



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

AREA ENERGIA, AMBIENTE E SALUTE

**SISTEMA DI MONITORAGGIO
DELL'ARIA IN CONTINUO
MEDIANTE SPETTROMETRIA
GAMMA CON RILEVATORE
AL GERMANIO**

M. MONTALTO, R. GIACOMELLI, M. NOCENTE,
S. BORTOLUZZI, P. SPEZZANO



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

AREA ENERGIA, AMBIENTE E SALUTE

**SISTEMA DI MONITORAGGIO
DELL'ARIA IN CONTINUO
MEDIANTE SPETTROMETRIA
GAMMA CON RILEVATORE
AL GERMANIO**

M. MONTALTO, R. GIACOMELLI, M. NOCENTE,
S. BORTOLUZZI, P. SPEZZANO

ENEA - Area Energia, Ambiente e Salute,
Centro Ricerche Energia Saluggia, Vercelli

Testo pervenuto nel dicembre 1990

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

Riassunto

Sono descritti i criteri di progetto adottati nella realizzazione di un sistema automatico per il monitoraggio in tempo reale della radioattività artificiale atmosferica.

Particolare attenzione è stata riposta per minimizzare le perdite di particolato lungo i condotti di adduzione della apparecchiatura.

Sono stati valutati sperimentalmente, mediante sistema prototipo, le perdite di particolato nel condotto, le minime attività rivelabili e l'efficienza di rivelazione.

Abstract

Design of automatic system for real time air monitoring of radioactive particulates are relate.

Recommendations are made for design and operation of sampling conduits to minimize losses.

By means of experimental equipment loss of particles in long sampling conduits, minimum detectable activity and efficiency of gamma radiation detectable are evaluated.

INDICE

Premessa

1. Descrizione del Sistema di monitoraggio dell'aria
 - 1.1 Dispositivi per il campionamento dell'aria.
 - 1.2 Catena di acquisizione degli spettri.
 - 1.3 Microcalcolatore e unità periferiche varie
2. Criteri di progetto del sistema di monitoraggio
 - 2.1 Descrizione del portafiltro.
 - 2.2 Descrizione del software per la gestione automatica del sistema di monitoraggio.
3. Descrizione delle apparecchiature sperimentali.
4. Valutazione delle perdite di particolato nel condotto di aspirazione.
5. Valutazione della minima attività rivelabile.
6. Valutazione della efficienza di rivelazione della radiazione gamma.
7. Conclusioni.

Premessa

L'impiego sempre più frequente di sostanze radioattive nelle attività produttive dell'uomo comporta la necessità di controllare in larga scala e con continuità temporale la radioattività atmosferica.

A questo proposito, è stata istituita, nel 1956, la Rete Nazionale di Rilevamento della Radioattività artificiale, che è costituita da 19 punti di campionamento ubicati presso le stazioni meteorologiche dell'Aeronautica Militare.

Il campionamento viene effettuato mediante filtrazione con filtri di carta, che vengono inviati periodicamente per le successive misure all'Istituto di Fisica dell'Atmosfera del C.N.R..

In particolare dal 1986 oltre alle misure con contatori beta, vengono effettuate anche misure mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione.

Dopo l'incidente di Chernobyl, è scaturita la necessità di attuare una rete di rilevamento della radioattività artificiale in aria operante in tempo reale. A tal fine è stato organizzato un Gruppo di Lavoro tra i vari Enti Pubblici interessati (A.M. - C.N.R. - I.S.S. - ENEA).

Dal Rapporto Finale del G.D.L. Sul Rilevamento in Tempo Reale della Radioattività Artificiale In Aria è stata desunta la valutazione delle prestazioni della strumentazione esistente sotto riportata.

I sistemi di rivelazione necessari per la realizzazione di un sistema di monitoraggio in tempo reale della radioattività artificiale dell'aria possono essere i seguenti:

- misuratori di intensità di esposizione;
- sistemi di campionamento del particolato atmosferico mediante filtrazione, abbinati a conteggi beta o alfa-beta totali pronti e ritardati;
- sistemi di campionamento dello Iodio, abbinati a conteggi gamma su uno o più intervalli di energia prefissati (rivelatori a NaI(Tl)). Un sistema di questo tipo, da solo, è insufficiente e può essere usato solo a

integrazione di altro sistema;

- sistemi di campionamento ed analisi del particolato atmosferico mediante filtrazione e successiva misura mediante spettrometria gamma ad alta risoluzione (rivelatori a Ge).

Il G.D.L., per quanto riguarda i sistemi menzionati nei primi tre punti sopra elencati ha confermato la disponibilità di apparecchiature sufficientemente collaudate e adatte all'uso in campo. Le apparecchiature reperibili sul mercato sono anche basate sulla filtrazione di adeguati volumi d'aria e sulla contemporanea misura dei filtri stessi. Tali sistemi possono dare buone garanzie di funzionamento automatico anche su tempi di esercizio lunghi.

Invece per quanto riguarda il sistema precedentemente elencato per ultimo non esistono sul mercato sistemi provati che consentono il funzionamento automatico.

Infatti i sistemi attualmente in uso per il monitoraggio dell'aria a fini radioprotezionistici mediante spettrometria gamma e rivelatore al germanio sono a funzionamento discontinuo e non consentono di rilevare immediatamente le variazioni della radioattività ambientale in quanto necessitano del trasferimento periodico del filtro dal campionatore di aria atmosferica al pozzetto di conteggio delle radiazioni gamma.

Inoltre gli attuali rivelatori al germanio, gli unici che sono in grado di fornire le informazioni necessarie per una corretta sorveglianza ambientale, non sono adatti per l'uso "in campo". Allora quando si vuole realizzare un sistema di misura "pronto" vengono utilizzati altri tipi di rivelatore (ioduro di sodio ecc.) che non consentono, però, di raggiungere limiti di sensibilità sempre soddisfacenti.

Al fine di realizzare un monitor automatico ed affidabile capace di determinare in tempo reale le caratteristiche radioattive dell'aria sottoposta a misura, è stato avviato uno studio sperimentale che ha consentito di definire i criteri di progetto per la realizzazione di una apparecchiatura prototipo.

Il presente rapporto contiene la descrizione del sistema di monitoraggio realizzato e i risultati sperimentali ottenuti.

1. Descrizione del sistema di monitoraggio dell'aria.

Il sistema di monitoraggio dell'aria è composto da:

- dispositivi per il campionamento dell'aria;
- catena di acquisizione degli spettri;
- microcalcolatore e unità periferiche varie.

Nella figura 1 è riportato lo schema a blocchi del sistema di monitoraggio.

Nel seguito viene riportata la descrizione dettagliata dei vari componenti.

1.1 Dispositivi per il campionamento dell'aria.

I dispositivi per il campionamento dell'aria sono costituiti da un portafiltro e da una centralina di aspirazione.

Il portafiltro (Brevetto ENEA) è montato direttamente sul rivelatore di radiazioni gamma ed è stato progettato in maniera tale da ottimizzare sia le portate di aria filtrata che la geometria di rivelazione delle radiazioni emesse dai radionuclidi eventualmente presenti.

