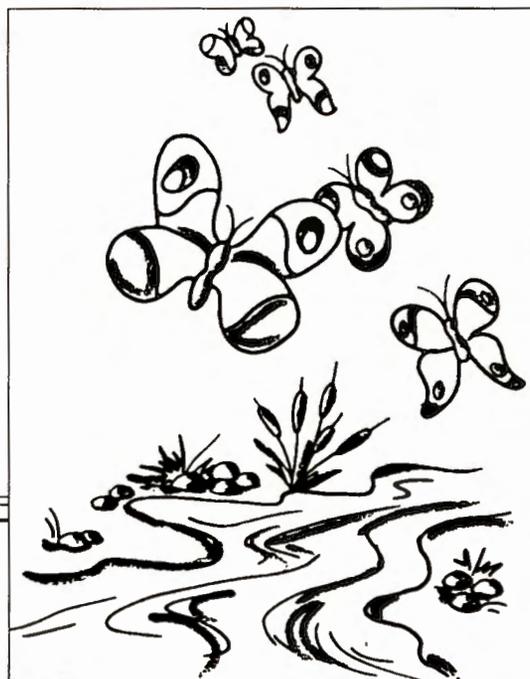


# IMPATTO AMBIENTALE



## USO DEL SUOLO E QUALITA' DELLE ACQUE CORRENTI: i corsi d' acqua della costa centrale toscana

di Enrico Olivieri

I fiumi ed i torrenti sono considerati, per tradizione e cultura ingegneristica, dei trasportatori d' acqua o, nella migliore delle ipotesi, delle riserve di materiale litoide. In realtà i corsi d' acqua sono degli ecosistemi, anzi sono una successione continua, nel senso della corrente, di ecosistemi diversi che collegano ambienti lontani spazialmente tra loro: la montagna e la collina con il fondovalle, il bosco con l' estuario, i laghi con il mare. Mantenere in "buona salute" i corsi d' acqua è dunque molto importante perchè essi rappresentano l' interfaccia tra gli ecosistemi acquatici e gli ecosistemi terrestri, tra il ciclo dell' acqua ed il territorio.

L' utilità degli ecosistemi lotici è anche

rilevata dal fatto che:

- forniscono proteine pregiate di origine ittica;
  - mantengono la diversità biologica e genetica per le future generazioni;
  - sono ambienti pregiati per il tempo libero e il turismo (canoa, pesca, ecc.);
  - assorbono, proporzionalmente alle proprie capacità assimilative, una certa quantità di effluenti di origine domestica e industriale;
  - sono trasportatori di nutrienti, di elementi essenziali e di energia dal sistema terrestre agli ambienti acquatici dei laghi e del mare.
- Quest' ultima funzione è da considerare la più importante dell' ecosistema fluviale. Purtroppo quando si decide la costruzione di una

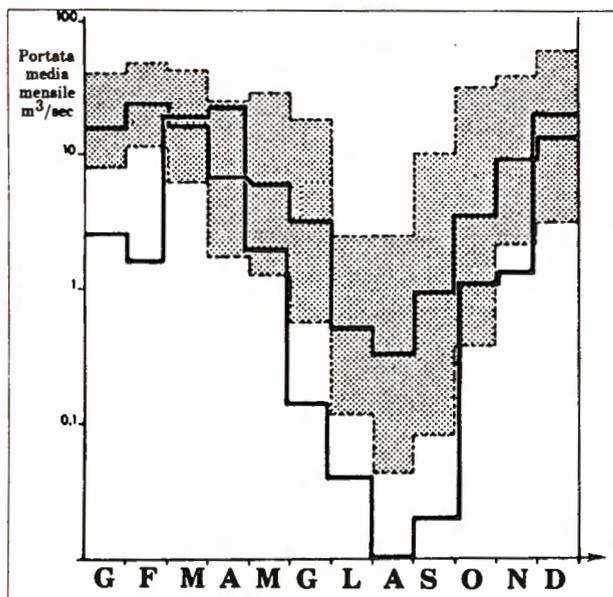
diga o la canalizzazione di un corso d'acqua non si tiene mai sufficientemente conto di questo aspetto essenziale delle acque correnti.

