



4.5
5.0
5.6
6.3
7.1
8.0
9.0
10.0



4.5
5.0
5.6
6.3
7.1
8.0
9.0
10.0



MICROCOPY RESOLUTION TEST CHART
NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
STANDARD REFERENCE MATERIAL 1010a
(ANSI and ISO TEST CHART No. 2)

L. MONTE, S. QUAGGIA, F. POMPEI, S. FRATARCANGELI

IL COMPORTAMENTO DEL ^{137}Cs NELLE PIANTE DA FRUTTO

**RISULTATI DI UNA RICERCA CONDOTTA UTILIZZANDO LE MISURE DI RADIOATTIVITÀ
EFFETTUATE NEGLI ANNI 1987-1988 A SEGUITO DELL'INCIDENTE DI CHERNOBYL**

1 T8900522



COMITATO NAZIONALE PER LA RICERCA E PER LO SVILUPPO
DELL'ENERGIA NUCLEARE E DELLE ENERGIE ALTERNATIVE

IL COMPORTAMENTO DEL ¹³⁷Cs NELLE PIANTE DA FRUTTO

**RISULTATI DI UNA RICERCA CONDOTTA UTILIZZANDO LE MISURE DI RADIOATTIVITÀ
EFFETTUATE NEGLI ANNI 1987-1988 A SEGUITO DELL'INCIDENTE DI CHERNOBYL**

L. MONTE, S. QUAGGIA, F. POMPEI, S. FRATARCANGELI
ENEA - Dipartimento Protezione Ambientale e Salute dell'Uomo, Centro Ricerche Energia Casaccia

ENEA - RT/PAS/89/7

Testo pervenuto nell'aprile 1989
*Progetto Enea: Studi sulla protezione
dell'ambiente (EA)*

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'Enea
rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'ente.

Riassunto - Vengono riportati i risultati delle misure eseguite negli anni 1987 e 1988 su campioni di frutta e su varie componenti di alberi da frutta. Le misure effettuate hanno permesso di pervenire ad alcune conclusioni in merito al comportamento della radioattività negli alberi da frutta. E' stato possibile dimostrare che, in caso di immissione accidentale di ^{137}Cs in atmosfera, il maggior contributo alla contaminazione del frutto è dato dalla traslocazione foliare. E' stato approssimativamente determinato il valore di un parametro, indicato come "coefficiente di traslocazione", che permette di risalire dalla deposizione totale al suolo, alla concentrazione nel frutto. Sono riportate valutazioni approssimative del citato parametro per il nocciolo, il castagno, l'olivo, il melo, ed il noce. Lo studio condotto nell'arco di tre anni ha permesso di verificare che la contaminazione nel frutto varia secondo una legge esponenziale. Nel caso del nocciolo è stato anche possibile valutare il tempo di dimezzamento associato al decadimento citato; esso è risultato pari a 100-150 giorni. Stime approssimative di detto parametro sono state eseguite per il noce, l'olivo, ed il melo.

Summary - The results of measurements carried out, during the period 1987-1988, to evaluate the levels of ^{137}Cs and ^{134}Cs contamination in fruit samples and in various components of fruit-trees have been reported. It has been demonstrated that, in the case of an accidental contamination of the air, the contamination of fruit is mainly due to the foliar translocation of radionuclide. Data of radioactivity content in fruits collected through a period of three years show that the radioactivity content in fruit diminishes exponentially. Rough estimates of "translocation coefficient" defined as the ratio (radionuclide concentration in fruit)/(radionuclide deposition on soil), and of the "biological half time" have been carried out in the case of hazel-nut, walnut, apple, chestnut and olive.

PREMESSA

Negli anni 1987/88 sono proseguite le attività di misura della radioattività in matrici ambientali e della catena alimentare intraprese a partire dal 1986 in occasione dell'incidente alla centrale elettronucleare di Chernobyl.

Lo scopo delle misure eseguite è stato principalmente quello di seguire l'andamento temporale della radioattività nell'ambiente e nella catena alimentare umana individuando i meccanismi che regolano i processi di migrazione del ^{134}Cs e del ^{137}Cs in alcuni sottosistemi ambientali.

In particolare l'attenzione è stata rivolta alle seguenti problematiche:

- a) comportamento del ^{137}Cs - ^{134}Cs negli alberi da frutto;
- b) comportamento del ^{137}Cs - ^{134}Cs nella catena alimentare foraggi-bestiame-latte/carne.
- c) comportamento del ^{137}Cs - ^{134}Cs e dello ^{90}Sr nei laghi del Lazio;

Gli argomenti sono stati scelti in base all'importanza delle matrici alimentari considerate (vedere a),b)) nonché allo scopo di valutare parametri di migrazione ambientale della radioattività riferiti a situazioni ambientali italiane.

E' importante sottolineare che la scelta di uno studio approfondito sul comportamento della radioattività negli alberi da frutto è stata fatta tenendo conto della scarsa attenzione che, anche a livello internazionale, è stata rivolta al problema.

I risultati delle misure eseguite sono stati utilizzati per la messa a punto e la validazione di modelli di previsione della migrazione della radioattività nell'ambiente.

Nel presente rapporto vengono riportati i risultati dell'indagine svolta sugli alberi da frutto.

INTRODUZIONE

Le misure di radioattività condotte negli anni 87/88 in campioni di frutta e in diverse componenti dell'ecosistema albero da frutto-suolo, nonché dati analoghi raccolti nel 1986, hanno permesso di seguire l'evoluzione temporale del ^{137}Cs e del ^{134}Cs nel sistema in esame. Esse hanno offerto l'opportunità di verificare alcune conclusioni, di carattere qualitativo e quantitativo sul comportamento della radioattività nel citato sistema, alle quali gli autori erano già pervenuti in seguito ad una ricerca preliminare condotta sui fenomeni di migrazione del ^{134}Cs e del ^{137}Cs nel nocciolo (L. Monte et al. 1988).

E' importante sottolineare come in passato sia stata rivolta scarsa attenzione al problema nonostante l'importanza dal punto di vista economico ed alimentare della matrice frutta. Con le ricerche condotte si è cercato di contribuire a colmare questa lacuna.

