

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



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

AREA ENERGIA, AMBIENTE E SALUTE

**REALIZZAZIONE DI UN  
CAMPIONATORE MOBILE  
PER LA DETERMINAZIONE  
DELLA CONCENTRAZIONE  
DI RADIONUCLIDI  
E DELLE LORO FORME  
CHIMICO-FISICHE  
IN ACQUE NATURALI**

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

original content  
color illustration



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

AREA ENERGIA, AMBIENTE E SALUTE

**REALIZZAZIONE DI UN  
CAMPIONATORE MOBILE  
PER LA DETERMINAZIONE  
DELLA CONCENTRAZIONE  
DI RADIONUCLIDI  
E DELLE LORO FORME  
CHIMICO-FISICHE  
IN ACQUE NATURALI**

**P. SPEZZANO, R. GIACOMELLI, S. BORTOLUZZI,  
M. MONTALTO, M. NOCENTE**  
ENEA - Area Energia, Ambiente e Salute -  
Centro Ricerche Energia, Saluggia - Vercelli

**original contains  
color illustrations**

Testo pervenuto nel luglio 1990

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

## RIASSUNTO

Il presente lavoro descrive la realizzazione di un sistema per l'arricchimento di radionuclidi da grandi volumi di acque naturali allo scopo di determinarne i livelli di concentrazione e la loro forma chimico-fisica. Il campione viene aspirato ad una portata di circa  $0,5 \text{ m}^3/\text{ora}$  attraverso una serie di filtri con differente porosità per la separazione del "particolato" dalla fase "disciolta". Il campione filtrato viene fatto passare attraverso letti di resina cationica ed anionica ed allumina attivata per la separazione delle specie in soluzione in base alla loro carica. Una ulteriore colonna con NCFC (ammonio esacianocobalto ferrato) è utilizzato come scambiatore selettivo per gli isotopi del Cesio. I filtri e gli scambiatori vengono misurati mediante spettrometria gamma computerizzata con limiti di rivelabilità di pochi decimi di Bq per metro cubo di campione.

Vengono anche discussi i principali risultati ottenuti nel corso di campagne radioecologiche.

## ABSTRACT

This paper describes the realization of a sampler for concentrating radionuclides from large volume of natural waters with the purpose to determine their concentration levels and their physico-chemical forms. Sample is pumped at a flow rate of about  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$  through a set of sequential filters with different pore sizes to achieve separation of "particulate" from "dissolved" forms. Filtered sample is then passed through sequential beds of cation and anion exchange resins and activated alumina to obtain separation of dissolved forms on the basis of their charge. Ammonium Hexacianocobalt Ferrate (NCFC) is used as a selective exchanger for cesium isotopes. Filter and exchangers are measured by computerized gamma spectrometry. Detection limits are of a few tenths of Bq per cubic meter of sample.

The main results obtained during radioecological surveys are also presented.

## INTRODUZIONE

Lo studio del comportamento dei radionuclidi nei corpi idrici superficiali riveste una notevole importanza per l'acquisizione di informazioni sui principali meccanismi che regolano i fenomeni di trasferimento, dispersione e distribuzione dei radionuclidi nell'ambiente. Infatti, l'immissione diretta di effluenti liquidi a bassa attività provenienti da scarichi di impianti nucleari, laboratori, ospedali, ecc. nelle acque superficiali, rende tali sistemi i principali veicoli di trasporto dei radionuclidi nell'ambiente. Inoltre, anche i radionuclidi dispersi al suolo a seguito di ricadute radioattive (fall-out) sono sottoposti ad un processo di trasferimento verso i corsi d'acqua, e quindi verso il mare, dovuto all'azione dilavante ed erosiva da parte delle acque di ruscellamento superficiale.

Il comportamento chimico dei radionuclidi in soluzione acquosa condiziona in modo determinante la loro mobilità attraverso i vari comparti ambientali, in quanto ad esso sono collegati i processi di interazione con il particolato in sospensione, l'accumulo nei sedimenti, i processi di assimilazione da parte dei diversi organismi ed infine il loro trasferimento all'uomo attraverso gli anelli della catena alimentare. Pertanto, per l'interpretazione dei risultati ottenuti durante le indagini radioecologiche, risulta di notevole importanza la valutazione di parametri quali: ripartizione dei radionuclidi tra fase disciolta e fase particolata sospesa; forma chimico-fisica dei radionuclidi presenti in soluzione; distribuzione dei radionuclidi in funzione delle diverse classi granulometriche del particolato in sospensione.

In considerazione di tali esigenze e sulla base di analoghe esperienze di letteratura [1-6] è stato messo a punto, in collaborazione con la Ditta COMECER s.r.l di Castelbolognese (Ravenna), un sistema di campionamento per il prelievo, la filtrazione ed il trattamento in campo di grossi quantitativi d'acqua al fine di determinare, con sufficiente sensibilità, le concentrazioni di un notevole numero di radionuclidi gamma emettitori presenti sia in soluzione che in sospensione.

## DESCRIZIONE DEL SISTEMA

Il sistema di campionamento, rappresentato schematicamente in Figura 1 ed illustrato nelle Figure 2 e 3, è contenuto su di un carrello avente dimensioni di 1,8 x 1,5 m e munito di gancio per il rimorchio mediante automezzo fuoristrada. Il sistema è diviso in tre sezioni, la prima destinata al prelievo dell'acqua, la seconda per la filtrazione del materiale in sospensione ed infine la terza per la raccolta e l'accumulo su opportuni scambiatori dei radionuclidi presenti in soluzione sia in forma ionica che in forma non ionica. Il tutto è completato da un gruppo elettrogeno di tipo silenziato da 2,5 kW di potenza per l'alimentazione delle pompe di prelievo e da una centralina di comando per l'avviamento del sistema ed il controllo delle condizioni operative.

La disposizione delle diverse sezioni, le soluzioni tecniche adottate ed i materiali utilizzati per la realizzazione dell'intero sistema, sono il frutto di diverse esperienze effettuate a partire dal 1985. La versione attuale si differenzia profondamente dal prototipo iniziale essenzialmente per una più razionale collocazione delle diverse parti, per una maggiore semplicità operativa e per l'introduzione o la modifica di alcuni dettagli che ne migliorano la robustezza e l'affidabilità. Inoltre, il circuito idraulico risulta attualmente costruito interamente in acciaio inox Aisi-304, mentre nella prima versione esso era realizzato in materiale plastico.

