

Aosta 15-17 ottobre 2014

XXXVII CONVEGNO  
NAZIONALE

# RADIOPROTEZIONE

LE RADIAZIONI: VALORI, CONOSCENZA  
SCIENTIFICA E ASPETTI OPERATIVI

[www.airp-asso.it](http://www.airp-asso.it)

ISBN 978-88-886484-0-8

Organizzato da



Con il patrocinio di



Con il sostegno di



# **I muschi come indicatori di radioattività ambientale: 25 anni di utilizzo in Friuli Venezia Giulia**

Concettina Giovani<sup>1</sup>, Massimo Garavaglia<sup>1</sup>, Enrico Radivo<sup>2</sup>, Elvio Scruzzi<sup>1</sup>, Manuel Veritti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SOS Fisica Ambientale-Laboratorio Unico Regionale- ARPA Friuli Venezia Giulia, [fisamb@arpa.fvg.it](mailto:fisamb@arpa.fvg.it);

<sup>2</sup>Università degli Studi di Udine-Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali.

## INTRODUZIONE

A partire dal 1989, in Friuli Venezia Giulia, è stato avviato un progetto di ricerca, in collaborazione con il Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste, nell'ambito di un progetto di ricerca della Commissione Europea, riguardante la possibilità di utilizzare la matrice muschio come indicatore di deposizione al suolo nel caso in cui i territori interessati dalla ricaduta siano molto estesi. A seguito di un ampio studio preliminare effettuato nel 1990 su oltre 100 campioni di briofite appartenenti a diverse specie e di un secondo studio condotto l'anno successivo su 112 campioni di briofite provenienti da 7 stazioni, scelte sul territorio regionale sulla base della diversa contaminazione del suolo a seguito dell'incidente di Chernobyl (concentrazioni di Cs-137 nel suolo comprese tra 5000 Bq/m<sup>2</sup> e 50000 Bq/m<sup>2</sup>), sono stati elaborati protocolli di campionamento, preparazione dei campioni e misura di alcune specie di briofite, allo scopo di utilizzare, sia in situazione di monitoraggio ordinario che in emergenza, tale matrice quale indicatore di radioattività ambientale (Giovani et al., 1991, 1994a, 1994b, Usco A., 1993).

Nei primi anni novanta, anche a seguito di appositi corsi residenziali per gli operatori dei centri di riferimento regionale della radioattività ambientale, i protocolli sono stati fatti propri dalla rete nazionale per il controllo della radioattività ambientale, è stata redatta una carta nazionale della contaminazione delle briofite a seguito dell'incidente di Chernobyl (Agnesod et al., 1993) e da allora in poi, in Italia, i muschi sono stati utilizzati come indicatori di radioattività ambientale (Giovani et al., 2002, 2006, 2011, 2013).

In Friuli Venezia Giulia sono state effettuate 12 campagne di misura, una delle quali in situazione di emergenza in seguito ad un'allerta dovuta ad un'anomalia alla centrale nucleare di Crsko in Slovenia, in una ventina di stazioni distribuite sul territorio regionale (Giovani et al., 2009).

In questo lavoro vengono riportati i principali risultati di tutte le campagne di misura effettuate in regione: vengono analizzati gli andamenti nel tempo della concentrazione di Cs-137 nei muschi e la sua distribuzione spaziale sul territorio regionale. Viene inoltre effettuato il confronto con i risultati delle campagne di campionamento e misura della radioattività artificiale nei suoli boschivi della regione.

Infine, vengono fatte alcune considerazioni sull'utilizzo dei muschi come indicatori di radioattività ambientale anche a molti anni di distanza da un evento incidentale quale quello accaduto a Chernobyl nel 1986. Vengono valutati nello specifico i vantaggi e le difficoltà nell'utilizzo di tale matrice come indicatore di deposizione al suolo in alternativa al campionamento ed alla misura del suolo stesso, sia nelle situazioni ordinarie che in caso di emergenza.

## MATERIALI E METODI

A partire dal 1991 sono state effettuate 12 campagne di campionamento e misura allo scopo di utilizzare il muschio quale indicatore di deposizione al suolo. In generale le campagne di misura della matrice muschio sono inserite nell'ambito dei piani di campionamento delle matrici ambientali ed a ciò si riferiscono le campagne di misura effettuate nel 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1997, 2003, 2005, 2007 e 2010, mentre la campagna di misura del 2008 è stata effettuata in fase di emergenza (vedi Giovani et al., 2009) e la campagna del 2013 è stata effettuata nell'ambito di un ampio studio riguardante la contaminazione da radiocesio nei cinghiali in 5 stazioni all'interno delle zone maggiormente interessate dalla ricaduta radioattiva conseguente all'incidente di Chernobyl. Il numero di stazioni in cui è stato possibile campionare muschi è risultato molto variabile nei diversi anni, in funzione delle condizioni atmosferiche, delle risorse della struttura operativa e degli obiettivi del campionamento. Il numero totale di campioni di muschio misurati in circa vent'anni di studio è risultato pari a 187. Ai fini del presente studio sono stati tuttavia utilizzati sottoinsiemi di 10 o di 4 stazioni che risultassero presenti in un numero sufficiente di campagne di misura. Le 4 stazioni sono: Claut, Fusine, Resia e Saletto. A

queste se ne aggiungono ulteriori 6: Castelmonte, Dolina Percedol, Passo Pura, Passo Rest, Pian di Casa, Valbruna-Valsaisera.

