

57. Anna SCAFATI. — Sul riconoscimento di prodotti di fissione nel pulviscolo atmosferico.

Riassunto. — Si descrive un metodo per lo studio della radioattività atmosferica basato sull'analisi spettrometrica dell'attività gamma dei campioni di pulviscolo atmosferico, mediante uno spettrometro a scintillazione. Tale metodo non è stato precedentemente applicato, in questo campo. Se ne discutono i vantaggi e le possibilità.

Si riportano inoltre i risultati dell'analisi spettrometrica di campioni di pulviscolo raccolti in corrispondenza al passaggio di una nube radioattiva, e che presentano una ben evidente contaminazione di prodotti di fissione. Tracce di prodotti di fissione si osservano anche nel pulviscolo raccolto in assenza di punte eccezionali della radioattività atmosferica.

Résumé. — On décrit une méthode pour l'étude de la radioactivité atmosphérique basée sur l'analyse spectrométrique de l'activité gamma des échantillons de pulviscule atmosphérique, au moyen d'un spectromètre à scintillation. Cette méthode n'a jamais été employée jusqu'ici dans ce domaine. On en discute les avantages et les possibilités.

On donne les résultats de l'analyse spectrométrique d'échantillons de pulviscule recueillis au moment du passage d'un nuage radioactif; ces échantillons présentent une contamination évidente de produits de fission.

On observe aussi des traces de produits de fission dans le pulviscule recueilli sans qu'il ait une intensité exceptionnelle de la radioactivité atmosphérique.

Summary. — A method is described for the study of atmospheric radioactivity based on a spectrometric analysis of the gamma activity of a sample of atmospheric dust, using a scintillation spectrometer. The advantages and possibilities of this method, which had not previously been applied to this field, are discussed.

Results of the spectrometric analysis of samples of dust, collected during the passage of a radioactive cloud and which showed an evident contamination with fission products, are reported. Traces of fission products were also observed in dust collected in the absence of any exceptional level of atmospheric radioactivity.

Zusammenfassung. — Eine auf der Spektralanalyse mittels Funkenspektrometer der von atmosphärischen Staubmustern ausgesendeten Gam-

mastrahlen basierte Methode zum Studium der atmosphärischen Radioaktivität wird geschildert. Diese Methode hatte auf diesem Gebiet bis jetzt noch keine Anwendung gefunden. Ihre Vorteile und Möglichkeiten werden besprochen.

Es werden weiterhin die Ergebnisse der Spektralanalyse von Staubmustern die während dem Übergang einer radioaktiven Wolke gesammelt wurden, angeführt; der untersuchte Staub wies eine deutliche Verunreinigung durch Spaltprodukte auf. Spuren von Spaltprodukten können im gesammelten Staub auch in Abwesenheit von Ansammlungen atmosphärischer Radioaktivität nachgewiesen werden.

1. - INTRODUZIONE

IMPORTANZA DEL CONTROLLO DELLA RADIOATTIVITA' DELL'ARIA

I. 1 - Già da diversi anni, da quando si sono — da un lato — estese su scala industriale le applicazioni pacifiche dell'energia prodotta nella fissione nucleare, e, dall'altro, moltiplicate le esplosioni sperimentali di ordigni nucleari a scopo bellico, si è sentita, principalmente all'estero, la necessità di controllare le conseguenze causate da questi fatti per ciò che riguarda la radioattività dell'ambiente in cui si svolge la vita dell'uomo, e principalmente dell'atmosfera, mezzo in cui gli eventi locali si propagano e si estendono più o meno rapidamente, interessando zone sempre più vaste e lontane.

Proprio in conseguenza della diffusione delle nubi radioattive per effetto degli agenti atmosferici, dal punto in cui sono state prodotte, a regioni geograficamente anche assai lontane, si rende necessario un tale controllo su scala mondiale.

Moltissimi laboratori e centri di osservazione fissi e mobili sono stati a tale scopo istituiti negli Stati Uniti, nel Giappone, nell'URSS, e inoltre in molti altri paesi. In Europa esistono delle stazioni di controllo della radioattività atmosferica in Inghilterra, in Svezia, Norvegia, Germania, Olanda, Belgio, Francia, Svizzera, Ungheria, Irlanda.

In Italia è stato compiuto soltanto qualche sporadico tentativo di studio della radioattività delle precipitazioni atmosferiche [4]. Recentemente, da diverse parti si sono iniziati studi sperimentali; in particolare, è in corso di attuazione un progetto di una rete di stazioni di controllo della radioattività atmosferica organizzate dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. Attualmente, è già in funzione, tra le altre, da parecchi mesi, una stazione sperimentale presso l'Osservatorio

di Vigna di Valle, dalla quale provengono i campioni di pulviscolo atmosferico che sono oggetto del presente studio.

I. 2 - Un controllo della radioattività atmosferica è estremamente importante per diversi ordini di ragioni.

Il succedersi di esplosioni nucleari e — anche se con effetti più limitati e localizzati — l'impianto di reattori nucleari di potenza, hanno portato e continuano a portare ad un aumento della radioattività di fondo. Anche se i livelli attualmente raggiunti — salvo qualche eccezione di carattere locale ed episodico — sono largamente inferiori ai limiti di sicurezza, bisogna tuttavia pensare che il significato di tali limiti è estremamente relativo ed incerto, data l'insufficiente conoscenza degli effetti genetici delle radiazioni, e quindi ogni aumento della radioattività di fondo costituisce di per sé un pericolo di entità incognita, anche per il fatto che, quali che ne siano gli effetti, a questi rischia di essere esposta l'intera specie umana.

Inoltre, a parte l'entità complessiva della radioattività di fondo, esiste la possibilità dell'accumularsi nell'ambiente di alcuni particolari isotopi radioattivi che per la loro lunga vita media, e per la loro vicenda metabolica nell'organismo umano, sono maggiormente pericolosi dal punto di vista biologico.

In ogni caso, in particolari condizioni atmosferiche e geografiche, alcune regioni interessate dal passaggio di nubi radioattive possono essere localmente esposte a dosi di radiazioni superiori ai livelli di sicurezza e possono, a causa della caduta al suolo delle particelle radioattive (fall-out) subire contaminazioni eccessive. E' quindi necessario mantenere un controllo incessante e continuo dell'atmosfera, delle acque, e del suolo, dal punto di vista della radioattività. Un tale controllo permette anche — ciò che può essere assai importante — di riconoscere e segnalare l'avvenuto compimento di esperimenti nucleari nuovi, e questa è a volte l'unica fonte di informazioni a questo proposito.

I. 3 - Nell'esplosione di un ordigno nucleare, viene liberata una notevole quantità di sostanze radioattive, che diffondono nell'atmosfera e subiscono diverse sorti a seconda di parecchi fattori, come il tipo e la potenza della bomba, le condizioni in cui si verifica lo scoppio e gli agenti atmosferici.

Se lo scoppio è in vicinanza del suolo, si hanno localmente precipitazioni di detriti radioattivi pulverulenti, costituiti da particelle radioattive di grossezza notevole.

Se lo scoppio avviene in aria, questo fatto non si verifica, mentre, a seconda della potenza della bomba, la nube di particelle radioattive

minute resta nella troposfera, oppure invade anche la stratosfera. La troposfera, che è la parte inferiore dell'atmosfera, è soggetta ai fenomeni meteorologici, vento e precipitazioni. Questi hanno il duplice effetto di far migrare ed allargare la nube radioattiva e di far cadere al suolo le particelle che la costituiscono. Le particelle in realtà precipitano anche semplicemente per sedimentazione, più o meno rapidamente a seconda delle dimensioni; particelle di diametro $\sim 4\mu$ in concentrazioni non troppo elevate, costituiscono un aerosol relativamente stabile, e possono quindi permanere nell'atmosfera per lungo tempo, migrando lontano, ed eventualmente girando intorno alla terra anche più di una volta.

Nella stratosfera questo è l'unico modo in cui avviene la precipitazione, cioè per effetto gravitazionale. In conseguenza, la radioattività stratosferica sussiste per lunghissimi periodi, si calcola fino a circa 10 anni; in questo tempo si diffonde fino ad invadere l'intera superficie terrestre. Si può perciò dire che a partire dalle prime esplosioni nucleari, l'atmosfera ed in generale l'ambiente, contengono come radioattività di fondo permanente, oltre alla radioattività delle sostanze radioattive naturali, anche quella prodotta artificialmente, costituita dai radionuclidi a lungo periodo che si formano dalla scissione dell'Uranio o del Plutonio. La radioattività artificiale è in ogni caso attualmente solo una piccola frazione di quella naturale. Per una bomba di media grandezza, si ha infatti, immediatamente dopo l'esplosione, una attività di $10^{11} - 10^{12}$ curie e, dopo un mese, di 10^6 curie. Se si ammette che, dopo un mese, questa attività sia uniformemente distribuita nell'atmosfera, si avrebbe un'attività specifica di 10^{-12} $\mu\text{c}/\text{cm}^3$. L'attività specifica dovuta al radon è invece circa 10^{-10} $\mu\text{c}/\text{cm}^3$. Si può perciò in ogni caso parlare di tracce di radioattività artificiale di fondo. Tuttavia, dopo ogni esplosione, nelle regioni sorvolate dalla nube radioattiva troposferica, l'attività specifica sale molto oltre questi valori.