La descrizione che segue è ovviamente riferita al sistema attuale. Tuttavia, quando necessario, viene effettuato un confronto con la prima versione al fine di evidenziare i motivi tecnici o pratici che hanno indotto le particolari modifiche. Contemporaneamente, vengono sottolineate ulteriori modifiche in corso di attuazione e gli eventuali sviluppi futuri del sistema di campionamento, indicati dal suo costante utilizzo nel corso di numerose campagne radioecologiche.

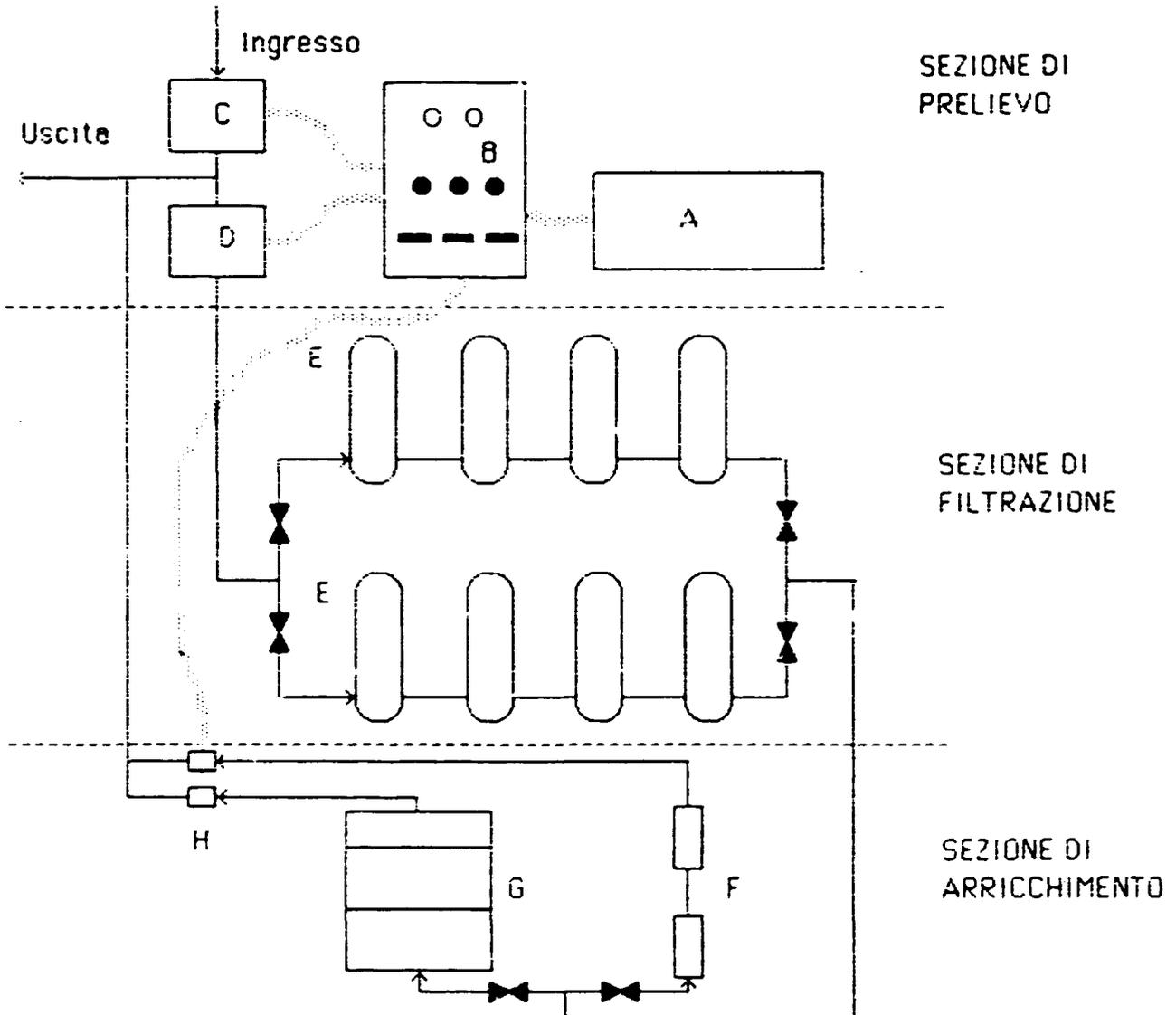


Figura 1. Schema generale del sistema di campionamento: A) generatore di corrente; B) quadro di comando; C) pompa di prelievo; D) pompa di rilancio; E) contenitori per cartucce filtranti; F) colonnine per NCFC; G) piatti di resina ed allumina; H) contaltri.

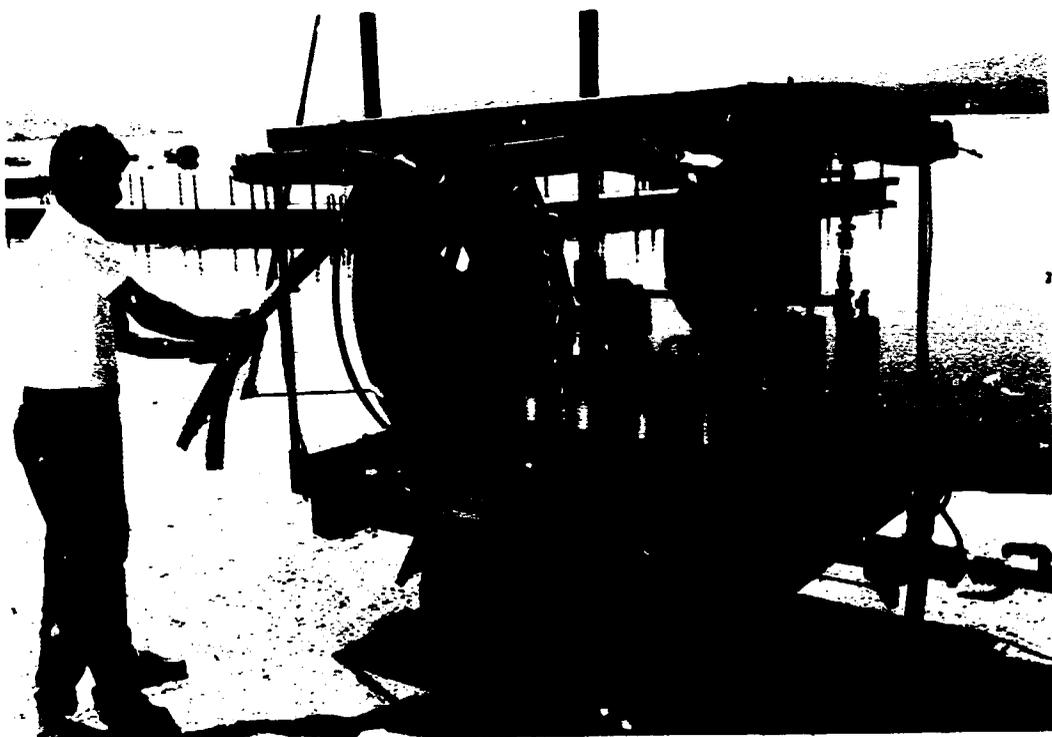


Figura 2. Sistema di prelievo.