I protocolli di campionamento e misura utilizzati sono quelli standard che prevedono, per ogni stazione, la misura di un campione composito: in Friuli Venezia Giulia il campione composito è costituito da 10 campioni circolari sovrapposti, tutti della specie *Ctenidium molluscum*, per una superficie totale pari a 0.023 m<sup>2</sup>, all'interno di un piccolo contenitore cilindrico da 50 ml e la misura viene effettuata in spettrometria gamma mediante germanio intrinseco.

All'interno di questo studio sono inoltre stati utilizzati campioni di suolo boschivo provenienti dalle campagne di campionamento e misura di suoli prativi e boschivi effettuati a partire dal 1987 (metodo della trincea e del tubo spaccato, suoli divisi in strati 0-3 cm, 3-5 cm, 5-10 cm...fino alla profondità di 30-40 cm) in 7 stazioni comuni al campionamento muschi. Infine sono stati utilizzati, per le stesse 7 stazioni, i risultati provenienti dalle campagne di campionamento e misura dei funghi spontanei che sono state effettuate annualmente a partire dal 1986. Per i dettagli relativi alle campagne di campionamento e misura di suoli e funghi si veda, ad esempio, Giovani et al., 2012.

Per la creazione delle mappe è stato utilizzato il programma SURFER 8.

## RISULTATI

### DISTRIBUZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DEL CS-137 NEI MUSCHI DEL FRIULI VENEZIA GIULIA

In fig. 1 è riportata la distribuzione della concentrazione di Cs-137 nei campioni di muschio raccolti nelle stazioni oggetto dell'ultima campagna di misura (2010), effettuata su un elevato numero di stazioni. Nel 2013 è stata effettuata una campagna ristretta, nell'ambito di uno studio legato alla contaminazione di cinghiali in regione, su sole 5 stazioni.

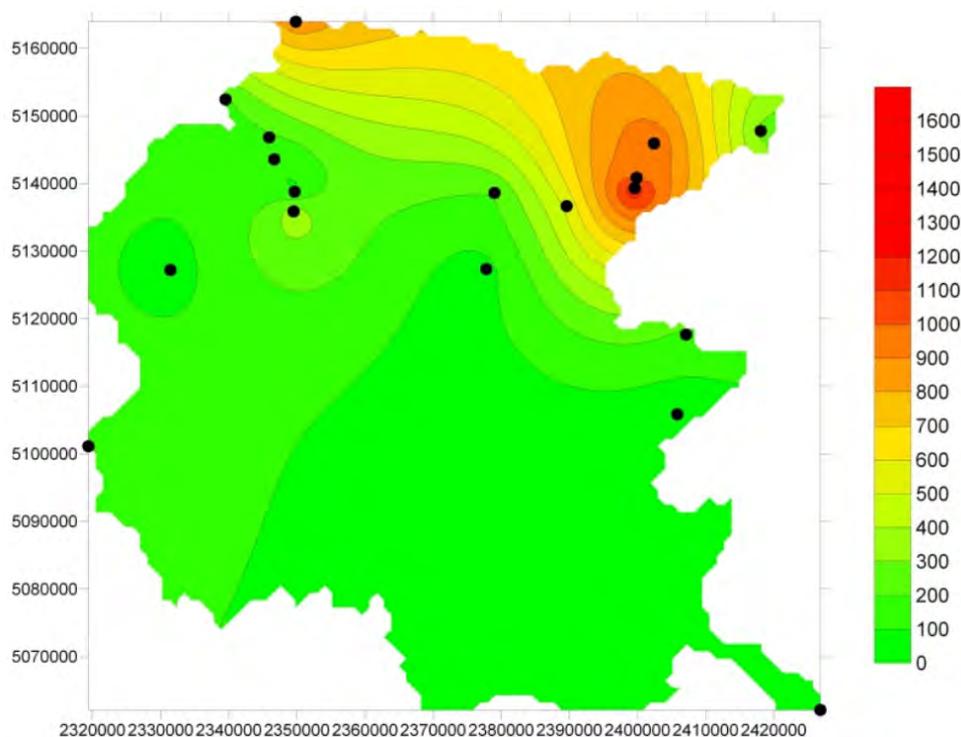


Figura 1: Distribuzione della concentrazione di Cs-137, espressa in Bq/m<sup>2</sup>, nei campioni di muschio raccolti in Friuli Venezia Giulia durante la campagna di misura del 2010. Data di riferimento: 1 ottobre 2010.

In fig. 2 è riportato il dettaglio delle concentrazioni di Cs-137 misurate sui campioni di muschio raccolte nel 2010. Le concentrazioni variano di circa due ordini di grandezza (da qualche decina ad oltre 1200 Bq/m<sup>2</sup>), con un valore medio pari a  $373 \pm 385$  Bq/m<sup>2</sup>.