Per quanto abbiamo detto, in una misura della radioattività del pulviscolo atmosferico è da prevedere che si debba individuare:

- 1) l'attività naturale dovuta all'emanazione del radio e del torio ed ai loro discendenti;
- 2) l'eventuale radioattività artificiale dovuta ad esplosioni nucleari remote;
- 3) l'eventuale radioattività artificiale dovuta al passaggio di una nube radioattiva prodotta da esplosioni recenti.

Naturalmente, in questa ultima eventualità l'attività riscontrata nella misura risulterà più elevata che non nella situazione 1) e 2), che è da considerarsi normale.

Ne segue, che da misure della radioattività atmosferica, si può accertare il passaggio sopra la regione in studio di una nube radioattiva e quindi rivelare la recente esplosione di ordigni nucleari. Mettendo insieme misure analoghe eseguite in regioni diverse, e conoscendo, per quanto possibile, la situazione meteorologica mondiale, si può risalire al luogo dell'esplosione; vedremo poi che si può risalire — entro certi limiti — anche alla data.

Viceversa, conoscendo i dati relativi all'esplosione, misure di radioattività atmosferica consentono di trarre importanti e nuove informazioni sull'andamento dei fenomeni meteorologici; e con questo si dà solo un cenno di quel che è divenuto in realtà anche se indirettamente, un assai potente mezzo di studio dell'atmosfera terrestre.

II. - METODI DI MISURA

II. 1 - Una misura della radioattività atmosferica richiede la soluzione di due problemi: 1) raccolta del pulviscolo atmosferico; 2) analisi della sua attività.

Esistono diversi metodi di raccolta del pulviscolo; si può sia esporre all'aria strisce di carta gommatata o recipienti d'acqua, per ricevere quello che cade per sedimentazione naturale, nel caso che si voglia controllare la contaminazione della superficie del suolo, sia aspirare l'aria attraverso opportuni filtri di carta, o attraverso apparecchi di precipitazione elettrostatica; questi ultimi metodi consentono di eseguire anche misure continue dell'attività del pulviscolo.

Non vogliamo qui tuttavia occuparci dei metodi di raccolta, che verranno eventualmente discussi successivamente, ma esaminare invece più particolarmente i metodi di analisi dei campioni di pulviscolo, comunque raccolti.

II. 2 - La misura della radioattività può essere di due tipi: integrale e spettrometrica; alcune volte si può anche eseguire una analisi radiochimica.

La misura dell'attività integrale (α , γ ma più spesso β) si esegue assai facilmente, per esempio con un contatore di Geiger.

In ogni caso è necessario tener conto dell'attività naturale presente nell'aria e dovuta ai discendenti gassosi del Radio e del Torio contenuti nella crosta terrestre. La quantità di Radio e di Torio esistente nel suolo varia largamente con la natura delle rocce, ma si può dire che, in media, da 1 cm² della superficie terrestre passano nell'atmosfera

circa $4.17 \cdot 10^{-17}$ curie di Rn e Thn al secondo [2]. In conseguenza, l'attività specifica media dell'atmosfera è di circa $1,3 \cdot 10^{-16}$ curie/cm³.

Ma queste cifre non hanno molto significato, perché oltre alle variazioni locali nel contenuto di Ra e Th nel suolo, l'attività specifica dell'aria dipende da altri fattori, come la pressione la temperatura, l'umidità, la ventilazione, ecc. e varia in conseguenza di ciò entro limiti estremi molto larghi.

A causa della presenza di Rn e di Thn nell'aria, il pulviscolo atmosferico conterrà i prodotti solidi attivi derivanti dalla disintegrazione del Rn e del Thn. L'attività dei discendenti del Rn decade assai rapidamente e due ore dopo la raccolta è già il 10% di quella iniziale; l'attività dei discendenti del Thn è determinata dalla vita media del ThB che ha 10.6 ore di periodo di dimezzamento.

La curva di decadimento dell'attività del pulviscolo atmosferico in assenza di prodotti di fissione rivelerà dunque la sovrapposizione di una componente a vita media breve, dovuta al Rn, e di una componente a vita media più lunga, dovuta al Thn. Se poi il pulviscolo conterrà dei prodotti di fissione, poiché di questi molti hanno una vita media abbastanza lunga, la situazione sarà ancora più complicata.

L'effetto risultante è un aumento apparente della vita media più lunga [13] (fig. 1).

In ogni caso, dopo qualche tempo, dell'ordine di alcuni giorni, la attività residua del campione di pulviscolo dovrebbe essere quasi esclusivamente dovuta alla presenza di prodotti di fissione.

Una misura integrale dell'attività — purché si segua il suo andamento col tempo per qualche giorno — è dunque già in grado di rivelare il passaggio di una nube radioattiva, anche se l'attività artificiale da essa portata non è maggiore di quella del Rn e del Thn.

Seguendo nel tempo il decadimento dell'attività a lungo periodo (cioè l'attività artificiale) si cerca spesso di risalire all'epoca dell'esplosione, basandosi sulla formula di Way e Wigner:

$$A_t = A_1 t^{-\gamma}$$

dove A_t è l'attività al tempo t , A_1 l'attività ad un istante di riferimento dopo la fissione, e γ un esponente il cui valore dipende dalla composizione del miscuglio di radioisotopi che si considera.

Way e Wigner danno $\gamma = 1,2$. Tuttavia, per l'attività raccolta nel pulviscolo atmosferico, non sembra che si possa indicare un valore univoco di γ . Tra l'altro, sembra che alcuni radionuclidi vadano dispersi; inoltre in molti casi non è possibile rappresentare il decadimento mediante una legge così semplice, in quanto γ dipende dal tempo.

II, 3 - Sia per ciò che riguarda la determinazione della data della esplosione, sia anche da molti altri punti di vista, un metodo molto più efficace e sicuro per lo studio della radioattività artificiale è l'analisi spettrometrica.

In particolare, si può analizzare lo spettro dell'attività γ del pulviscolo mediante uno spettrometro a scintillazione, con un cristallo di

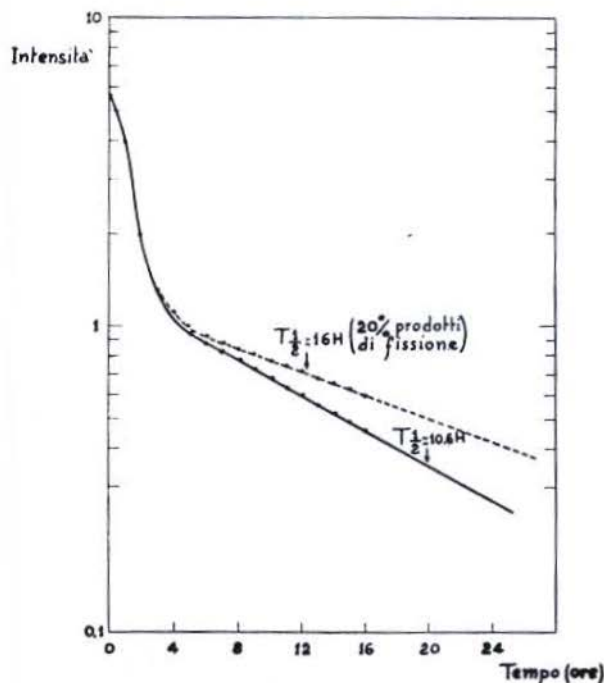


Fig. 1. - Decadimento dell'attività beta del pulviscolo atmosferico in assenza (curva inferiore) e in presenza (curva superiore) di prodotti di fissione (20% dell'attività iniziale del ThB).

NaI(Tl). Questo procedimento presenta degli ovvi vantaggi. Infatti, conoscendo le diverse righe gamma di emissione dei diversi radioisotopi che si formano nella fissione, è possibile individuarne la presenza senza lasciar adito a dubbi.

