



Agenzia Regionale
per la Protezione
Ambientale dell'Umbria

Convegno Nazionale Airp di Radioprotezione

Giustificazione e ottimizzazione nel
contesto attuale: nuove sfide per una
moderna radioprotezione in ambienti
di vita e di lavoro

Perugia / 16-18 ottobre 2019

Centro Congressi della Camera di Commercio di Perugia
Via Pellas 81/83

SECRETARIO SCIENTIFICO

Paola Sabatini - ARPA Umbria

SEGRETERIA ORGANIZZATIVA

Anna Prandstatter
tel. +390125645328
e-mail: airp2019@airp-asso.it

COMITATO SCIENTIFICO

Monica Angelucci	ARPA Umbria
David Michele Cappelletti	Università degli Studi di Perugia
Marco Cappio Borlino	ARPA Valle d'Aosta
Nadia Cherubini	ENEA
Gaetano Compagnone	Policlinico S. Orsola-Malpighi - Bologna
Roberto Falcone	SOGIN
Daniele Franci	ARPA Lazio
Leandro Magro	ISIN
Francesco Mancini	SOGIN
Giuseppe Marzo	ENEA
Cristina Nuccetelli	ISS
Ilaria Peroni	ARPAT
Francesco Rossi	AOU Careggi Firenze
Lorenzo Visca	Università degli Studi di Torino

COMITATO ORGANIZZATORE

Paola Barbuto	ARPA Calabria
Markos Charavgis	ARPA Umbria
Claudia Fontana	CREA Agricoltura e Ambiente
Matteo Marconi	ARPA Umbria

www.airp-asso.it

È PREVISTO L'ACCREDITAMENTO ECM

È stato richiesto patrocinio a:

ASSOARPA, AIRM, ANPEQ, CREA Agricoltura e Ambiente, ISIN, ISS, ISPRA, CIIP, FIRR, Ministero dell'Ambiente, Regione Umbria, Comune di Perugia, Università degli Studi di Perugia.



Contaminazione da ^{137}Cs in campioni di marmellate di mirtillo nero

Chiara Cantaluppi¹, Daniele Zannoni¹, Massimo Calabrese²,

¹CNR-ICMATE, C.so Stati Uniti 4, Padova, 35127, Italia

² DEAMS, Laboratorio Merceologico, Università di Trieste, Via A. Valerio, 6, I-34127 Trieste (Italia)

Chiara.cantaluppi@cnr.it

Riassunto

Questo lavoro trae origine dall'osservazione che anche a distanza di più di trenta anni dall'incidente di Chernobyl si rilevano in prodotti a base di mirtilli neri (*Vaccinium myrtillus*) immessi in commercio nell'Unione Europea concentrazioni di ^{137}Cs non trascurabili [M. Calabrese, *Applied Physics Res.* Vol. 10 n. 5, 2018], [J. Lehto, *J. of Env. Rad.* 116 (2013) 124-132]. Inoltre, recentemente i mass-media hanno riportato notizie di prodotti a base di mirtillo nero provenienti dall'UE e respinti da mercati asiatici perché la concentrazione di ^{137}Cs superava i 100 Bq kg⁻¹. È noto che l'Ucraina è uno dei maggiori esportatori di mirtilli neri ed esiste il forte sospetto che vengano raccolti anche nelle zone più contaminate del paese e che siano immessi nei mercati dell'UE [<https://aeon.co/essays/ukraine-s-berry-pickers-are-reaping-a-radioactive-bounty>].

Per questo motivo sono stati analizzati mediante spettrometria gamma circa 40 campioni di marmellate, composte, confetture ed altre preparazioni alimentari a base di mirtillo nero reperibili nella grande distribuzione nel nord-est Italia. Le misure sono state condotte con rivelatori al germanio iperpuro e sono state determinate le concentrazioni di attività di ^{137}Cs e ^{134}Cs . Il ^{134}Cs , come atteso, è risultato inferiore alla M.A.R. in tutti i campioni.

La concentrazione di ^{137}Cs nelle marmellate presenta ampia variabilità, con valori compresi tra 1 e 162 Bq kg⁻¹ (valore medio 54 Bq kg⁻¹). Le concentrazioni di attività nei frutti sono state normalizzate per il decadimento radioattivo e ricalcolate sulla base del contenuto di frutta dichiarato in etichetta. Per le marmellate e composte, sono state determinate concentrazioni di ^{137}Cs nei frutti fino a ~230 Bq kg⁻¹. In un campione di mirtilli sciropati è stata rilevata una concentrazione di ~450 Bq kg⁻¹.

