano gli 82,086 CPS/l, per il latte bovino, e 85,144 CPS/l per il latte caprino (valori dei primi campioni in cui compare il Cesio). A partire da questi valori è stata

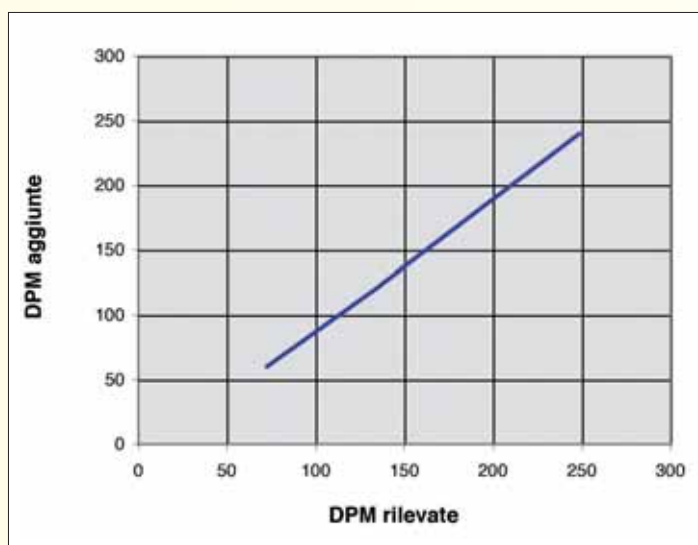


Figura 3. Relazione tra DPM aggiunte e rilevate.

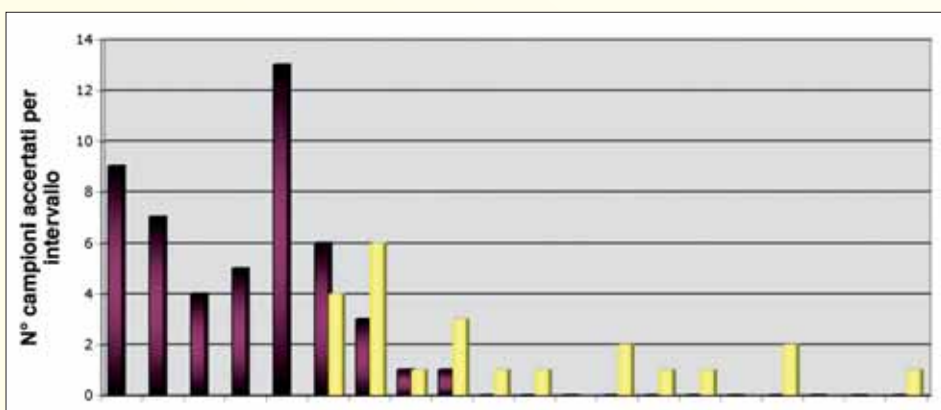


Figura 4. Correlazione tra la presenza di ^{137}Cs e le CPS/l rilevate in LSC.

contrassegnata in verde la zona di indeterminazione in cui due metodi forniscono risultati discordanti circa la presenza del Cesio 137 evidenziando in giallo i risultati contrastanti. È interessante rilevare come per il latte caprino, più ricco di sali minerali e, quindi, dei radioisotopi naturalmente in equilibrio isotopico con gli elementi che li compongono, la zona di indeterminazione sia spostata verso l'alto di circa di 3 CPS/l.

Oltre a quelli compresi nelle zone di indeterminazione, si rilevano due campioni (evidenziati in azzurro) in cui il radioisotopo risulta assente pur mostrando valori di radioattività totale superiore a quelli del primo latte positivo per il ^{137}Cs .

Per i campioni che ricadono in queste fasce, si può notare come la presenza del gamma-emittente non sia costante per cui si può ipotizzare, in quelli negativi, la presenza di quantità diverse di radioisotopi naturali o, comunque, diversi dal Cesio che vengono letti in LSC pur non potendoli identificare in spettrometria a NaI.

Anche per i due campioni non compresi in esse si può ipotizzare la presenza di radioisotopi diversi, non gamma-emittenti e non rivelabili alla spettrometria gamma, presenti in quantità più rilevanti dei precedenti, come risulterebbe dalla radioattività totale, che potrebbero essere dovuti a contaminazioni umane.

