Atti Accademia Nazionale dei Lincei Classe Scienze Fisiche Matematiche Naturali **RENDICONTI**

GIULIO QUIERAZZA, ELIO SMEDILE, ETTORE TIBALDI

Sul trasferimento di alcuni radionuclidi attraverso gli anelli di una catena alimentare fluviale. Nota preliminare

Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Serie 8, Vol. **46** (1969), n.1, p. 81–90. Accademia Nazionale dei Lincei

<http://www.bdim.eu/item?id=RLINA_1969_8_46_1_81_0>

L'utilizzo e la stampa di questo documento digitale è consentito liberamente per motivi di ricerca e studio. Non è consentito l'utilizzo dello stesso per motivi commerciali. Tutte le copie di questo documento devono riportare questo avvertimento.

Articolo digitalizzato nel quadro del programma bdim (Biblioteca Digitale Italiana di Matematica) SIMAI & UMI http://www.bdim.eu/

Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti, Accademia Nazionale dei Lincei, 1969.

[9]

Zoologia. — Sul trasferimento di alcuni radionuclidi attraverso gli anelli di una catena alimentare fluviale. Nota preliminare di GIULIO QUEIRAZZA, ELIO SMEDILE E ETTORE TIBALDI^(*), presentata^(**) dal Corrisp. S. RANZI.

SUMMARY. — On the basis of examinations of the gut content, a food chain which ends at the predatory ichthyophagous *Esox lucius* was identified.

The results are reported of a comparative gamma-ray spectra study carried out on the ashes of organisms belonging to three trophic levels taken from a stretch of the Po river. The largest number of radioelements under examination (⁶⁵Zn, ⁶⁰Co, ⁵⁴Mn, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ⁴⁰K, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr) were found at a level of the primary producers. A first qualitative reduction was verified in the passage to the primary consumers. A more drastic discrimination was noted in the passage to the secondary consumer *Esox lucius*.

Nel quadro di una ricerca ecologica e radioecologica in corso sul fiume Po, le catene alimentari sono state oggetto di particolare attenzione (Parisi e coll., [21]). La serie di rapporti trofici che uniscono le varie componenti di un ecosistema è uno dei principali fattori che influiscono sulla dinamica



Fig. 1. - Schema della catena alimentare che fa capo a Esox lucius.

dei radionuclidi in un ambiente naturale. Ciò è stato dimostrato da ricerche riguardanti catene alimentari in mare (Osterberg, [20]), in fiume (Davis e Foster, [7]) e ricostruite in laboratorio (Williams e Pickering, [26]). Altre ricerche hanno permesso di effettuare interessanti correlazioni fra organismi appartenenti ai vari livelli trofici sulla base del contenuto in: ¹³⁷Cs (Pendleton e Hanson [22], Nelson [19], Kolehmeinen [14], Hannerz [13]), ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn (Lowman, [16]), ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn, ⁶⁵Zn (Gustafson [12]), ⁵⁴Mn (Caval-

(*) Direzione Studi e Ricerche dell'ENEL Laboratorio Ricerche Ambientali di Trino Vercellese e Laboratorio di Zoologia dell'Università statale di Milano.

(**) Nella seduta dell'11 gennaio 1969.

[10]

loro e Merlini, [6]), ⁹⁰Sr (Agnedal, [1]) e ⁵⁹Fe, ⁵⁴Mn, ⁴⁶Sc, ⁴⁰K, ³²P, ²⁴Na, ¹³⁷Cs, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ⁶⁵Zn, ⁶⁴Cu, ⁶⁰Co (Davis e coll. [8]), ¹⁴⁴Ce, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn (Bourdeau e coll., [4]).

La presente ricerca, effettuata in un tratto del fiume Po compreso fra Brusaschetto nuova e Casale Monferrato, si propone di studiare quali dei radioelementi presenti nell'ambiente fluviale vengono concentrati e quali vengono discriminati nel passaggio da un anello all'altro della catena alimentare che fa capo al predatore *Esox lucius* (fig. 1).

MATERIALI E METODI.