I risultati ottenuti su marmellate biologiche e non biologiche sono stati confrontati tramite i principali test statistici per individuare eventuali differenze tra le due sottopopolazioni.

INTRODUZIONE

È noto che a seguito dell'incidente di Chernobyl sono stati contaminati significativamente molti paesi europei, in particolare, oltre all'Ucraina ed alla Bielorussia, estese aree della Federazione Russa, della Scandinavia, della Bulgaria, della Germania meridionale, dell'Austria e delle Alpi (De Cort et al. 1998) (G. Steinhäuser et al. 2014) (tabella 1). Secondo i dati riportati nella mappa (Fig. 1), l'area attorno a Chernobyl con contaminazioni al suolo da ^{137}Cs superiori a 185 kBq m⁻² è di circa 30000 km², comprendente principalmente zone agricole e forestali.

È altresì noto che gli ecosistemi naturali e semi-naturali, quali le foreste e le superfici boschive, tendono a trattenere i radionuclidi provenienti dalle ricadute atmosferiche in uno scambio ciclico tra gli strati superiori del suolo (strame), batteri, microfauna, microflora e vegetazione. Inoltre, alcune zone boschive di montagna a piovosità elevata (ad es. nell'arco alpino) hanno subito con particolare intensità gli effetti di Chernobyl.

Di conseguenza, mentre la contaminazione da ^{137}Cs è diminuita in molti prodotti agricoli, persiste tuttora nei funghi spontanei, nelle bacche e nella carne di animali selvatici a causa della persistente contaminazione degli ecosistemi forestali.

Il mirtillo nero (*Vaccinium myrtillus*) è una pianta che appartiene alla famiglia delle Ericacee ed è caratterizzata da un sistema di radici chiamato "rizoma". Il rizoma cresce orizzontalmente entro i primi centimetri dello strato organico del suolo anche per alcuni metri. È formato da micorrize

endotrofiche che hanno un'elevata capacità di mobilitazione ed assorbimento dei sali minerali dal suolo, analogamente a molte specie di funghi. Questa proprietà è comune a tutte le Ericacee e può talvolta portare ad alti valori di contaminazione da ^{137}Cs .

I mirtilli crescono spontaneamente nell'arco alpino e in parte degli Appennini, in terreni acidi e sciolti e sono raccolti a mano. In Italia la coltivazione del mirtillo è quasi esclusivamente a carattere familiare, per il consumo domestico: sono pressoché assenti le coltivazioni industriali di mirtillo, presenti invece nel nord Europa, ove il clima è più adatto. I mirtilli utilizzati dalle industrie alimentari italiane sono di importazione, con provenienza principalmente sia nord-europea sia dai paesi dell'ex-Unione sovietica.

I controlli sui prodotti agricoli destinati al consumo umano originari da paesi terzi rispetto all'Unione Europea a seguito dell'incidente di Chernobyl sono normati da Regolamenti e Raccomandazioni dell'Unione Europea. Come noto è stabilito il livello massimo della somma della concentrazione di attività di $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$, pari a 370 Bq kg^{-1} per i prodotti lattiero-caseari e prodotti per lattanti, e pari a 600 Bq kg^{-1} per carne, latte e derivati, miele, funghi spontanei, mirtilli (regolamento 733/2008 (CE, 2008). Tuttavia, il Regolamento (CE) N. 1048/2009 (CE, 2009), che modifica il precedente, stabilisce la cessazione dei controlli previsti dai precedenti regolamenti al 31 marzo 2020.

Figura 1 - Mappa della contaminazione al suolo da ^{137}Cs (De Cort et al. 1998) (Steinhauser et al, 2014)