Due sono i principali fenomeni responsabili della contaminazione del frutto in seguito ad immissione incidentale di radionuclidi in atmosfera:

a) deposizione del radionuclide al suolo -> diffusione verticale dello stesso nel terreno -> assorbimento attraverso le radici -> migrazione verso il frutto e verso le altre componenti della pianta;

b) deposizione sulle superfici esposte della pianta (in particolare sulle foglie) -> traslocazione attraverso dette superfici verso l'interno della pianta e conseguente migrazione verso il frutto.

In dipendenza dello stato di sviluppo del frutto al momento dell'immissione del radionuclide in atmosfera, oltre ai fenomeni citati occorre anche tener conto della contaminazione dovuta alla deposizione diretta del radiocontaminante sulla superficie esterna del frutto stesso.

Le diverse vie attraverso le quali il radionuclide migra verso il frutto non sono tutte egualmente importanti.

E' evidente, inoltre, che esistono dei fenomeni naturali (ad esempio la caduta delle foglie e dei frutti) e tecniche agronomiche (ad esempio potatura) a causa delle quali una parte rilevante della massa della pianta viene eliminata e successivamente sostituita in seguito alla crescita delle parti rimosse.

L'eliminazione di una parte di biomassa contaminata della pianta comporta la riduzione della quantità totale di radionuclide contenuta in quest'ultima.

Pertanto i frutti (e le altre parti della pianta) prodotti negli anni successivi all'evento di contaminazione presentano livelli di contaminazione via via più bassi non soltanto a causa del decadimento radioattivo ma principalmente in seguito ai citati fenomeni catabolici ed agronomici di rimozione.

Nel presente rapporto vengono riportati i risultati delle misure effettuate negli anni 1987/88, dal Laboratorio Misure Ambientali, su campioni di:

nocciole;
noci;
olive;
castagne;
mele.

La scelta delle predette matrici è stata fatta in base alla disponibilità di dati di contaminazione relativi al 1986 (Giorcelli F., 1988) che permettono di disporre di una serie triennale di dati di contaminazione con la conseguente possibilità di effettuare lo studio dell'andamento temporale della radioattività nel frutto. Il secondo importante motivo che ha suggerito la scelta delle varietà di frutti summenzionate nasce dalla considerazione che questi ultimi maturano in un periodo piuttosto tardivo (fine estate - inizio autunno) e che per alcuni di essi la parte edule è ricoperta da guscio protettivo; è pertanto evidente che la contaminazione presente nei raccolti del 1986, non può essere dovuta a deposizione diretta della radioattività sulla superficie dei frutti. Risulta pertanto possibile studiare i fenomeni di cui ai punti a) e b) in assenza di perturbazioni dovute alla deposizione diretta.

Lo scopo della ricerca effettuata consiste nella formulazione di un modello in grado di descrivere l'andamento temporale della radioattività presente nella frutta in seguito ad immissione incidentale di radionuclidi in atmosfera, e nell'individuare le principali vie di migrazione della radioattività nell'albero da frutto.

MATERIALI E METODI

Il contenuto di ^{134}Cs e ^{137}Cs nelle varie matrici è stato determinato sottoponendo i campioni a spettrometria gamma mediante rivelatori HpGe di efficienza pari a circa il 20% e risoluzione 1.8 keV a 1332 keV (L. Monte 1986). L'elaborazione degli spettri è stata eseguita utilizzando il programma SPECTRAN-F v. 2.1 della Canberra Inc. (Canberra 1981).

Descriviamo in breve i metodi adottati per la misura dei vari campioni.

Nocciole, gusci di nocciole, rami e foglie di nocciolo

Le nocciole sgusciate e i gusci sono stati sottoposti direttamente a misura senza preventivi trattamenti.

I rami e le foglie sono stati essiccati in stufa, fino a peso costante, alla temperatura di 110 °C.

Mele, noci, castagne, olive

Si é proceduto alla misura sul tal quale riferendo i risultati al peso fresco. Per i risultati riferiti al peso secco viene fatto esplicito riferimento nelle tabelle.

Terreni

I terreni, dopo l'eliminazione dei sassi e del materiale organico grossolano (radici, residui vegetali ecc.) sono stati essiccati in stufa a 110 °C fino a peso costante, quindi macinati e sottoposti a misura.

La valutazione della deposizione del ^{134}Cs é stata effettuata misurando la concentrazione del citato radionuclide nei primi 30 cm di terreno e riportando il valore ottenuto alla superficie del campione di suolo prelevato; il valore così ottenuto é stato corretto per un opportuno fattore che tiene conto in maniera approssimata dell'intercettazione del ^{134}Cs dovuta alla vegetazione presente sul terreno nel punto di campionamento.

Particolato atmosferico

Il campionamento del particolato atmosferico é stato effettuato su filtri di carta Schneider-Pogman HYN 75 mediante un aspiratore della capacità di circa 100 m³/giorno ubicato presso l'Istituto Casaccia dell'ENEA (coordinate geografiche Lat. 42° 02' 00"; Long. 12° 18' 40" E).

RISULTATI

Nelle tabelle II e III vengono riportati i risultati delle misure effettuate su campioni di nocciole, prelevate presso piantagioni ubicate nella provincia di Viterbo, raccolte rispettivamente negli anni 1987 e 1988. Per completezza sono stati anche riportati i risultati delle misure effettuate su nocciole raccolte nel 1986 (tabella I - Giorcelli F., 1988).

Per le nocciole prodotte in piantagioni ubicate nei comuni di Bassano Romano, Capranica, Caprarola, Carbognano, Ronciglione, Sutri e Vetralla, sono disponibili serie temporali complete di dati utilizzabili per la valutazione quantitativa dell'andamento nel tempo della contaminazione.

I grafici 1,2,3,4,5,6 e 7 riportano i dati di concentrazione del ^{137}Cs nelle nocciole coltivate nelle predette piantagioni in funzione dell'anno di raccolta.