Il funzionamento del portafiltro che permette di realizzare il campionamento e la contemporanea misura è il seguente (con riferimento alla figura 2):

- l'aria proveniente dal punto di prelievo esterno al laboratorio attraverso un condotto opportunamente dimensionato accede nel collettore di distribuzione **A**;
- per effetto della depressione creata dalla pompa aspirante nel collettore di raccolta **B**, l'aria attraversa il filtro;

- la radioattività presente nel particolato trattenuto dal filtro viene costantemente misurata dal rivelatore al germanio intrinseco;
- l'aria dal collettore di raccolta passa attraverso il condotto di uscita e mediante la pompa aspirante è rimessa all'esterno.

La centralina di aspirazione dell'aria è costituita da una elettropompacentrifuga con palette di grafite, da un contatore volumetrico e dai dispositivi di regolazione e di protezione per detti componenti (valvola di by-pass, trappola per condensa e griglia blocca corpi estranei).

Inoltre la centralina di aspirazione è dotata di controllore programmabile che consente

- di regolare automaticamente il flusso di aria filtrata in maniera da mantenerlo costante per tutta la durata del prelievo;
- di registrare ad intervalli di tempo prestabiliti la temperatura dell'aria misurata dal contatore volumetrico. Con il profilo di temperatura registrato, il controllore calcola il volume di aria filtrato riferito ad una temperatura di normalizzazione prefissata;
- di misurare continuamente la depressione alla bocca di aspirazione della pompa per accertare il funzionamento corretto della pompa stessa;
- di contare il numero di minuti trascorsi dall'inizio del prelievo per conoscerne la durata totale;
- di remotizzare, mediante computer interfacciato con linea seriale, assieme alle funzioni sopra descritte, anche l'inizio e la fine del campionamento.

Pertanto nel sistema di monitoraggio la centralina di aspirazione è interfacciata ad un microcalcolatore con il quale è possibile regolare e controllare a distanza tutti i parametri del campionamento.

1.2 Catena di acquisizione degli spettri.

La catena utilizzata per l'acquisizione degli spettri di radiazioni gamma è composta dalle apparecchiature seguenti:

- rivelatore di radiazioni gamma del tipo germanio intrinseco refrigerato mediante criostato ad azoto liquido;
- pozzetto di piombo con pareti interne rivestite di rame e cadmio (spessore di piombo 20 cm.);
- multicanale (canali disponibili 4096) completo di alimentatore alta tensione (5 kV), convertitore A/D, stabilizzatore di spettri e visore a tubo catodico.

1.3 Microcalcolatore e unità periferiche varie.

Il microcalcolatore utilizzato è del tipo completo di tastiera per l'immissione di comandi manuali e stampante per l'uscita degli elaborati.

Il microcalcolatore ed il multicanale sono collegati mediante una linea seriale. Così, è possibile comandare e controllare i cicli di acquisizione degli spettri mediante istruzioni incluse nel software di gestione.

Le unità di segnalazione di allarme costituite da dispositivi acustici ed ottici servono per avvertire l'operatore della presenza di radioattività artificiale nell'aria o più semplicemente del malfunzionamento del sistema di monitoraggio.

Il sistema di monitoraggio, tramite Modem, può trasmettere ad un centro di raccolta tutti i dati elaborati.

2. Criteri di progetto del sistema di monitoraggio

Per la realizzazione di un prototipo del sistema di monitoraggio precedentemente descritto è stato necessario progettare e costruire un apposito portafiltro con i relativi condotti di adduzione.

Inoltre è stato necessario realizzare un software specifico per la gestione automatica delle apparecchiature componenti il sistema che deve eseguire i cicli di prelievo, i cicli d'analisi e di elaborazioni dati necessari allo svolgimento del monitoraggio in continuo ed in tempo reale della radioattività atmosferica.

Riportiamo separatamente la descrizione del portafiltro e del software di gestione.

2.1 Descrizione del portafiltro

La descrizione dettagliata del portafiltro con riferimento alla figura 3 (se non altrimenti specificato) è la seguente:

- la bocca di prelievo (1) è costituita da una apertura a sezione circolare con diametro interno uguale al condotto di prelievo (2) al quale deve essere collegata mediante guarnizioni di tenuta adatti per lavorare in depressione;
- il diametro del condotto di prelievo (2) e quindi anche della bocca di prelievo (1), è dimensionato in maniera tale da consentire il mantenimento del regime fluidodinamico turbolento;
- la bocca di prelievo (1) collega il condotto di prelievo (2) al collettore di distribuzione toroidale (3);
- il collettore toroidale (3) circonda la superficie cilindrica (12) del rivelatore (11) ed è collegato con la zona di filtrazione (5) mediante una fessura ad anello (4) senza interruzioni per tutto l'angolo giro;

- la zona di filtrazione (5) è delimitata dalla superficie sensibile (13) del rivelatore (11) base del cilindro rivolta verso l'alto nelle figure 2 e 5 e dal filtro (6) dove si raccoglie il particolato;
- la distanza tra la superficie sensibile (13) del rivelatore (11) e la superficie filtrante (6) è dell'ordine di grandezza di 1 mm;
- il filtro (6) è di cellulosa tipo SS-589-1 (o equivalenti) oppure in fibra di vetro tipo Whatman GF/A (o equivalenti);
- il supporto del filtro (7) è costituito da una rete metallica o altra superficie piana forata capace di resistere alla spinta massima di una atmosfera senza creare resistenze al flusso d'aria;
- il collettore di raccolta (9) è costituito da una camera a geometria cilindrica situata a valle del filtro (6) e realizzata in maniera da convogliare il flusso d'aria filtrata verso il condotto di uscita (10);
- il condotto di uscita (10) è costituito da una apertura a sezione circolare con diametro idoneo per essere collegato mediante guarnizioni di tenuta per vuoto al tubo di collegamento della pompa aspirante (fig. 1, (3));
- il portafiltro, sul lato inferiore, ha una apertura circolare (14), centrata rispetto alla posizione del filtro (6), in maniera da poter essere innestato sul rivelatore del tipo germanio intrinseco (11);
- Il rivelatore (11), penetrando all'interno del portafiltro, costituisce esso stesso una parete (12) del collettore toroidale di distribuzione e della zona di filtrazione (13);
- un anello di tenuta (14) impedisce il passaggio dell'aria lungo le superfici di accoppiamento tra rivelatore (11) e il portafiltro;
- il portafiltro viene tenuto fermo nella corretta posizione dalla spinta generata mediante la depressione atmosferica dalla pompa aspirante (fig. 1, (3)) nel collettore di raccolta (9) ed attraverso il filtro (6) nella zona di filtrazione (5);

- il filtro (6) con relativo supporto (7) è accessibile direttamente dall'alto, in maniera da facilitarne l'ispezione mediante l'estrazione del blocco (17) solidale con la maniglia (15);
- il condotto di prelievo (2) e il condotto di uscita (10) sono rivolti verso il basso per consentire il passaggio dei tubi di collegamento dall'interno all'esterno del pozzetto di piombo (fig. 1, (6))lungo l'asse di collegamento del rivelatore al dewar (fig. 1, (7));
- tutti i componenti del portafiltro sono stati essere realizzati con materiali conduttori di elettricità per ridurre il deposito di particolato atmosferico sulle pareti del dispositivo stesso per l'effetto dell'accumulo di cariche elettrostatiche.