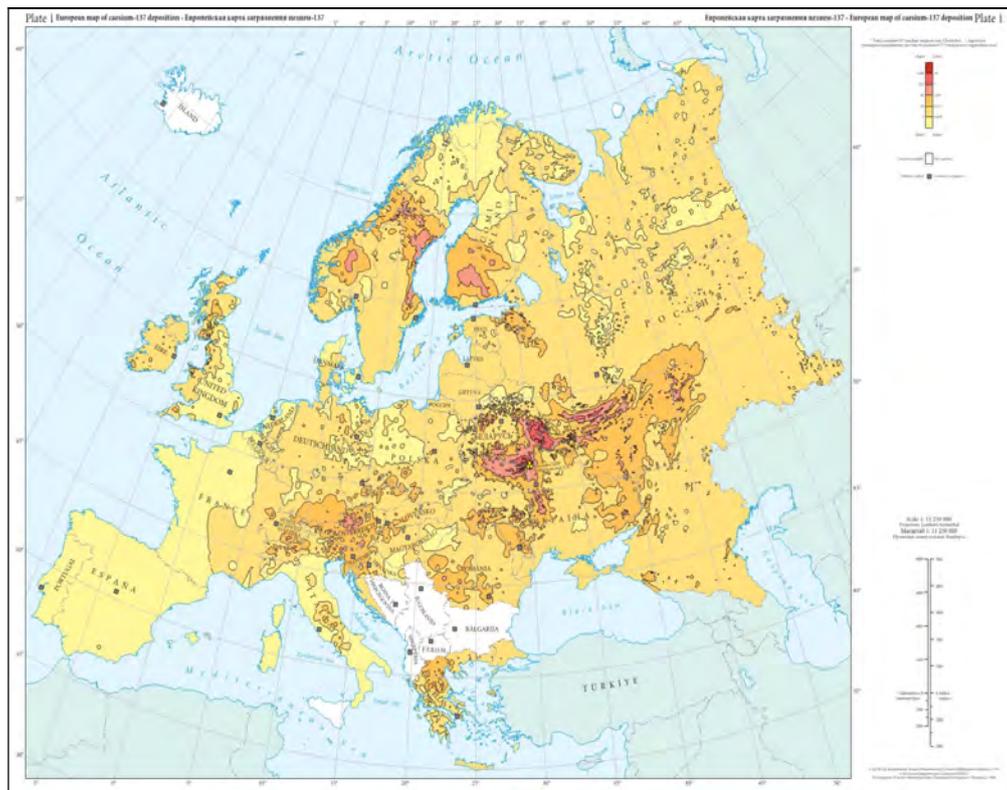


Tabella 1 - Superfici delle aree contaminate nei paesi europei (Steinhauser et al 2014, De Cort et al, 1998)

Paese	37-185 kBq/m ²	185-555 kBq/m ²	555-1480 kBq/m ²	>1480 kBq/m ²	% territorio contaminato
Russia Europea	49800	5700	2100	300	1,5
Bielorussia	29900	10200	4200	2200	22,4
Ucraina	37200	3200	900	600	6,9
Svezia	12000				2,7
Finlandia	11500				3,4
Austria	8600				10,3
Norvegia	5200				1,3
Bulgaria	4800				4,3
Svizzera	1300				3,1
Grecia	1200				0,9
Slovenia	300				1,5
Italia	300				0,1
Moldavia	80				0,2

Negli anni 2013-2017 campioni di mirtilli neri da carichi in importazione dall' Ucraina sono stati analizzati al Porto di Trieste (Calabrese M. et al, 2018), nell'ambito dei controlli doganali per i prodotti di provenienza extra UE, misurando in un caso concentrazioni di ¹³⁷Cs di circa 350 Bq kg⁻¹.

Per questi motivi sono stati raccolti ed analizzati presso il laboratorio di radiochimica ambientale dell'ICMATE-CNR marmellate ed altri prodotti alimentari a base di mirtillo nero, a più riprese dal 2013 ad oggi. In questo lavoro sono riportati e discussi i risultati di campioni acquisiti nella grande distribuzione, principalmente marmellate e composte, negli anni 2017, 2018 e 2019.

MATERIALI E METODI

I vasetti di marmellate e gli altri prodotti a base di mirtillo nero analizzati sono stati acquistati nella grande e piccola distribuzione in Veneto e Friuli-Venezia Giulia. Nell'etichetta dei prodotti non è riportato in alcun caso il nome della specie di mirtillo utilizzata, né la provenienza dei frutti. Tutti i risultati sono stati ricalcolati per il decadimento del ¹³⁷Cs alla data del 1/1/2019.

Da ciascun vasetto di composta/preparato alimentare è stata prelevata un'aliquota di circa 50 ml, posta in contenitore *jar* ed analizzata tal quale mediante spettrometria gamma ad elevata risoluzione, utilizzando un rivelatore al germanio iperpuro (HPGe) con finestra in Be le cui caratteristiche sono riportate in tab. 2. Il rivelatore è posto all'interno di un pozzetto in piombo rivestito internamente di lamine di rame e cadmio per garantire un basso fondo. Il software Genie2000 (Canberra) è stato utilizzato per l'acquisizione degli spettri e per l'analisi spettrale. La libreria utilizzata è Nucleide Lara LNHB (2018).