Esistono ormai nella letteratura declassificata, un gran numero di dati riguardo all'attività dei prodotti di fissione. In particolare, esistono sia tabelle che riportano i rendimenti di fissione dei diversi radionuclidi, le catene di decadimento, le vite medie e gli schemi di disintegra-

zione [11], sia grafici che riportano le percentuali di radionuclidi presenti in funzione del tempo [3].

Calcoli più recenti, riportati anche in questo caso sotto forma di grafici, sono stati pubblicati da K. LÖW e R. BJÖRNERSTEDT [19], basati su più recenti determinazioni sia dei rendimenti di fissione che delle vite medie.

Da questi grafici si può dedurre quale è, anche per ciò che riguarda la sola attività gamma, il contributo all'attività totale portato dai diversi prodotti di fissione. Ciò permette di conoscere quali sono le principali righe gamma presenti nello spettro di fissione, al variare del tempo. Si può anzi costruire lo spettro gamma teorico per diversi valori del tempo, come è stato fatto da alcuni (*) e quindi, confrontando questo con lo spettro osservato sperimentalmente, riconoscere l'età del campione di pulviscolo radioattivo in studio.

Nel fare questo confronto, tuttavia, è necessario tener presente che, quando si va ad analizzare lo spettro con uno spettrometro a scintillazione, sorgono alcune complicazioni, per diversi ordini di motivi:

1) dato il limitato valore del potere risolutivo, alcune righe non vengono risolte, ma si sommano insieme a costituire un'unica riga;

2) se si individua ciascuna riga mediante la posizione del picco di energia totale, l'intensità relativa delle diverse righe risulta alterata dalla dipendenza delle sezioni d'urto dei processi elementari di assorbimento (effetto fotoelettrico, produzione di coppie, effetto Compton), dall'energia;

3) lo spettro viene alterato perché ciascuna riga monocromatica in esso presente dà luogo ad una distribuzione continua di impulsi;

4) lo spettro può venir alterato dalla presenza di righe spurie dovute a back-scattering.

Mentre degli effetti 1) e 2) è possibile tener conto, non è facile fare altrettanto per 3) e 4).

Nonostante queste difficoltà, tale tecnica presenta notevoli vantaggi rispetto ad altri procedimenti di analisi, come potrebbe essere un'analisi radiochimica del pulviscolo, che risulta assai più laboriosa e complessa.

Quello che si può ottenere con un'analisi spettrometrica dell'attività gamma del pulviscolo radioattivo, risulterà dall'esposizione delle misure eseguite nel presente lavoro.

* Cfr. Björnerstedt, Löw, Ulvonas, dati non pubblicati.

III. - ANALISI DI CAMPIONI DI PULVISCOLO RADIOATTIVO

III. 1 - Lo spettrometro a scintillazione usato nelle misure, era uno spettrometro gamma con cristallo a NaI (Tl) di 5 cm diam. $\times$ 5 di altezza.

L'analizzatore di impulsi è quello descritto in un lavoro di AGENO, CORTELLESA, QUERZOLI (Rend. Istituto Sup. Sanità, XVIII, 1955). I campioni di pulviscolo radioattivo esaminati sono quelli raccolti mediante

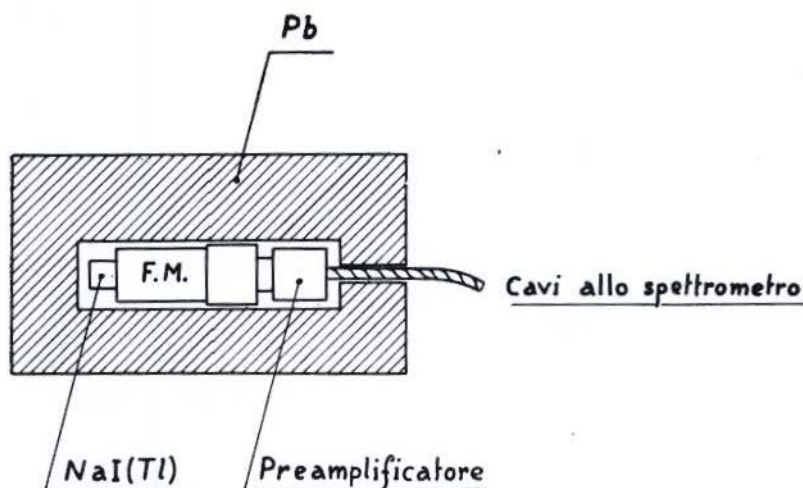


Fig. 2. - Disegno schematico del dispositivo sperimentale.

aspirazione attraverso carta da filtro, inviati — come si è accennato — dalla Stazione dell'Osservatorio Sperimentale di Vigna di Valle del Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare. L'efficienza di cattura del filtro è data come $>93\%$ per i prodotti di fissione a lungo periodo.

La maggiore difficoltà che si presenta nell'analisi spettrometrica dell'attività gamma del pulviscolo raccolto nell'atmosfera, consiste nella bassissima intensità delle righe che si vogliono rivelare.

In una prima misura, con il cristallo schermato con 2,5 cm di Pb, anche per i filtri di maggiore attività come quelli alle date 24-27 settembre (corrispondenti ad un fortissimo aumento dell'attività atmosferica) in nessun caso l'intensità totale di conteggio di ciascun filtro superava il 5% dell'intensità del fondo.

E' stato perciò necessario per prima cosa ottenere una forte ridu-

zione degli impulsi di fondo. Per questo, è stato costruito un castello completo di mattoncini di Pb intorno alla testa dello spettrometro, per uno spessore ≥ 10 cm. in ogni direzione (fig. 2).

In queste condizioni, il numero totale di impulsi di fondo corrispondenti ad un intervallo di energia da 90 keV a 2,5 MeV, è di 154 Imp/min. Questo valore dell'attività di fondo dello spettrometro è confrontabile con quello ottenuto ad Argonne da MARINELLI [9] sotto una schermatura di 20,3 cm Fe.

In tal caso, nello stesso intervallo di energie, per un cristallo di $4 \times 1, 1/2$ pollici, l'attività di fondo è di 480 I/min. Poiché tra i volumi dei due cristalli (10 cm diam. $\times$ 3,81 altezza contro 5×5) c'è un rapporto pari a ~ 3 , ciò significa che, riportata alle dimensioni di quello più piccolo, l'attività di fondo sotto la schermatura di Fe è di 160 I/min, confrontabili, come si è detto, con i 154 I/min da noi osservati sotto i 10 cm di Pb.

In entrambe le condizioni, di schermatura, la componente elettromagnetica dei raggi cosmici è completamente assorbita, e ciò che resta può essere:

- 1) radiazione di fluorescenza dello schermo;
- 2) componente mesonica dei raggi cosmici;
- 3) attivazione del cristallo da parte dei neutroni cosmici;
- 4) infine, contaminazione radioattiva del cristallo stesso.
- 5) del suo involucro;
- 6) del fotomoltiplicatore.

Lo spettro dell'attività di fondo è quello riportato in fig. 3.

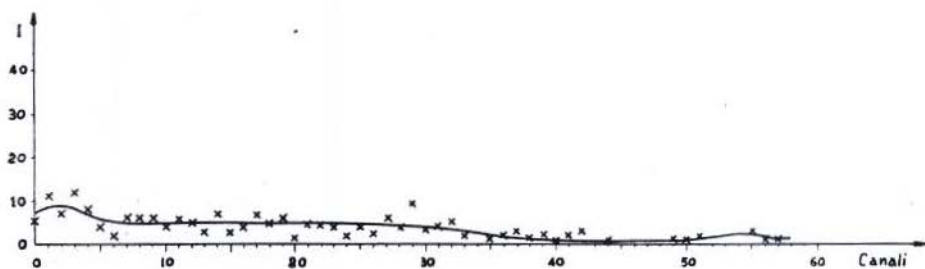


Fig. 3. - Spettro dell'attività di fondo (sensibilità $\sim 12,5$ KeV/canale; soglia 40 KeV). (I in Impulsi al minuto).

Come si vede, si ha un andamento decrescente all'aumentare della energia, con un massimo assai allargato a bassa energia, che potrebbe essere dovuto alla fluorescenza del Pb, la cui riga K è di 75 keV. Ha quindi senso pensare di schermare ulteriormente questa radiazione, con

uno strato di materiale di numero atomico più basso posto internamente alla schermatura di Pb. Attualmente, è in costruzione un castello stabile di schermatura, con uno spessore esterno di 12 cm. di Pb, la cui radiazione di fluorescenza è schermata con una successione di spessori di Sn, Fe, Al, disposti internamente, in ordine di numero atomico decrescente.