Come mostrano i risultati riportati in tabella IV esiste una stretta correlazione lineare tra l'anno di raccolta ed il logaritmo della concentrazione di ^{137}Cs nelle nocciole. Al fine di descrivere quantitativamente questa relazione è stato introdotto un parametro che permette di determinare la concentrazione di ^{137}Cs nel frutto prodotto in una data annata utilizzando il valore di concentrazione dell'annata precedente. Questo parametro è stato denominato "tempo di dimezzamento biologico" in analogia con quanto avviene per fenomeni continui di redistribuzione e di rimozione della radioattività in sistemi biologici. È evidente che nel caso di una matrice quale il frutto i fenomeni di crescita e sviluppo presentano carattere discontinuo. Il tempo di dimezzamento biologico, in tal caso, indica un ipotetico periodo di tempo durante il quale l'attività nel frutto si dimezza. Esso permette di determinare la concentrazione di attività nel raccolto di una particolare annata utilizzando un fattore moltiplicativo F espresso dalla seguente formula

$$F = 2^{-365/T_{1/2}}$$

essendo $T_{1/2}$ il tempo di dimezzamento biologico espresso in giorni. Detta $C(i)$ la concentrazione del radionuclide nel frutto nell'anno i -esimo risulta

$$C(i+1) = F C(i)$$

In tabella V sono riportati i risultati delle misure effettuate su diverse componenti del nocciolo (rami, foglie, gusci di nocciole). Esse mostrano che il ^{137}Cs si ridistribuisce nelle varie componenti della pianta. I dati riportati hanno il solo scopo di illustrare che la migrazione interna alla pianta interessa varie componenti della pianta stessa. Essi non permettono di ricavare ulteriori informazioni di carattere quantitativo, sulle modalità di distribuzione del ^{137}Cs .

I valori medi del rapporto $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, riportato al 1-maggio-86, nelle nocciole, nel particolato atmosferico e nei terreni indicano che il valore di detto rapporto nelle nocciole è significativamente diverso dal valore che esso assume nel terreno, ed è sostanzialmente uguale al valore misurato nel particolato atmosferico; ciò dimostra che il cesio presente nelle nocciole è prevalentemente dovuto alla traslocazione verso l'interno della pianta del radionuclide che si è depositato sulle superfici esterne della pianta (principalmente sulla superficie foliare) durante l'incidente di Chernobyl.

Questo risultato è confortato dalle misure su campioni di nocciole di annate precedenti al 1986 (vedi tabella VII) e su un campione proveniente da un nocciolo trapiantato dopo l'incidente di Chernobyl. In questi casi è evidente che la deposizione diretta del cesio sulle superfici esterne non ha avuto luogo e che le piante hanno invece assorbito una trascurabile quantità di radionuclide dal suolo.

I risultati della contaminazione dei terreni sono stati utilizzati per una approssimativa valutazione della deposizione al suolo del ^{137}Cs e ^{134}Cs (tabella IX).

Misure di ^{137}Cs in campioni di olive, mele, noci, castagne, negli anni 1987 e 1988 sono riportate nelle tabelle X, XI, XII, e XIII.

CONCLUSIONI : UN MODELLO DI MIGRAZIONE DEI $^{134}/^{137}\text{Cs}$ NEGLI ALBERI DA FRUTTA

Le indagini effettuate hanno permesso di pervenire ad alcune conclusioni sui processi di migrazione del $^{134}/^{137}\text{Cs}$ nelle piante da frutto.

Come già detto due sono i principali fenomeni di migrazione della radioattività nelle piante in seguito ad immissione accidentale di contaminanti in atmosfera : traslocazione foliare e assorbimento radicale.

L'indagine condotta ha permesso di verificare che la principale causa di contaminazione, in caso di immissione accidentale di radionuclidi in atmosfera, è rappresentata dalla traslocazione foliare. Infatti il rapporto $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ nel frutto risulta significativamente diverso dal valore che il medesimo rapporto presenta nei terreni; non esiste invece alcuna differenza significativa tra i valori in atmosfera e nel frutto del citato rapporto.

Le misure effettuate su campioni di nocciole in annate precedenti all'incidente di Chernobyl e su una piantagione trapiantata dopo il maggio 86 dimostrano che l'assorbimento radicale è piuttosto limitato e che non è possibile spiegare i contenuti di cesio nel frutto nelle annate successive al 1986 supponendo che esso sia dovuto all'assorbimento radicale.

Confrontando i risultati di tabella I con i risultati delle tabelle VII e VIII si può constatare che il contributo alla contaminazione del frutto dovuto alla traslocazione è di circa due ordini di grandezza e più superiore al contributo dovuto all'assorbimento radicale.

Risulta pertanto evidente che il cesio, assorbito attraverso le superfici esterne, viene immagazzinato nelle varie parti della pianta. In seguito a fenomeni catabolici naturali, quali la caduta delle foglie, e a tecniche agronomiche, quali la potatura, parte di esso viene periodicamente rimosso dalla pianta.

La variazione di concentrazione della radioattività nel frutto presenta un andamento di tipo esponenziale come dimostrano i grafici riportati ed i risultati di tabella IV. In tabella XIV sono riportate alcune stime grossolane dei tempi di "dimezzamento biologici" per il noce, l'olivo ed il melo.

Con il termine "coefficiente di traslocazione", è stato indicato il rapporto tra la concentrazione del radionuclide nel frutto e la deposizione totale al suolo del radionuclide.

L'ordine di grandezza del citato parametro nel caso del nocciolo è pari a circa $10^{-2} \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ riferito al peso fresco come si può verificare utilizzando la deposizione media del ^{137}Cs calcolata mediante i dati di tabella VII e la concentrazione media di detto radionuclide nelle nocciole raccolte nel 1986 in piantagioni del Viterbese (valore ottenuto : $0.03 \text{ m}^2\text{kg}^{-1}$ peso fresco).

Si tenga presente che il valore riportato rappresenta soltanto una stima grossolana del coefficiente di traslocazione a causa della valutazione approssimativa della deposizione al suolo. Inoltre il valore del coefficiente di traslocazione varia al variare del livello di sviluppo della pianta; esso raggiunge i valori massimi durante il periodo primavera-estate e valori minimi durante il periodo di riposo della pianta principalmente a causa della presenza o dell'assenza delle foglie.

Utilizzando i dati di deposizione al suolo e di concentrazione nella frutta misurati (F. Giorcelli 1988), è possibile stimare il "coefficiente di traslocazione" per l'olivo, il melo, il noce e castagno. L'ordine di grandezza del citato parametro è di circa $10^{-3} \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ (vedere tabella XV).