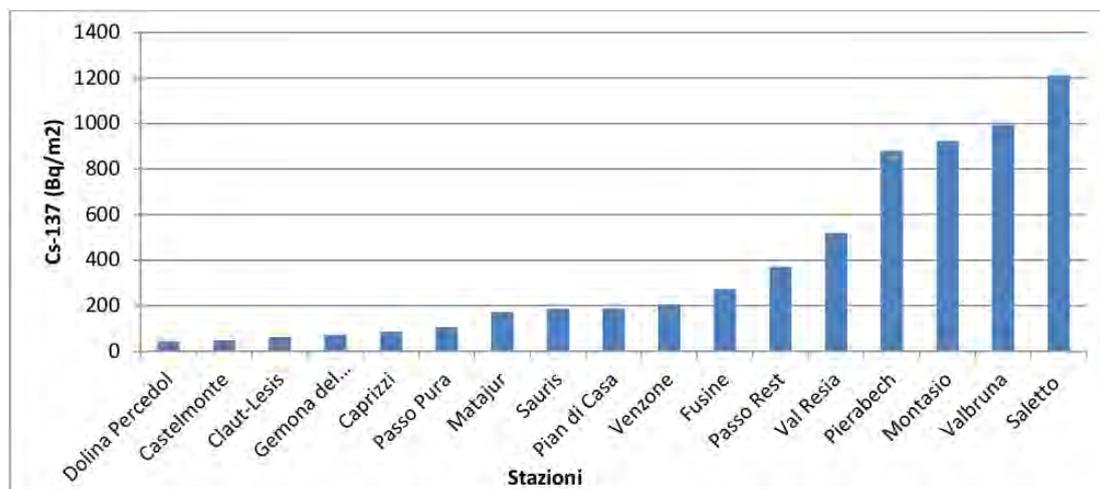


Figura 2: Concentrazione di Cs-137, espressa in Bq/m<sup>2</sup>, nei campioni di muschio raccolti in Friuli Venezia Giulia durante la campagna di misura del 2010. Data di riferimento: 1 ottobre 2010.

### ANDAMENTO NEL TEMPO DELLA CONCENTRAZIONE DEL RADIOCESIO NEI MUSCHI

In fig. 3 sono riportati gli andamenti nel tempo della concentrazione media di Cs-137 misurata in campioni di muschi prelevati nelle stesse 10 stazioni oggetto delle campagne di misura dal 1991 al 2010. La data di riferimento è il 1 maggio 1986 e sono stati esclusi gli anni di campionamento in cui il numero di stazioni risultava inferiore a 10. Ipotizzando una diminuzione costante nel tempo si ottiene un coefficiente di correlazione molto elevato pari a 0.96.

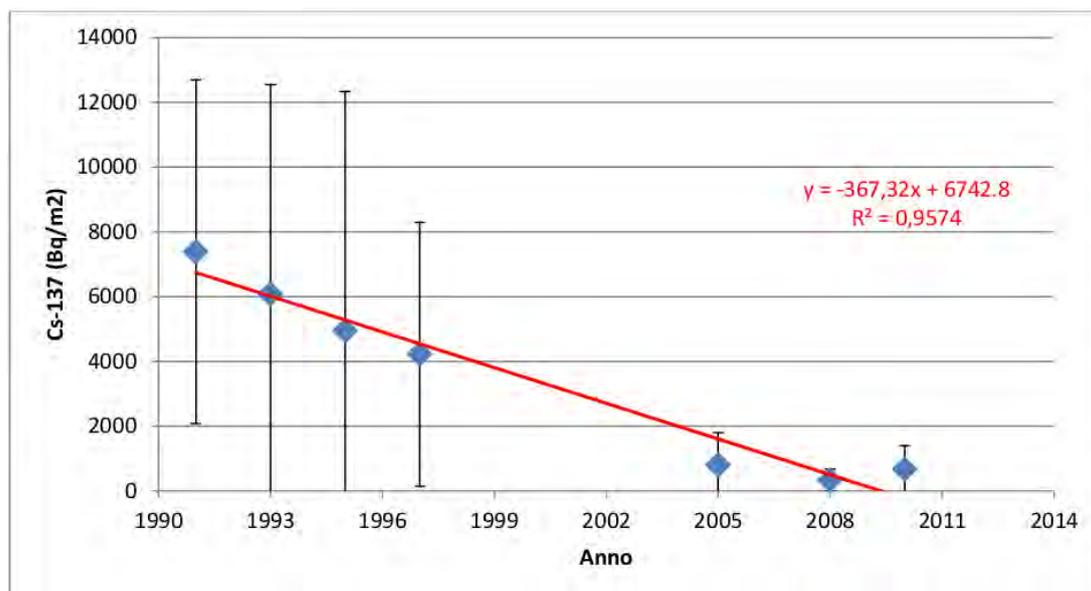


Figura 3: Andamento nel tempo della concentrazione media di Cs-137, espressa in Bq/m<sup>2</sup>, nei campioni di muschio raccolti in Friuli Venezia Giulia nelle stesse 10 stazioni presenti in tutte le campagne. Data di riferimento: 1 maggio 1986.

Il coefficiente angolare della retta di regressione risulta pari a -367 con un'intercetta pari a 6743. Le rette di regressione lineare calcolate per ogni singola stazione hanno coefficienti angolari compresi tra -33 e -972, con un valore medio pari a  $-391 \pm 327$ . In fig. 4 sono riportati i valori assoluti dei coefficienti angolari delle rette di regressione lineare nelle diverse stazioni in funzione della concentrazione di Cs-137 misurata in ogni stazione nel primo anno di campionamento (1991).