Il taglio della vegetazione, l'uso del legno come combustibile, l'agricoltura intensiva, le escavazioni in alveo per estrarre materiali litoidi e la costruzione di dighe per la produzione di energia idroelettrica o per accumulare l'acqua in bacini artificiali, sono attività largamente praticate in tutti i corsi d'acqua del mondo. L'abbondanza o la scarsità d'acqua è probabilmente la variabile più importante dello sviluppo sociale, economico e produttivo di un dato territorio. La variazione di questa risorsa è soprattutto importante nei corsi d'acqua mediterranei, dove le fluttuazioni della portata, tra il regime di piena e quello di magra, sono molto alte, dell'ordine di centinaia di volte. Ad esempio, la fig. 1 mostra che le variazioni della portata del fiume Cecina sono molto ampie: la portata minima più probabile è di appena  $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$  mentre la portata massima

più probabile è di  $64 \text{ m}^3/\text{s}$ , con un'escursione di 196 volte. Fluttuazioni della portata di tale entità rendono estremamente critiche le condizioni di qualità di questi corsi d'acqua.

La qualità delle acque superficiali è inoltre, come mostra la tab. 1, il risultato del "sinergismo" di molti fattori: dall'inquinamento puntiforme e diffuso all'uso del suolo, dalla presenza e abbondanza della vegetazione riparia all'alterazione dell'alveo fluviale ed, infine, alla variazione della portata dovuta ad emungimenti e diversioni. Altri fattori naturali, quali la litologia e la geomorfologia, la climatologia e la meteorologia del territorio, contribuiscono a rendere "unico" ogni bacino idrografico.

Nel presente lavoro verranno presi in esame soprattutto l'uso del suolo e l'impatto delle varie attività sulla qualità biologica e chimica delle acque correnti dei principali bacini idrografici della provincia di Livorno. Particolare attenzione verrà posta all'importanza della



**Fig. 1 - Bacino imbrifero fiume Cecina: portate medie mensili,  $\text{m}^3/\text{sec}$ .**

Curva A: media mensile più probabile.

Curva B: media mensile anno 1958, considerato di particolare magra.

L'area compresa nella zona grigia rappresenta la media mensile che può essere prevista nell'80% degli anni (da Olivieri, 1981).

**Tab. 1 - Fattori che influenzano la qualità biologica delle acque correnti**

<b>A - Inquinamento puntiforme</b>	1) Urbano 2) Industriale
<b>B - Inquinamento diffuso</b>	1) Fertilizzanti (P- $\text{PO}_4$ ; N- $\text{NO}_3$ ; K) 2) Pesticidi, anticrittogamici, diserbanti
<b>C - Uso del suolo</b>	- Seminativo, boschivo, pascolo, vigneti e oliveti, ecc.
<b>D - Presenza di vegetazione riparia</b>	- Pioppi, ontani, salici, fragmiteto
<b>E - Alterazione dell'alveo fluviale</b>	1) Dighe, traverse e briglie 2) Rettifiche e risagomature 3) Allargamento e dragaggio 4) Stabilizzazione delle banchine 5) Escavazione di materiali litoidi
<b>F - Portata</b>	- Diminuzione della portata (diversione)

vegetazione riparia come "zona filtro" tra il bacino idrografico e il corso d' acqua. Si accennerà anche ad alcune tecniche bioingegneristiche utilizzabili per migliorare e diversificare gli habitat delle acque correnti che hanno subito processi di canalizzazione.