Inoltre, per esaminare la possibilità dell'effetto 3), il cristallo è stato tolto e posto, entro un involucro di Cd, sotto 20 cm di paraffina per 10 giorni, tempo largamente sufficiente a far decadere un'eventuale attività indotta dai neutroni cosmici. Dopo questo periodo, è stata misurata nuovamente l'attività di fondo, nelle identiche condizioni di prima, ed è risultata praticamente invariata (145 I/min), entro i limiti delle fluttuazioni statistiche, concludendosi che non esiste un'apprezzabile attivazione di tal genere.

Viceversa, non si può escludere nessuno degli altri effetti. Una contaminazione radioattiva certamente presente è quella dovuta alla presenza di potassio, e quindi anche di K^{40} , nel cristallo e nel vetro del fotomoltiplicatore. Inoltre, lo strato di Al che protegge il cristallo, può contenere tracce di Ra; sembra che l'alluminio possa contenere fino a 0,3 μCi di Ra per gr. Al.

Si stanno attualmente compiendo ulteriori studi per ridurre l'attività di fondo al di sotto di 150 I/min, livello al quale sono state finora svolte le misure.

III. 2 - Ai primi di ottobre dell'anno scorso, il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare inviò alcuni campioni di pulviscolo atmosferico, raccolti nei giorni 24-27 settembre, che presentavano una attività a lungo periodo eccezionalmente elevata. Avendosi il fondato sospetto che tale attività fosse dovuta al passaggio di una nube radioattiva prodotta da un'esplosione nucleare, si trattava di averne una conferma attraverso l'analisi spettrometrica.

Le misure sono state particolarmente laboriose, perché anche con la riduzione dell'effetto di zero dello spettrometro, l'attività dei quattro filtri messi assieme era dell'ordine di 1 o 2 volte l'attività di fondo. I risultati sono presentati nelle figure 4, 5, 6.

Le condizioni in cui meglio si osserva larga parte dello spettro di fissione sono quelle di fig. 5 e 6 (sensibilità 12,5 keV/canale); qui è possibile identificare un gran numero di radionuclidi.

III. 3 - Dato che sono state compiute in fase sperimentale, ed hanno richiesto la messa a punto di base della tecnica di osservazione, le misure si sono protratte per un periodo abbastanza lungo di tempo. Ciò rende arduo e problematico il mettere a raffronto le intensità di righe ot-

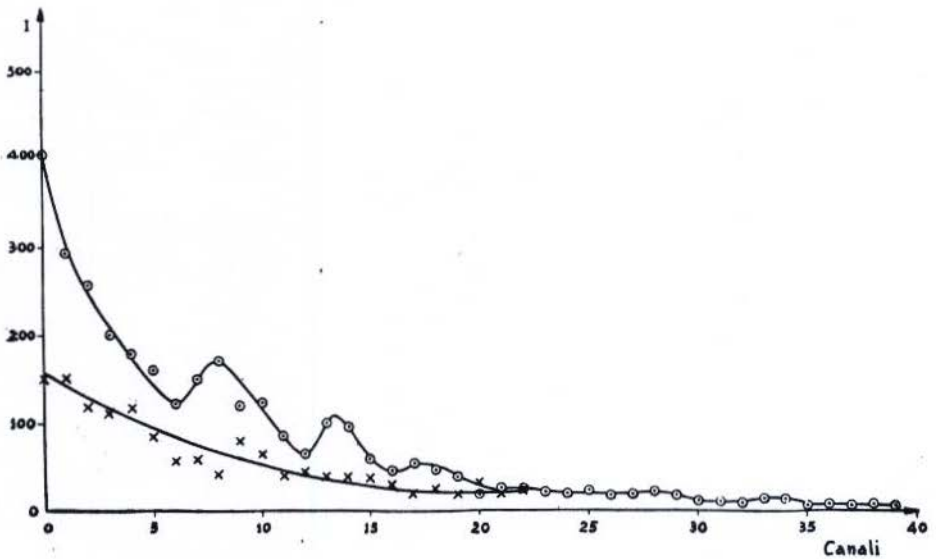
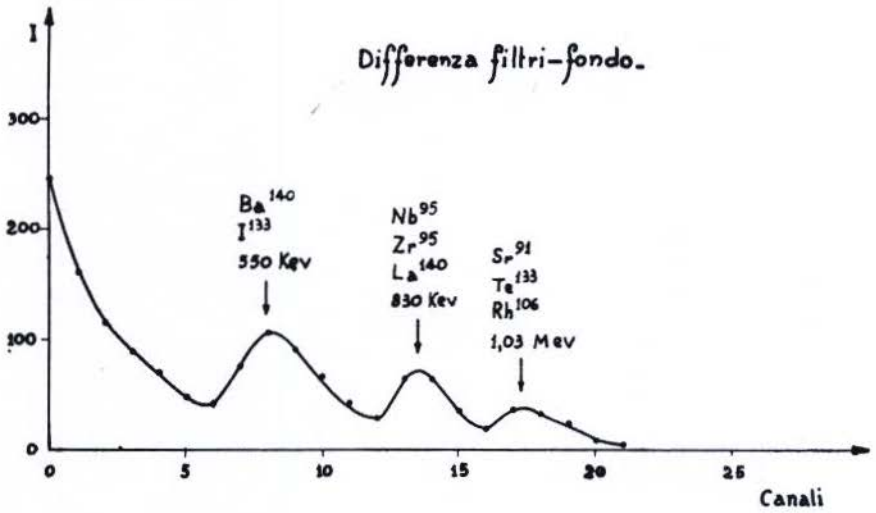


Fig. 4. - Spettro dei filtri del 24-27 sett. 1987 (sensibilità ~ 30 KeV/can.; soglia 160 KeV); x spettro del fondo, ° filtri, • differenza.

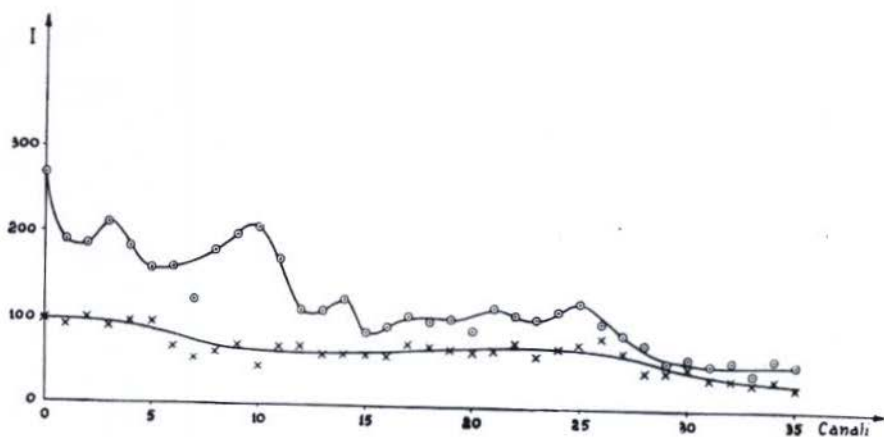
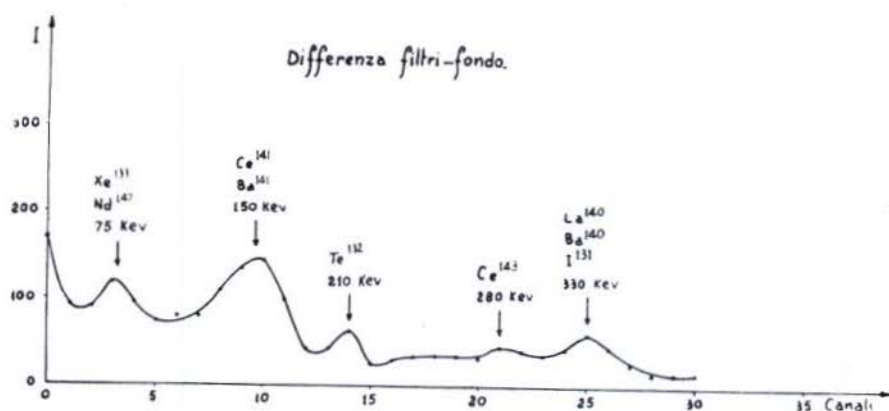


Fig. 5. - Spettro dei filtri 24-27 sett. 1957 (sensibilità 12,5 KeV/can.; soglia 40 KeV);
 x fondo, o filtri, + differenza.

tenute in diverse condizioni, dato che non si tratta di misure contemporanee. Tuttavia, anche l'esame dello spettro riportato nelle sole fig. 5 e 6 consente di stabilire qualitativamente la data alla quale può essere fatta risalire l'esplosione che ha dato luogo alla nube radioattiva. Le misure riportate in fig. 5 sono state eseguite nei giorni 16-19 ottobre.