Sono stati raccolti campioni di periphyton⁽¹⁾ in diverse stazioni ed a diversa profondità lungo il tratto di fiume in esame, che sono stati essiccati in stufa a 105°C fino a peso costante e poi inceneriti a 450°C per 24 ore. Le ceneri sono state ridotte in polvere sottile mediante un mortaio di porcellana e poste in contenitore per essere sottoposte a misura radiometrica ⁽²⁾.

I campioni delle specie ittiche, prelevati con reti, hanno subito lo stesso trattamento.

Tutti i campionamenti sono stati eseguiti in data 15 marzo 1968 eccezion fatta per *Esox lucius* che è stato prelevato in un periodo di poco posteriore.

Per la separazione dei radionuclidi presenti nei campioni in esame è stata utilizzata una procedura messa a punto da uno di noi (Q. G.) che consente la separazione e l'isolamento dei principali prodotti di fissione e di attivazione a partire da un unico campione ⁽³⁾. Tale procedura (fig. 2) è basata su tecniche di separazione a scambio ionico impiegate da Kraus [15] e Boni [2].

Per la separazione di cobalto, ferro e zinco sono state eseguite prove tracciate che, mediante eluizione da resina «Dowex 1×8 », hanno dato rese rispettivamente del $96 \pm 1\%$, $95 \pm 2\%$, $94 \pm 2\%$ (livello di probabilità 95%).

Per la separazione del cesio si è ricorsi ad assorbimento su resina NCFC inorganica (Petrow [23]) che ha dato una resa del 92 \pm 6 % (livello di probabilità 95 %).

I rimanenti radioelementi (rutenio, antimonio, zirconio, niobio, stronzio, manganese, cromo e quelli appartenenti al gruppo delle terre rare) sono stati isolati secondo tecniche gravimetriche: NAS—NRC (18) Flaschka [10], Rickard [24], Bryant [5].

(1) Intendiamo per periphyton (o Aufwuchs) il popolamento vegetale ed animale « che ricopre senza penetrarvi ogni substrato immerso » (cfr. Tonolli, [25]). Abbiamo qui considerato la sola componente vegetale del periphyton costituita in massima parte da *Chladophora* sp. e Diatomee.

Tuttavia il popolamento animale (cfr. Parisi e coll., [21]) non rappresenterebbe che meno dell'1% della biomassa totale.

(2) Nella valutazione delle attività dei campioni non si è tenuto conto delle perdite dovute a volatilizzazione durante l'incenerimento.

(3) È in preparazione una nota particolareggiata sull'argomento alla quale rimandiamo per maggiori dettagli.