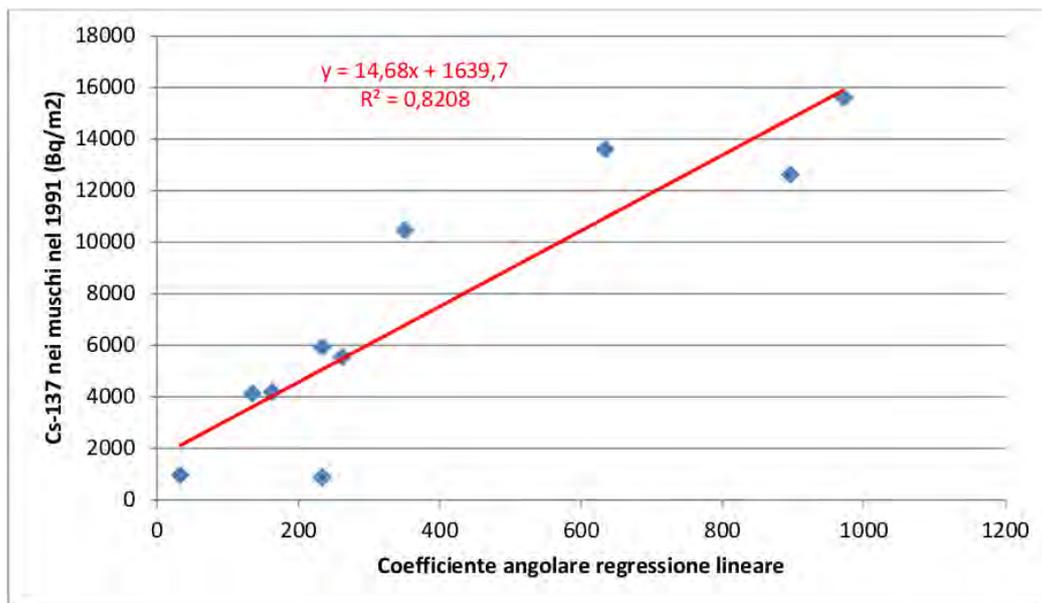


Figura 4: Valore assoluto dei coefficienti angolari delle rette di regressione lineare (Cs-137 nei muschi vs anno di campionamento) in 10 stazioni, in funzione della concentrazione di Cs-137 misurata nei muschi raccolti in ogni stazione durante il primo anno di campionamento (1991). Data di riferimento 1 maggio 1986.

In fig. 5 sono invece riportate, per il sottoinsieme di 10 stazioni, la media e la deviazione standard delle riduzioni percentuali rispetto alle concentrazioni misurate il primo anno in ogni stazione. Anche in questo caso l'andamento di diminuzione lineare con il tempo mostra un coefficiente di correlazione piuttosto elevato ( $R^2=0.89$ ). La concentrazione media nel 2010 risulta pari all' $8 \pm 5\%$  di quella misurata nel 1991, con una riduzione media dal primo campionamento del 92% circa.

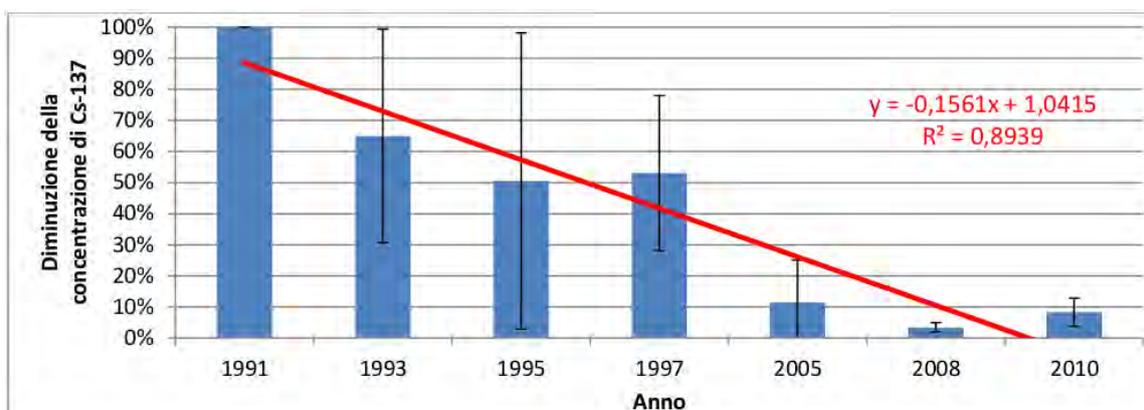


Figura 5: Andamento nel tempo della diminuzione media percentuale della concentrazione di Cs-137, nei campioni di muschio raccolti in Friuli Venezia Giulia nelle stesse 10 stazioni presenti in tutte le campagne, rispetto alla concentrazione misurata nel 1991. Data di riferimento: 1 maggio 1986.

In fig. 6 sono riportate le mappe di distribuzione della concentrazione di Cs-137 nei muschi in Friuli Venezia Giulia nel 1991, 1993, 1997 e 2010. Le mappe sono costruite sulla base dei dati provenienti dal sottoinsieme delle 10 già citate stazioni. Le date di riferimento sono il 1 ottobre di ogni anno di campionamento e, per una facilità di confronto, le scale di colore sono diverse e costruite automaticamente sulla base dei valori massimi misurati ogni anno. Le distribuzioni risultano molto simili.