Osservando il grafico (figura 4) si può notare la correlazione tra i campioni rivelatisi più alti alla LSC e la presenza di Cesio 137 mentre l'unico problema evidenziato per l'utilizzo del metodo in scintillazione liquida come *screening* è rappresentato dalla fascia di valori compresa tra 80 e 90 CPS/l, zona di discriminazione dei campioni positivi ai radionuclidi di origine antropica da quelli non contaminati.

Conclusioni

Come si può evincere dalla valutazione delle *performances* del metodo e dai risultati ottenuti preliminarmente sui campioni di latte d'alpeggio, il metodo in LSC dimostra una sensibilità sufficiente per la sua applicazione quale *screening* preliminare alla spettrometria gamma, da utilizzare a conferma

e quantizzazione dei campioni risultati dubbi, risultando in grado di evidenziare quelli in cui è presente radioattività, sia gamma sia beta, da contaminazioni umane.

Per i campioni in cui non è stata rilevata la presenza di ^{137}Cs , ma che hanno dimostrato un'elevata radioattività totale, si evidenzia come, pur trattandosi di falsi positivi, l'utilizzo della metodica in uno *screening* di massa non ne viene inficiata poiché tutti i campioni risultati elevati in LSC, come nel caso specifico, verrebbero sottoposti a un'ulteriore indagine spettrometrica che evidenzerebbe la pre-

Materiale	Scintillazione liquida		Spettrometria γ		
	Tot. CP SI	2 Sigma %	^{137}CS		2 Sigma %
Latte bovino	29,914	11,030	< 2,2857		
Latte bovino	45,419	9,28	< 2,2584		
Latte bovino	52,030	8,44	< 2,428		
Latte bovino	52,818	8,77	< 1,93775		
Latte bovino	52,052	8,87	< 1,9748		
Latte bovino	57,111	8,14	< 1,9278		
Latte bovino	57,838	8,06	< 1,95885		
Latte bovino	58,948	7,93	< 1,94485		
Latte bovino	59,200	7,77	< 1,9432		
Latte bovino	80,883	7,000	< 1,3472		
Latte bovino	61,559	8,10	< 1,9801		
Latte bovino	61,973	7,550	< 2,2095		
Latte bovino	52,218	7,63	< 2,2545		
Latte bovino	62,310	8,08	< 1,95615		
Latte bovino	63,503	8,05	< 1,9843		
Latte bovino	83,951	8,050	< 2,2788		
Latte bovino	66,404	7,38	< 2,25475		
Latte bovino	56,500	7,800	< 2,26355		
Latte bovino	69,301	7,73	< 2,3167		
Latte bovino	69,473	7,620	< 2,2828		
Latte bovino	71,03	7,43	< 2,31435		
Latte bovino	72,17	6,450	< 1,1459		
Latte bovino	73,27	6,450	< 1,1536		
Latte bovino	73,590	6,99	< 1,96035		
Latte bovino	75,17	6,420	< 1,3318		
Latte bovino	75,53	6,310	< 1,3253		
Latte bovino	75,63	6,670	< 1,3503		
Latte bovino	75,78	6,180	< 1,1563		
Latte bovino	76,341	7,18	< 2,3263		
Latte bovino	76,80	6,410	< 1,3407		
Latte bovino	77,30	6,370	< 1,3231		
Latte bovino	77,408	7,380	< 2,35315		
Latte bovino	77,67	6,120	< 1,3211		
Latte bovino	78,837	6,420	< 2,25885		
Latte bovino	79,230	6,380	< 2,2447		
Latte bovino	79,65	6,130	< 1,3243		
Latte bovino	80,22	6,070	< 1,3040		
Latte bovino	80,40	6,210	< 1,3332		
Latte bovino	80,87	6,380	< 1,3514		
Latte bovino	81,63	6,120	< 1,3041		
Latte bovino	82,056	6,73		15,77050	15,128
Latte bovino	82,25	6,290	< 1,3188		
Latte bovino	83,93	6,410		5,30530	24,463
Latte bovino	84,78	6,2	< 1,1578		
Latte bovino	85,40	6,100		6,61540	23,429
Latte bovino	85,82	6,360		6,58660	20,318
Latte bovino	87,874	6,280		21,43750	13,155
Latte bovino	91,874	6,160		17,99550	15,028
Latte bovino	94,45	6,110	< 1,3963		
Latte bovino	96,72	6,280		7,93260	18,202
Latte bovino	97,53	5,970		6,29080	23,838
Latte bovino	58,075	6,53	< 2,23135		
Latte bovino	128,28	5,810		19,64100	11,686
Latte caprino	72,833	7,62	< 1,9833		
Latte caprino	78,263	7,300	< 2,29005		