RINGRAZIAMENTO

Si ringraziano

- il Dott. G. Riccio e gli Ispettori R. Metta e F. Riccucci della USL VT 4 di Vetralla;

- gli organi deliberanti ed il personale della Cooperativa Produttori di Nocciole dei Colli Cimini e Sabatini di Capranica;

- il Sig. V. Tosini direttore del Centro Dimostrativo per la nocciolicoltura e castagnicoltura di Caprarola;

che hanno provveduto all'individuazione dei siti di prelievo ed al campionamento di alcuni tipi di frutta nell'Alto Lazio.

TABELLE E GRAFICI

Note per la lettura delle tabelle:

- ove non diversamente specificato le attività si intendono riferite alla data di misura.

- l'errore statistico associato alle misure si intende riferito al livello di probabilità del 95%;

- le date sono riportate secondo il seguente formato

XXYYZZ

XX = anno
YY = mese
ZZ = giorno

Tabella I

Contenuto di ^{137}Cs e ^{134}Cs in campioni di nocciole (parte edule)
campionati nella provincia di Viterbo. Anno 1986

| Luogo di campionamento | data | ^{137}Cs Bq/kg | ^{134}Cs Bq/kg |
|------------------------|--------|----------------------------|----------------------------|
| Soriano al Cim. | 860903 | 162±2 | 74±1 |
| Comp. 1 VT/4 | 860904 | 209±4 | 98±3 |
| Comp. 2 VT/4 | 860908 | 150±2 | 70±2 |
| Comp. 1VT/3 | 860908 | 160±2 | 74±1 |
| Comp. 1VT/3 | 860908 | 99±1 | 46±1 |
| Yetralla | 860916 | 167±3 | 73±2 |
| Bassano Rom. | 860916 | 489±7 | 221±5 |
| Sutri | 860916 | 251±6 | 114±4 |
| Caprarola | 860916 | 193±5 | 86±3 |
| Capranica | 860916 | 174±1 | 78±1 |
| Carbognano | 860916 | 216±5 | 100±4 |
| Ronciglione | 860916 | 203±2 | 93±1 |
| Vicomatrino | 860919 | 209±2 | 95±2 |
| Vallerano | 861001 | 185±2 | 84±2 |
| Gellese | 861001 | 127±2 | 58±1 |
| Corchiano | 861001 | 108±2 | 48±1 |
| Vignanello | 861001 | 153±1 | 67±1 |
| Yasanello | 861001 | 202±2 | 90±1 |
| Comp. 1/VT5 | 861002 | 170±1 | 76±1 |
| Comp. 2/VT5 | 861002 | 171±2 | 76±1 |
| Castel S. Elia | 861002 | 186±2 | 83±2 |
| Civita Cast. | 861002 | 146±2 | 66±1 |
| Fabrica di R | 861002 | 204±2 | 89±1 |
| Soriano | 861105 | 210±2 | 89±2 |
| Caprarola | 861106 | 244±3 | 108±1 |
| Nepi | 861106 | 232±4 | 99±2 |
| Caprarola | 861210 | 297±2 | 128±1 |
| Caprarola | 861210 | 206±3 | 85±1 |
| Camp. di massa | 861215 | 437±3 | 181±2 |
| Camp. di massa | 861215 | 210±2 | 87±1 |
| Camp. di massa | 861215 | 237±5 | 104±3 |
| Camp. di massa | 861215 | 237±3 | 98±2 |
| Camp. di massa | 861215 | 216±5 | 88±3 |
| Camp. di massa | 861215 | 209±3 | 87±2 |
| Camp. di massa | 861215 | 199±4 | 84±3 |
| Camp. di massa | 861215 | 118±4 | 49±3 |

Tabella II

Contenuto di ^{137}Cs e ^{134}Cs in campioni di nocciole (parte edule)
campionati nella provincia di Viterbo. Anno 1987

| Luogo di campionamento | data | ^{137}Cs Bq/kg | ^{134}Cs Bq/kg |
|------------------------|--------|----------------------------|----------------------------|
| Vetralla | 871023 | 26±1 | 8±1 |
| Carbognano | 871023 | 22±1 | 7±1 |
| Sutri | 871026 | 58±1 | 19±1 |
| Bassano Rom. | 871026 | 41±1 | 13±1 |
| Capranica | 871026 | 41±1 | 13±1 |
| Ronciglione | 871027 | 28±1 | 9±1 |
| Caprarola | 871027 | 16±1 | 5±1 |

Tabella III

Contenuto di ^{137}Cs e ^{134}Cs in campioni di nocciole (parte edule)
campionati nella provincia di Viterbo. Anno 1988

| Luogo di campionamento | data | ^{137}Cs Bq/kg | ^{134}Cs Bq/kg |
|------------------------|--------|----------------------------|----------------------------|
| Bomarzo | 881107 | 14. ±0. 4 | 3. 4±0. 2 |
| Caprarola * | 881017 | 9. ±1. | 1. 9±0. 6 |
| Ronciglione * | 881013 | 6. 4±0. 7 | 1. 4±0. 5 |
| Sutri * | 881014 | 13. ±1. | 2. 9±0. 5 |
| Sutri * | 881028 | 9. 1±1. | 2. 2±0. 4 |
| Carbognano * | 881201 | 2. 2±0. 4 | 0. 5±0. 1 |
| Vetralla * | 881020 | 5. 8±0. 3 | 1. 3±0. 2 |
| Caprarola * | 881027 | 4. 7±0. 4 | 1. 2±0. 2 |
| Ronciglione * | 881028 | 6. 2±1. | 1. 3±0. 5 |
| Blera | 881028 | 1. 3±0. 2 | 0. 3±0. 1 |
| Capranica * | 881103 | 7. 2±0. 7 | 2. 0±0. 4 |
| Bassano R. * | 881104 | 12. ±1. | 2. 2±0. 6 |
| Barbarano | 881103 | 8. ±0. 4 | 1. 9±0. 2 |
| Oriolo | 881102 | 5. 1±0. 3 | 1. 2±0. 1 |
| Manziana | 881104 | 5. 7±0. 7 | 1. 6±0. 4 |
| Bagnoregio | 881107 | 7. 4±0. 8 | 2. 1±0. 5 |
| Tuscania | 881128 | 9. 1±1. | 2. 0±0. 5 |