**USO DEL SUOLO DEI BACINI IDROGRAFICI DELLA PROVINCIA DI LIVORNO**

Un lungo lavoro di planimetrazione delle carte regionali 1:25000 dell' uso del territorio, ha permesso di riportare in modo semplificato nella tab. 2 le caratteristiche dell' uso del suolo e la permeabilità dei principali bacini e sottobacini della provincia di Livorno.

Dalla tabella si può notare la notevole diver-

sificazione dell' uso del suolo dei vari bacini idrografici. Infatti mentre il t. Chioma, il Rio Ardenza, il t. Ugione e il f. Cornia conservano una superficie boschiva molto ampia -compresa tra il 60 e il 70%- ed una superficie destinata a seminativo relativamente bassa -compresa tra il 18,8 ed il 30%- il f. Fine ed il f. Tora (ed i suoi principali affluenti: t. Morra, t. Nugola e t. Tanna) presentano una situazione opposta: la superficie boschiva scende a valori molto bassi -compresi tra il 22,9 e il 33,5%- mentre la superficie destinata a seminativo sale al 58,2-68,8%.

I bacini idrografici del f. Cecina e del t. Redigaffi hanno una situazione intermedia rispetto agli altri corsi d' acqua. In particolare il bacino del f. Cecina, il più importante corso d' acqua della provincia, è destinato a boschivo

**Tab 2 - Uso del suolo dei principali bacini idrografici della provincia di Livorno**

BACINI IDROGRAFICI	Fiume Cecina	Fiume Fine	Fiume Cornia	Torr. Ugione	Torr. Tora	Torr. Morra	Torr. Nugola	Torr. Tanna	Rio. Ardenza	Torr. Redigaffi	Torr. Chioma
Limiti altitudinali (m):	1051-0	675-0	852-0	451-0	498-0,5	461-26	407-22	263-10,3	461-0	480-50	373-0
Superficie (ha):	90.844	17.085	35.600	3.388	8.852	1.620	678	1.768	2.032	1.560	1823
<b>USO DEL TERRITORIO %</b>											
■ Boschi e foreste:	54,7	24,1	68,5	64,2	22,9	26,3	30	33,5	60,3	49,5	69,15
■ Terreni agricoli lavorati:											
a) Seminativo semplice asciutto e irriguo	38,3	68,8	19,8	29,5	67,3	58,2	62,5	59,5	30	29	18,8
b) Vigneti e oliveti	2,1	4,4	5,7	1,2	6,8	10	5,2	5,5	4,8	4,5	1,8
■ Pascoli	3,2	1,3	6,0	0,7	2,1	4,8	2,3	1,5	3,7	17	8,7
■ Altri	1,7	1,4	-	4,4	0,9	0,7	-	-	1,2	-	2,25
<b>PERMEABILITA' DEI SUOLI (SUPERFICIE %)</b>											
Permeabile	20,5	7,5	4,7	1,23		19	24,2	26,4	9,9	-	3,8
Mediamente permeabile	-	-	-	12,5		14,4	12,8	26,4	13,4	25	8,2
Scarsamente permeabile	25,2	15	37,6	31,7		44	11,5	5	16,4	25	2,6
Impermeabile	54,3	77,5	57,6	43,4		22	51,2	42	60	50	85
Densità popolaz. ab/km <sup>2</sup>	58	56	68	300*	79	63	34	49	480*	4	15