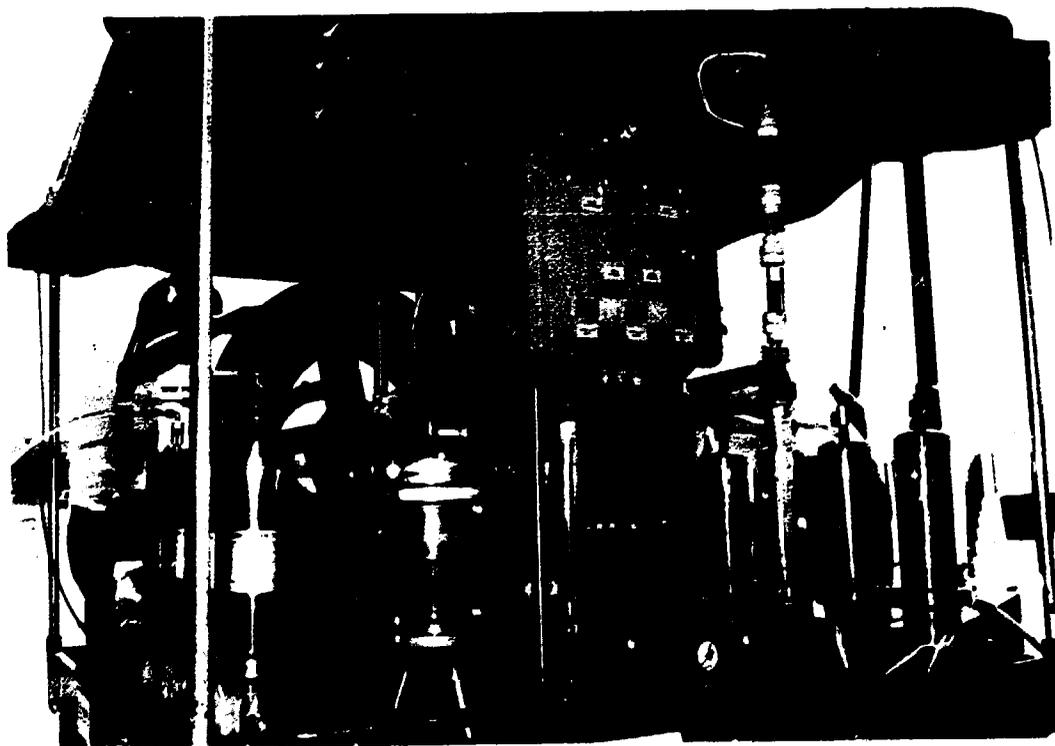


Figura 3. Sistema di campionamento (Particolare).

### Sezione di prelevamento.

La sezione di prelevamento è costituita da due elettropompe che vengono alimentate dal gruppo elettrogeno. La prima elettropompa, di tipo autoadescante, aspira l'acqua dal corpo idrico in esame tramite un tubo di PVC lungo 20 m che viene posizionato opportunamente in modo da pescare ad una determinata profondità, generalmente 30-50 cm sotto il pelo dell'acqua. Il tubo di aspirazione è munito alla sua estremità libera di una griglia forata per impedire l'aspirazione di corpi solidi di notevoli dimensioni. La seconda pompa, di tipo volumetrico a stantuffo, è collocata sulla tubazione di scarico della prima pompa e preleva in continuo una piccola aliquota del volume di acqua in circolazione per inviarla alla successiva sezione di filtrazione, alla portata massima di circa 600 litri/h.

Tra le due pompe è inserito un prefiltro con il compito di allontanare dall'acqua le particelle più grossolane che potrebbero interferire con il funzionamento delle valvole della pompa volumetrica. Generalmente, viene utilizzato un prefiltro con maglie da 120 mesh (luce della maglia 0,125 mm). Alcune prove preliminari hanno dimostrato che la radioattività associata a particelle di queste dimensioni è praticamente trascurabile. Tuttavia, è sempre possibile recuperare il prefiltro per le successive misure mediante spettrometria gamma.

Sul tubo di mandata della pompa volumetrica e prima dello stadio di filtrazione è collocata una camera di espansione, non prevista nel prototipo iniziale, al fine di minimizzare le variazioni di pressione dovute all'escursione dello stantuffo.

Un pressostato di sicurezza, situato all'uscita, interrompe automaticamente l'alimentazione delle pompe in caso di superamento di un prefissato valore critico della pressione, parametro comunque controllabile mediante apposito manometro. Le pressioni normali di esercizio risultano essere di 3 - 4 bar, sebbene l'intero circuito sia stato costruito in modo da sopportare agevolmente pressioni notevolmente superiori.

### Sezione di filtrazione.

La sezione di filtrazione è costituita da due gruppi di contenitori portafiltri in acciaio inox, con possibilità di commutazione manuale su uno dei due gruppi, ciascuno composto da quattro stadi di filtrazione posti in serie. Per la filtrazione vengono utilizzate cartucce filtranti in polipropilene pieghettato di forma cilindrica (70x250 mm) che presentano una elevata efficienza di trattenimento del particolato.

Per ottenere lo spettro di distribuzione dell'attività in funzione della granulometria del particolato in sospensione, vengono utilizzate cartucce filtranti a porosità decrescente. Solitamente, il primo stadio è costituito da un filtro da 10 oppure 50  $\mu\text{m}$ , mentre l'ultimo è costituito da un filtro da 0,6 o 0,45  $\mu\text{m}$ . E' opportuno precisare che la suddivisione granulometrica così effettuata è puramente operativa, dato che i filtri utilizzati sono del tipo "in profondità". E' previsto come evoluzione del sistema, l'utilizzo anche di filtri a membrana del tipo "in superficie", allo scopo di ottenere una separazione granulometrica più netta e per la raccolta del particolato per analisi mineralogiche e per altre determinazioni chimico-fisiche.