RESIDUO INSOLUBILE LAVAGGIO RESIDUO LAVAGGIO FUSIONE RESIDUO ATTACCO RESIDUO ATTACCO CAMPIONE ELIMINAZIONE SIO2 R+HC13N-HF 0, 1N a cald R + HC1 3N - HF 0,1N Ceneri + HCl 3N-HF 0, 1Na caldo (~100 °C) R + HF 50% in capsula di platino R+Na₂ CO₃ a~1000 °C Liscivazione con H₂O calda R + HC1 2N HF 0,07N Centrifugazione Centrifugazione (2 volte) 2 Centrifugazione 3 Evaporazione (2 volte) R Centrifugazione R R 4 Centrifuga: R 51 R 6 (2 volte) SEPARAZIONE Ru e Sb SEPARAZION E Ru da Sb PURIFICAZIONE Ru SEPARAZIONE Zr, Nb SEPARAZIONE Cs Sup.diluire a2HCl 2N HF 0,07N con H2O + tioce tamide a caldo SEPARAZIONE C8 Sol, +HCI 12N - evap. a secchezza R + HCI 5N Sol, passata in colonna di "NCFC" 7] Sol, C5 - Cr - Mn) passata in colonna di "NCFC" R + HNO3 16M + H3BO3 sol. sat. a calde P + HNO₃ 8M evap. a sec chezza- R +HC1 2N - evap. Filtrazione a secchezza 11 R+HCl 12N+H₂O→Sol. 26 Centrifugazione Sup. +24 91 P 8 Filtrazione SEPARAZIONE Zr, Nb R + P +HNO₃ 2N+H₂C₂O₄ 8% a caldo 27 Centrifugazione R -29 PURIFICAZIONE Sb Eluito ELIMINAZIONE H₂S e lodio F + carriers (Sr - Ce - Eu -Nd) + HNO₃ 16M -Evap, a secchezza PURIFICAZIONE Ru Sol. + NaOH 16M+KIO, ٠G F +H2O+Zr carrier+ tiocedamide a caldo sol. sat. all'ebollizion + NaClO-raffreddamen 10 Filtrazione F Prep. sorgente copt. 8 "NCFC" cont. x Sol.+Zr carrier (2 volte) 12 Centrifugazione (P SEPARAZIONE Zr.Nb $\begin{array}{c|c} \hline SEPARAZIONE Zr, Nb\\ \hline Sup+KCIO_3 sale all'ebol-\\ lizione + H_3PO_4 conc.\\ \hline Centrifugazione \\ P + HCI 3N (lavaggio)\\ \hline Centrifugazione \\ \hline Sup. \rightarrow G\\ \hline September \\ \hline September \\ \hline Sup. \\ \hline Su$ SEPARAZIONE Mn e Cr + G SEPARAZIONE SEPARAZIONE Eluito + H₂SO₄ conc. Evap. a secchezza R + H₂O + NH₄OH 17 M + Na₂HPO₄ Ebollizione prolungata Zr-Nb, Ca, Sr, Ba (RA) R (Zr-Nb)da Ca, Sr, Ba (RA) SEPARAZIONE Ru R +HNO3 8N +HNO3 fum. Centrifugazione 15 (2 sep. nitriche) P P+H2O Centrifugazione Sup: C2H5OH a caldo Centrifugazione Sup. Lavaggio del P con NaOH 2M Centrifugazione Sup. 161 R →G Centrifugazione Lavaggi con H₂O 33 P+HNO₃ 16M 28 SEP. Sr, Ba (RA) da Ca + G Sup. →G 13 P +HC1 6N → Sol. SEPARAZIONE RE Sup.+ HNO3 fum. Centrifugazione (numerose sep. nitriche) ELIMINAZ, TRACCE SIO2 P +HCI bN \rightarrow SOI. Sol+Mg \rightarrow P Lavaggi con HCI 12N, H₂O, C₂H₅OH e C₄H₁₀O Prep. sorgente cont. 8 Sol. prep. sorgente cont. 8 P + R +HF 50% +HNO₃16 Evap. a secchezza (2 volte) 29 R +HF 50% +H₂O \rightarrow Sol. (nun 17 Sup. + G SEPARAZIONE Cr da Mn Sol, in pallone per distilla-zione - evap. a secchezza R +HClO4 conc. +HCl gas soso - distillazione di CrO₂Cl₂ raccolto in 34 NaOH 16M SEP. di TRACCE DI Zr-Nb SEPARAZIONE Zr da Nb PURIFICAZIONE RE P +Sup.26 +HNO3 16M +H3BO3 sol. sat. sino a sol. completa Sol,+NH4OH 17M a caldo Sup.