Con asterisco sono contrassegnate le località per le quali i campionamenti sono stati effettuati negli anni 86, 87 e 88

Tabella IV

Tempo di dimezzamento biologico, espresso in giorni, del ^{137}Cs determinato utilizzando la concentrazione del radionuclide nel raccolto degli anni 1986, 1987, 1988. Il coefficiente di correlazione si riferisce alla dipendenza funzionale del logaritmo naturale della concentrazione di ^{137}Cs dal tempo.

| Località | Tempo di dimezzamento biologico (d) | Coefficiente di correlazione |
|---------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Bassano R. | 137. | 0.982 |
| Capranica | 159. | 0.999 |
| Caprarola | 153. | 0.961 |
| Carbognano | 110. | 1. |
| Ronciglione | 146. | 0.996 |
| Sutri | 162. | 0.999 |
| Vetralla | 151. | 0.998 |
| valor medio = | 145. (media geometrica = 144.) | |
| dev. std. = | 18. | |

Tabella V

Contenuto di $^{137},^{134}\text{Cs}$ in diverse componenti della pianta di nocciolo. L'attività si intende riferita al peso secco.

| Matrice | località | data | ^{137}Cs (Bqkg ⁻¹) | ^{134}Cs (Bqkg ⁻¹) |
|---------|-----------|--------|--|--|
| Rami | Bassano | 880315 | 42 | 11 |
| Rami | Sutri | 880316 | 52 | 16 |
| Rami | Barbarano | 880329 | 46 | 13 |
| Rami | Blera | 880329 | 31 | 9 |
| Foglie | Caprarola | 880713 | 60 | 15 |
| Gusci | Sutri | 881014 | 4.3 | <1 |

Tabella VI

Rapporto $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ in varie componenti dell'ecosistema nocciolo-suolo (valori corretti per il decadimento al 1/5/86). L'attività del ^{137}Cs nei campioni di terreno è riferita al peso secco.

| matrice | numero campioni | attività media ^{137}Cs Bq/kg | valore medio rapporto $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ | deviazione standard del rapporto $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ |
|-----------------------------|--------------------|---|---|---|
| particolato atmosferaico | 33 | - | 0.491 | 0.05 |
| nocciole (raccolto 86) | 36 | 205 | 0.510 | 0.01 |
| nocciole (raccolto 87) | 7 | 33 | 0.506 | 0.01 |
| rami | 7 | - | 0.519 | 0.02 |
| terreno (prof. 0-10 cm) | 10 | 35 | 0.354 | 0.08 |
| (prof. 10-20 cm) | 8 | 16 | 0.221 | 0.14 |
| (prof. 20-30 cm) | 2 | 3 | <0.24 | - |

Tabella VII

Nocciole raccolte in annate precedenti all'incidente di Chernobyl

| Luogo di campionamento | anno di raccolta | data di misura | attività riferita alla data di misu- ra (^{137}Cs Bqkg ⁻¹) |
|---------------------------|---------------------|-------------------|--|
| Alto Lazio | 1985 | 881104 | 1.8±0.4 |
| Alto Lazio | 1985 | 881125 | 1.1±0.2 |
| Alto Lazio | 1985 | 860916 | <1. |

Tabella VIII

Concentrazione di ^{137}Cs e ^{134}Cs in varie componenti della pianta di nocciole. Campioni prelevati presso un nocciololetto trapiantato dopo l'incidente di Chernobyl.

| Matrice | data | ^{137}Cs (Bq/kg) | ^{134}Cs (Bq/kg) |
|----------|--------|------------------------------|------------------------------|
| Nocciola | 881122 | 0.6±0.4 | <0.2 |
| Gusci | 881122 | <0.3 | <0.3 |

Tabella IX

Deposizione totale di ^{134}Cs riferita al 1-maggio-86 determinata da misure nei terreni (vedere MATERIALI E METODI - Terreni). I valori corrispondenti di ^{137}Cs si ottengono dividendo i valori riportati nella presente tabella per 0.51

| Località | deposizione ^{134}Cs (Bq/m ²) (riferita al 1-5-86) |
|------------------|--|
| Ronciglione (VT) | 6700 |
| Sutri (VT) | 3800 |
| Caprarola (VT) | 3400 |
| Barbarano (VT) | 1000 |
| Veiano (VT) | 1600 |
| Oriolo (VT) | 1600 |
| Capranica (VT) | 5500 |
| valor medio | 3400 |

Tabella X

Concentrazioni di ^{137}Cs e ^{134}Cs in varie componenti dell' olivo.

| Matrice | Luogo di campionamento | Anno del raccolto (o del campionamento) | data di misura | ^{137}Cs (Bq/kg) | ^{134}Cs (Bq/kg) |
|---------|------------------------|---|----------------|---------------------------|---------------------------|
| frutto | La Storta (Roma) | 1986 | | 15. ±1. | 7. ±1. |
| frutto | Blera (VT) | 1987 | 880324 | 2. 4±0. 2 | 0. 7±0. 1 |
| frutto | Alatri (FR) | 1986 | 861108 | 28. ±1. | 12. ±1. |
| frutto | Alatri (FR) | 1988 | 890103 | 1. 6±0. 2 | <1. |
| foglie* | Alatri (FR) | 1988 | 890104 | 1. 3±0. 5 | <0. 4 |
| rami* | Alatri (FR) | 1988 | 890104 | 4. 4±0. 9 | 1. 1±0. 3 |

* Valori riferiti al peso secco

Tabella XI

Concentrazioni di ^{137}Cs e ^{134}Cs in campioni di mele.

| Matrice | Luogo di campionamento | Anno del raccolto (o del campionamento) | data di misura | ^{137}Cs (Bq/kg) | ^{134}Cs (Bq/kg) |
|---------|------------------------|---|----------------|---------------------------|---------------------------|
| mela | Rieti | 1986 | 870310 | 20. 8±2. | 8. ±2. |
| mela | Rieti | 1988 | 881212 | 1. 4±0. 2 | 0. 4±0. 04 |