Nella prima versione del sistema di campionamento, i due gruppi di filtri erano disposti in parallelo. Due elettrovalvole, comandate da un sensore di pressione collocato a valle della sezione di filtrazione, convogliavano automaticamente il flusso di acqua nel secondo gruppo di filtrazione (di riserva) quando, a causa dell'eccessivo impaccamento dei filtri del gruppo di servizio, si aveva una resistenza eccessiva al passaggio dell'acqua. Tuttavia, in considerazione delle quantità di particolato normalmente presenti nei corpi idrici superficiali e della elevata capacità di trattenimento delle cartucce, tale evenienza non si è mai verificata durante le esperienze preliminari con volumi di acqua trattati dell'ordine di 1-1,5  $\text{m}^3$ . Pertanto, tale sistema è stato eliminato nella versione attuale del campionatore, lasciando in ogni caso i due gruppi di filtrazione con possibilità di commutazione manuale su uno dei due gruppi.

### Sezione di arricchimento.

Agendo su apposite valvole poste all'uscita della sezione di filtrazione, il flusso d'acqua viene convogliato in due delle tre linee disponibili per l'arricchimento dei radionuclidi presenti in soluzione in forma ionica o non ionica.

La prima linea è costituita da due colonne in plexiglass aventi diametro interno di 3,5 cm ed altezza di 6 cm, riempite con ammonioesaciano-cobalto(II)ferrato(II) (NCFC) supportato su Kisegei 40, 35-70 mesh (CISE, Milano) quale scambiatore selettivo degli isotopi del cesio sia da acqua dolce che da acqua di mare [7,8]. La disposizione in serie delle due colonne consente di calcolare sperimentalmente la resa di trattenimento del cesio.

La seconda linea è costituita normalmente da tre piatti sovrapposti, costruiti in plexiglass ed acciaio inox ed aventi diametro interno di 20 cm. Il sistema di piatti è dotato di diffusore nel lato inferiore e di un sistema di montaggio rapido per facilitare le operazioni di caricamento e scaricamento dei piatti.

I due piatti inferiori, con un volume utile di 2 litri, sono riempiti rispettivamente con resina cationica forte (Amberlite IR 120, forma  $H^+$ , 16-50 mesh) e resina anionica forte (Amberlite IRA 400, forma  $OH^-$ , 16-50 mesh). Il terzo piatto, avente un volume di 0,5 litri, è riempito con allumina attivata neutra (70-230 mesh). L'acqua filtrata, proveniente dal basso, viene quindi fatta passare, nell'ordine, attraverso il letto di resina cationica, il letto di resina anionica ed il letto di allumina per il trattenimento, rispettivamente, delle specie presenti in soluzione in forma cationica, anionica e non ionica. E' comunque possibile inserire ulteriori piatti al fine di valutare sperimentalmente le rese di trattenimento.

Nel prototipo iniziale, il complesso dei letti di resina e di allumina era costituito da sei colonne in plexiglass (diametro interno 10 cm) collegate tra di loro con tubi flessibili muniti di innesto a vite. Un sistema di valvole e la opportuna disposizione dei tubi di collegamento consentiva di utilizzare tutte le colonne in serie, cosa che risultava di interesse per la valutazione sperimentale delle rese di trattenimento (in pratica, una serie di colonne

riempite, rispettivamente, di resina cationica, resina anionica ed allumina, era seguita da una serie analoga). In alternativa, era possibile utilizzare due gruppi di colonne in parallelo in modo da avere due distinte linee di arricchimento, funzionanti indipendentemente. Inoltre, erano disponibili tre tipi di colonne, di capacità di 1, 2 e 3 litri, da utilizzare in funzione della salinità e del volume d'acqua da trattare.

Tuttavia, durante le prove preliminari, è emerso che le condizioni ottimali per ottenere una buona raccolta dei radionuclidi in soluzione e soddisfare le esigenze di sensibilità delle successive misure mediante spettrometria gamma utilizzando le "geometrie" di rivelazione standard, erano rappresentate da volumi di resina pari a 2 litri. Inoltre, l'utilizzo di colonne di piccola sezione provocava una eccessiva resistenza al passaggio dell'acqua, dovuto essenzialmente al letto di allumina, e quindi, per ottenere flussi elevati e quindi un campionamento sufficientemente rapido, era necessaria una elevata pressione nel circuito con eccessive sollecitazioni meccaniche. L'utilizzo di piatti di sezione maggiore permette una elevata velocità di flusso con pressioni moderate pur mantenendo le caratteristiche di una elevata resa di trattenimento. Inoltre, il sistema a piatti sovrapposti risulta più comodo nell'utilizzo operativo e di minore ingombro.

La terza linea viene normalmente utilizzata come linea di riserva. Si è sempre cercato, comunque di mantenere un certo grado di flessibilità su questa linea, al fine di poterla utilizzare per la sperimentazione in campo di altri tipi di scambiatori.

All'uscita di ogni linea, un contaltri meccanico, collegato ad un contatore azzerabile posto sulla centralina di comando, permette una misurazione precisa del volume d'acqua trattato, mentre un flussimetro consente una agevole valutazione della portata istantanea.

### Funzionamento del sistema

Il funzionamento del sistema non presenta particolari problemi. In pratica, raggiunto il punto di prelievo prescelto e caricati i letti di resine ed i filtri, si posiziona il tubo di aspirazione nella maniera più opportuna a seconda della tipologia del punto stesso. Il tubo di scarico viene collocato in modo da non interferire con il prelievo dell'acqua, ad esempio esso verrà collocato più a valle nel caso di campionamento di acqua di fiume. Si avviano quindi le pompe, regolando opportunamente la portata della pompa volumetrica ed i flussi sulle due linee di arricchimento.

Generalmente, il campionamento viene effettuato alla portata massima della pompa volumetrica (circa 10 litri/minuto) che, dopo la sezione di filtrazione, viene suddiviso in due aliquote, una di 0,5-1 litro/minuto viene inviata alle colonne di NCFC mentre il rimanente flusso viene inviato ai piatti di resine alla portata di circa 9 litri/minuto.

Il volume d'acqua trattenuto dai letti di resine dipende dal contenuto salino dell'acqua da campionare ed è limitato dalla capacità di scambio delle resine stesse. Normalmente, il campionamento viene interrotto quando il valore della conducibilità dell'acqua in uscita raggiunge il 5-10 % del suo valore all'ingresso, il che corrisponde, per contenuti salini tipici delle acque geografiche superficiali, a volumi d'acqua trattata di circa 300-600 litri per litro di resina. Due rubinetti posizionati rispettivamente a monte ed a valle del sistema di piatti di resine consentono di prelevare campioni per la misura della conducibilità dell'acqua in ingresso ed in uscita.