(\*) Stime

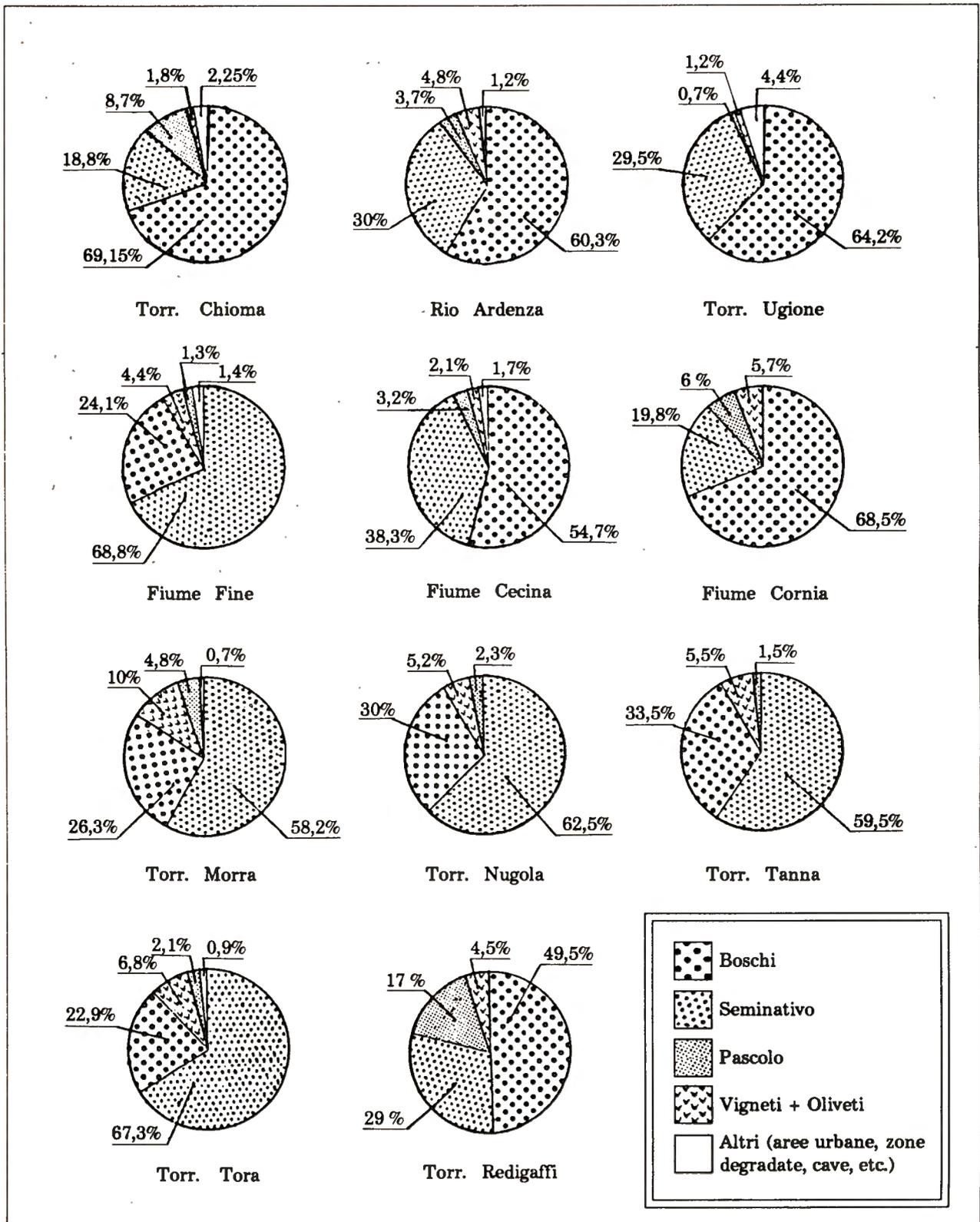


Fig. 2 - Uso del suolo dei principali bacini idrografici della provincia di Livorno.

per il 54,7% e a seminativo per il 38,3% mentre il t. Redigaffi (un piccolo affluente di destra del f. Cornia) ha il 49,5% di boschivo e il 29% di seminativo. Da notare che il t. Redigaffi, proporzionalmente al bacino idrografico, ha la più alta superficie destinata a pascolo: il 17%. La fig. 2 visualizza in modo immediato il diverso uso del suolo dei vari bacini idrografici.