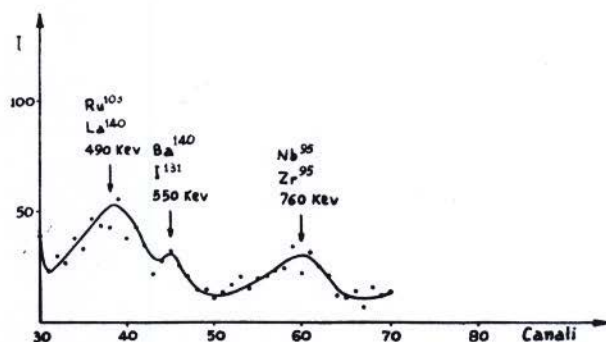


Fig. 6. - Spettro dei filtri 24-27 sett. 1957 (sensibilità 12,3 KeV/can.).

In tale data le intensità relative delle righe individuate, ricavate dal diagramma, sono quelle riportate nella seguente tabella:

Energia →	75 KeV	150 KeV	210 KeV	280 KeV	330 KeV
Intensità →	70	284	37	11	70

(unità arbitrarie)

Se si eccettua la riga a 280 KeV, per l'intensità assolutamente troppo debole, quella a 75 KeV, alla cui intensità può aver dato contributo anche un'eventuale riga di fluorescenza del Pb, ci si può limitare ad affermare che i rapporti delle intensità delle tre righe a 150, 210 e 330 KeV sono:

150 KeV	210 KeV	330 KeV
4,1	0,53	1

Lo spettro di fig. 5 è stato eseguito il giorno 25 ottobre. Considerando come un'unica riga le due a 490 e 550 KeV, il rapporto delle intensità dei due gruppi 490 più 550 e 740 KeV è:

490 più 550 KeV	740 KeV
290 145 = 2,1	1

Nell'ipotesi che le righe rivelate dal cristallo corrispondano al picco fotoelettrico (picco di energia totale) di ciascuna riga primaria pre-

Attività dei Radionuclidi emettitori

2 d		6 d		10 d	
7.2.10 ⁻²	I ¹³³	3.5.10 ⁻²	Xe ¹³³	1.9.10 ⁻²	Xe ¹³³
7.2 »	Ce ¹⁴³	3.0 »	Mo ⁹⁹	1.5 »	La ¹⁴⁰
6.2 »	Nb ⁹⁷	2.2 »	I ¹³²	1.35 »	Ba ¹⁴⁰
6.2 »	Mo ⁹⁹	2.2 »	Te ¹³²	8.5.10 ⁻³	Mo ⁹⁹
5.9 »	Nb ^{97m}	1.8 »	Ba ¹⁴⁰	7.3 »	I ¹³²
5.3 »	Xe ¹³⁵	1.7 »	La ¹⁴⁰	7.3 »	Te ¹³²
4.2 »	I ¹³²	1.6 »	Ce ¹⁴³	7.2 »	I ¹³³
4.1 »	Te ¹³²	1.2 »	I ¹³¹	7.15 »	Ce ¹⁴¹
3.9 »	Xe ¹³³	8.0.10 ⁻³	Ce ¹⁴¹	5.4 »	Nd ¹⁴⁷
2.6 »	Y ⁹³	7.3 »	Nd ¹⁴⁷	4.3 »	Zr ⁹⁵
2.2 »	Sr ⁹¹	6.6 »	I ¹³¹	4.3 »	Y ⁹¹
2.2 »	Ba ¹⁴⁰	5.2 »	Pm ¹⁴⁰	2.8 »	Ru ¹⁰³
1.4 »	Y ^{91m}	4.5 »	Zr ⁹⁵	2.8 »	Rh ^{103m}
1.4 »	I ¹³¹	4.5 »	Y ⁹¹	1.1 »	Ce ¹⁴³
1.3 »	Pm ¹⁴⁹	3.2 »	Nb ⁹⁷	1.1 »	Pm ¹⁴⁹
1.3 »	Rh ¹⁰⁵	3.2 »	Tc ^{99m}	93.10 ⁻³	Tc ^{99m}
1.2 »	La ¹⁴⁰	3.2 »	Rh ¹⁰⁵	8.7 »	Ce ¹⁴⁴
9.0.10 ⁻³	Nd ¹⁴⁷	3.1 »	Nb ^{97m}	8.7 »	Pr ¹⁴⁴
8.5 »	Ce ¹⁴¹	3.1 »	Rh ^{105m}	8.5 »	Nb ⁹⁵
7.0 »	I ¹³⁵	3.1 »	Ru ¹⁰³	5.2 »	Sb ¹²⁷
7.0 »	Tc ^{99m}	1.3 »	Sb ¹²⁷	3.3 »	Rh ¹⁰⁵
5.6 »	Pm ¹⁵¹	1.1 »	Xe ^{133m}	2.6 »	Xe ^{133m}
5.6 »	Te ^{131m}	1.1 »	Te ^{131m}	2.2 »	Te ^{129m}
5.6 »	Te ¹³¹	1.1 »	Te ¹³¹	2.2 »	Te ¹²⁹
4.7 »	Zr ⁹⁵	9.1.10 ⁻³	Pm ¹⁵¹	1.2 »	I ¹³³
4.5 »	Y ⁹¹	8.7 »	Ce ¹⁴⁴	1.0 »	Sm ¹⁵³
3.3 »	Ru ¹⁰³	8.7 »	Pr ¹⁴⁴	6.5.10 ⁻³	Te ¹³¹
3.3 »	Rh ^{103m}	6.2 »	Sm ¹⁵³	6.5 »	Te ^{131m}
2.3 »	Xe ^{135m}	4.5 »	Nb ⁹⁵	5.5 »	Pm ¹⁴⁷
2.3 »	Sb ¹²⁷	3.0 »	Xe ¹³⁵	5.0 »	Rh ¹⁰⁶
1.8 »	Sm ¹⁵³	2.3 »	Te ^{129m}	4.9 »	X ₂ ^{131m}
1.8 »	Xe ^{135m}	2.3 »	Te ¹²⁹	4.5 »	Ag ¹¹¹
8.7.10 ⁻⁴	Ce ¹⁴⁴	1.8 »	Y ⁹³	3.8 »	Pm ¹⁵¹
8.7 »	Pr ¹⁴⁴	1.2 »	Sr ⁹¹	3.7 »	Nb ^{95m}
7.2 »	Y ⁹²			3.0 »	Ba ^{137m}
4.2 »	Te ¹²⁹			3.0 »	Sn ^{125m}
3.4 »	Sb ¹²⁶			2.8 »	Eu ¹⁵⁶
2.5 »	Te ^{129m}			2.7 »	Y ⁹⁰
2.4 »	La ¹⁴¹			2.5 »	Nb ^{97m}
2.0 »	Ag ^{109m}				
1.8 »	Nb ⁹⁵				
1.6 »	Kr ^{85m}				
1.5 »	Rh ^{105m}				
1.5 »	Ru ¹⁰⁵				
1.4 »	Ag ¹¹²				
1.3 »	Pd ¹¹²				
1.2 »	Cd ¹¹⁵				

TABELLA 1.

gamma (unità arbitrarie)