Al termine del campionamento, le resine e gli scambiatori inorganici vengono recuperati e trasferiti in contenitori a geometria definita (becher di Marinelli o scatolino). Le cartucce filtranti vengono invece private del supporto esterno, tagliate in piccoli pezzi e compattate in scatola di polistirene. Su tutti i campioni raccolti si procede quindi alla determinazione della concentrazione di radionuclidi mediante spettrometria gamma computerizzata secondo la metodologia in uso presso il FISM di Saluggia.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

La verifica in campo delle caratteristiche di trattenimento del sistema di campionamento è stata effettuata in occasione della contaminazione radioattiva ambientale susseguente all'incidente verificatosi alla centrale nucleare di Chernobyl nell'aprile 1986.

A titolo di esempio, in Tabella 1 sono riportate le rese di trattenimento ottenute per i radionuclidi e per alcuni elementi stabili presenti in forma ionica nell'acqua di irrigazione di una risaia di S. Genuario, presso Vercelli, campionata il 21 maggio 1986. Tali valori di resa sono stati ricavati ponendo in serie al primo, un secondo gruppo di colonne formato da un letto di resina cationica ed uno di resina anionica. Le rese di trattenimento per i radionuclidi sono state calcolate sulla base dei risultati ottenuti dalle misure di spettrometria gamma di tutti i campioni di resina, mentre per gli elementi stabili le rese sono state ricavate eluendo le resine cationiche con HCl 3 M e misurando le concentrazioni mediante assorbimento atomico (Ca, Mg, Sr), o mediante fotometria di fiamma in emissione (Na, K).

La valutazione delle rese di trattenimento dei radionuclidi da parte dei letti di resina utilizzando l'artificio dei due gruppi di colonne poste in serie non risulta sempre utilizzabile in quanto i livelli di radioattività presenti nelle acque geografiche sono generalmente piuttosto bassi e quindi l'attività presente sul secondo gruppo di colonne risulta praticamente non rivelabile nella quasi totalità dei casi. Comunque, ulteriori determinazioni dei principali cationi presenti nelle acque geografiche superficiali ed effettuate dopo eluizione delle resine con HCl 3 M, hanno mostrato che le rese di trattenimento da parte del letto cationico sono sufficientemente elevate e costanti fino a quando la conducibilità dell'acqua in uscita raggiunge qualche per cento del valore in entrata e che per valori finali di conducibilità di circa il 10 % le rese medie di trattenimento risultano essere di circa l'80 % per Na ed oscillanti tra il 90-97 % per K, Mg, Ca e Sr.

Tabella 1. Rese di trattenimento percentuale per alcuni radionuclidi ed elementi stabili presenti in forma ionica nell'acqua di irrigazione di una risaia di San Genuario (Vercelli) campionata il 21 Maggio 1986

Radionuclide o Elemento	Letto cationico	Letto anionico
$^{103}\text{Ru}$	84	90
$^{106}\text{Ru}$	80	91
$^{125}\text{Sb}$	—	>99
$^{129\text{m}}\text{Te}$	83	97
$^{131}\text{I}$	77	97
$^{134}\text{Cs}$	98	—
$^{137}\text{Cs}$	99	—
$^{140}\text{Ba}$	>99	—
Na	95	—
K	99	—
Mg	93	—
Ca	94	—
Sr	97	—

Pertanto, sulla base delle esperienze effettuate e dal confronto con i risultati ottenuti con campioni d'acqua contaminati da fallout, si può assumere un recupero pressoché quantitativo per i principali radionuclidi (isotopi del Cs, Ba, Sb, Te, I) presenti in soluzione sia in forma cationica che in forma anionica. Infine, anche per gli elementi presenti in soluzione in forma non ionica viene assunto un recupero quantitativo da parte dell'allumina.

Per quanto riguarda il comportamento delle colonne di NCFC nel trattenimento degli isotopi del cesio, la misura dei due letti mediante spettrometria gamma ha consentito di evidenziare, in questa ed altre esperienze, che la resa di trattenimento raggiunge il 98-99% durante il campionamento di acqua dolce. Tuttavia, alcune esperienze effettuate campionando acqua di mare, hanno mostrato un recupero minore, dell'ordine del 65-70%.