+lavaggi evap. a sec-chezza con H₂SO₄ conc. R +HCl 3N a caldo+H₃PO₄ conc. - centrifugazione 23 Lavaggio con HCl 3N P +27 SEP. Ba (RA) da Sr Sol+Ba (NO₃)₂ sol. sat. Centrifugazione Sup. P + H_2O + NH_4OH 6M \rightarrow Sol. Sol. + Ac. H/Ac. NA + Na₂CrO₄ 1M a caldo 30) P+H2O+H3BO3 sol. sat. +HNO3 16M-550. S0I.+Ba (NO3)2 sol. sat. +HF 505 Centrifugazione Sup Ripetere sol P la stessa operazione e gettare il supernatante 30 Sol. prep. sorgente cont. 8 24 Centrifugazione Sup +G 18 Centrifugazione P PURIFICAZION E Nb SEP. ED ISOLAMENTO Cs - Cr - Mn, Co, Fe, Zn Sup+2r carrier Centrifugazione P→G Sup+ac.tioglicolico 20% +NH4OH 17M PURIFICAZIONE Sr PURIFICAZIONE RE $\begin{array}{c} FORT FORZIONE ST\\ Sup.+ NH_{4}OH 17M + (NH_{4}) CCO_3 a caldo \\ Centrifugazione Sup. \\ P + HNO_3 1M + H_2O_2 \rightarrow SOI. \\ SOI,+ Fe carrier + \\ NH_{4}OH 17M a caldo \\ Contrifugazione D$ Sup.+ lavaggi evap, +HCl 12N sino a sol, ≚ 10N Sol.passata in colonna di Dowez 1 x 8 P +HNO₃ 6M→Sol. Sol,+NH₄OH 17M a caldo Centrifugazione Sup. Lavare il P con NH4OH 1M 35 +G Centrifugazione Sup.→G P +HNO3 6M+NaOH 2M sino a sol. PH ~ 2 Sol. +H ζ_2O_4 8% a caldo Filtrazione F 25 P calcinato a 800 °C $\begin{array}{c} \underline{PURFIGAZIONE Zr}\\ \underline{Purcl GAV + H_{2}O_{3} osl.}\\ SOL + H_{2}O_{3} SOL.\\ SOL + H_{2}O_{4} SOL.\\ \underline{Foc} Add.\\ \underline{Fo$ PURIFICAZIONE Zr HCl 10N per Cs - Cr - Mn Ρ +G Centrifugazione SUD.+HNO3 6M → Sol. 19 Sol. prep. sorgente cont. ∦ Sr HCl 5N per Co PURIFICAZIONE Nb HCl 0,5N per Fe P +HNO₃ 6M+H₂C₂O₄ 8% Ebollizione sino a sol. Prep. sorgente cont. X ÷G HC1 0,005N per Zn Sol.+HNO3 16M+KClO3 a caldo SEPARAZIONE Y da Sr Per Co, Fe, Zn evap. sino a 6 ml. e prep. sorgenti a caldo Centrifugazione Su Lavaggio con HNO₃ 0,6M NH4NO₃ 1,2M Sup. +G $\begin{array}{l} \hline \textbf{S0}|,+\textbf{Y} \text{ carrier (creecita}\\ 15\,gg)-\textbf{S0}|,+\text{NH}_4\text{OH} 17\text{M}\\ a \ caldo (doppia \ precipitaz.)\\ Centrifugazione \\ \textbf{P} + \text{HNO}_3 \ 6\text{M} + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \ 8\% \\ \hline \textbf{S}_4 \ \textbf{S}_6 \ \textbf{S}_4 \ \textbf{S}_6 \ \textbf{S}$ +Ġ cont. X F Filtrazione Per Cs, Cr, Mn sol. at-traverso colonna di "NCFC" al 7 36 a caldo 20 Filtrazione Prep. sorgente cont. 3 Prep. sorgente cont, X F G 32 PURIFICAZIONE Ba (RA) P +HCl 3N +H₂O₂→Sol. Sol.+NH₄OH 17M a caldo Centrifugazione gettare residuo soluzione precipitato filtrato supernatante satura evaporare separazione conteggio per spettrometria % conteggio per contatore GM a bassofondo P →G G R Sup.+H2SO4 2N a caldo Filtrazione F→G Sol. Prep. sorgente cont. 8 F Sup. Sat. Evap. Sep. Cont. X Cont. X Cont. B