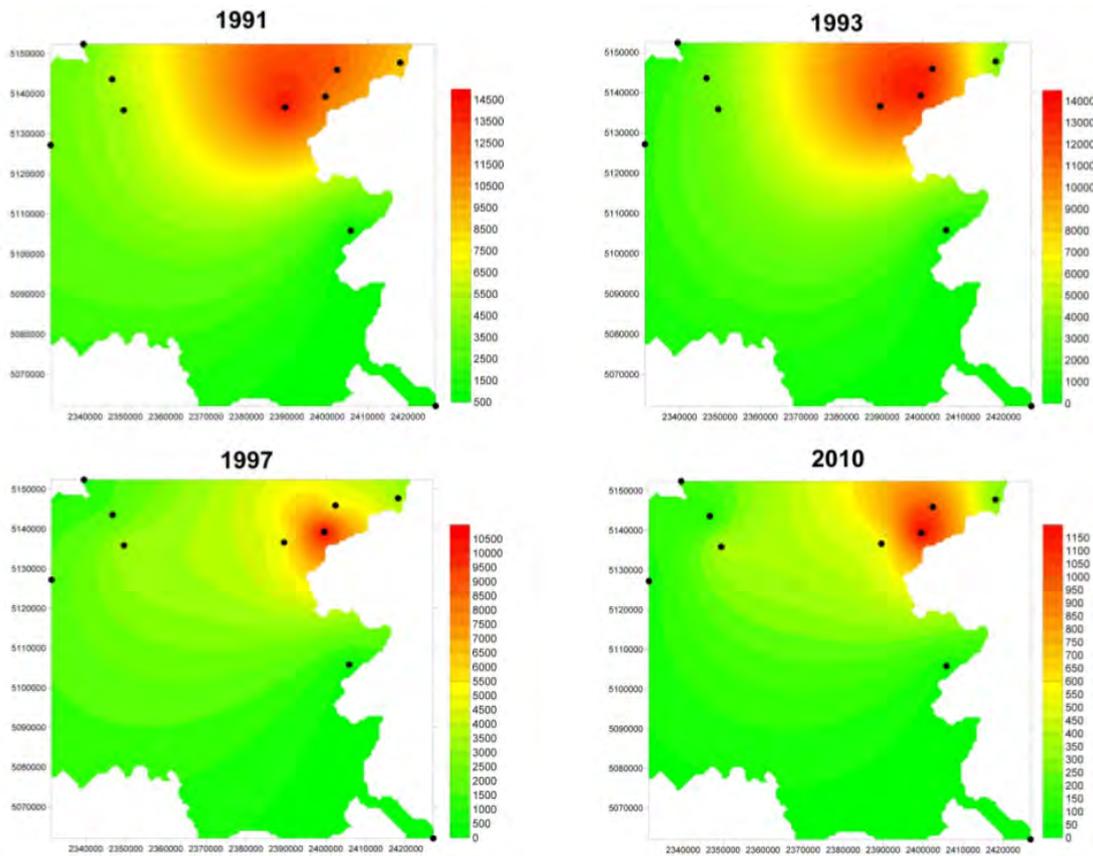


Figura 6: Mappe della distribuzione della concentrazione di Cs-137 nei campioni di muschio raccolti in 10 stazioni nel 1991, 1993, 1997 e 2010. Data di riferimento: il 1 ottobre di ogni anno di campionamento. Scale di colore automatiche sulla base del valore massimo misurato ogni anno.

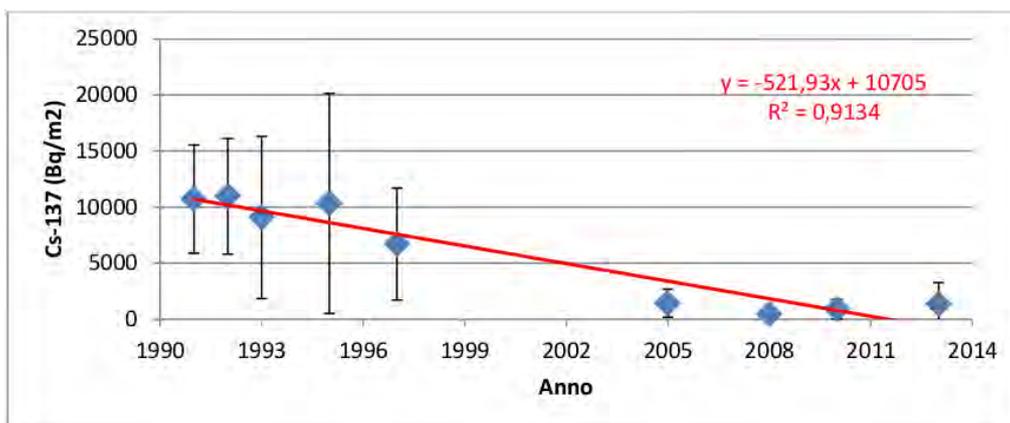


Figura 7: Andamento nel tempo della concentrazione media di Cs-137, espressa in Bq/m<sup>2</sup>, nei campioni di muschio raccolti in Friuli Venezia Giulia nelle stesse 4 stazioni presenti in tutte le campagne. Data di riferimento: 1 maggio 1986.

Considerando l'ulteriore sottoinsieme di 4 stazioni è possibile confrontare i dati di 9 campagne di misura e comprendere anche il campionamento più recente effettuato nel 2013. I risultati relativi a tale sottoinsieme sono riportati in fig. 7.

## RAPPORTO CS-137/CS-134

In tabella 1 sono riportati i rapporti Cs-137/Cs-134 per tutte le stazioni e gli anni in cui è stato possibile misurare il Cs-134. La data di riferimento è sempre quella del 1 maggio 1986. Il valore del rapporto risulta compreso tra 1.9 e 2.9 con un valore medio pari a 2.1 ed appare indipendente sia dalla stazione che dal tempo.