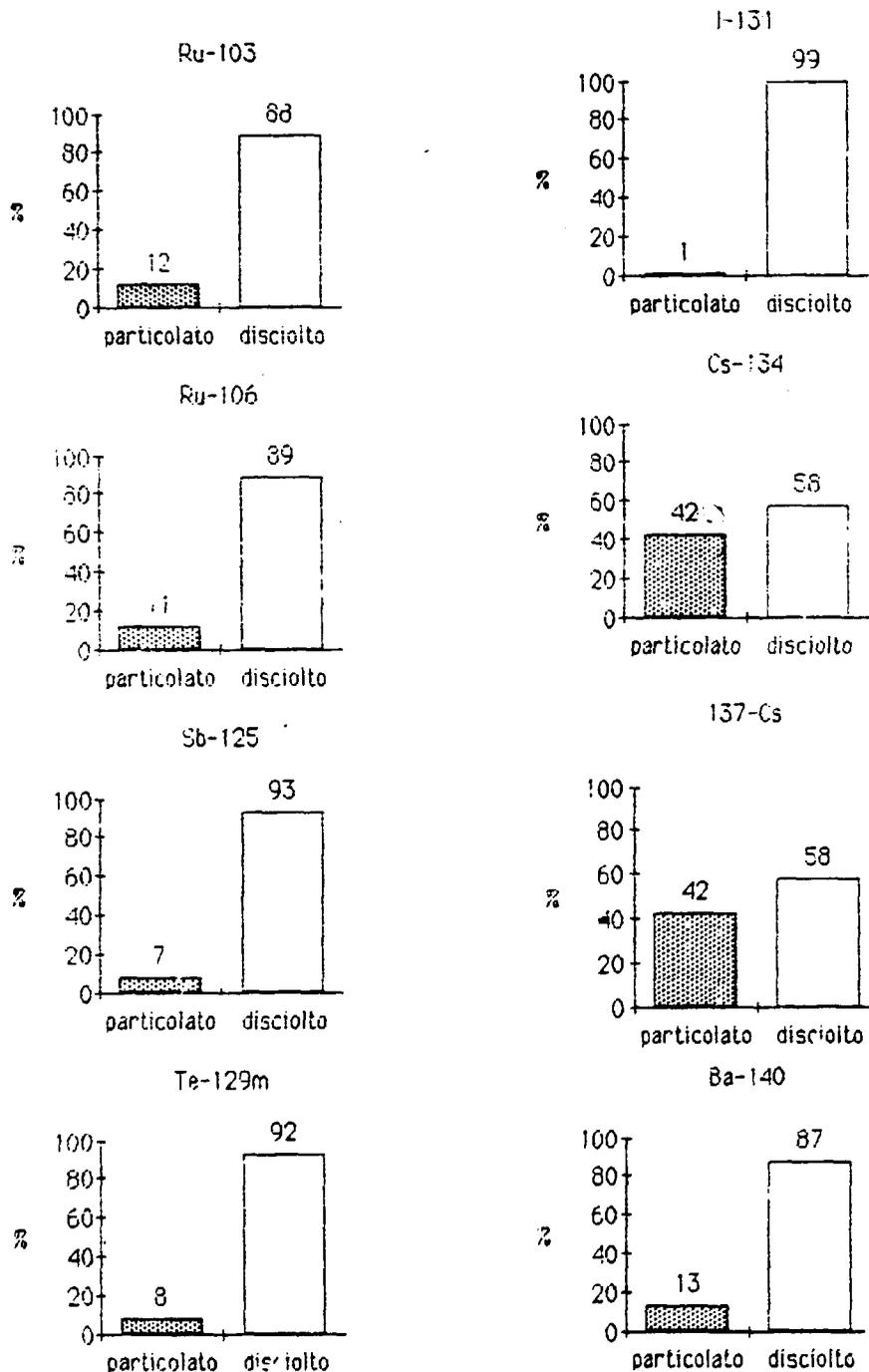


Figura 4. Ripartizioni percentuali di alcuni radionuclidi tra fase particolata sospesa e fase disciolta riscontrate nell'acqua di irrigazione di una risaia presso San Genuario (Vercelli) campionata il 21 maggio 1986.

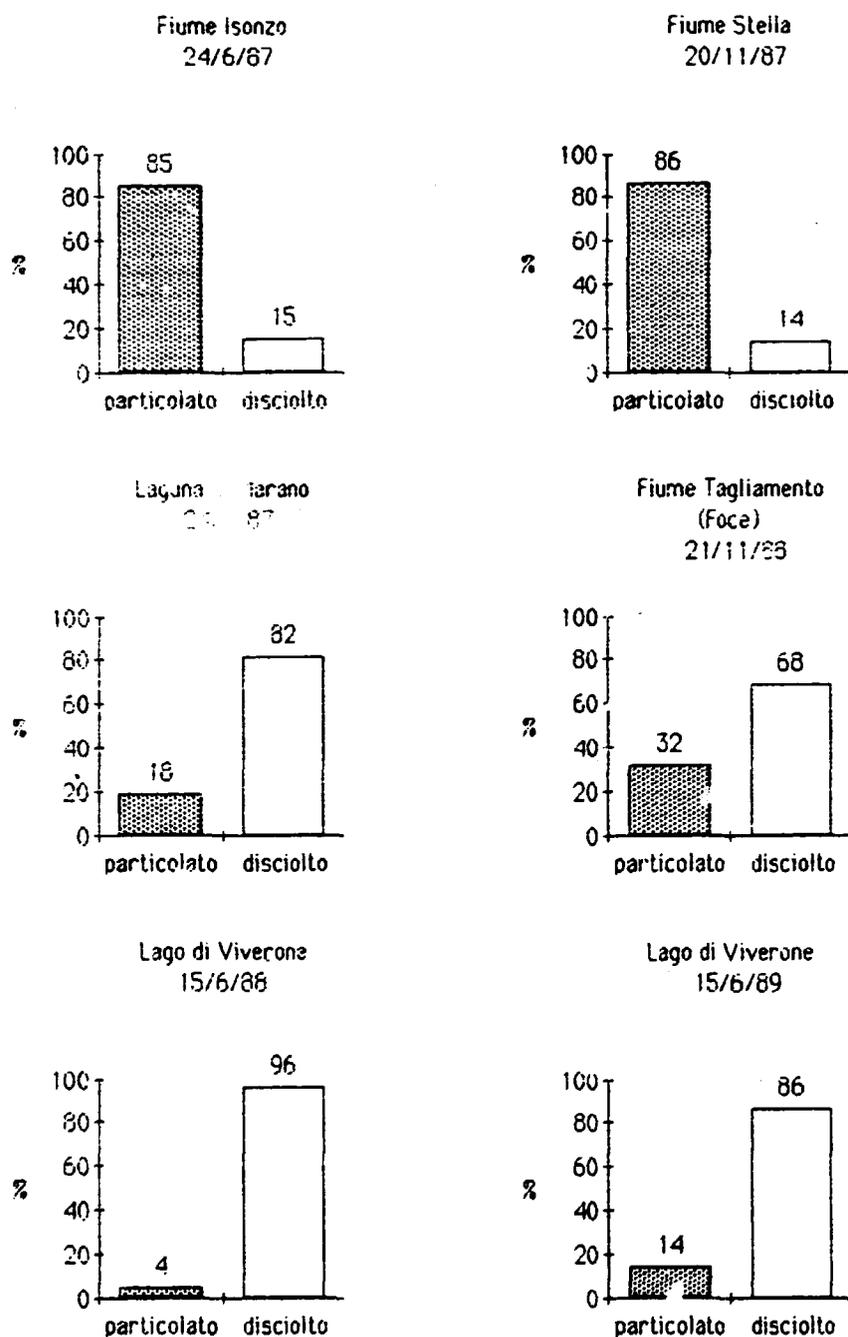


Figura 5. Ripartizioni percentuali del  $^{137}\text{Cs}$  tra fase particolata sospesa e fase disciolta riscontrate nel corso di differenti campionamenti in tipi diversi di ambienti acquatici.

Tabella 2. Distribuzione granulometrica percentuale dei radionuclidi presenti nel particolato in sospensione nell'acqua di irrigazione di una risaia di San Genuario (Vercelli) campionata il 21 maggio 1986.

Radionuclide	Frazione granulometrica			
	> 10 $\mu\text{m}$	3-10 $\mu\text{m}$	1-3 $\mu\text{m}$	0.6-1 $\mu\text{m}$
$^{103}\text{Ru}$	72	4	3	21
$^{106}\text{Ru}$	80	-	-	20
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	90	10	-	-
$^{125}\text{Sb}$	100	-	-	-
$^{129}\text{Te}$	94	6	-	-
$^{131}\text{I}$	53	11	12	18
$^{132}\text{Te}$	95	5	-	-
$^{134}\text{Cs}$	86	4	2	8
$^{136}\text{Cs}$	95	5	-	-
$^{137}\text{Cs}$	87	3	2	8
$^{140}\text{Ba}$	82	4	2	12

Tabella 3. Distribuzione percentuale tra forme cationiche ed anioniche di alcuni radionuclidi presenti in soluzione in forma ionica nell'acqua di irrigazione di una risaia di San Genuario (Vercelli).