Tabella 2 – Principali caratteristiche del rivelatore utilizzato

RG – 1	
Tipologia rivelatore	Coassiale di tipo n
Produttore	Canberra
Diametro (mm)	53.5
Spessore (mm)	53.0
Distanza tra rivelatore e finestra (mm)	5
FWHM (@122 keV)	0.548
FWHM (@1332 keV)	1.73
Picco/Compton	55.9/1 (@1332 keV)
Efficienza relativa (%)	25.3% (@1332 keV)
Tensione di svuotamento	-2500
Tensione operativa	-4000

Le calibrazioni in efficienza per le geometrie *jar* sono state ottenute da soluzioni standard multigamma certificate (QCY48 e QCYB40, Amersham) nella stessa geometria di misura. I risultati sono stati corretti considerando la diversa densità e composizione dei campioni rispetto alla soluzione standard certificata utilizzata per la calibrazione in efficienza. L'efficienza del sistema di misura è periodicamente controllata attraverso test di intercalibrazione eseguiti dal National Physics Laboratory (Teddington, UK).

I tempi di conteggio utilizzati per l'analisi del ^{137}Cs sono stati scelti per ottenere errore statistico di conteggio (1 dev std) <5% sul fotopicco a 661,7 keV.

RISULTATI

Marmellate e simili

Sono riportati in tabella 3 i risultati delle misure, e le concentrazioni di attività di ^{137}Cs nei mirtilli ricalcolate sulla base del contenuto di frutta dichiarato.

Il ^{134}Cs , come prevedibile non è stato rilevato in nessun campione (sempre inferiore al limite di rilevabilità strumentale pari a 1 Bq/kg). Si può ragionevolmente ritenere che il ^{137}Cs sia attribuibile essenzialmente all'evento di Chernobyl. Riguardo l'evento di Fukushima ci si attende di non osservare contributi significativi in Europa (Steinhauser et al., 2014, Behrens et al., 2012).

Dall'analisi del contenuto di ^{137}Cs nei 36 campioni di marmellata di mirtilli neri acquistate nella grande e piccola distribuzione nel nord-est Italia (19 con marchio di certificazione biologica, 17 non biologiche) risulta un contenuto medio di ^{137}Cs di $53,7 \pm 49,5$ Bq kg⁻¹, con un valore massimo di 162 Bq kg⁻¹. Il contenuto % di frutta dichiarato in tutti i preparati (sia biologici sia non biologici) per tutti i prodotti analizzati è compreso tra il 50% e il 60%, ad esclusione di due che dichiarano un contenuto di frutta pari rispettivamente al 102% e 110%. Il contenuto medio di frutta per i prodotti biologici e non biologici è molto simile, e pari cioè al 64% e al 60%, rispettivamente.

Ricalcolando il contenuto di ^{137}Cs nei mirtilli, sulla base del contenuto di frutta dichiarato sull'etichetta, risulta un contenuto medio di ^{137}Cs nella frutta usata di $84,6 \pm 72,3$ Bq kg⁻¹ con un valore massimo di 234 Bq kg⁻¹ (tabella 4).

Tabella 3 - Concentrazioni di attività di ¹³⁷Cs nei mirtilli tenendo conto del contenuto % di frutta nel prodotto finale