Tabella XII

Concentrazioni di ^{137}Cs e ^{134}Cs in campioni di noci.

| Matrice | Luogo di campionamento | Anno del raccolto (o del campionamento) | data di misura | ^{137}Cs (Bq/kg) | ^{134}Cs (Bq/kg) |
|-----------------------------|------------------------|---|----------------|---------------------------|---------------------------|
| noce (parte edule + guscio) | Rieti | 1986 | 860930 | 57. ±2. | 25. ±2. |
| noce (parte edule) | Rieti | 1988 | 881216 | 9. ±1. | 2. ±0.3 |
| noce (guscio) | Rieti | 1988 | 881215 | 6. 2±0. 8 | 1. 8±0. 3 |
| noce (parte edule + guscio) | Rieti | 1988 | 881212 | 8. 4±1. | 2. 3±0. 6 |

Tabella XIII

Concentrazioni di ^{137}Cs e ^{134}Cs in campioni di castagne.

| Matrice | Luogo di campionamento | Anno del raccolto (o del campionamento) | data di misura | ^{137}Cs (Bq/kg) | ^{134}Cs (Bq/kg) |
|-----------|------------------------|---|----------------|---------------------------|---------------------------|
| castagna | Tecchiena(FR) | 1986 | 861108 | 20. ±1. | 9. ±1. |
| castagna* | Ronciglione(VT) | 1987 | 881213 | 6. 6±0. 5 | 1. 3±0. 2 |
| castagna* | Caprarola (VT) | 1988 | 881215 | <0. 5 | <0. 5 |

* Campioni sgusciati. Valori riferiti al peso secco.

Tabella XIV

Stime dei tempi di "dimezzamento biologico" del ^{137}Cs espresse in giorni

| matrice | Tempo di dimezzamento biologico |
|---------|---------------------------------|
| oliva | 177 |
| mela | 188 |
| noce | 264 |

Tabella XV

Stime dei fattori di traslocazione per il ^{137}Cs espresse in m^2kg^{-1} .

| Località | deposizione ^{137}Cs (Bqm^{-2}) | matrice | contenuto di ^{137}Cs (Bqkg^{-1})* | fattore di traslocazione (m^2kg^{-1}) |
|-----------|---|----------|--|---|
| Tecchiena | 8200 * | castagna | 20 | $2.4 \cdot 10^{-3}$ |
| Pannarano | >12000* | castagna | 60 | $<5.0 \cdot 10^{-3}$ |
| | | oliva | 46 | $<3.8 \cdot 10^{-3}$ |
| | | noce | 57 | $5.8 \cdot 10^{-3}$ |
| Rieti | 9900 * (media di 6 valori) | mela | 21 | $2.1 \cdot 10^{-3}$ |
| Veiano | 3200 | castagna | 8 | $2.5 \cdot 10^{-3}$ |

* valori determinati utilizzando i dati riportati in Giorcelli 1988

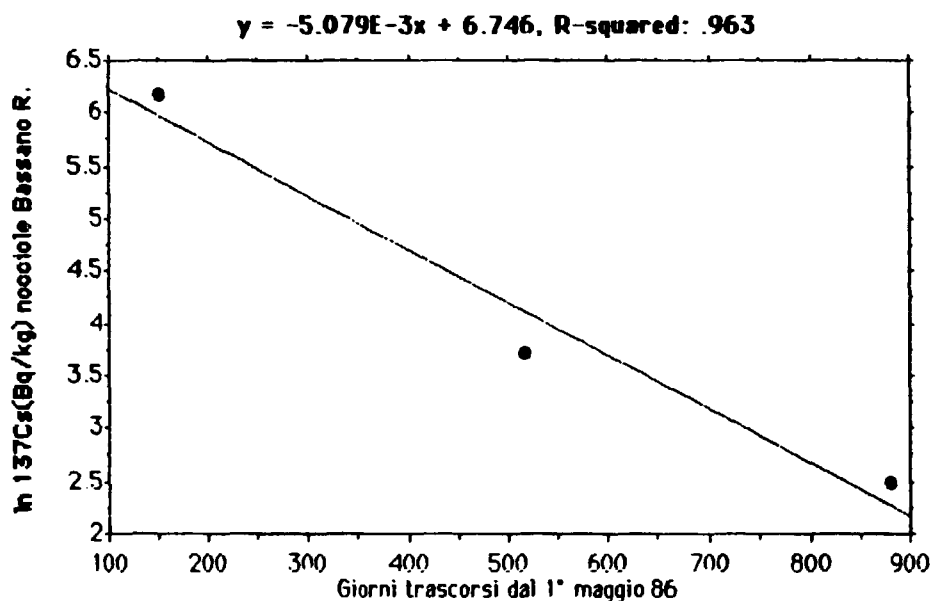


Fig. 1 - Andamento della concentrazione di ^{137}Cs nel frutto del nocciolo (parte edule)-Raccolti del 1986, 1987, 1988. Località Bassano Romano.

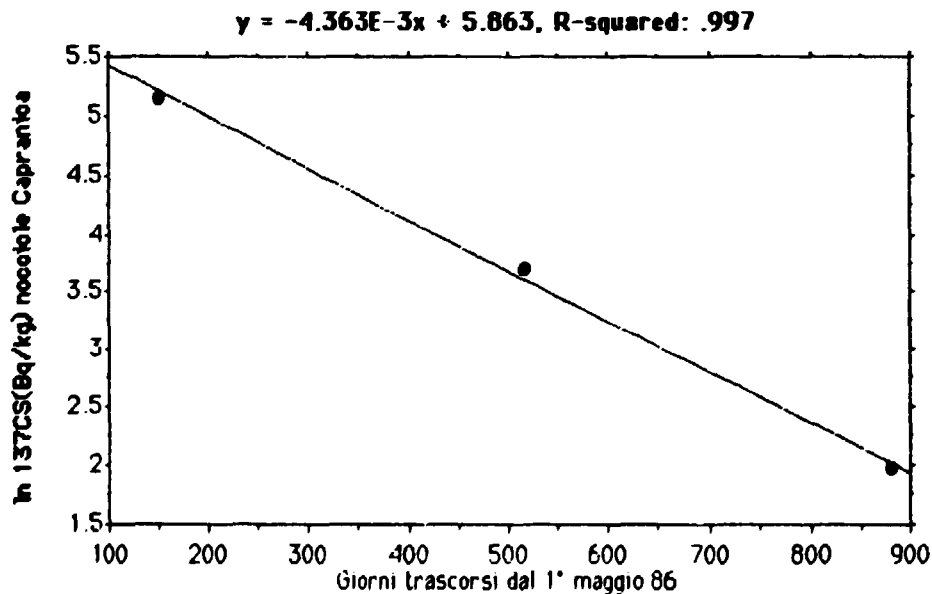


Fig. 2 - Andamento della concentrazione di ^{137}Cs nel frutto del nocciolo (parte edule)-Raccolti del 1986, 1987, 1988. Località Capranica.