	1991	1993	1995	1997	Media stazione
<i>Castelmonte</i>	2,0	2,0	1,9	-	2,0
<i>Claut- Lesis</i>	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0
<i>Dolina Percedol</i>	2,2	-	1,9	-	2,1
<i>Fusine</i>	2,0	2,1	2,1	2,9	2,3
<i>Passo Pura</i>	2,4	2,2	2,0	2,4	2,3
<i>Passo Rest</i>	2,1	2,0	2,1	2,0	2,1
<i>Pian di Casa</i>	1,9	2,0	2,4	2,4	2,2
<i>Saletto</i>	2,1	2,1	2,0	2,0	2,1
<i>Val Resia</i>	2,1	2,2	2,0	2,0	2,1
<i>Val Saisera</i>	2,0	2,0	2,0	2,1	2,0
<b>Media annua</b>	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>	<b>2,0</b>	<b>2,2</b>	<b>2,1</b>

Tabella 1: Rapporto Cs-137/134 nei campioni di muschio raccolti nelle diverse stazioni durante tutte le campagne di misura. Data di riferimento: 1 maggio 1986.

## ANALISI DEI DATI

### STUDIO DELLA CORRELAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DEL CS-137 NEI MUSCHI E NEI SUOLI

In fig.8 sono riportate le mappe di distribuzione della concentrazione di Cs-137 misurata nei campioni di suoli boschivi raccolti durante la campagna di campionamento del 1987 e nei campioni di muschio raccolti durante la campagna di campionamento del 1991. I valori sono espressi in termini di contaminazione superficiale in entrambi i casi e sono riferiti al primo ottobre dell'anno di campionamento.

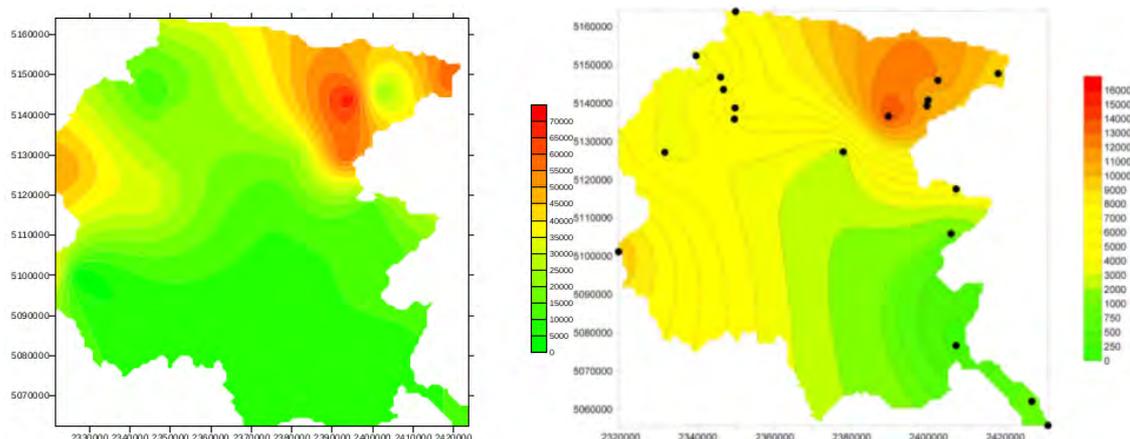


Figura 8: Mappe di distribuzione della concentrazione di Cs-137 misurata, rispettivamente, nei campioni di suoli boschivi raccolti durante la campagna di campionamento del 1987 (a sinistra) e nei campioni di muschio raccolti durante la campagna di campionamento del 1991 (a destra). Valori espressi in  $\text{Bq}/\text{m}^2$  e riferiti al 1 ottobre dell'anno di campionamento.

In fig. 9 sono riportate le concentrazioni di Cs-137 misurate nei muschi in funzione di quelle misurate, rispettivamente, nel primo strato di suolo boschivo (strato A: 0-3 cm) e nell'insieme dei primi due strati (strato A+B: 0-5 cm) nei campioni di muschio raccolti presso 7 stazioni nel 2010. Il coefficiente di correlazione tra le due serie di dati risulta molto significativo ( $R^2=0.94$  per lo strato A e  $R^2=0.89$ ), nonostante siano passati 24 anni dall'avvenuta contaminazione. La correlazione risulta più significativa con il primo strato di suolo e l'intercetta della retta risulta pari praticamente a 0 ( $6.7 \text{ Bq}/\text{m}^2$ ): nel 2010, a meno del decadimento fisico il rapporto tra concentrazione di Cs-137 nello strato superficiale dei suoli e nei muschi, risultava pari a circa 50.