Campione incenerito a 450°C (~40g di ceneri) e "carriers"- Ru,Sb,Zr,Nb,Co,Fe,Zn,Cs,Mn,Cr,Ba e tracciante ⁸⁵ Sr

Fig. 2. – Schema preliminare di separazione per l'isolamento di singoli radionuclidi da un campione di materiale biologico.

Le rese chimiche di questi ultimi elementi sono state ricavate anche per via spettrofotometrica^{*}(Mn, Cr) e mediante l'uso di ⁸⁵Sr come tracciante per lo ⁹⁰Sr.

Le misure di attività beta per la determinazione dello ⁹⁰Sr sono state eseguite mediante contatore SELO a basso fondo in anticoincidenza.

Le misure di attività gamma sono state effettuate sia con cristallo $2'' \times 2''$ che con cristallo $3'' \times 3''$.

Il cristallo di Na I(Tl) è accoppiato otticamente ad un fotomoltiplicatore « EMI » collegato ad un analizzatore di impulsi a 400 canali « Intertechnique » SA 40 B.

RISULTATI.

Il primo livello trofico è costituito esclusivamente da periphyton. Del secondo fanno parte le seguenti specie ittiche: *Leuciscus cephalus cabeda* (Risso), *Chondrostoma toxostoma* (Vallot), *Chondrostoma söetta* (Bonap.) e *Barbus barbus plebejus* (Cuv. Val.).

Al terzo livello trofico appartiene Esox lucius L. predatore ittiofago (4).

I rapporti trofici qui descritti sono in realtà molto più complessi e la catena alimentare oggetto del presente studio va considerata come parte di una ben più complessa rete di rapporti.

In particolare, permangono, allo stato attuale delle nostre conoscenze, alcune incertezze circa la discriminazione selettiva da parte di *Esox lucius* sulle diverse specie ittiche e la preferenza dello stesso per alcune particolari classi di grandezza.

I Livello trofico.

L'esame microscopico di n. 30 campioni di periphyton, raccolti in varie stazioni e preparati secondo il metodo di Margalef [17], ci ha consentito di calcolare il rapporto medio alghe filamentose/diatomee ⁽⁴⁾.

Le misure radiometriche hanno mostrato la presenza di ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹³⁷Cs, ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁴⁰K (fig. 3) e di ⁹⁰Sr.

II Livello trofico.

Lo studio del contenuto intestinale di n. 60 esemplari (15 per ognuna delle 4 specie di pesci ciprinidi) ha dimostrato che il loro regime alimentare consiste esclusivamente di periphyton.

Ciò è confermato anche da osservazioni effettuate su numerosi campioni prelevati nell'arco dell'anno 1967 ⁽⁴⁾.

Le misure radiometriche hanno mostrato la presenza costante nelle diverse specie di: ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ⁵⁴Mn, ⁶⁵Zn, ⁶⁰Co, ⁴⁰K (figg. 3–4) e di ⁹⁰Sr.

III Livello trofico.

Le difficoltà incontrate nell'ottenere numerosi campioni di *Esox lucius* hanno impedito una valutazione altamente significativa delle sue preferenze trofiche e del suo contenuto medio in radionuclidi.

Le analisi radiometriche hanno mostrato la presenza di ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs, ⁴⁰K (fig. 4) e di ⁹⁰Sr.

(4) Per più dettagliate informazioni ecologiche cfr. Parisi e coll. (21).



Fig. 3. – Spettri gamma, con sottrazione di fondo, eseguiti sulle ceneri.



86

DISCUSSIONE.

Gli spettri gamma mostrano soltanto l'abbondanza relativa dei diversi radioisotopi.

La complessità degli stessi e le modeste concentrazioni di radionuclidi presenti, hanno reso necessario ricorrere alle separazioni radiochimiche.

I risultati ottenuti dopo normalizzazione dei dati sono riportati in Tabella I, fig. 5.



Fig. 5. - Concentrazione di radioisotopi ai differenti livelli trofici, (espressa in pCi/g peso fresco).

¹⁸⁴Cs e ¹⁸⁷Cs sono presenti in quantità molto esigue nel periphyton, sono concentrati dai consumatori primari ed in quantità ancora maggiori dal consumatore secondario *Esox lucius*.

Ciò è in pieno accordo con quanto osservato da altri ricercatori: Pendleton [22] Gustafsson [12] Kolehmanien [14] Nelson [19].

In particolare risultati analoghi sono stati ottenuti da Hannerz [13] che, in un ecosistema lacustre, ha studiato i produttori primari, un consumatore primario ed un consumatore secondario.