Radionuclide	% cationico	% anionico
$^{103}\text{Ru}$	17	83
$^{106}\text{Ru}$	18	82
$^{125}\text{Sb}$	-	>99
$^{129\text{m}}\text{Te}$	37	63
$^{131}\text{I}$	3	97
$^{134}\text{Cs}$	>99	-
$^{137}\text{Cs}$	>99	-
$^{140}\text{Ba}$	>98	-

Tabella 4. Distribuzione percentuale di alcuni radionuclidi presenti nell'acqua dei Lago di Viverone (Vercelli) campionata il 15 giugno 1988.

Radionuclide	% particolato	% cationico	% anionico	% non ionico
$^{106}\text{Ru}$	--	--	81	19
$^{125}\text{Sb}$	--	--	83	17
$^{134}\text{Cs}$	5	95	--	--
$^{137}\text{Cs}$	4	96	--	--

In Figura 4 sono riportate le ripartizioni percentuali di alcuni radionuclidi tra fase particolata sospesa e fase disciolta evidenziate durante il campionamento di acqua di irrigazione di risaia. La quantità relativa di ciascun radionuclide presente nell'acqua campionata è dovuta essenzialmente alla rimozione per dissoluzione dallo strato superficiale di terreno contaminato e conseguente diffusione nello strato d'acqua stagnante sovrastante. Ciò può giustificare la netta prevalenza di forme solubili riscontrata per tutti i radionuclidi.

Anche alcune indagini effettuate in ambienti lacustri hanno permesso di evidenziare una netta prevalenza del  $^{137}\text{Cs}$  in soluzione. Tuttavia, numerose esperienze effettuate nel corso di campionamenti di acqua di fiume [9] hanno mostrato che il trasporto di radionuclidi come il  $^{137}\text{Cs}$  avviene essenzialmente in associazione al trasporto di materiale in sospensione, mentre campionamenti di acqua calmastra hanno mostrato una maggiore concentrazione di  $^{137}\text{Cs}$  in soluzione (Figura 5).

In Tabella 2 è riportata la distribuzione granulometrica percentuale dei radionuclidi riscontrati nel particolato in sospensione presente nell'acqua di irrigazione della risaia presso Vercelli campionata il 21 maggio 1986. Appare evidente come i diversi radionuclidi siano associati preferenzialmente con il particolato sospeso di più grosse dimensioni. Tale comportamento è stato confermato per il  $^{137}\text{Cs}$ , unico radionuclide ancora facilmente riscontrabile nelle acque superficiali, nel corso di campionamenti in ambienti fluviali che

hanno mostrato come il 70-90% del cesio trasportato in sospensione risulti trattenuto dai filtri con perosità maggiore di 3  $\mu\text{m}$  [9].

Nella Tabella 3 sono invece riportate le distribuzioni percentuali ottenute, durante la stessa esperienza, per i radionuclidi presenti in soluzione in forma ionica. Dai dati riportati si può notare che alcuni elementi (Cs, Ba) sono presenti in soluzione esclusivamente in forma cationica; altri (I, Sb) esclusivamente in forma anionica mentre elementi come Ru e Te sono presenti in entrambe le forme. Inoltre, alcuni radionuclidi, in particolare Ru, Sb e Te, sono presenti in piccola parte sotto forma di specie non ioniche, come risulta dalla Tabella 4 dove sono riportate le distribuzioni percentuali tra fase particolata e forme cationiche, anioniche e non ioniche di  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  e  $^{137}\text{Cs}$  riscontrati durante un campionamento effettuato nel lago di Viverone (Vercelli) il 15 giugno 1988.

## CONCLUSIONI

Il trattamento di elevati volumi d'acqua permette la determinazione sufficientemente accurata dei principali radionuclidi gamma emettitori a livelli estremamente bassi, quali quelli normalmente riscontrabili nelle acque naturali ed in tempi piuttosto brevi. Inoltre, il sistema di campionamento realizzato consente di valutare direttamente in campo il comportamento chimico-fisico dei radionuclidi presenti nelle acque superficiali. La possibilità offerta dalla differenziazione tra le diverse forme chimico-fisiche dei radionuclidi presenti nel corpo idrico fornisce informazioni non ottenibili con altri metodi di concentrazione quali l'evaporazione di grossi volumi d'acqua o la precipitazione dei radionuclidi con opportuni flocculanti [10].

Gli aspetti operativi quali la praticità d'uso, la rapidità di campionamento, la versatilità e la facilità di spostamento considerati durante la realizzazione del sistema si sono rivelati di indubbia utilità nel corso delle campagne radioecologiche in quanto, permettendo di effettuare più campionamenti in un ragionevole intervallo di tempo, consentono il confronto di più punti senza che nel frattempo siano variati significativamente i parametri idrologici.

Dall'esperienza finora acquisita, è tuttavia emersa l'esigenza di perfezionare ulteriormente questa tecnica di campionamento. Ulteriori modifiche e miglioramenti, così come suggerite dall'esperienza, saranno in futuro apportate al sistema in concomitanza con i previsti interventi di manutenzione.

Inoltre, gli sviluppi futuri del sistema di campionamento ne prevedono l'utilizzo anche per la raccolta e la concentrazione di inquinanti non radioattivi (metalli pesanti, pesticidi, solventi clorurati, ecc.) e quindi è in atto una revisione ed una estensione del progetto iniziale, al fine di adattarlo alle differenti problematiche presentate dal campionamento di questi inquinanti per lo studio del loro comportamento negli ecosistemi acquatici.