Il principio di funzionamento del portafiltro è il seguente (con riferimento alla figura 2):

- l'aria proveniente dal punto di prelievo esterno al laboratorio attraverso un condotto opportunamente dimensionato accede nel collettore di distribuzione toroidale A;
- per effetto della depressione creata dalla pompa aspirante nel collettore di raccolta B, l'aria attraversa il filtro;
- la radioattività presente nel particolato depositatosi sulla superficie del filtro, viene costantemente misurata dal rivelatore al germanio intrinseco;
- l'aria dal collettore di raccolta passa attraverso il condotto di uscita e mediante la pompa aspirante è rimessa all'esterno.

In sostanza il dispositivo consente di effettuare l'operazione di filtrazione su filtro piano direttamente affacciato alla superficie di rivelazione.

Inoltre, l'adozione del collettore toroidale consente di minimizzare le distanze tra filtro/rivelatore e le perdite di carico necessarie per mantenere il flusso d'aria.

Quindi, detto collettore, consente di massimizzare l'efficienza di rivelazione delle radiazioni e la quantità d'aria filtrata.

Il dispositivo di filtrazione può anche essere realizzato come riportato nella figura 5 cioè con il supporto del filtro poggiato sopra il rivelatore o addirittura la superficie del rivelatore può costituire essa stessa il supporto del filtro.

In questo caso il collettore toroidale svolge la funzione di camera di raccolta del fluido filtrato.

Il flusso d'aria è diretto in senso inverso rispetto alla soluzione costruttiva prima descritta.

La soluzione costruttiva riportata nella figura 5 comporta i seguenti vantaggi rispetto a quella di figura 2:

- il rivelatore è investito dal flusso d'aria già filtrata, quindi meno esposto ad eventuale contaminazione;
- la tenuta idraulica dell'accoppiamento tra portafiltro e rivelatore è sottoposta ad una differenza di pressione molto piccola, e quindi più facile da realizzare.

Per contro si deve sottolineare l'inconveniente che il supporto del filtro essendo interposto tra filtro e rivelatore può schermare parzialmente le radiazioni gamma.

2.2 Descrizione del software per la gestione automatica del sistema di monitoraggio.

Il funzionamento completamente automatico del sistema di monitoraggio è affidato ad un microcomputer che è interfacciato (come schematizzato nella fig. 1) alla catena di conteggio (MCA), al misuratore di portata del fluido filtrato, alla unità di comando manuale, alla unità di uscita dei dati, alla unità di segnalazione di

condizioni di allarme ed infine all'eventuale MODEM per la teletrasmissione dei dati a centro di sorveglianza nazionale.

I criteri utilizzati per la gestione automatica del sistema di monitoraggio sono i seguenti:

- Controllo automatico delle funzioni della catena di acquisizione e conteggio (trasferimento dati, azzeramento memoria, ecc.).
- Controllo del ciclo di misure secondo il seguente schema:
 - a) conteggio per un intervallo T_0 prefissato dall'utente;
 - b) trasferimento , memorizzazione e controllo , con eventuale correzione, della corretta taratura in energia, dei conteggi per canale (C_{i+j}) e successivo azzeramento della memoria del multicanale;
 - c) ripetizione per j (parametro imposto dall'operatore) volte dei punti a) e b) in maniera da memorizzare lo spettro ottenuto negli ultimi j intervalli di tempo T_0 in files separati (C_1, \dots, C_j);
 - d) dopo i primi j cicli che si devono effettuare solo in caso di ripristino totale e quindi previo comando manuale, ogni volta che trascorre un intervallo di tempo T_0 l'ultimo spettro diventa C_j , mentre C_j diventa C_{j-1} e via dicendo per gli altri $j-1$ spettri, infine C_1 viene cancellato;
 - e) i controlli sulle aree specificati in seguito vengono effettuate sullo spettro somma degli spettri memorizzati nei j files trattati precedentemente;
 - f) raccolta in un nuovo file dello spettro somma di un numero n , definito dall'operatore, di spettri per l'analisi quali/quantitativa specificata in seguito. Alla scadenza del periodo di accumulo , eliminazione del file e impostazione di un nuovo file.
- Verifica, con cadenze temporali selezionabili, delle aree relative a zone dello spettro preimpostate dall'operatore.

- Azionamento del dispositivo di allarme in caso di discordanza tra i valori delle aree precedentemente riportate e i valori prefissati dall'operatore.
- Analisi quali/quantitativa rapida tesa ad individuare dati radioisotopi specificati dall'operatore sullo spettro somma ogni n intervalli di tempo T_0 .
- Stampa dei risultati dell'analisi ed invio su linea telefonica via Modem su rete opportunamente predisposta dei risultati analitici.
- Archiviazione temporanea o permanente su files dei parametri controllati (aree , risultati analisi, data e ora della verifica) per risalire ad eventuali condizioni anomale di funzionamento.
- Capacità interna del programma di gestione dei principali errori software e/o hardware che occorrono, individuazione delle condizioni di errore, stampa (con data e ora) delle informazioni atte a dare all'operatore la situazione del sistema per il successivo intervento; segnalazione di allarme in caso di blocco del sistema.

Nel definire i criteri per la gestione del sistema di monitoraggio si è cercato di garantire la prontezza della risposta e nello stesso tempo la massima stabilità della misura per non incorrere nel l'inconveniente di avere falsi allarmi o una soglia di allarme molto elevata.

A tal fine è stato ideato il procedimento descritto nei capoversi precedenti contraddistinti con le lettere da a fino ad f, che consente di mediare su tempi ottimali le misure del sistema di monitoraggio per smorzare le fluttuazioni casuali senza rinunciare alla prontezza della risposta.

Nella figura 6 è riportato lo schema a blocchi del software utilizzato nella gestione automatica del sistema di monitoraggio.

Per quanto riguarda il riconoscimento delle condizioni di allarme sono stati predisposti due diversi tipi di segnalazione per distinguere il cattivo funzionamento delle apparecchiature dalla accertata contaminazione atmosferica.

Infatti, se una delle apparecchiature della catena di conteggio non funziona correttamente l'anomalia viene segnalata automaticamente con un allarme acustico ed un allarme luminoso di colore giallo.

Invece, se si verifica, in conseguenza di una contaminazione atmosferica, il superamento di una delle soglie fissate viene immediatamente attivato un segnale acustico ed uno luminoso di colore rosso.

3. Descrizione delle apparecchiature sperimentali

Al fine di verificare sperimentalmente le caratteristiche di funzionamento del sistema di monitoraggio è stata realizzata una apparecchiatura prototipo costituita dai componenti sotto elencati.

- Rivelatore germanio intrinseco: DSG - diametro 76 mm - alta tensione + 4500V - efficienza relativa 30%.
- Portafiltro montato su rivelatore secondo brevetto ENEA n. 48281/A89 Dep. il 4-8-1989.
- Pozzetto in piombo idoneo a contenere il rivelatore ed il portafiltro.
- Condotto di aspirazione: diametro 25 mm - lunghezza 8 m di cui soltanto 1 m con sviluppo orizzontale.
- Centralina computerizzata per aspirazione aria: Zambelli - modello 7000 - Gestione dei parametri di esercizio automatica mediante microprocessore - Interfaccia seriale RS232 per collegamento a computer.
- Catena elettronica di conteggio delle radiazioni gamma, composto da: amplificatore, convertitore A/D e multicanale modello Cicero - Silena.