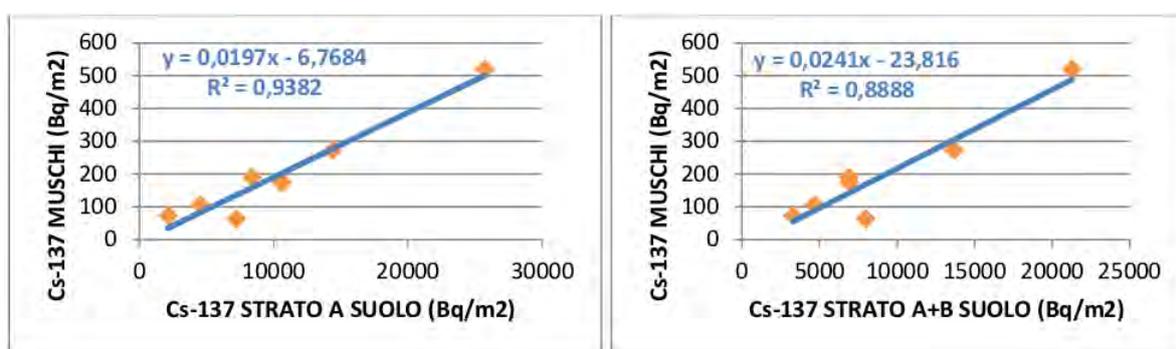


Figura 9: Concentrazioni di Cs-137 misurate nei muschi in funzione di quelle misurate, rispettivamente, nel primo strato di suolo boschivo (strato A: 0-3 cm, sinistra) e nell'insieme dei primi due strati (strato A+B: 0-5 cm, destra) nei campioni di muschio raccolti presso 7 stazioni nel 2010. Data di riferimento 1 maggio 1986.

In tre stazioni di raccolta muschi sono stati raccolti, nello stesso anno, rispettivamente 1991, 1994, 2002 e 2007, campioni di suolo. Il rapporto tra concentrazione, mediata sulle tre stazioni, di Cs-137 nel muschio e nello strato più superficiale del suolo (0-3 cm) è risultato dell'ordine del 25% (data di riferimento: 1 maggio 1986). Il valore risulta in buon accordo con i dati relativi ai primi studi da cui risultava che il muschio aveva una contaminazione superficiale pari a circa il 30% di quella del suolo (Giovani et al., 1994a).

## STUDIO DELLA CORRELAZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DEL CS-137 NEI MUSCHI E NEI FUNGHI

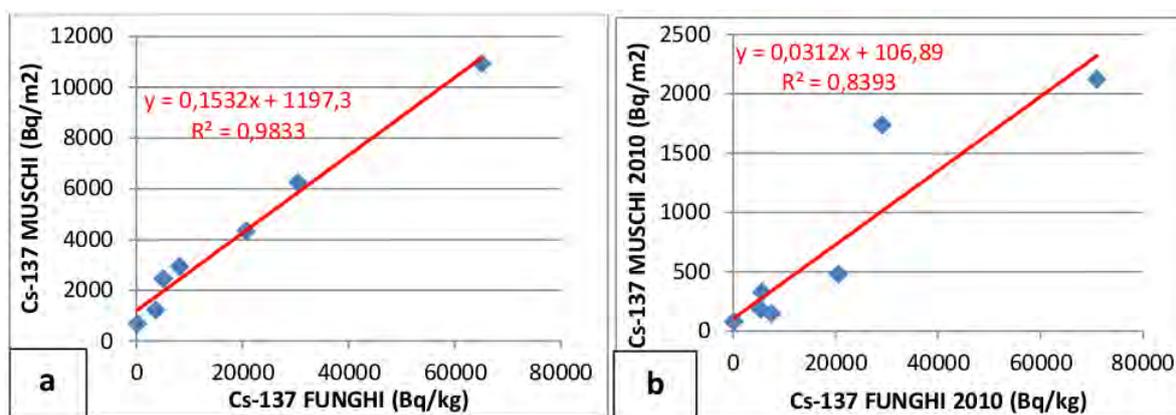


Figura 10: Concentrazioni di Cs-137 misurate nei muschi in funzione di quelle misurate nei funghi spontanei raccolti nelle stesse 7 stazioni. Figura 10 a (sinistra): tutti i campioni raccolti tra il 1986 ed il 2013, figura 10b (destra): campioni raccolti nel 2010. Data di riferimento 1 maggio 1986.

Nelle figure 10a e b sono riportate le concentrazioni di Cs-137 misurate nei muschi rispetto a quelle misurate nei funghi spontanei raccolti in 7 stazioni (Castelmonte, Pian di Casa, Passo Pura, Passo Rest, Fusine, Val Saisera, Saletto). Ogni punto della figura 10a rappresenta la concentrazione media del Cs-137 misurata in tutti i campioni di muschi e di funghi in tutti i campionamenti effettuati in una certa stazione (muschi raccolti tra il 1991 ed il 2013, funghi raccolti tra il 1986 ed il 2013). Nella figura 10b vengono considerati i soli dati relativi al 2010. La data di riferimento è, in entrambi i casi, il 1 maggio 1986.

Nel primo caso il coefficiente di correlazione risulta molto vicino ad 1. Ciò indica che, utilizzando un ampio numero di dati, 77 campioni composti di muschio e 2322 campioni di funghi spontanei, le differenze dovute alla diversa fisiologia delle diverse specie di funghi vengono mediate ed entrambi gli indicatori, muschi e funghi, rispondono allo stesso modo della contaminazione del suolo. Tuttavia, anche con numerosità inferiori, quali quelle presenti nel solo campionamento del 2010, 189 campioni di funghi nelle 7 stazioni analizzate, la correlazione tra i due indicatori risulta comunque piuttosto buona.

## CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE

Sebbene la contaminazione da Cs-137 dei muschi sia notevolmente diminuita negli oltre vent'anni di osservazione, anche indipendentemente dal decadimento fisico, i risultati presentati in questo studio confermano sostanzialmente la bontà della matrice muschio quale indicatore della radioattività ambientale. In particolare risultano significative le correlazioni nello spazio e nel tempo tra la concentrazione di Cs-137 nel campione composito di muschio e quella nello strato più superficiale del suolo nella stazione corrispondente. Il muschio si conferma quindi come un ottimo indicatore di deposizione al suolo che può essere utilmente impiegato nel controllo della radioattività ambientale sia in condizioni normali che di emergenza. In quest'ultimo caso i vantaggi legati alla velocità di campionamento, trattamento dei campioni e misura, rispetto all'utilizzo diretto del suolo, sono notevolissimi.