Campione	Marca	Classe BIO	Origine mirtilli	Paese produzione	Contenuto mirtilli (%) (Bq/kg)	Cs-137 nel prodotto (Bq/kg)	inc di misura (1 dev std) (Bq/kg)	Cs-137 nei mirtilli (calc.) (Bq/kg)
BJAM PAM_BIO 17012018	Pam/Panorama	IT BIO 009		IT - FC	55	81,0	3,0	147,2
BJAM ALCE_NERO 17012018	Alce Nero	IT BIO 009	UE/Non UE	IT - BO	102	124,4	3,0	122,0
BJAM RIGONI_ASIAGO 18012018	Rigoni di Asiago	IT BIO 007	UE/Non UE	IT - VI	55	68,6	3,0	124,8
BJAM L_APE	L'Ape	IT BIO 002		IT - VI	52	75,3	2,0	144,8
BJAM ZUEGG 22012018	Zuegg			DE	50	22,4	0,9	44,7
BJAM GILLI 25012018	Gilli			IT - BZ	60	1,3	0,2	2,2
BJAM MARIBEL 29012018	Maribel (LIDL)	IT BIO 007		DE	50	<3		--
BJAM GTC 29012018	GTC SRL (Sane Bontà)	IT BIO 007		IT - TO	55	31,6	2,0	57,5
BJAM SIGMA OROGEL 05022018	SIGMA (Orogel)	IT BIO 009		IT - FC	55	112,3	4,0	204,2
BJAM BOSCHETTI 08022018	Boschetti	IT BIO 009	UE/Non UE	IT - VR	60	78,0	3,0	130,0
BJAM CONAD 08022018	Conad			IT - TN	50	22,9	2,0	45,8
BJAM SANTA ROSA 13022018	Santa Rosa			IT - VR	52	33,7	2,0	64,7
BJAM ORTO_D_AUTORE 13022018	Orto d'Autore			IT - CB	70	26,5	2,0	37,9
BJAM MIRTIILLI BIO 13022018	Solo Frutta Mirtilli Bio	IT BIO 007		IT - AR	110	159,9	3,0	145,4
BJAM SARCHIO 08022018	Sarchio	IT BIO 009		IT - MO	55	129,0	4,0	234,5
BJAM PAM 08022018	Pam/Panorama			BE	55	<4		--
BJAM DESPAR 19022018	Despar			IT - FE	52	72,4	3,0	139,2
BJAM DESPAR BIO 19022018	Despar	IT BIO 006	UE/Non UE	IT - TN	55	25,4	0,5	46,3
BJAM PIU_FRUTTA VIS 26022018	VIS			IT - SO	70	133,6	4,0	190,8
BJAM PASSIONI 26022018	AUCHAN (Orogel)		IT	IT - FC	70	162,2	5,0	231,7
BJAM CONSILIA 02032018	Consilia			IT - VR	70	1,4	0,5	2,0
BJAM Cardin Biofrutta 20190201	L'ape di Cardin	IT BIO 014	UE/Non UE	IT - SA	52	75,4	3,1	145,0
BJAM Lazzaris Mirtilli Bio 20190201	Luigi Lazzaris e Figlio SRL	IT BIO 007		IT - TV	65	15,3	1,1	23,5
BJAM Bio Ricchi 20190204	Maxi Di	IT BIO 007	UE/Non UE	IT - TN	60	21,8	1,5	36,3
BJAM Hero Light 20190204	Hero Italia SPA			ES	50	3,7	1,0	7,5
BJAM Honat PLASTICA 20190204	Honat Wilhelm SRL/GMBH		UE	IT - BZ	60	78,6	3,0	131,0
BJAM Honat Vetro 20190211	Honat Wilhelm SRL/GMBH		UE	IT - BZ	60	1,8	0,5	3,0
BJAM Cadoro Bio 20190215	Cadoro	IT BIO 007	UE/Non UE	IT - TO	55	2,4	0,4	4,3
BJAM Selex 20190220	Selex			IT - TN	50	0,8	0,7	1,6
BJAM Agrimontana 20190220	Agrimontana	n BIO ma frutti selvatici)		IT - CN	80	98,7	4,3	123,4
BJAM Biomirtilli Primizieparis 20190220	Primizieparis	IT BIO 007	UE/Non UE	IT - TO	55	2,9	0,7	5,3
BJAM D_ARBO 20190220	D'Arbo			A	70	59,9	3,5	85,5
BJAM Bonne Maman 20190311	Bonne Maman			FR	50	2,5	0,3	4,9
BJAM NATTURA 20190311	Eurofoof	IT BIO 014	UE/Non UE	IT - TO	55	2,5	0,1	4,5
BJAM Composta Biologica Gardin 20190318	L'ape di Cardin	IT BIO 002	UE/Non UE	IT - VI	52	69,9	3,2	134,5
BJAM RIGONI BIO 27052019	Rigoni	IT BIO 007	UE/Non UE	IT - VI	55	26,9	2,0	48,9

Separando i due sotto-campioni: quello delle marmellate dichiarate “biologiche” (19 campioni), da quello delle marmellate senza alcuna indicazione al riguardo, i.e. “non-biologiche” (17 campioni), si ottiene (tabella 4):

Tabella 4 - Concentrazioni di attività di ¹³⁷Cs ricalcolata nei mirtilli e statistica descrittiva