- Computer con 640 kb RAM - 1 Hard disk 25 Mb - 1 disk drive 3"1/2 - 1 disk drive 5"1/4 - coprocessore matematico - scheda grafica EGA - monitor 15" colori - stampante - interfaccia per comando allarmi- Hewlett Packard mod. Vectra.
- Dispositivi di segnalazione della presenza di contaminanti in aria o di guasto dell'apparecchiatura. Una prima segnalazione locale per avvertire il responsabile nella fascia oraria lavorativa. Una seconda segnalazione remota per chiamare il reperibile di turno durante le ore notturne ed i giorni festivi.

4. Valutazione delle perdite di particolato nel condotto di aspirazione

L'entità di particolato perso lungo il condotto di adduzione al filtro deve essere sufficientemente piccola per essere compatibile con i requisiti richiesti dalla Rete Nazionale di Rilevamento della Radioattività Artificiale in termini di livello minimo rivelabile.

Pertanto nel realizzare la condotta sono stati adottati alcuni accorgimenti tecnici per minimizzare tali perdite. [1]

La condotta è stata realizzata il più corta possibile ed in particolare per ridurre il fenomeno di sedimentazione, che non dipende dalla intera lunghezza percorsa dall'aerosol nella condotta, ma dipende soltanto dalla lunghezza della proiezione sul piano orizzontale della condotta stessa, si è cercato di minimizzare lo sviluppo orizzontale [2].

Inoltre, il regime fluidodinamico nella condotta è stato scelto in maniera tale da contenere contemporaneamente le perdite per sedimentazione, per diffusione e per impatto per le particelle di granulometria compresa tra 0,2 e 2 μm [3].

Per valutare sperimentalmente le perdite di particolato lungo la condotta sono state effettuate alcune misure di emissioni alfa-totale, beta-totale e spettrometria gamma del particolato

depositato su coppie di filtri ottenute filtrando l'aria contemporaneamente sia con il sistema tradizionale (senza condotta prima del filtro) che con il sistema automatico.

L'aria è stata filtrata con i seguenti parametri operativi:

- Durata del prelievo: ~ 24 ore
- Velocità dell'aria attraverso il filtro costante nel tempo: 48 cm/s
- Diametro utile del filtro: 94 mm
- Flusso d'aria filtrata: 12 m³/h
- Tipo di filtro: SS - 498/1. [4].

Per prime sono state effettuate le misure di spettrometria gamma. Queste, mediante due rivelatori al germanio intrinseco con caratteristiche di funzionamento tra di loro simili e con un tempo di conteggio della durata di 5400 secondi hanno consentito di determinare per ciascun filtro il contenuto di Pb-212.

Nella tabella I sono riportati i risultati ottenuti espressi in Bq/m³. Nella stessa tabella sono riportate le differenze percentuali tra i valori riscontrati con le due diverse apparecchiature prima descritte.

Per seconde sono state effettuate le misure di emissione radioattiva alfa-totale e beta-totale. per queste misure è stato utilizzato un rivelatore a flusso di gas (argon-metano) predisposto per misurare filtri di diametro massimo pari a 55 mm, quindi è stato ridotto il diametro dei filtri eliminando la corona esterna.

Per compensare il decadimento intercorso tra la misura del primo filtro ed il secondo, le misure, della durata di 10 minuti, sono state ripetute per due volte invertendo l'ordine dei due filtri. I valori così ottenuti sono stati mediati tra di loro.

Nella tabella II sono riportati i risultati con le relative differenze percentuali calcolate.

Dall'analisi delle differenze percentuali ottenute con tutti e tre i tipi di misure risulta che nell'ipotesi più pessimistica la perdita di particolato si può ritenere inferiore al 10%.

5. Valutazione della minima attività rivelabile

Per valutare la minima attività rivelabile ottenuta con il sistema automatico e per confrontarla con il sistema manuale sono state elaborate diverse coppie di spettri acquisite con i due differenti sistemi

Per il sistema automatico il tempo di conteggio è stato di 20.000 secondi e contemporaneo alla filtrazione.

Per il sistema manuale si è filtrato (diametro effettivo del filtro 49 mm) per 24 ore e dopo un'ora di attesa si è misurata la radiazione gamma per 5400 secondi.

Nella tabella III sono riportati i valori medi ottenuti. Dal confronto delle due serie di valori risulta un ottimo accordo tra i due sistemi di monitoraggio.

6. Valutazione della efficienza di rivelazione della radiazione gamma

L'efficienza di rivelazione è stata determinata utilizzando una sorgente, contenente diversi radioisotopi, della forma di un filtro con diametro 110 mm.

Per fare il confronto con l'efficienza di rivelazione utilizzata nel monitoraggio manuale è stata effettuata la stessa operazione con una sorgente a forma di filtro con diametro 60 mm.

I valori ottenuti sono riportati nella tabella IV.

In accordo a quanto già noto, le efficienze relative al filtro di diametro maggiore sono risultate inferiori a quelle del filtro di diametro minore.

Però, nel sistema di monitoraggio automatico la diminuzione della efficienza di rivelazione conseguente alla scelta di un filtro con diametro più grande di quello solitamente utilizzato, è compensata

dall'aumento del tempo di conteggio.

Infatti, come riportato nel paragrafo precedente, la minima attività rivelabile ottenibile con il sistema automatico in 20.000 secondi di conteggio è equivalente a quella raggiungibile con il sistema tradizionale e 5400 secondi di conteggio.

7. Conclusioni

Il sistema di monitoraggio automatico realizzato consente di effettuare il controllo della radioattività atmosferica rispettando gli stessi parametri di funzionamento utilizzati nel procedimento manuale normalmente usato.

Inoltre consente di ridurre, anche a pochi minuti, gli intervalli di tempo tra le varie misure, e quindi si può disporre di un sistema di allarme funzionante in "tempo reale".

Tabella I. Concentrazione di Pb-212 in aria.

I prelievi sono stati effettuati contemporaneamente con il sistema convenzionale e con il sistema innovativo. Le differenze percentuali sono state calcolate con la seguente espressione: $(\text{conv.} - \text{aut.}) / (\text{conv.} + \text{aut.}) \times 100$.

Misura n.	Sistema convenzionale (Bq/m ³)	Sistema automatico (Bq/m ³)	Differenza (%)
1	0.32	0.35	-4.5
2	0.33	0.34	-1.5
3	0.89	0.89	0
4	1.06	1.03	+1.4
5	0.53	0.60	-6.2
6	0.65	0.63	+1.5
7	0.76	0.73	+2.0
8	0.42	0.39	+3.7
9	0.51	0.48	+3.0
10	1.08	1.01	+3.3
11	0.45	0.49	-4.2
12	0.53	0.52	+0.9
13	0.21	0.20	-2.5
14	0.73	0.75	-1.3
15	0.14	0.13	+3.7
16	0,36	0,41	-6,5
17	0,30	0,30	0
18	0,11	0,10	+4,8
19	0,58	0,52	+5,4
20	0,09	0,09	0
21	0,71	0,68	+2,2
22	0,86	0,84	+1,2
23	1,06	0,99	+3,4
24	0,52	0,50	+2,0

Tabella II - Conteggi α e β totale.