Zinco e manganese vengono accumulati dai consumatori primari: a questo riguardo i nostri risultati concordano con quelli ottenuti da Osterberg [20] per lo zinco e da Cavalloro e Merlini [6] per il manganese. Zirconio e niobio vengono concentrati dai soli produttori primari e sembra quindi confermato che tali elementi non hanno particolare importanza nella contaminazione della catena alimentare (cfr. De Bortoli, [9]).

Il cobalto decresce nel passaggio dal periphyton agli erbivori e dagli erbivori al luccio.

I nostri risultati confermano quanto già osservato nei due ultimi anelli di una catena alimentare marina da Lowman [16].

TABELLA I.

⁶⁵ Zn	60Co	⁵⁴ Mn	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	⁴⁰ K	¹³⁴ Cs	137Cs	⁹⁰ Sr
N.R.	0,234	0,027	0,16	0,12	0,337	N.R.	0,076	0,040
312	156	312	187	312		28	62	1,2
0,308	0,0136	0,077	N.R.	N.R.	0,395	0,180	0,290	0,048
232	116	232	139	232		21	46	0,9 3
0,076	0,0482	0,060	N.R.	N.R.	0,358	0,094	0,170	0,033
312	156	312	187	312		28	62	1,2
0,163	0,0134	0,066	N.R.	N.R.	0,321	0,154	0,301	0,046
312	156	312	187	312		28	62	1,2
0,338	0,0487	0,066	N.R.	N.R.	0,220	0,252	0,539	0,061
352	176	352	211	352		32	70	1,4
N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	0,597	0,660	1,09	0,050
	65Zn N.R. 312 0,308 232 0,076 312 0,163 312 0,338 352 N.R.	65Zn 60Co N.R. 0,234 312 156 0,308 0,0136 232 116 0,076 0,0482 312 156 0,163 0,0134 312 156 0,338 0,0487 352 176 N.R. N.R.	65Zn 60Co 54Mn N.R. 0,234 0,027 312 156 312 0,308 0,0136 0,077 232 116 232 0,076` 0,0482 0,060 312 156 312 0,163 0,0134 0,066 312 156 312 0,338 0,0487 0,066 352 176 352 N.R. N.R. N.R.	65Zn 60Co 54Mn 95Zr N.R. 0,234 0,027 0,16 312 156 312 187 0,308 0,0136 0,077 N.R. 232 116 232 139 0,076 0,0482 0,060 N.R. 312 156 312 187 0,163 0,0134 0,060 N.R. 312 156 312 187 0,163 0,0134 0,066 N.R. 312 156 312 187 0,338 0,0487 0,066 N.R. 352 176 352 211 N.R. N.R. N.R. N.R.	65Zn 60Co 54Mn 95Zr 95Nb N.R. 0,234 0,027 0,16 0,12 312 156 312 187 312 0,308 0,0136 0,077 N.R. N.R. 232 116 232 139 232 0,076 0,0482 0,060 N.R. N.R. 312 156 312 187 312 0,163 0,0134 0,066 N.R. N.R. 312 156 312 187 312 0,163 0,0134 0,066 N.R. N.R. 312 156 312 187 312 0,338 0,0487 0,066 N.R. N.R. 352 176 352 211 352 N.R. N.R. N.R. N.R. N.R.	65Zn 60Co 54Mn 95Zr 95Nb 40K N.R. 0,234 0,027 0,16 0,12 0,337 312 156 312 187 312 0,308 0,0136 0,077 N.R. N.R. 0,395 232 116 232 139 232 0,076` 0,0482 0,060 N.R. N.R. 0,358 312 156 312 187 312 0,358 312 156 312 187 312 0,358 312 156 312 187 312 0,358 312 156 312 187 312 0,338 0,0487 0,066 N.R. N.R. 0,321 312 156 312 187 312 0,338 0,0487 0,066 N.R. N.R. 0,220 352 176 352 211 352 0,597 N.R. N.R. N.R.	$65Z_{\rm R}$ $60C_{\rm O}$ $54M_{\rm R}$ $95Z_{\rm T}$ $95N_{\rm b}$ $40_{\rm K}$ $134C_{\rm S}$ N.R. $0,234$ $0,027$ $0,16$ $0,12$ $0,337$ N.R. 312 156 312 187 312 28 $0,308$ $0,0136$ $0,077$ N.R.N.R. $0,395$ $0,180$ 232 116 232 139 232 21 $0,076$ $0,0482$ $0,060$ N.R.N.R. $0,358$ $0,094$ 312 156 312 187 312 28 $0,163$ $0,0134$ $0,066$ N.R.N.R. $0,321$ $0,154$ 312 156 312 187 312 28 $0,338$ $0,0487$ $0,066$ N.R.N.R. $0,220$ $0,252$ 352 176 352 211 352 32 N.R.N.R.N.R.N.R.N.R. $0,597$ $0,660$	65Zn $60Co$ $54Mn$ $95Zr$ $95Nb$ $40K$ $134Cs$ $137Cs$ N.R. $0,234$ $0,027$ $0,16$ $0,12$ $0,337$ N.R. $0,076$ 312 156 312 187 312 28 62 $0,308$ $0,0136$ $0,077$ N.R.N.R. $0,395$ $0,180$ $0,290$ 232 116 232 139 232 21 46 $0,076$ $0,0482$ $0,660$ N.R.N.R. $0,358$ $0,094$ $0,170$ 312 156 312 187 312 28 62 $0,163$ $0,0134$ $0,066$ N.R.N.R. $0,321$ $0,154$ $0,301$ 312 156 312 187 312 28 62 $0,338$ $0,0487$ $0,066$ N.R.N.R. $0,220$ $0,252$ $0,539$ 352 176 352 211 352 32 70 N.R.N.R.N.R.N.R. $0,597$ $0,660$ $1,09$