30 d		100 d		1 a		3 a	
5.4.10 ⁻³	La ¹⁴⁰	2.1.10 ⁻³	Nb ⁹⁵	3.8.10 ⁻⁴	Ce ¹⁴⁴	6.2.10 ⁻⁵	Ce ¹⁴⁴
4.7 »	Ce ¹⁴¹	1.7 »	Zr ⁹⁵	3.8 »	Pr ¹⁴⁴	6.2 »	Pr ¹⁴⁴
4.6 »	Ba ¹⁴⁰	1.6 »	Y ⁹¹	2.0 »	Nb ⁹⁵	2.7 »	Ba ^{137m}
3.5 »	Y ⁹¹	1.0 »	Ce ¹⁴¹	8.8.10 ⁻⁵	Zr ⁹⁵	2.6 »	Y ⁹⁰
3.4 »	Zr ⁹⁵	7.1.10 ⁻⁴	Ce ¹⁴⁴	6.4 »	Y ⁹¹	6.3.10 ⁻⁴	Rh ¹⁰⁶
2.1 »	Ru ¹⁰³	7.1 »	Pr ¹⁴⁴	2.7 »	Ba ^{137m}	8.0.10 ⁻⁷	Sm ¹⁵¹
2.1 »	Rh ^{103m}	6.3 »	Rh ^{103m}	2.7 »	Y ⁹⁰	7.1 »	Eu ¹⁵⁵
1.8 »	Nb ⁹⁵	6.3 »	Ru ¹⁰³	2.5 »	Rh ¹⁰⁶	5.3 »	Sb ¹²⁵
1.6 »	Nd ¹⁴⁷	1.4 »	La ¹⁴⁰	7.5.10 ⁻³	Rh ^{103m}		
1.45 »	Xe ¹⁴³	1.1 »	Pm ¹⁴⁷	7.5 »	Ru ¹⁰³		
1.4 »	I ¹³¹	1.0 »	Ba ¹⁴⁰	3.5 »	Ce ¹⁴¹		
8.2.10 ⁻⁴	Ce ¹⁴⁴	4.6.10 ⁻⁵	Te ^{129m}	1.6 »	Eu ¹⁵⁵		
8.2 »	Pr ¹⁴⁴	4.6 »	Te ¹²⁹	1.1 »	Sb ¹²⁵		
1.6 »	Te ¹²⁹	4.2 »	Rh ¹⁰⁶				
1.6 »	Te ^{129m}	2.7 »	Ba ^{137m}				
1.0 »	Te ¹³²	2.6 »	Y ⁹⁰				
1.0 »	I ¹³²	2.3 »	Nd ¹⁴⁷				
1.0 »	Pm ¹⁴⁷	1.7 »	Nb ^{95m}				
6.6.10 ⁻⁵	Mo ⁹⁹	1.0 »	Te ^{127m}				
4.7 »	Rh ¹⁰⁶	3.6 »	I ¹³¹				
3.7 »	Xe ^{131m}	1.1 »	Xe ^{131m}				
3.6 »	Nb ^{95m}						
2.8 »	Ba ^{137m}						
2.7 »	Y ⁹⁰						
1.8 »	Te ^{127m}						
1.7 »	Sb ¹²⁷						
1.1 »	Eu ¹⁵⁶						

sente nello spettro di fissione, è necessario apportare ai valori indicati per le intensità relative, una correzione per la dipendenza del rendimento del picco fotoelettrico dall'energia.

Se, seguendo SHAPIRO e HIGGS [18], si definisce tale rendimento come prodotto del rendimento totale del cristallo, e della frazione di impulsi che cadono sul picco fotoelettrico,

$$R = R_{\text{tot}} \cdot P_i$$

si può ricavare dalla curva riportata da Shapiro e Higgs, estrapolata fino a 150 KeV, che il rendimento è per le energie che ci interessano rispettivamente

E	150 KeV	210 KeV	330 KeV	500 KeV	740 KeV
R	0.9	0.8	0.65	0.45	0.35

Tali valori si riferiscono ad un cristallo che, pur con un angolo solido di $\sim 4 \pi$, non è molto diverso dal nostro.

Corrispondentemente, le intensità relative corrette sono:

E	150 KeV	210 KeV	330 KeV	500 KeV	740 KeV
I	3	0.43	1	1.6	1

In base a quanto detto al § II. 3, è possibile costruire la tabella 1, che riporta il contributo all'attività gamma totale dei diversi radionuclidi in corrispondenza a diversi valori del tempo dalla fissione (*).

Nella Tab. 2 sono inoltre riportate le intensità delle diverse righe presenti per gli stessi valori del tempo.

In base a questi elementi si può analizzare, in corrispondenza alle diverse date, quale è il contributo dei singoli radionuclidi a ciascuna riga osservata sperimentalmente. Per ovvie ragioni, è superfluo considerare gli spettri calcolati per meno di 30 giorni dall'esplosione.

Inoltre, anche un primo esame qualitativo consente di escludere per i campioni studiati un'età dell'ordine di tre anni (completa assenza della riga a 661 KeV del Ba^{137}) e di un anno (presenza di una riga abbastanza intensa intorno a 300/330 KeV).

Restano quindi da esaminare gli spettri a 30 d e a 100 d. Nella tabella 3 sono calcolate le intensità presunte delle righe sperimentalmente osservate con le relative attribuzioni.

(*) N.B. - Questa tabella e tutto il procedimento basano sull'ipotesi che si tratti di fissione di U_{235} e non di P_{239} . Non è del resto possibile distinguere tra i due casi, dato che le differenze sono assai piccole e consistono in leggere variazioni dei rendimenti di fissione. La tabella è basata sui grafici di Löw e Björnerstedt.

TABELLA 2.

Spettro dell'attività gamma di fissione (valori percentuali).

Energia	Elemento	2 d	5 d	10 d	30 d	100 d	1 a	3 a
3.00	La ¹⁴⁰	0.0178	0.070	0.124	0.162	0.0208	—	—
2.50	Li ¹⁴⁰	0.0966	0.382	0.668	0.876	0.112	—	—
2.41	Rh ¹⁰⁶	—	—	—	—	0.0015	0.011	0.025
2.20	I ¹³²	0.125	0.183	0.120	—	—	—	—
2.19	Pm ¹⁴⁷	—	—	—	—	0.0163	—	—
2.185	Pr ¹⁴⁴	—	0.003	0.007	0.025	0.105	0.680	0.956
2.00	Eu ¹⁵⁶	—	0.008	0.014	—	—	—	—
1.96	I ¹³²	0.312	0.458	0.301	—	—	—	—
1.80	I ¹³⁵	0.520	—	—	—	—	—	—
1.596	La ¹⁴⁰	1.68	6.66	11.6	15.24	1.955	—	—
1.55	Rh ¹⁰⁶	—	—	—	—	0.0031	0.021	0.048
1.50	Pm ¹⁴⁷	—	—	—	—	0.0163	—	—
	La ¹⁴¹	0.0012	—	—	—	—	—	—
1.48	Pr ¹⁴⁴	0.0026	0.007	0.014	0.049	0.211	1.361	1.912
1.41	Sr ⁹¹	0.229	—	—	—	—	—	—
	I ¹³²	0.688	0.989	0.482	0.033	—	—	—
1.40	Y ⁹⁰	—	—	—	—	0.0016	0.019	0.160
	Ag ¹¹²	?	—	—	—	—	—	—
	I ¹³³	0.107	0.027	—	—	—	—	—
1.27	I ¹³⁵	0.520	—	—	—	—	—	—
1.22	Y ⁹¹	0.002	0.006	0.011	0.031	0.071	0.035	—
1.16	I ¹³²	0.499	0.733	0.193	—	—	—	—
1.045	Rh ¹⁰⁶	—	—	—	—	0.0125	0.089	0.194
1.025	Sr ⁹¹	1.082	0.016	—	—	—	—	—
0.96	I ¹³²	1.249	1.83	1.20	0.06	—	—	—
0.90	Sb ¹²⁶	0.050	—	—	—	—	—	—
0.87	Rh ¹⁰⁶	—	—	—	—	0.0062	0.045	0.097
0.85	I ¹³³	0.473	0.138	—	—	—	—	—
0.815	La ¹⁴⁰	0.504	2.05	3.59	4.71	0.603	—	—
0.800	Te ¹²⁹	0.062	0.096	0.18	0.48	0.683	—	—
0.780	Mo ⁹⁹	?	?	?	?	—	—	—
0.777	I ¹³²	4.68	6.87	4.52	0.22	—	—	—
0.747	Nb ^{97m}	0.877	1.30	0.02	—	—	—	—
	Sr ⁹¹	0.229	—	—	—	—	—	—
0.745	Nb ⁹⁵	0.027	0.18	0.701	5.40	31.21	35.82	—
0.740	Mo ⁹⁹	?	?	?	?	—	—	—
0.726	Ru ¹⁰⁵	0.022	—	—	—	—	—	—
0.722	I ¹³¹	0.062	0.150	0.179	0.126	0.0016	—	—
0.720	Sb ¹²⁷	0.342	0.54	0.429	0.05	—	—	—
0.717	Zr ⁹⁵	0.691	1.86	3.51	10.05	25.009	15.6	—

segue TABELLA 2.