I prelievi sono stati effettuati contemporaneamente con il sistema convenzionale e con il sistema automatico. Le differenze percentuali sono state calcolate con la seguente espressione:

$$(\text{conv.} - \text{aut.}) / (\text{conv.} + \text{aut.}) \times 100.$$

Misura n°	α tot. (cpm/m ³)			β tot. (cpm/m ³)		
	Convenz.	Automat.	Differenza (%)	Convenz.	Automat.	Differenza (%)
1	0,54	0,56	-1,8	1,59	1,66	-2,1
2	0,47	0,49	-2,1	1,25	1,31	-2,3
3	1,24	1,33	-3,5	3,58	3,63	-0,7
4	1,56	1,54	+0,6	3,42	3,36	+0,9
5	0,91	0,96	-2,7	2,29	2,39	-2,1
6	0,87	0,89	-1,1	2,94	3,07	-2,1
7	0,95	1,00	-2,5	3,17	3,11	+0,9
8	0,73	0,69	+2,8	1,98	1,82	+4,2
9	0,55	0,54	+0,9	1,78	1,72	+1,7
10	0,61	0,63	-1,6	2,22	2,11	+2,5
11	1,42	1,44	-0,6	4,79	4,68	+1,2
12	0,54	0,55	-0,9	1,88	1,79	+2,4
13	0,60	0,64	-3,2	2,20	2,29	-2,0
14	0,24	0,23	+2,1	0,83	0,82	+0,6
15	0,88	0,83	+2,9	3,14	2,98	+2,6
16	0,19	0,17	+5,5	0,61	0,59	+1,7
17	0,73	0,68	+3,5	1,65	1,61	+1,2
18	0,84	0,81	+1,8	1,94	1,86	+2,1
19	1,05	1,12	-3,2	2,14	2,34	-4,4
20	0,67	0,71	-2,9	2,83	2,91	-1,4
21	0,93	0,96	-1,6	3,23	3,35	-1,8
22	0,56	0,59	-2,6	1,43	1,56	-4,3
23	0,87	0,81	+3,5	2,46	2,18	+6,0
24	0,61	0,58	+2,5	1,87	1,74	+3,6

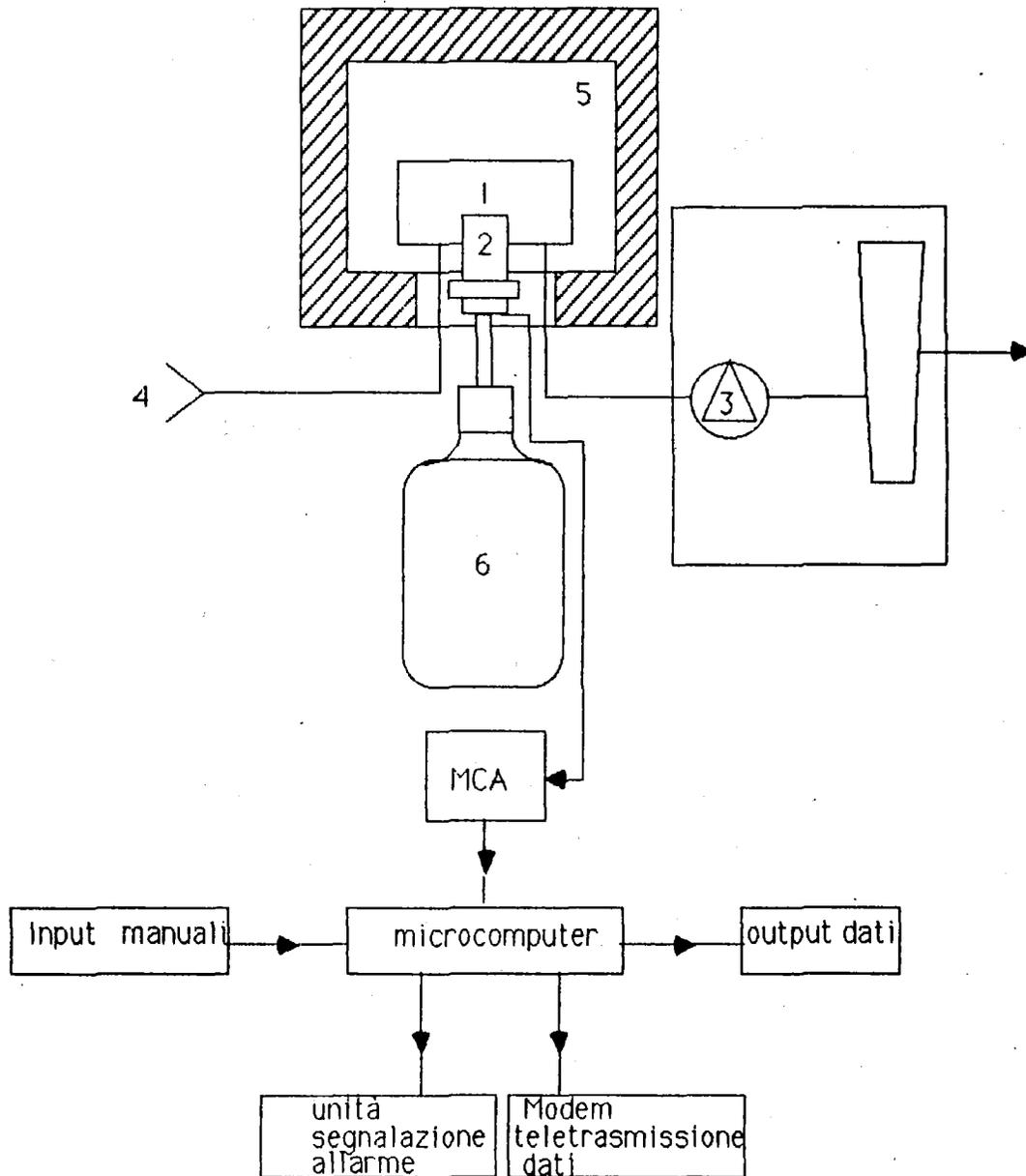
Tabella III. Valori di minima attività rivelabile.