Tabella 4.

segue>>>

Materiale	Scintillazione liquida		Spettrometria γ		
	Tot. CP SI	2 Sigma %	^{137}CS		2 Sigma %
Latte caprino	82,752	6,6	< 1,99335		
Latte caprino	84,150	6,62	< 1,98385		
Latte caprino	85,144	7,020		2241500	12,71
Latte caprino	86,075	6,90	< 1,9939		
Latte caprino	86,150	6,130	< 2,349		
Latte caprino	86,697	6,910		19,78550	13,78
Latte caprino	87,112	6,72	< 2,27875		
Latte caprino	89,464	6,64	Tracce		
Latte caprino	99,477	5,950		25,42350	11,66
Latte caprino	102,516	6,36		52,70000	
Latte caprino	107,662	6,580		35,34850	9,63
Latte caprino	116,070	6,23		22,59000	12,428

Tabella 4. Radioattività Totale determinata per LSC e ^{137}Cs determinato per Spettrometria Gamma in campioni di latte bovino e caprino d'alpeggio.

senza o l'assenza di Cesio.

Il dato apprezzabile e significativo è che non si sono mai trovati campioni con presenza conclamata di ^{137}Cs e contemporaneamente con valori di radioattività totale inferiore al limite minimo delle zone di indeterminazione, il che avrebbe rivelato l'esistenza di falsi negativi con il metodo in LSC inficiando un programma di monitoraggio generale che prevedesse l'esecuzione preliminare di tale metodologia.

Essendosi evidenziata una fascia di indeterminazione in cui i due metodi non coincidono, poiché l'LSC indica radioattività totale apparentemente non compatibile con l'assenza di Cesio, fenomeno ovvio tenendo conto dell'esistenza di oscillazioni nella presenza ubiquitaria di radioisotopi naturali delle varie zone, è possibile utilizzare il modello d'intervento proposto adottando un *cut-off* di sicurezza, ad esempio 80 CPS/l, provvedendo a sottoporre a spettrometria tutti i campioni eccedenti.

Ciò nonostante, anche se questa fascia si dovesse rivelare più ampia in *test* su un numero più elevato di campioni e ne conseguisse l'opportunità di abbassare ulteriormente il *cut-off*, il metodo consentirebbe comunque di evitare lunghi e laboriosi esami spettrometrici sulla maggior parte dei campioni che, in effetti, non contengono radioisotopi derivanti da contaminazioni umane.

In una situazione come quella attuale, caratterizzata dalla presenza di ^{90}Sr e ^{137}Cs come contaminanti prevalenti, tenuto conto che la maggior difficoltà per un monitoraggio è quella di evidenziare il beta-emittente, per il quale sono di prassi tecniche radiochimiche piuttosto lunghe ed indagose (10),

si ritiene che la metodica proposta consenta le migliori *performances* qualora non si richieda l'identificazione degli specifici elementi pur con un'indicazione piuttosto precisa sulla presenza di quest'ultimo.

Il metodo consentirebbe indagini di ben più ampio respiro soprattutto se si tiene conto che il metodo mira a identificare i punti in cui sono presenti radionuclidi indipendentemente dalla determinazione della quantità assoluta di contaminanti nel latte.

Potendosi evidenziare contaminazioni minime di origine ambientale, è evidente che il metodo applicato sul latte alla mungitura può servire a identificare aree o, comunque, situazioni responsabili di un possibile passaggio di radioisotopi di origine antropica nella catena alimentare indipendentemente dalle quantità riscontrabili, consentendo quindi uno studio locale e l'eventuale istituzione di controlli costanti nei punti critici individuati.

Ringraziamenti

I nostri ringraziamenti vanno a tutto il personale tecnico e amministrativo dell'IZS del Piemonte, Liguria e Valle d'Aosta, Sezione di Vercelli per il supporto e la collaborazione che hanno consentito l'approccio sperimentale di questo lavoro.

La bibliografia è disponibile presso la redazione: argomenti@sivemp.it