**AGRICOLTURA E QUALITA' DELLE ACQUE CORRENTI**

L'uso del suolo a fini agricoli esercita un impatto sulla qualità delle acque correnti. Considerando i carichi di azoto applicati ai terreni agricoli, si rilevano situazioni molto diversificate. Dalla tab. 3 si può osservare che mentre i carichi annui per unità di superficie coltivata sono sostanzialmente costanti (ad es. 104,4 nel t. Chioma e 104,6 nel f. Tora) i corrispondenti carichi, espressi per unità di superficie del bacino idrografico, diventano rispetti-

vamente di 21,53 e 77,5 kg/ha-anno. Il f. Tora riceve quindi un carico di azoto di circa 3,6 volte superiore a quello del t. Chioma. Questo tipo di indagine permette di classificare i bacini idrografici della provincia in:

-bacini a basso carico:		
t. Chioma	21,53	kg/ha-anno
f. Cornia	28,00	"
t. Ugione	31,24	"
-bacini a medio carico:		
t. Redigaffi	35,70	"
Rio Ardenza	37,25	"
f. Cecina	41,43	"
-bacini ad alto carico:		
t. Tanna	67,70	"
t. Nugola	70,50	"
t. Morra	73,50	"
f. Fine	75,50	"
f. Tora	77,50	"

Si può facilmente comprendere, però, che i carichi applicati al suolo non corrispondono necessariamente ai carichi che giungono alle acque, in quanto questi sono condizionati da

**Tab. 3 - Carichi di azoto applicati ai bacini idrografici della costa toscana**

BACINI IDROGRAFICI	(1) Superficie seminativa (ha)	(2) Percentuale del bacino idrografico	(3) Carico di N kg/anno	(4) Superficie Oliveti-Vigneti (ha)	(5) Percentuale del bacino idrografico	(6) Carico di N kg/anno	(7) Carico tot. di N (3)+(6) kg/anno	(8) Carico di N per unità di superficie Kg/ha-anno	(9) Superficie totale del bacino	(10) Carico di N per unità di bac. idrogr. Kg/ha-anno
T. Ugione	1.000	29,5	100.000	39	1,15	5.850	105.850	101,9	3.388	31,24
T. Morra	948	58,1	94.800	163,4	10	24.510	119.310	107,3	1.630	73,2
T. Nugola	425	62,5	42.500	35,4	5,2	5.310	47.810	103,8	678	70,5
T. Tanna	1.048	59,3	104.800	100	5,6	15.000	119.800	104,4	1.768	67,7
T. Tora	5.958	67,3	595.800	602	6,8	90.300	686.100	104,6	8.852	77,5
Rio Ardenza	611	30	61.100	97,3	4,8	14.595	75.695	106,9	2.032	37,25
T. Chioma	343	18,8	34.300	33	1,8	4.950	39.250	104,4	1.823	21,53
F. Fine	11.769	68,9	1.176.900	750	4,4	112.500	1.289.400	103	17.085	75,5
F. Cecina	34.792	38,3	3.479.200	1.895	2,08	284.250	3.763.450	102,6	90.844	41,43
F. Cornia	7.049	19,8	704.900	1922	5,4	288.300	993.200	110,7	35.600	28
Fosso Redigaffi	452	29	45.200	70,2	4,5	10.530	55.730	106,7	1.560	35,7

altri fattori, tra i quali la profondità della fascia degli alberi che costituisce la zona "filtro" riparia.