Radionuclide	Sistema tradizionale (Bq/m ³)	Sistema automatico (Bq/m ³)
I-131	1.9 E-03	2.1 E-03
Cs-137	1.5 E-03	1.7 E-03
Co-60	1.5 E-03	1.6 E-03
Zr-95	2.1 E-03	2.9 E-03
Nb-95	5.7 E-03	6.1 E-03
Te-99m	4.6	7.2
Mo-99	2.3 E-03	3.4 E-03
Ru-103	1.6 E-03	1.7 E-03
RH-106	1.3 E-02	1.4 E-02
Ag-110m	1.3 E-03	1.5 E-03
Sb-125	3.8 E-03	4.9 E-03
I-132	2.3 E-03	2.6 E-03
Te-132	2.3 E-03	3.1 E-03
CS-134	1.5 E-03	1.7 E-03
Ba-140	7.3 E-03	8.3 E-03
La-140	3.3 E-03	3.1 E-03
Ce-141	2.2 E-03	3.2 E-03
Ce-144	3.3 E-02	4.4 E-02

Tabella IV. Efficienza di rivelazione

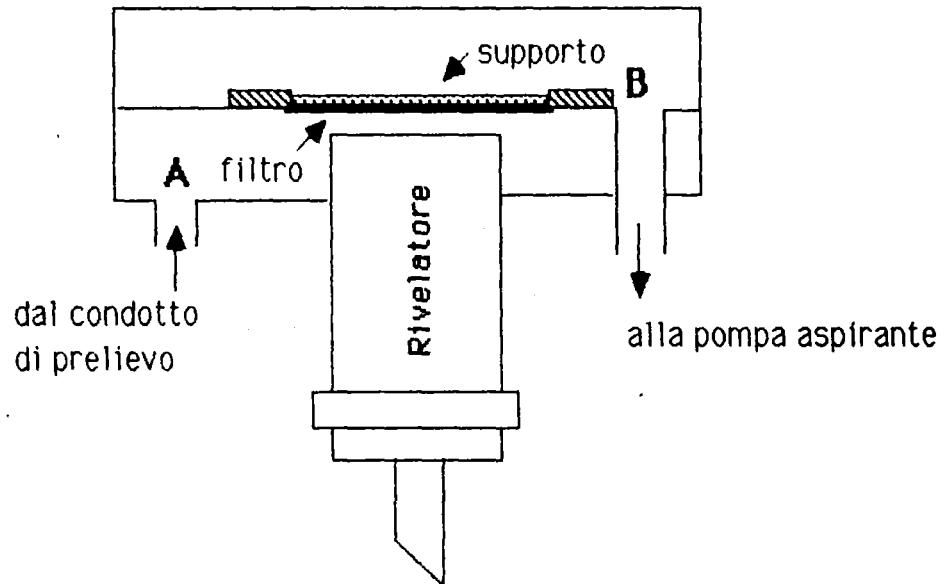
Isotopo	Energia (keV)	Efficienza (%)	
		Sistema tradizionale	Sistema automatico
AM-241	59	2,6	1,3
CD-109	88	6,3	3,7
CO-57	122	7,3	5,1
CE-139	165	7,0	5,0
SN-113	391	3,9	2,7
SR-85	513	2,3	2,2
CS-137	661	2,3	1,7
Y-88	898	1,7	1,2
CO-60	1173	1,3	1,0
CO-60	1332	1,2	0,9
Y-88	1836	1,0	0,7

Figura 1: Schema del sistema di monitoraggio dell'aria in continuo mediante spettrometria gamma con rivelatore al germanio.



- 1 - Portafiltro
- 2 - Rivelatore
- 3 - Pompa aspirante
- 4 - Condotto di prelievo
- 5 - Pozzetto di piombo
- 6 - Dewar

Figura 2: Rappresentazione schematica del portafiltro.
(Configurazione con supporto del filtro separato dal rivelatore)



A : collettore di distribuzione

B : collettore di raccolta

Legenda della figura 3

- 1 - Bocca di prelievo
- 2 - Condotto di prelievo
- 3 - Collettore di distribuzione toroidale
- 4 - Fessura ad anello
- 5 - Zona di filtrazione
- 6 - Filtro
- 7 - Supporto del filtro
- 8 - Camera di raccolta
- 9 - Collettore di raccolta
- 10 - Condotto di uscita
- 11 - Rivelatore
- 12 - Parete del collettore costituita dal rivelatore
- 13 - Parete della zona di filtrazione costituita dal rivelatore
- 14 - Apertura circolare per l'innesto del rivelatore con relativo anello di tenuta
- 15 - Maniglia per l'estrazione del filtro
- 16 - Viti fissaggio maniglia al blocco estraibile
- 17 - Blocco estraibile per ispezione del filtro
- 18 - Cestello esterno
- 19 - Anello di separazione tra collettore di distribuzione e collettore di raccolta
- 20 - Anello distanziale
- 21 - Anello di chiusura superiore del collettore di raccolta
- 22 - Anello di fissaggio componenti al cestello esterno
- 23 - Guarnizioni ad anello.

Figura 3 - Sezione del portafiltro
(Configurazione con supporto del filtro separato dal rivelatore.
Linea di sezione B-B indicata nella figura 4)

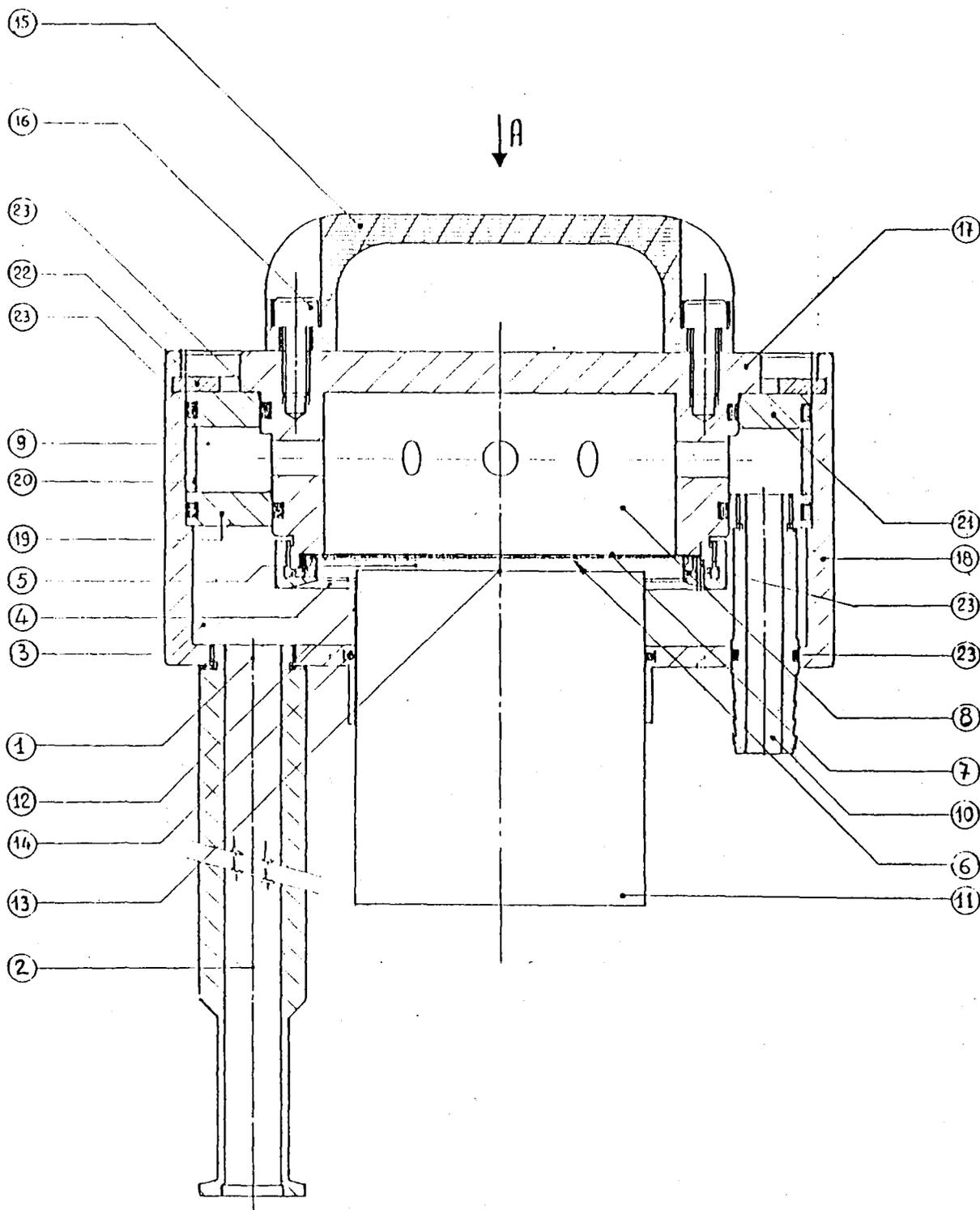


Figura 4 - Pianta del portafiltro (Vista da "A" indicata nella figura 3)