Energia	Elemento	2 d	5 d	10 d	30 d	100 d	1 a	3 a
0.715	Pn ¹⁵¹	?	?	?	—	—	—	—
0.700	Te ¹³¹	0.375	0.206	0.023	—	—	—	—
	Y ⁹¹	3.86	0.075	—	—	—	—	—
0.695	Pr ¹⁴⁴	0.095	0.017	0.028	0.098	0.422	2.72	3.824
0.673	I ¹³²	6.24	9.17	6.02	0.30	—	—	—
0.665	Nb ⁹⁷	9.22	1.33	0.02	—	—	—	—
0.661	Ba ¹³⁷	—	0.011	0.024	0.084	0.401	4.83	45.46
0.660	Ce ¹⁴³	1.62	1.01	0.014	—	—	—	—
	Sr ⁹¹	0.72	0.01	—	—	—	—	—
0.640	Sr ⁹¹	1.08	0.016	—	—	—	—	—
6.637	I ¹³¹	0.187	0.450	0.53	0.378	0.0048	—	—
0.624	I ¹³²	0.375	0.552	0.361	0.034	—	—	—
	Rh ¹⁰⁶	—	—	—	—	0.075	0.537	1.172
0.620	Ag ¹¹²	?	—	—	—	—	—	—
0.600	Xe ¹³⁵	0.312	0.005	—	—	—	—	—
0.551	Y ^{91m}	2.08	0.033	—	—	—	—	—
0.540	Ba ¹⁴⁰	0.981	2.25	3.34	4.14	0.446	—	—
0.538	Sm ¹⁵³	0.027	0.025	0.008	—	—	—	—
0.532	Nd ¹⁴⁷	0.334	0.757	1.09	1.20	0.086	—	—
0.530	I ¹³³	10.078	2.58	0.09	—	—	—	—
0.528	I ¹³²	1.56	2.29	1.50	0.075	—	—	—
0.525	Cd ¹¹⁵	?	—	—	—	—	—	—
0.520	Xe ^{135m}	0.342	—	—	—	—	—	—
0.513	Rh ¹⁰⁶	—	0.005	0.01	0.035	0.156	1.11	2.42
0.500	Cd ¹¹⁵	?	—	—	—	—	—	—
0.498	Ru ¹⁰³	0.467	1.226	2.19	5.98	8.894	1.293	—
0.487	La ¹⁴⁰	0.696	2.76	4.82	6.33	0.811	—	—
0.370	Xe ¹³⁵	0.079	—	—	—	—	—	—
0.364	I ¹³¹	1.66	4.00	4.75	3.36	0.043	—	—
0.360	Cd ¹¹⁵	?	—	—	—	—	—	—
0.356	Ce ¹⁴³	1.28	0.808	0.11	—	—	—	—
0.340	Ag ¹¹¹	—	—	0.003	—	—	—	—
	Pm ¹⁵¹	?	?	?	—	—	—	—
0.329	Li ¹⁴⁰	0.097	0.38	0.67	0.87	0.112	—	—
0.326	Sn ^{125m}	—	0.017	0.024	—	—	—	—
0.322	Rh ¹⁰⁵	0.193	0.133	0.027	—	—	—	—
0.318	Nd ¹⁴⁷	0.201	0.456	0.67	0.72	0.051	—	—
0.305	Kr ^{85m}	0.005	—	—	—	—	—	—
0.300	Ba ¹⁴⁰	0.327	0.845	1.29	1.86	0.149	—	—
	Te ¹²⁹	0.062	0.096	0.18	0.48	0.683	—	—

segue TABELLA 2.

Energia	Elemento	2 d	5 d	10 d	30 d	100 d	1 a	3 a
0.289	Ce ¹⁴³	6 48	4.04	0 551	—	—	—	—
0.285	Pm ¹⁴⁹	1 93	2.08	0.895	—	—	—	—
0.284	I ¹³¹	0.11	0 26	0.315	0.22	0 003	—	—
0. 50	Pm ¹⁵¹	?	?	?	—	—	—	—
	Xe ¹³⁵	7 57	0.119	—	—	—	—	—
0.243	Ag ¹¹¹	—	—	—	—	—	—	—
0.235	Nb ^{95m}	—	0.013	0 029	0.108	0.253	—	—
0.233	Xe ^{133m}	0.267	0.458	0.215	—	—	—	—
0.231	Te ¹³²	6 094	9.17	6.02	0.30	—	—	—
0.181	Mo ⁹⁹	?	?	?	—	—	—	—
0.177	Te ^{131m}	0 832	0.458	0.053	—	—	—	—
	Pm ¹⁵¹	?	?	?	—	—	—	—
0.172	Sm ¹⁵³	?	—	—	—	—	—	—
0.163	Xe ^{131m}	—	0.011	0.04	0.11	0.0149	—	—
0.160	Ba ¹⁴⁰	0 327	0.77	1.12	1.38	0.149	—	—
	Te ¹³¹	0.832	0.44	0 053	—	—	—	—
0.149	Kr ^{85m}	0 019	—	—	—	—	—	—
0.145	Ce ¹⁴¹	0 847	2.24	3 95	9.45	9.956	0.419	—
0.141	Tc ^{99m}	1.040	1.33	0.77	—	—	—	—
0.140	Mo ⁹⁹	?	?	?	—	—	—	—
0.134	Ce ¹⁴⁴	0 013	0 036	0.072	0.245	1.05	6.80	9.25
0.130	Rh ^{105m}	0 022	—	—	—	—	—	—
0.126	Ce ¹⁴³	1.296	0 81	0.110	—	—	—	—
0.106	Te ^{120m}	0.037	0 096	0.18	0.48	0.683	—	—
0.103	Sm ¹⁵³	0 195	0.189	0 06	—	—	—	—
0.100	Ce ¹⁴⁴	0 013	0 036	0.072	0 245	1.05	6.80	9.25
0.093	La ¹⁴⁹	0.032	0.128	0.223	0 290	0.037	—	—
0.092	Nd ¹⁴⁷	0 803	1.83	2.67	2.88	0.205	—	—
0.0885	Te ^{125m}	—	0.005	0 014	0.05	0.149	—	—
0.088	Ag ^{109m}	0 029	—	—	—	—	—	—
0.081	Xe ¹³³	5.797	14.58	15.68	4 35	—	—	—
0.0807	Ce ¹⁴⁴	0.013	0 036	0.072	0.245	1.05	6.80	9.25
0.069	Sm ¹⁵³	0 077	0 074	0 024	—	—	—	—
0.06	Pm ¹⁴⁷	—	?	?	—	—	—	—
0.054	Ce ¹⁴⁴	0.013	0 036	0 072	0.245	1.05	6.80	9.25
0.041	Mo ⁹⁹	?	?	?	—	—	—	—
0.040	Rh ^{105m}	0 490	1 29	2 31	6 30	9.36	1.34	—
0.0337	Ce ¹⁴⁴	0 013	0 036	0 072	0.245	1.05	6.80	9.25
0.03	Ba ¹⁴	3 27	7.49	11.14	13.8	1.49	—	—
0.019	Sm ¹⁵¹	—	—	—	—	—	0.001	0.12
0.018	Pd ¹¹²	0.027	0.005	—	—	—	—	—

TABELLA 3.

Individuazione delle righe degli spettri di fig. 5 e 6.

Righe sperimentali	30 giorni		100 giorni	
75 KeV	0.245	Ce ¹⁴⁴	1.05	Ce ¹⁴⁴
	0.245	»	1.05	»
	4.35	Xe ¹³³	—	—
	0.05	Te ^{127m}	0.15	Te ^{127m}
	2.88	Nd ¹⁴⁷	0.205	Nd ¹⁴⁷
	0.290	La ¹⁴⁰	0.037	La ¹⁴⁰
	0.245	Ce ¹⁴⁴	1.05	Ce ¹⁴⁴
	8.125	= I _{tot.}	3.542	= I _{tot.}
150 KeV	0.245	Ce ¹⁴⁴	1.05	Ce ¹⁴⁴
	9.45	Ce ¹⁴¹	9.96	Ce ¹⁴¹
	1.38	Ba ¹⁴⁰	0.15	Ba ¹⁴⁰
	0.11	Xe ^{131m}	—	—
	11.185	= I _{tot.}	11.16	= I _{tot.}
330 KeV	0.22	I ¹³¹	—	—
	1.86	Ba ¹⁴⁰	0.149	Ba ¹⁴⁰
	0.72	Nd ¹⁴⁷	0.683	Nd ¹⁴⁷
	0.87	La ¹⁴⁰	0.05	La ¹⁴⁰
	3.36	I ¹³¹	0.112	I ¹³¹
	7.03	= I _{tot.}	1.00	= I _{tot.}
490 KeV	6.33	La ¹⁴⁰	0.811	La ¹⁴⁰
	5.98	Ru ¹⁰³	8.89	Ru ¹⁰³
	0.035	Rh ¹⁰⁶	0.156	Rh ¹⁰⁶
	0.075	I ¹³²	—	—
	1.20	Nd ¹⁴⁷	0.086	Nd ¹⁴⁷
	2.19	Ba ¹⁴⁰	0.486	Ba ¹⁴⁰
	15.81	= I _{tot.}	10.993	= I _{tot.}
740 KeV	0.38	I ¹³¹	—	—
	0.30	I ¹³²	0.40	Ba ^{137m}
	0.30	Pr ¹⁴⁴	0.42	Pr ¹⁴⁴
	10.05	Zr ⁹⁵	25.01	Zr ⁹⁵
	0.13	I ¹³⁴	—	—
	5.40	Nb ⁹⁵	31.21	Nb ⁹⁵
	0.22	I ¹³²	—	—
	16.58	= I _{tot.}	57.72	= I _{tot.}