## BIBLIOGRAFIA

- 1] W.B. Silker, R.W. Perkins, H.C. Rieck : "A sampler for concentrating radionuclides from natural waters", *Ocean. Eng.*, 2, 49, (1971).
- 2] A. Nevissi, W.R. Schell : "Efficiency of a large volume water sampler for some radionuclides in salt and fresh water", in : *Radioecology and Energy Resources, Proc. of the Fourth National Symposium on Radioecology*, May 12-14, 1975, Oregon State University, C.E. Cushing Jr. (Ed.), pp. 277-282 (1975).
- 3] A. Battaglia, G. Bonfanti, C. Cattaneo, N. De Pasquale : "Sistema per il prelievo e la determinazione contemporanea di un ampio spettro di radionuclidi in acque naturali". In : *Atti del Simposio sulle Metodologie Radiometriche e Radiochimiche nella Radioprotezione*, Pavia 28-29 aprile 1980, pp. 19-28.
- 4] S. Lanza, M. Pelliccioni : "Controllo continuo in acqua del Po dei radionuclidi gamma emettitori scaricati dalla centrale nucleare di Caorso". *ibidem*, pp. 53-65.
- 5] A. Battaglia, E. Bazzano, G. Queirazza : "A method for field determination of the chemical and physical characteristics of radionuclides after release into the river water". In : A. Kaul, R. Neider, J. Pensko, F.E. Stive and H. Brunner (Eds.), *Atti del 6th International Congress of International Radiation Protection Association*, Berlin 7-12 May 1984. Berlino, 1984, Vol. 1, pp. 891-900.
- 6] G. Ciceri, R. Ferraroli, G. Queirazza : "La speciazione degli inquinanti : significato e metodi". *Acqua e Aria*, 10, 969, 1985.
- 7] R. Terada, H. Hayakawa, K. Sawada, T. Kiba : "Silica gel as a support for inorganic ion-exchanges for the determination of caesium-137 in natural waters", *Talanta*, 17, 955, 1970.
- 8] CISE "Studio sull'estrazione ed arricchimento del cesio da soluzioni acquose con l'impiego dell'esaciano cobalto ferrato di ammonio (NCFC) quale scambiatore inorganico", *Nota Tecnica 77-055*, 1977.
- 9] M. Belli, P. Nicolai, U. Sansone, G. Ventura, C. Papucci, P. Spezzano, F. De

Guarrini, G. Matassi: "Radioecological research into the northern Adriatic lagoons: strategy of the activities and first results", Proc. International Conference on Environmental Radioactivity in the Mediterranean Area, Barcelona, Spagna, 10-13 May, 1988, p. 467, (1989).

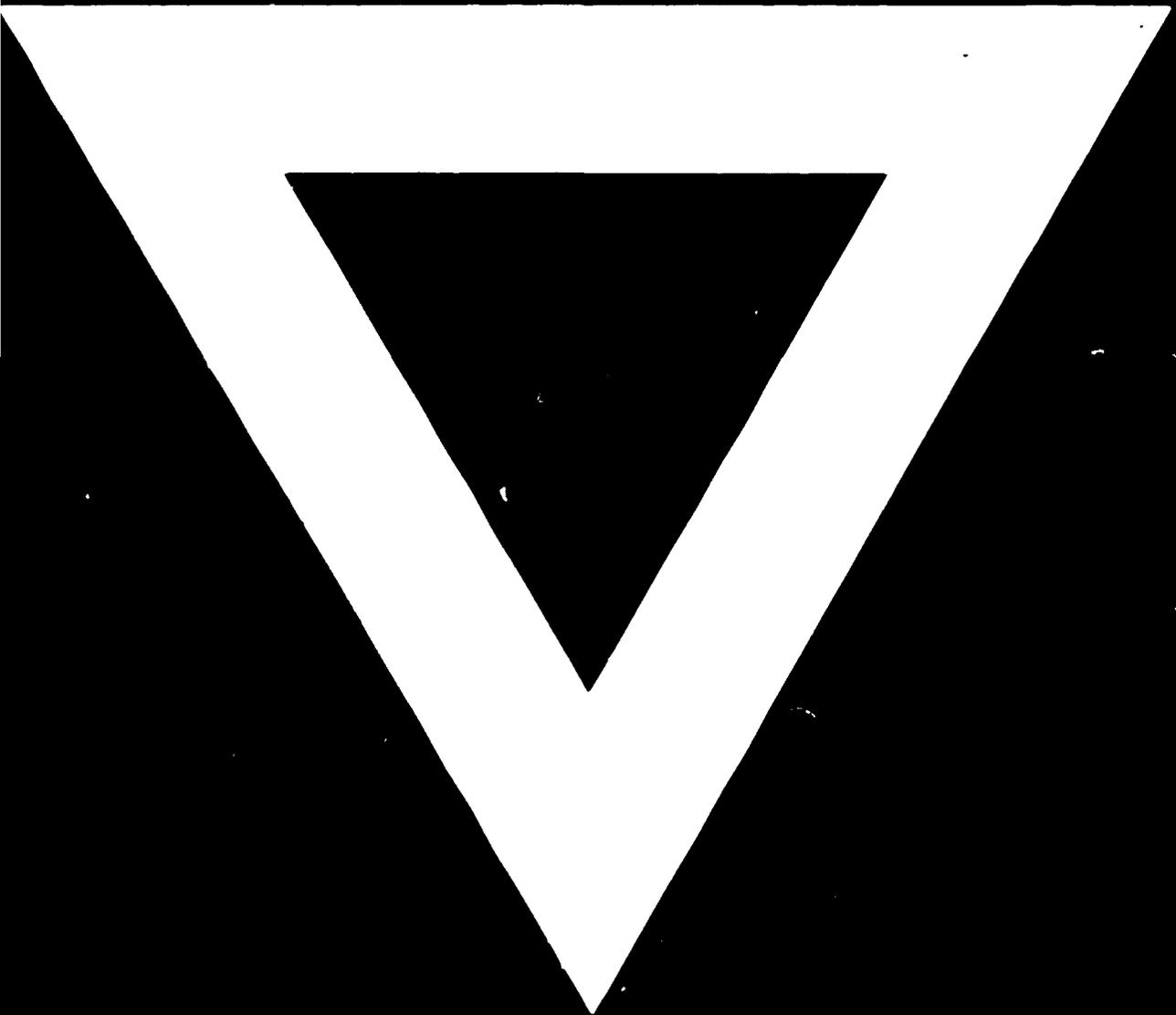
- 10] J.C. Roy, C. Barbeau, J.E. Côté, J. Turcotte : "A very sensitive sampling method for the measurement of radioactivity in waters from various sources", Nucl Instr. and Methods, 160, 187, (1979).

Edito a cura dall'ENEA, Direzione Centrale Relazioni.  
Viale Regina Margherita, 125 - Roma  
Finito di stampare nel mese di ottobre 1990  
Fotoproduzione e stampa  
a cura della «Casa della Stampa»  
Via Empolitana 120C - Tivoli (Roma)

Questo fascicolo è stato stampato su carta riciclata

H

T841



92

01

09