La portata dei corsi d'acqua, oltre che dalle precipitazioni, dipende anche dalla permeabilità del terreno: su tale base si rileva che, ad eccezione dei sottobacini Tanna e Nugola - che hanno rispettivamente il 52,8 e 37% della superficie permeabile (calcolata come somma dei terreni permeabili e mediamente permeabili, vedi tab. 2) - tutti gli altri bacini hanno una scarsa permeabilità. Ciò comporta che in regime di magra i carichi azotati dilavati dai terreni nelle acque correnti non vengono sufficientemente diluiti. Le alte concentrazioni di azoto riscontrate nel periodo estivo determinano pertanto abnormi crescite algali nella maggior parte dei nostri fiumi. I problemi di crescita algale che vengono registrati nelle acque marine sono certamente da ricercare nell'eccessivo input di nutrienti azotati e fosforati veicolati dai corsi d'acqua superficiali verso il mare. In realtà alcuni di questi corsi d'acqua - t. Redigaffi, t. Ugione, t. Chioma e f. Cornia - conservano per gran parte del loro percorso condizioni oligo-mesotrofiche. Questa constatazione è giustificabile non solo dalle limitate quantità di azoto ricevute dai terreni, ma anche per la presenza di zone filtro riparie sufficientemente spesse da assorbire tutti o in parte i composti azotati caricati sul bacino idrografico.

### LE ZONE "FILTRO" RIPARIE

PETERSEN et al. (1987) in una loro interessante pubblicazione affermano che "...in questo tipo di indagini ragioni economiche, politiche e culturali rendono molto difficile gestire l'intero bacino idrografico ed è pertanto più pratico partire dalle zone riparie...". Nella gestione della qualità delle acque correnti sembra importante seguire la massima "Pensa in grande, ma inizia dal piccolo". Per questo sembra un ottimo punto di partenza analizzare

le capacità di controllo delle zone riparie.

Le zone riparie sono quelle porzioni di terreno che sono in contatto con le acque correnti. In sostanza sono le aree di interfaccia tra il terreno e l'acqua, dalle quali traggono beneficio, date le condizioni di alta umidità, sia gli organismi acquatici che quelli terrestri.

Le zone riparie offrono anche altri vantaggi all'ecosistema delle acque correnti: l'ombreggiatura, ad esempio, mantiene più bassa la temperatura e, riducendo l'irraggiamento solare, controlla un'eccessiva crescita delle piante acquatiche. DAWSON et al. (1979) hanno dimostrato che c'è una relazione lineare, in ambienti eutrofici, tra la luce disponibile sulla superficie del corso d'acqua e la biomassa delle idrofite. Nel t. Tora, dove crescono abbondantissime le idrofite *Ranunculus* sp., *Potamogeton* sp. e l'alga filamentosa *Cladophora* sp., il controllo dell'illuminazione potrebbe essere un efficace mezzo di gestione delle condizioni di eutrofia di questo corso d'acqua.

La perdita delle zone riparie porta ad un aumento di input di nutrienti nelle acque. La maggior parte dei nutrienti e di tutti gli inquinanti di origine diffusa, compresi gli anticrittogamici e i diserbanti, entrano nelle acque correnti come eventi improvvisi (sudden events) durante la prima pioggia intensa. La quantità di azoto e di fosforo trasportata durante questi brevi eventi varia dal 100% al 200% rispetto alla quantità trasportata durante il resto dell'anno.

Le zone riparie hanno anche un importante risvolto economico. Infatti l'aspetto economico di queste aree può essere facilmente compreso dal fatto che la riduzione dei nitrati e dei fosfati è quantizzabile basandoci sui costi di depurazione. PETERSEN et al. (1987) valutano che la rimozione di un kg di nutrienti (N+P) in un impianto di depurazione costa circa 25 USD. Dal momento che le zone filtro riparie hanno la capacità di trattenere 89 kg di N/ha · anno se costituite da pioppi (*Populus* sp.) e di 52 kg di N e di 4 kg/ha · anno di P se costituite da foreste umide, allora le zone riparie rimuovono nutri-

enti ad una velocità che è quantizzabile, dal punto di vista economico, tra 1350 e 2195 USD per ettaro all'anno. In sostanza il valore economico delle capacità ritenitive di un ettaro di zone riparie è comparabile a quello della costruzione di un impianto di depurazione di 10.000 abitanti equivalenti. Credo che gli enti pubblici, ad iniziare dai comuni e dalle provincie, dovrebbero dare degli incentivi ai coltivatori per allargare lo spessore delle zone vegetazionali riparie.