Lo svantaggio più evidente è la diminuzione della concentrazione del radiocesio nei muschi che risulta, mediamente, dell'ordine del 15% all'anno, oltre a quella dovuta al decadimento fisico, e dipendente dalla contaminazione iniziale. Tuttavia, la grossa capacità di accumulo della deposizione sia umida che secca che la specie considerata presenta, fa in modo che, ad oltre 25 anni dal fallout radioattivo dell'incidente di Chernobyl, i muschi del Friuli Venezia Giulia mostrino ancora concentrazioni di Cs-137 facilmente misurabili, almeno in Friuli Venezia Giulia, con le normali strumentazioni a disposizione dei laboratori di spettrometria gamma.

Il rapporto delle concentrazioni Cs-137/Cs-134 misurato nei muschi e risultato leggermente superiore a due, in accordo con quanto già evidenziato negli studi precedenti, risponde della contaminazione da Cs-137 preChernobyl, dovuta alla deposizione avvenuta a seguito dei test nucleari in atmosfera.

Risultano interessanti anche le significative correlazioni delle concentrazioni di Cs-137 misurate nei funghi spontanei e nei muschi delle corrispondenti stazioni, così come il fatto che la correlazione muschio suolo risulti tanto più significativa quanto più lo strato di suolo di riferimento sia superficiale. I meccanismi naturali che stanno dietro a questi fenomeni devono senz'altro essere ulteriormente indagati. Ulteriori analisi sono inoltre in corso con riferimento all'andamento nel tempo della contaminazione dei muschi, ed eventualmente del suolo, in funzione dell'ecosistema boschivo delle singole stazioni (bosco a conifere o latifoglie prevalenti, bosco misto).

## BIBLIOGRAFIA

Agnesod G., Bonomi C., Fontana C., Frizzera G., Giannardi C., Giovani C., Magnoni M., Marchesoni C., Margini C., Marletta L., Minach L., Nuccetelli C., Piermattei S., Repetti M., Sabatini P., Sogni R., Tofani S., Trotti F., Usco A., 1995 - Mapping of radioactive fallout using mosses as bioindicators - in: Proceeding of Harmonization in radiation protection: from theory to practical applications, Taormina, 1993: 215-226

Giovani C., Nimis P.L., Padovani R., Usco A., 1991 - Le briofite come indicatori di radiocontaminazione - in: atti del XXVII Congresso Nazionale AIRP, Ferrara, 435-437

Giovani C., Fadone A., Padovani R., 1993 - Incidente di Chernobyl: contaminazione da Cs-137 nel Friuli- Venezia Giulia: andamento dal 1986 al 1993 e uso di indicatori di radioattività' - in: Sicurezza e Protezione, 30, settembre 1992-dicembre 1993, 71-77.

Giovani C., Nimis P.L., Bolognini G., Padovani R., Usco A., 1994a - Bryophytes as indicators of radiocesium deposition in northeastern Italy - in: Sci. Total Environ., 157: 35-43

Giovani C., Nuccetelli C., Piermattei S., 1994b - L'uso dei muschi quali indicatori di radioattività': studi per una rete nazionale - in: atti del Convegno Nazionale AIRP: Isotopi Naturali ed artificiali nell'ambiente: aspetti radioprotezionistici e biogeochimici, Maratea, 1992, 71-75

Giovani C., Uso di diversi indicatori di contaminazione radioattiva antropogenica: muschi, licheni, funghi e miele, 2002, Atti del Convegno AIRP "La radioattività' nel contesto degli studi ambientali", Isola del Giglio 9-10 maggio 2002: 19-33.

Giovani C., Garavaglia M., Nadalut B., Pividore S., Scruzzi E., Andamento temporale della contaminazione radioattiva in alcune matrici ambientali in Friuli Venezia Giulia da Chernobyl ad oggi, 2006, atti del convegno "Controllo ambientale degli agenti fisici: dal monitoraggio alle azioni di risanamento e bonifica", 7-8-9 giugno 2006 Città Studi Biella

Giovani C., Garavaglia M., Godeassi M., Nadalut B., 2009 - Uso di Indicatori di radioattività nel caso di emergenze radiologiche - in atti del IV Convegno Nazionale "Controllo ambientale degli Agenti Fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti", Vercelli 24-27 marzo 2009

Giovani C., Garavaglia M., Godeassi M., Di Marco P., Scruzzi E., Pivetta A., 2011 - Andamento temporale dell'attività di <sup>137</sup>Cs nelle piante vascolari e nelle briofite del Friuli Venezia Giulia dopo l'incidente di Chernobyl, in atti del Convegno Nazionale AIRP di radioprotezione, Reggio Calabria 12-14 ottobre 2011, vol. I pp.115-129

Giovani C., Garavaglia M., 2013, Protocolli per l'uso di indicatori di radioattività ambientale: sviluppo e risultati, in atti del Convegno "Chernobyl 25 anni dopo: studi riflessioni e attualità", Udine 21-22-23 giugno 2012, pp.93-110.

Usco A., 1993 -Biomonitoraggio della contaminazione da radiocesium mediante l'uso di briofite-anno accademico 1992-1993 tesi di laurea in Scienze Biologiche, Università degli Studi di Trieste