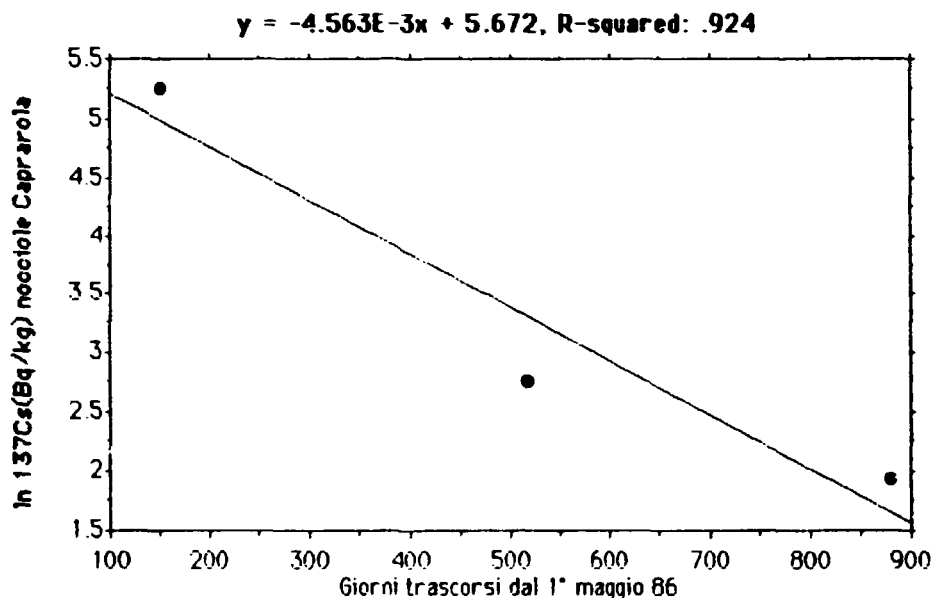


Fig. 3 - Andamento della concentrazione di ^{137}Cs nel frutto del nocciolo (parte edule)-Raccolti del 1986, 1987, 1988. Località Caprarola.

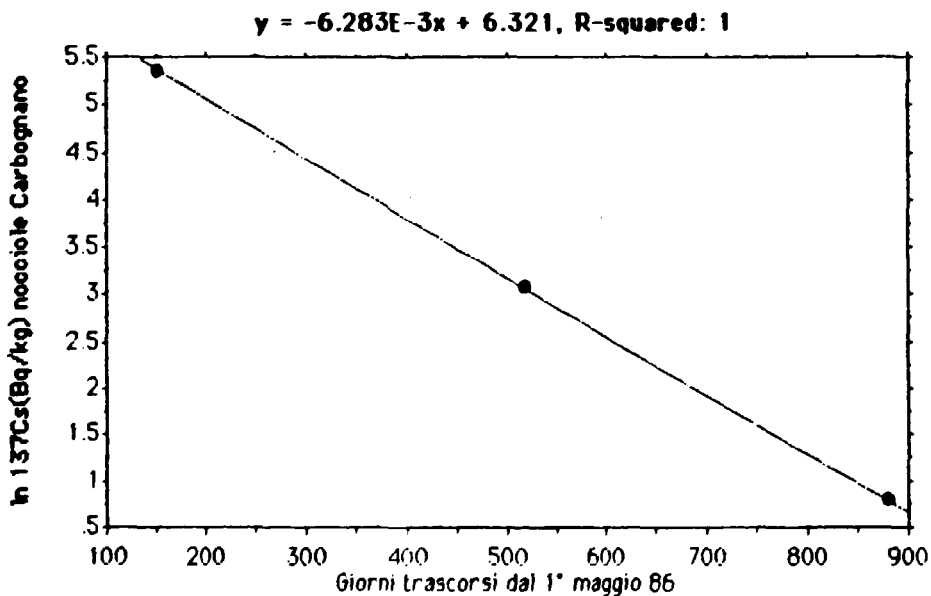


Fig. 4 - Andamento della concentrazione di ^{137}Cs nel frutto del nocciolo (parte edule)-Raccolti del 1986, 1987, 1988. Località Carbognano.

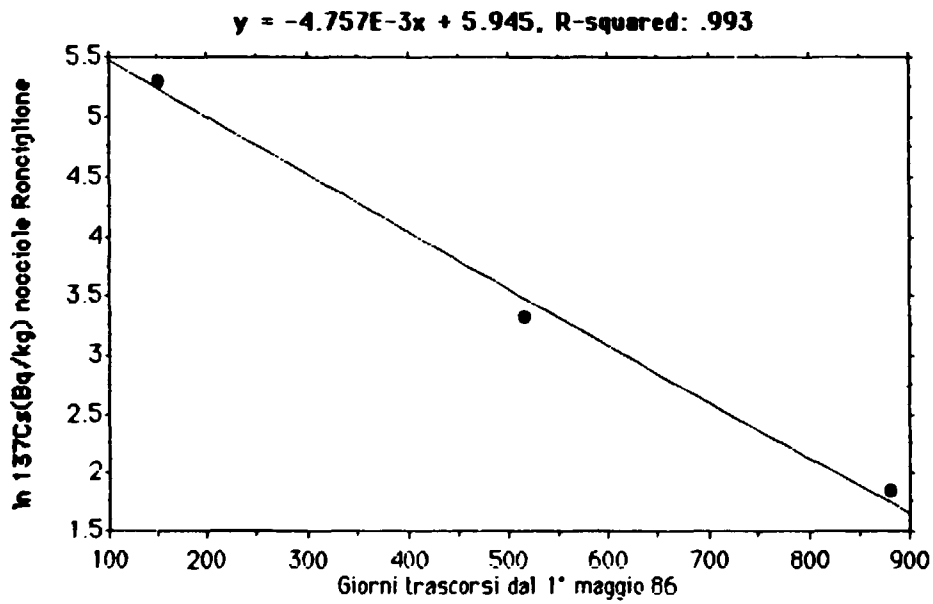


Fig. 5 - Andamento della concentrazione di ^{137}Cs nel frutto del nocciolo (parte edule)-Raccolti del 1986, 1987, 1988. Località Ronciglione.