	Tutte le marmellate	Marmellate biologiche	Marmellate non biologiche
Contenuto medio ¹³⁷ Cs (Bq kg ⁻¹)	84,6	98	70
Deviazione standard (Bq kg ⁻¹)	72,3	71	74
Valore minimo (Bq kg ⁻¹)	<2	<2	<2
Valore massimo (Bq kg ⁻¹)	234	234	232
Mediana (Bq kg ⁻¹)	48	123	45
curtosi	0,7	0,18	0,95

Dalle distribuzioni di frequenza dei due sotto campioni è possibile osservare che molto probabilmente esse sono multimodali. Circa la metà dei campioni mostrano infatti concentrazioni di ¹³⁷Cs inferiori ai 90 Bq kg⁻¹, sia per i prodotti non biologici sia per quelli biologici, ed entrambe le distribuzioni mostrano una moda a 150 Bq kg⁻¹ (figure 2a e 2b).

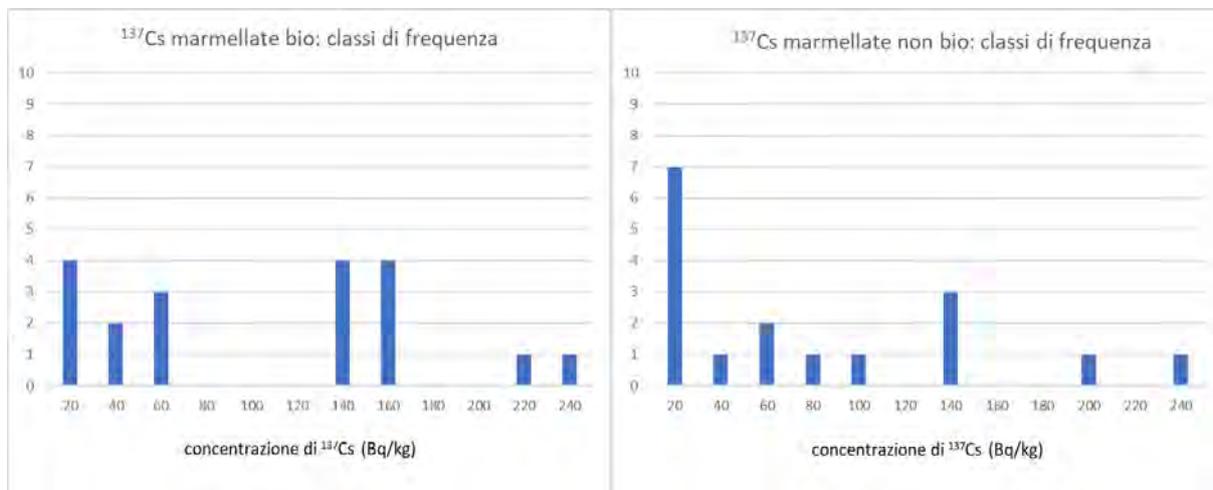
Effettuando un t-test (test a due code, varianze uguali ma ignote) per i campioni classificati come biologici e non biologici le medie non sono significativamente differenti (p-value > 0,05), supportando l'ipotesi che i frutti di partenza per la preparazione di entrambe le tipologie di prodotti siano gli stessi. Si riporta in tabella 5 il risultato del t-test applicato per l'ipotesi H0: medie delle due popolazioni uguali

Tabella 5: risultati test di Student

	¹³⁷ Cs (prodotto)	¹³⁷ Cs (mirtilli)
p-value	0,26	0,20

Un limite di questo approccio è sicuramente dato dal fatto che il t-test applicato a due distribuzioni multimodali (non normali) non è ottimale.

Figura 2: Distribuzione in classi di frequenza del ¹³⁷Cs per le marmellate biologiche (a) e non-biologiche (b)



Altri prodotti

È stato analizzato anche un prodotto denominato “Frutta Scioppata” della marca Vis (IT – SO). Il prodotto è costituito da mirtilli immersi in un succo zuccherino. La concentrazione di attività per il prodotto tal quale è risultata subito notevole, pari a $168 \pm 5 \text{ Bq kg}^{-1}$. Tuttavia, è difficile determinare quanta dell'attività sia determinata dai soli frutti e quanta sia determinata dallo sciroppo zuccherino. Un'aliquota di prodotto è stata quindi risciacquata con abbondante acqua milliQ, in modo da eliminare il maggior quantitativo di sciroppo. Le concentrazioni di attività per i frutti puliti e per il solo sciroppo sono riportati in Tabella 6. Nella stessa tabella viene riportata anche la concentrazione di attività di ¹³⁷Cs nel frutto considerando che il ¹³⁷Cs derivi solamente da quest'ultimo: 456 Bq kg^{-1} . La concentrazione di attività è stata stimata con la seguente equazione:

$$att_{mir} = \frac{att_{mir-misurata} * massa_{mir-misurata} + att_{sci-misurata} * massa_{sci-misurata}}{massa_{mir-misurata}}$$

dove $att_{mir-misurata}$ è l'attività misurata per il solo frutto risciacquato e $massa_{mir-misurata}$ il valore della massa di frutto analizzata mentre $att_{sci-misurata}$ e $massa_{sci-misurata}$ sono l'attività e la massa dello sciroppo analizzati separatamente. Per completezza è stata misurata anche l'attività nell'acqua di lavaggio che è risultata pari a $5 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$. Il valore ottenuto da questa procedura è quindi semiquantitativo, in quanto non è stato possibile determinare il contenuto di ¹³⁷Cs perso con il lavaggio.

Tabella 6: Concentrazioni di attività di ^{137}Cs nel prodotto a base di mirtilli *Frutta Scioppata* della marca VIS. La massa dell'acqua analizzata non coincide con la massa di acqua utilizzata per il lavaggio. *Ricalcolato con l'equazione 1.

Matrice	Massa (kg)	^{137}Cs (Bq/kg)
Prodotto tal quale	0,05750	168±5
Mirtilli sgocciolati	0,05658	137±5
Scioppo	0,06149	188±7
Acqua lavaggio	0,05306	5±1
Mirtilli sgocciolati*	0,05658	456±12

DISCUSSIONE

I risultati della concentrazione di ^{137}Cs nelle marmellate sono anche più elevati di quelli riportati nella letteratura recente (Missik et al, 2006) (Pourcelot et al, 2003). Letho et al. riporta ad esempio concentrazioni nelle bacche di mirtillo nero (*V. Myrtillus*) nel sud della Finlandia di $1180\pm 23 \text{ Bq kg}^{-1}$ s.s., in zone ad alta ricaduta di ^{137}Cs (circa 20 kBq m^{-2}) che, considerando un contenuto medio di acqua del 90% circa, corrisponderebbero a circa 120 Bq kg^{-1} peso fresco.

Per il mirtillo nero i fattori di trasferimento suolo-bacca, calcolato come rapporto tra la concentrazione nei frutti (Bq kg^{-1} s.s.) e l'inventario al suolo (Bq m^{-2} nei primi 20 cm) risultano dell'ordine di $0,05\div 0,07$ (tabella 7), tuttavia è nota l'ampia variabilità di questi dati, dovuta alla molteplicità di processi chimici e biologici coinvolti.

Tabella 7 - Fattori di trasferimento suolo-mirtillo. *Vaccinium myrtillus*, mirtillo nero, *Vaccinium vitis-idaea*, mirtillo rosso. *Valore ottenuto da un unico campione.

Specie	Fattore di trasferimento (m^2/kg)		Riferimento
<i>V. myrtillus</i>	$0,0065\pm 0,0044$	Peso fresco	Shutov et al. (1996)
<i>V. myrtillus</i>	0,006	Peso fresco	Ylipieti et al. (2007)
<i>V. myrtillus</i>	0,008	Peso fresco	Letho et al (2013)
<i>V. myrtillus</i>	0,07*	Peso secco	Wirth et al. (1994)
<i>V. myrtillus</i>	0,062	Peso secco	Letho et al. (2013)
<i>V. myrtillus</i>	0,052	Peso secco	Letho et al. (2013)

A 33 anni dall'incidente di Chernobyl, ci si chiede quale sia la zona di provenienza di mirtilli neri con concentrazioni di ^{137}Cs di $200\div 500 \text{ Bq kg}^{-1}$. Tuttavia, nell'etichetta dei prodotti acquistati non è mai dichiarata la specie, né la provenienza dei frutti.

Considerando una concentrazione media nei mirtilli neri di circa 100 Bq kg^{-1} (peso fresco), pari all'ordine di grandezza dei campioni analizzati in questo lavoro, considerando un range di fattori di trasferimento suolo-bacche di $0,005\div 0,008 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$, ne risulta una stima dell'inventario di ^{137}Cs al suolo da cui proverrebbero questi frutti pari a $12,5\div 20 \text{ kBq m}^{-2}$: come si può osservare dalla mappa

di fig 1 le zone con contaminazione compresa tra 10 e 40 kBq m⁻² sono molto estese e presenti sia in Italia, sia nella penisola scandinava, sia in Europa centrale e in Russia. Secondo questa ipotesi è ragionevole attendersi che siano in circolazione sul mercato UE mirtilli neri con concentrazioni di attività superiori a 100 Bq kg⁻¹ e probabilmente anche superiori al livello di riferimento comunitario di 600 Bq kg⁻¹.