Concentrazione di radioisotopi e CMA_{cibo} in differenti organismi della catena alimentare (espressi in pCi/gr peso fresco) ⁽¹⁾.

 (1) Errore di conteggio ≤ 4 % (Dev. Standard); N. Ř. – Non rilevabile; In alto in corsivo CMA_{cibo} calcolate secondo la (1); In basso valori misurati.

Il contenuto in ⁹⁰Sr non differisce significativamente nei tre livelli trofici esaminati.

Abbiamo voluto infine valutare la rata di radioattività che potrebbe giungere all'uomo attraverso il consumo di pesci appartenenti alla catena alimentare.

Supponendo che in una ipotetica popolazione umana l'intero fabbisogno proteico giornaliero di un individuo (I gr proteine/kg di peso corporeo) provenga esclusivamente dai pesci, condizione questa la più restrittiva possibile, si può calcolare la concentrazione massima ammissibile (CMA) per il cibo in oggetto utilizzando la formula (1):

$$CMA_{cibo} = \frac{CMA_{acqua} \times 2200 \times P}{7 \cdot 10^3 \times 10} \, \mu Ci \cdot g^{-1}$$

dove:

 $CMA_{acqua} = concentrazione massima ammissibile nell'àcqua per una esposizione di 168 ore ⁽⁵⁾.$

2.200 = assunzione giornaliera di acqua da parte di un individuo medio ⁽⁶⁾ espressa in cc.

10 = fattore di riduzione applicabile alla popolazione umana della zona.

P = contenuto percentuale in proteine del pesce impiegato come cibo.

Tali criteri di valutazione sono stati ricavati da Freke [11].

Le proteine sono state calcolate dal contenuto in azoto (analisi micro-Kjeldhal) impiegando il fattore di moltiplicazione 5,7 consigliato per la muscolatura di pesce da Borgstrom [3].

La percentuale in proteine rispetto al peso secco e al peso fresco è riportata in Tabella II.

TABELLA II.

Contenuto percentuale in proteine rispetto al peso secco e al peso fresco delle differenti specie ittiche.

Specie	% peso secco	% peso fresco
Leuciscus cephalus cabeda	39,4	9,8
Barbus barbus plebejus	29,6	7,4
Chondrostoma toxostoma	40,0	10,0
Chondrostoma söetta	38,8	9,9
Esox lucius	44,7	11,1

CONCLUSIONI.

Nel corso della presente ricerca abbiamo cercato di valutare il passaggio del radionuclidi attraverso alcune componenti di un ecosistema fluviale.