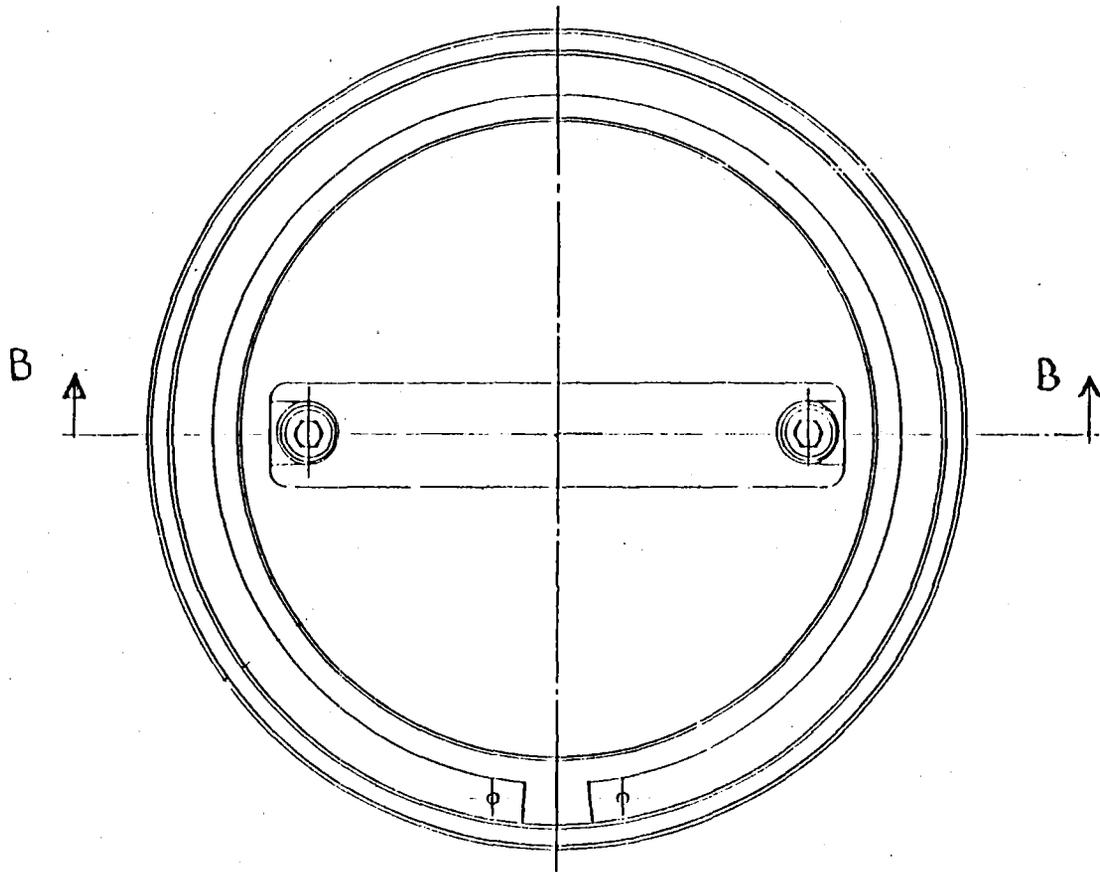
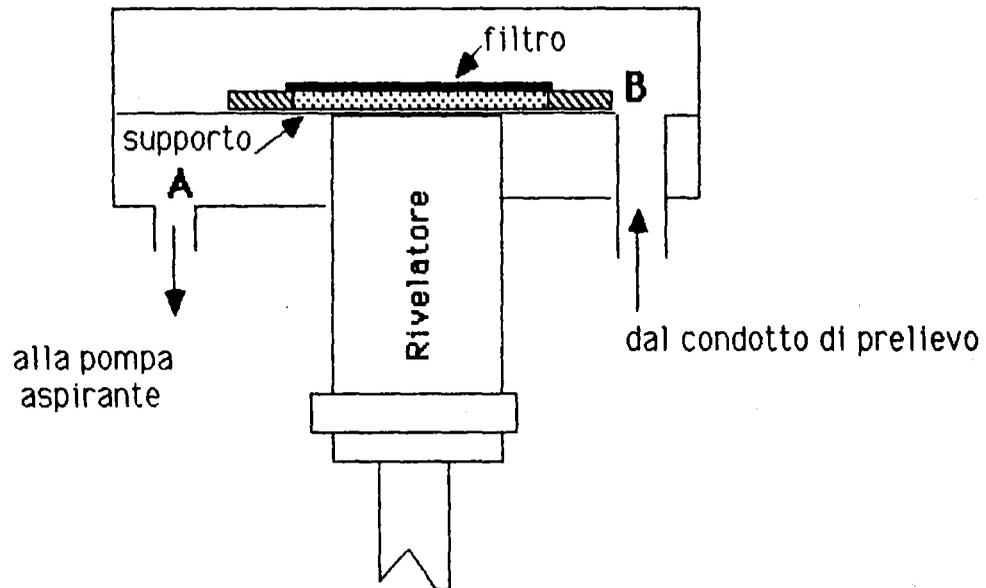
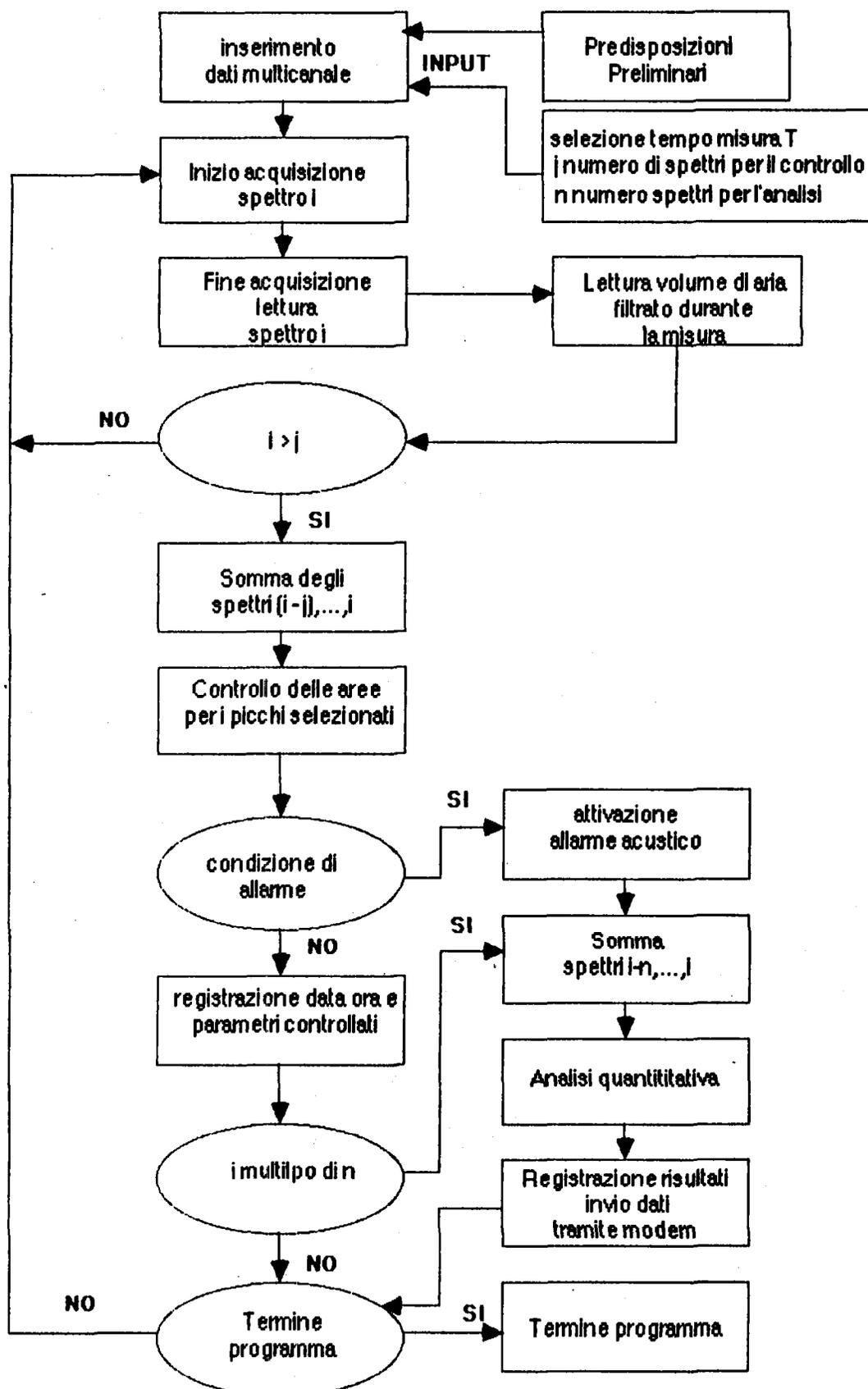