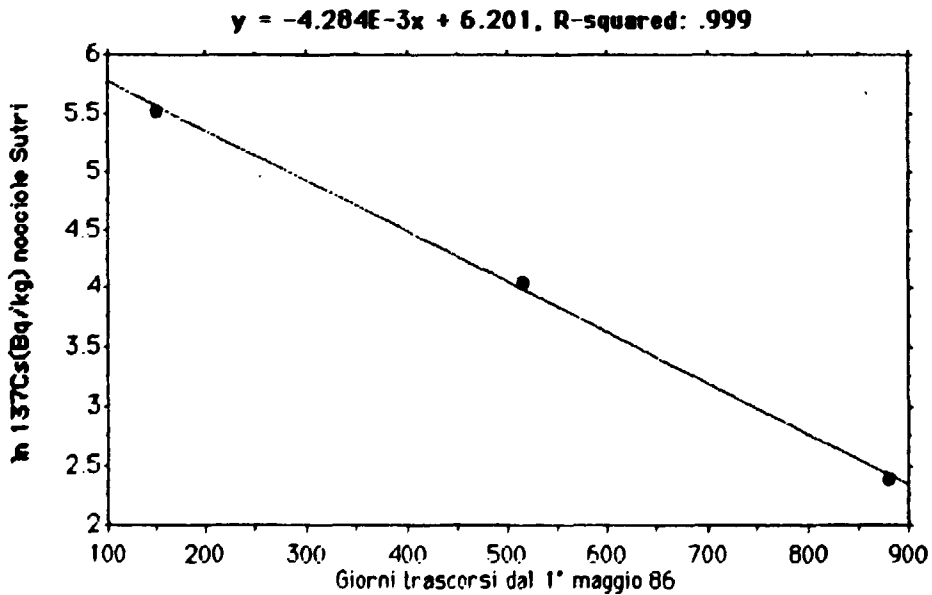


Fig. 6 - Andamento della concentrazione di ^{137}Cs nel frutto del nocciolo (parte edule)-Raccolti del 1986, 1987, 1988. Località Sutri.

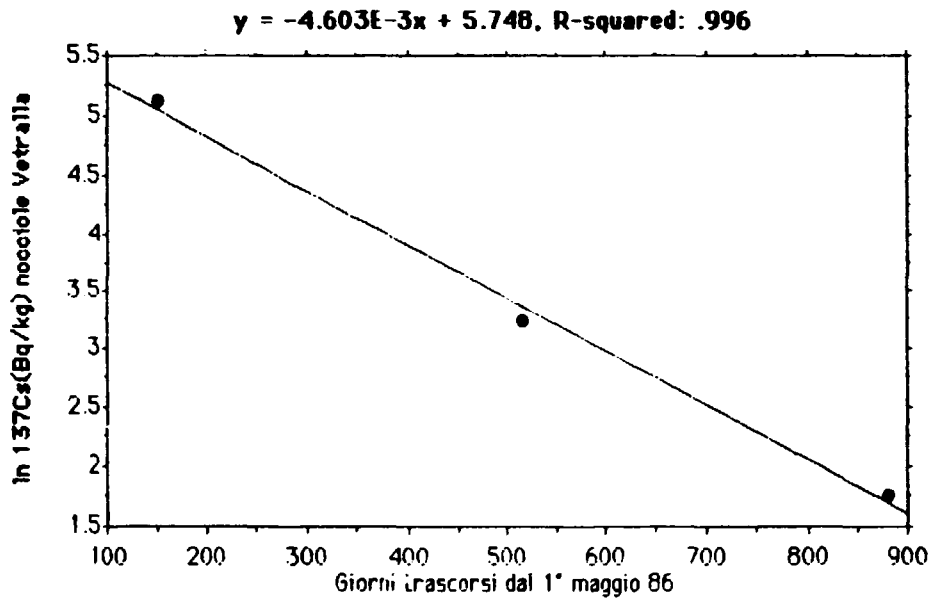


Fig. 7 - Andamento della concentrazione di ^{137}Cs nel frutto del nocciolo (parte edule)-Raccolti del 1986, 1987, 1988. Località Vetralla.

BIBLIOGRAFIA

Canberra 1981. Technical Reference Manual for SPECTRAN-F
Version 2 - June ,1981

F. Giorcelli, L. Monte 1988 - Sez. 5 in "Misure effettuate
nell'anno 1986 dai laboratori dell'ENEA su campioni ambientali
e della catena alimentare in seguito all'incidente di
Chernobyl". Ed. ENEA a cura di F. Giorcelli.

L. Monte, M. Fantini, S. Fratarcangeli, F. Pompei, S.
Quaggia, F. Rieti, E. Soldano - Contaminazione radioattiva
delle piante da frutto : il comportamento del ^{134}Cs e del
 ^{137}Cs nel nocciolo. Inviato alla rivista TERRA.

L. Monte - Criteri di automazione e di controllo di qualità
nella gestione di sistemi spettrometrici gamma a più
rivelatori. RT/PAS/86/18. Lavoro presentato al 3° convegno
nazionale sulle metodologie radiometriche e radiochimiche in
radioprotezione. Urbino 15-17 maggio 1985.

Edito dall'ENEA, Direzione Centrale Relazioni.
Viale Regina Margherita, 125 - Roma
Finito di stampare in giugno 1989

Fotoriproduzione e stampa
a cura della «Arti Grafiche S. Marcello»
Viale Regina Margherita, 176 - Roma

Questo fascicolo è stato stampato su carta riciclata