Gli spettri gamma (figg. 3, 4) e gli istogrammi della fig. 5 ci consentono di affermare, in accordo con altri ricercatori, che in genere il maggior numero di radioelementi si trova al livello dei produttori primari.

Una prima riduzione si verifica nel passaggio da questi ai pesci erbivori, mentre una discriminazione più drastica si ha nel passaggio dagli erbivori al predatore.

(5) Secondo le norme EURATOM.

(6) del peso di Kg. 70.

7. - RENDICONTI 1969, Vol. XLVI, fasc. 1.

BIBLIOGRAFIA CITATA.

- AGNEDAL P. O., in: Radioecological concentration processes, Aberg B. e Hungate F. P. ed., Pergamon Press, N. Y. 1967.
- [2] BONI A. L., «Anal. Chem. », 32, 599-604 (1960).
- [3] BORGSTROM G., Academic Press, New York e London 1961.
- [4] BOURDEAU P., CAVALLORO R., MYTTENAERE C. e VERFAILLIE G., «Health Physics», 11, 1429–1444 (1965).
- [5] BRVANT F. Y., CHAMBERLAIN A. C., MORGAN A. e SPICER G. S., A.E.R.E.H.P./R 2056 (1957).
- [6] CAVALLORO R. e MERLINI M., « Ecology », 48, 924–928 (1967).
- [7] DAVIS J. J. e FOSTER R. F., « Ecology », 39, 530-535 (1958).
- [8] DAVIS J. J., PERKINS R. W., PALMER R. F., HANSON W. C. e CLINE J. F., in: « Peaceful uses of atomic energy », U. N., 18, 423-428, Geneva 1958.
- [9] DE BORTOLI M. C., GAGLIONE P. e RAVERA O., XI Congresso A.I.F.S., Pre print
- [10] FLASCHKA M. e JAKOBLJEVICH H., «Analytica Chimica Acta», 4, 247-255 (1950).
- [11] FREKE A. M., «Health Physics», 13, 743-758 (1967).
- [12] GUSTAFSSON P. F., in: Radioecological concentration Processes, Aberg B. e Hungate F. P. ed. Pergamon Press, N. Y. 1967.
- [13] HANNERZ L., «Acta Radiologica», suppl. 254 (1966).
- [14] KOLEHMAINEN S., HASANEN E. e MIETTINEN J. K., in: Radioecological concentration processes, Aberg B. e Hungate F. P. ed., Pergamon Press, N.Y. 1967.
- [15] KRAUS K. A. e MOORE G. E., « J. Am. Chem. Soc. », 75, 1460 (1953).
- [16] LOWMAN F. G., in: «Radioecology», Schultz V. e Klement A. W. ed., Reinholds publ. Co., N. Y. 1963.
- [17] MARGALEF R., «Int. Ass. théor. appl. Limnol.», 284-285 (1948).
- [18] NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, NATIONAL RESEARCH COUNCIL, NUCLEAR SCIENCE SERIES, Monographs in the radiochemistry and the radiochemical technique series, «National Bureau of Standards», U.S. Dept. of Commerce, Springfield, Virginia (1959–1961).
- [19] NELSON D. J. e COLL., in: Progress report, Radiation ecology section, Health Physics division of O.R.N.L., 97-98 (1967).
- [20] OSTERBERG C., PEARCY W. G. e CURL H. JR., « J. Mar. Res. », 22, 2-12 (1964).
- [21] PARISI e COLL., in preparazione.
- [22] PENDLETON R. C. e HANSON W. C., in: « Peaceful uses of atomic energy », U. N., 18, 419-422, Geneva 1958.
- [23] PETROW H. G. e LEVINE H., «Anal. Chem. », 39, 360-362 (1967).
- [24] RICKARD R. R. e WYATT E. I., «Anal. Chem.», 31, 50-54 (1959).
- [25] TONOLLI V., Ed. Ist. Ital. Idrobiol., Pallanza 1964.
- [26] WILLIAMS L. G. e PICKERING Q., «Ecology», 42, 205-206 (1961).