CONCLUSIONI

Le concentrazioni di attività di ¹³⁷Cs conseguenti l'incidente di Chernobyl rilevate nei preparati a base di mirtillo nero sono ad oggi ancora rilevanti. Ciò è spiegabile data l'estensione della contaminazione al suolo in Europa e in Russia. Sulla base dei risultati presentati in questo lavoro e delle mappe su citate, si ritiene possibile che siano raccolti ed immessi nei mercati frutti con concentrazioni di attività di ¹³⁷Cs anche ben superiori al riferimento di 600 Bq kg⁻¹.

L'analisi dei preparati con marchio biologico ha dato valori medi paragonabili o leggermente superiori a quelli senza alcuna certificazione biologica. D'altra parte, le certificazioni di origine biologica non comprendono alcuna analisi della radioattività nelle materie prime e nei prodotti.

Dati i risultati mostrati in questo lavoro, l'estensione della contaminazione in Europa ed in Russia, data l'ampia variabilità dei fattori di trasferimento, si ritiene importante proseguire il monitoraggio del contenuto di ¹³⁷Cs nei frutti di bosco, sia al fine della tutela della salute della popolazione, sia a scopo di ricerca scientifica.

BIBLIOGRAFIA

Behrens, Erik, et al. "Model simulations on the long-term dispersal of ¹³⁷Cs released into the Pacific Ocean off Fukushima." *Environmental Research Letters* 7.3 (2012): 034004

Calabrese M., Calabretti A., Cantaluppi C., Ceccotto F., Zannoni D. "Radiocesium contamination in samples of blueberries jams collected in stores of NE Italy (2013-2017)." *Applied Physics Research: Vol 10 No 5:2018.*

CE, 2008. *Regolamento (CE) N. 733/2008 del Consiglio del 15 luglio 2008 relativo alle condizioni d'importazione di prodotti agricoli originari da paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl.* Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L201 pag 1-7 del 30 luglio 2008.

CE, 2009. *Regolamento (CE) N. 1048/2009 del Consiglio del 23 ottobre 2009 che modifica il regolamento (CE) n. 733/2008 relativo alle condizioni d'importazione di prodotti agricoli originari da paesi terzi a seguito dell'incidente verificatosi nella centrale nucleare di Chernobyl.* Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea L290 pag 4 del 6 novembre 2009.

De Cort M., Dubois G., Fridman SD, Germenchuk M.G., Izrael Y.A. et al. *Atlas of cesium deposition on Europe after the Chernobyl accident.* EUR Report Nr. 16733 Brussels-Luxemburg: Office for the Official Publications of the European Communities; ECSC-EEC-EAEC; 1998.

Ehlken S., Kirchner G. "Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review." *Journal of Environmental Radioactivity* 58 (2002) 97-112.

Letho J et al. "¹³⁷Cs, ^{239,240}Pu and ²⁴¹Am in boreal forest soil and their transfer into wild mushrooms and berries" *Journal of environmental radioactivity* 116 (2013) 124-132.

Missik J., Puskeiler L., Miklas P., 2006: *"Penetration of ¹³⁷Cs into the human body after consumption of naturally collected or commercially sold bilberries."* Third Conference of Radiobiology, UVM Kosice, pp 221-226.

Pourcelot L., Renaud P., Louvat D., Gurriaran R., Richon P. 2003: *"Influence of hot spots on cesium-137 contamination on an alpine food chain and doses associated with it."* ERS 2:112-120

Steinhauser G. et al. *"Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: a review of the environmental impacts"* Science of the total environment 470-471 (2014) 800-817

Shutov, V. N., et al. *"The role of mushrooms and berries in the formation of internal exposure doses to the population of Russia after the Chernobyl accident."* Radiation Protection Dosimetry 67.1 (1996): 55-64.

Ylipieti J., Solatie D., 2007. *"Radiocesium in wild berries and natural herbs in Northern Finland."* In: Proceedings of the International Conference on Environmental Radioactivity. Vienna Austria April 23-27.

Wirth, E., et al. *"Transfer equations for cesium-137 for coniferous forest understorey plant species."* Science of the total environment 157 (1994): 163-170.