Figura 5: Rappresentazione schematica del portafiltro.
Configurazione con supporto del filtro affiancato al rivelatore.



A : collettore di raccolta
B : collettore di distribuzione

Figura 6 - Schema a blocchi del software realizzato



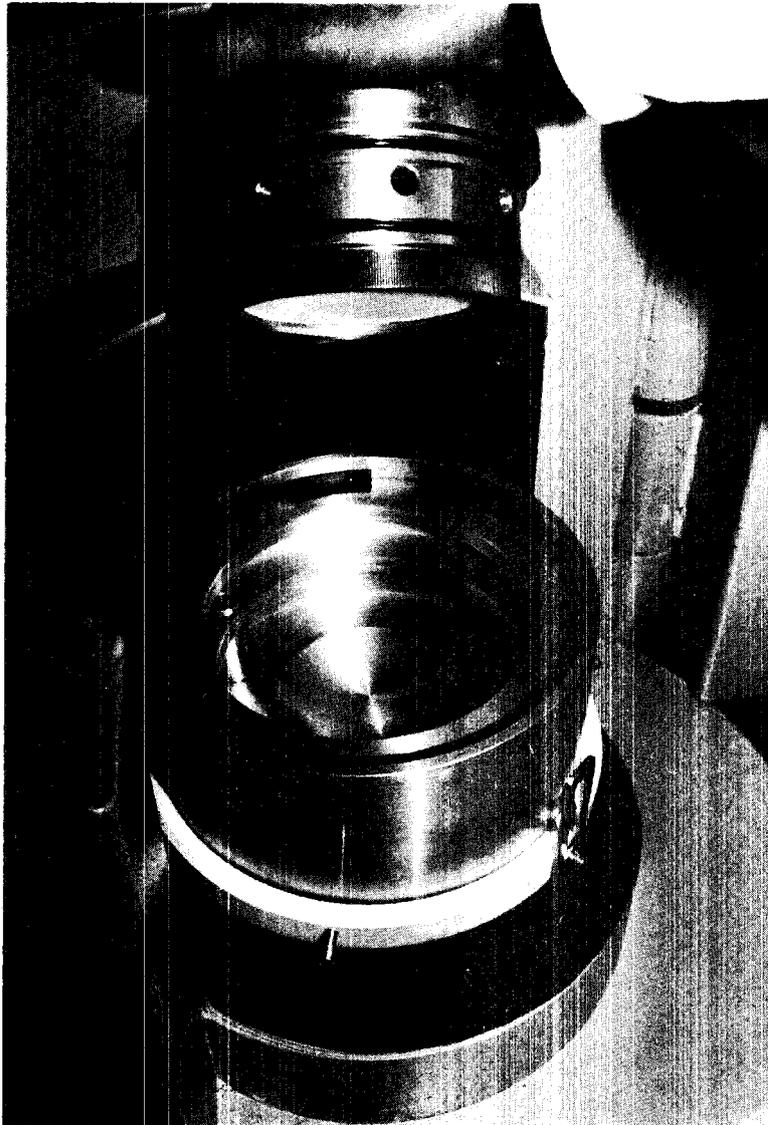


Foto 1 : Visita d'insieme del portafiltro installato nel pozzetto di piombo.

Bibliografia

- [1] J.W.THOMAS
Particle loss in sampling conduits - Proceedings of a Symposium
"Assessment of Rirborne Radioactivity"
IAEA - Vienna 1967

- [2] T. TOMASSINI, G. GALUPPI
Sedimentazione gravitazionale di aerosol in condotte
ENEA - RT/PAS/85/21

- [3] R. GRAGNANI, I. MICHETTI, G. TARRONI, L. TESTA
Distribuzione dei principali radionuclidi nelle frazioni
granulometriche del particolato atmosferico della Casaccia (Roma), a
seguito dell'incidente di Chernobyl.
ENEA - RT/PAS/87/10

- [4] A. CIGNA - F. GIORCELLI
Normalizzazione delle misure beta totali dei prodotti di fissione
liberati dalle esplosioni nucleari
ENEA - RT/RA(67)1/1967

**Edito a cura dell'ENEA, Direzione Centrale Relazioni.
Viale Regina Margherita, 125 - Roma
Finito di stampare nel mese di settembre 1991**

Fotoriproduzione e stampa
a cura delle Arti Grafiche S. Marcello - Viale R. Margherita, 176

Questo fascicolo è stato stampato su carta riciclata