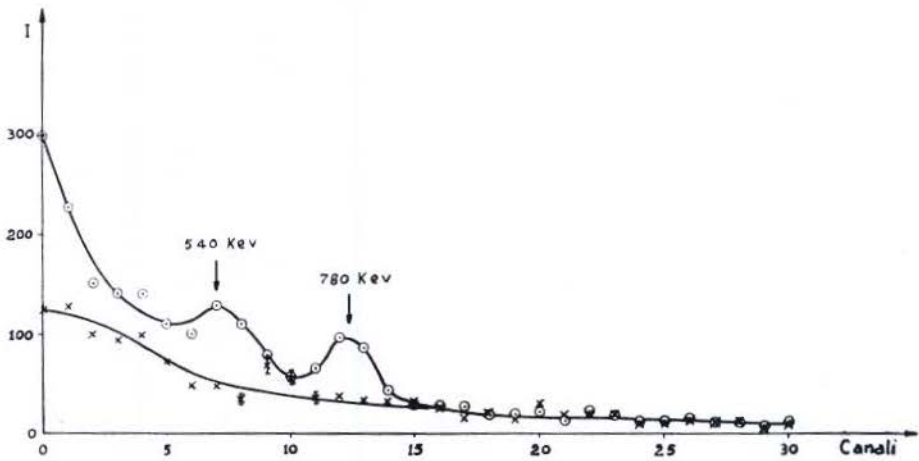
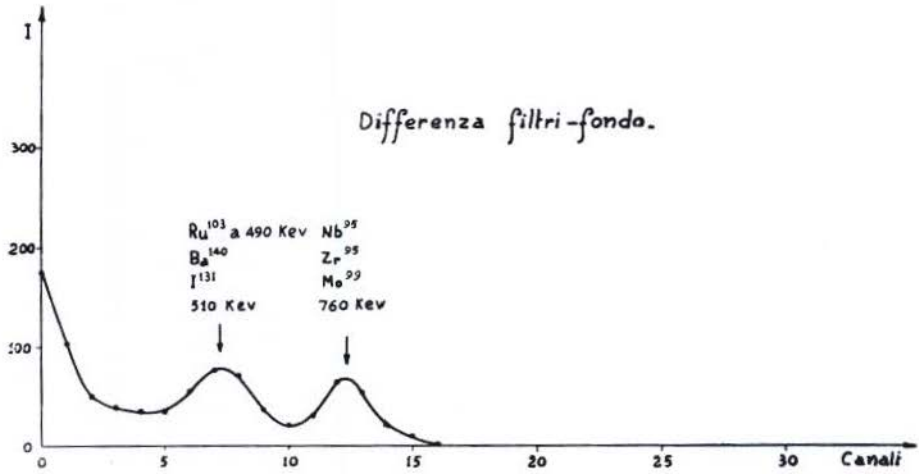


Fig. 7. - Spettro dei filtri 1-15 nov. 1937 (sensibilità 30 KeV/can.; soglia 160 KeV);
 x fondo, o filtri, • differenza.

Come si vede, appare ragionevole attribuire ai campioni una età pari a ~ 30 giorni, e far quindi risalire ad una data molto vicina alla data effettiva di raccolta dei filtri l'esplosione nucleare che ha dato luogo alla nube radioattiva.

Come si vede, da una misura anche di parte dello spettro dell'attività del pulviscolo, è possibile risalire alla data dell'esplosione.

E' utile accennare un altro metodo possibile: prendere in considerazione due opportune righe dello spettro di fissione (ad es. anche le due righe di fig. 5) e seguire l'andamento col tempo del rapporto delle loro intensità, confrontando tale andamento con quello che si può calcolare per es. dai diagrammi di Löw e Björnerstedt. In questo caso non è necessario correggere per il rendimento del picco fotoelettrico.

III. 4 - Successivamente, è sembrato interessante analizzare lo spettro di campioni di pulviscolo atmosferico la cui attività fosse ad un livello normale, corrispondesse cioè, all'attività atmosferica di fondo, in assenza di nubi radioattive localizzate.

Sono stati perciò esaminati i campioni raccolti nei giorni 1-15 novembre, nessuno dei quali presentava un'attività beta particolarmente elevata. Anche questi sono stati esaminati tutti insieme; l'attività dell'insieme dei 15 filtri risultava dell'ordine di 1 volta l'effetto di zero del contatore. I risultati dell'analisi sono riportati in fig. 7. Come si vede, è presente inequivocabilmente anche in questo caso una qualche contaminazione di attività artificiale di prodotti di fissione (righe a 510 e 760 KeV attribuibili rispettivamente a Ba^{140} , I^{131} e Nb^{95} , Zr^{95}). Nessun isotopo radioattivo naturale presenta infatti righe corrispondenti a questi valori dell'energia, né elementi della famiglia del Ra o del Th, né K^{40} .

Ciò significa che, a partire dalle prime esplosioni nucleari, l'attività di fondo dell'atmosfera anche a livello del suolo contiene delle tracce di prodotti di fissione, in accordo del resto con quello che si è accennato nell'introduzione.

CONCLUSIONE

I risultati del presente lavoro hanno un valore puramente qualitativo ed orientativo, per ciò che riguarda l'analisi dei campioni di pulviscolo presi in esame. E' stato tuttavia possibile mettere a punto una tecnica di misura che può consentire di ottenere attualmente risultati quantitativi e studiare un metodo, quantitativo, per la determinazione dell'età dei prodotti di fissione raccolti.

Si desidera ringraziare il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, per l'invio dei campioni di pulviscolo su carta da filtro e per l'interessamento alla presente ricerca.

Roma. — Istituto Superiore di Sanità - Laboratorio di Fisica.

BIBLIOGRAFIA

La bibliografia esistente sull'argomento della radioattività atmosferica è ormai vastissima. Qui di seguito vengono riportate alcune fonti bibliografiche del presente lavoro, senza pretendere di citare tutti gli articoli e le pubblicazioni riguardanti tale argomento.

- (1) Per la bibliografia del periodo 1945-56 cfr. « Annotated bibliography on fall-out resulting from nuclear explosions » - HOARD A. G., EISENBUD M., HARLEY J. H. Rep. NYO-4753 (1956).
- (2) KOVAL G. - MDDC Rep., 1503 (1947).
- (3) HUNTER H. F. e BALLOU N. E. - Nucleonics 9, n. 5, C-2 (1951).
- (4) SANTOMAURO L. e CIGNA A. - Ann. Geofis., 6: 384 (1953).
- (5) BELL C. G. - NYO 4654 (1953).
- (6) WEXLER H., MACHTA L., PACK H. e WHITE F. D. - Conf. Ginevra 1953 A/P/276.
- (7) ANTON N. - Conf. Ginevra A/P/152.
- (8) LAREVRIE J. e WEIL J. - Conf. Ginevra A/P/353.
- (9) MILLER C. E., MARINELLI L. D. e ROSE J. E. - ANL Rep. 5436 p. 107 (1953).
- (10) LIST R. J. - NYO Rep. 4696 (1956).
- (11) BLOMEKE J. O. - ORNL 1783 (1956).
- (12) *Research in the effects and influences of the nuclear bomb test explosions* - Compilato da: Committee for Compilation of Report on Research in the Effects of Radioactivity (1956).
- (13) BLIFFORD H. I., FRIEDMAN H., LOCKHART L. B. e BAUS R. A. - NRL Rep. 4760 (1956).
- (14) Radioactive fall-out measurements in Netherlands - A report from the Netherlands Government (1957).
- (15) LIBBY W. F. - Le precipitazioni radioattive - Relaz. alla Soc. Am. di Fisica (1957).
- (16) GEDEONOV L. I. - The Soviet Journ. of Atomic Energy 2, n. 3, p. 343 (1957).
- (17) HUBER P. - Premier rapport de la commission fédérale de la radioactivité de l'air et des eaux à l'intention du Conseil Fédéral - Bull. Serv. Fed. de l'hygiène publique (1957).
- (18) SHAPIRO P. e HIGGS R. W. - R.S.I., 28, n. 11, p. 939 (1957).
- (19) LÖW K. e BJÖRNERSTEDT R. - Arkiv. för Fysik Band 13 - Häfte 1, pag. 83 (1958).