C'è, infine, un altro importante aspetto che ha valenza sia economica che ecologica. Infatti, se consideriamo che la vegetazione riparia è costituita da piante ad alta velocità di crescita, come i pioppi (*Populus* sp.), i salici (*Salix* sp.) e gli ontani (*Alnus* sp.) che possono essere tagliate a rotazione ogni tre anni e utilizzate come fonte energetica alternativa, si comprende come sia possibile recuperare energia pulita di origine solare. Nella gestione dei bacini idrografici l'aspetto più importante è proprio la valutazione dello spessore delle fasce riparie. Purtroppo poco è stato fatto per salvare le zone riparie dei nostri fiumi.

LAWRENCE et al. (1984) hanno dimostrato che le zone riparie sono degli ottimi tamponi che, catturando fertilizzanti azotati e fosforati, riducono l'inquinamento delle acque e possono divenire fonte di reddito se vengono coltivate con piante ad alta velocità di crescita, come i pioppi.

Nelle nostre zone, la capacità di cattura dei nutrienti da parte delle essenze autoctone deve essere quantificata. La vegetazione riparia è anche molto importante perchè aumenta l'input di materiale organico di origine alloctona verso l'ecosistema delle acque correnti e perchè con gli apparati radicali fornisce una maggiore stabilità alle aree riparie. Le zone riparie sono pertanto delle aree molto importanti per mantenere in "buona salute" la struttura fisica e biologica di un corso d'acqua.

SEIBERT (1968) ha evidenziato che nei tratti potamali esistono quattro distinte zone vegetazionali che hanno un effetto stabilizzante sui

terreni ripari. La prima zona è quella delle piante acquatiche che riducono la velocità della corrente e, quindi, il potere erosivo sulle aree laterali. La seconda zona, nota come zona del fragmiteto (costituita prevalentemente dalle specie *Phragmites australis* e *Arundo donax*) protegge le sponde dall'azione erosiva delle onde provocate dai mezzi nautici (BONHAM, 1980). La terza zona comprende la fascia degli alberi a legno tenero (pioppi, ontani, salici) e svolge con gli estesi apparati radicali un'importante azione di stabilizzazione delle banchine. La quarta zona, chiamata da Seibert "zona degli alberi a legno duro", ha un minore significato per la stabilizzazione delle ripe poichè è abbastanza lontana dal canale fluviale. Essa, comunque, contribuisce a dare spessore alla zona filtro per l'assorbimento dei fertilizzanti agricoli prima che questi raggiungano il corso d'acqua.

#### LA CANALIZZAZIONE DEI CORSI D'ACQUA

Il termine canalizzazione, mutuato dalla letteratura ingegneristica nordamericana, può essere definito come la modificazione del canale fluviale con lo scopo di controllare le esondazioni, aumentare il drenaggio dei terreni, favorire la navigazione o prevenire fenomeni di erosione (KELLER, 1976).

A seconda del tipo di operazioni che vengono effettuate nel canale fluviale, le canalizzazioni possono essere suddivise in:

- a) Risagomature: si aumenta la larghezza e/o la profondità dell'alveo in modo da contenere l'acqua che preventivamente esondava nella pianura alluvionale;
- b) Rettifiche: comportano, col taglio dei meandri, un accorciamento del canale fluviale e un aumento di pendenza e di velocità della corrente;
- c) Deviazioni: sono effettuate a monte dei tratti urbani, dove normalmente si ha un restringimento della sezione trasversale del

corso d'acqua e quindi una più alta probabilità di esondazione;

- d) Arginature: sono finalizzate ad aumentare artificialmente la sezione, verso l'alto, per cui le piene vengono contenute nel canale artificiale;
- e) Protezione delle banchine (o difese spondali): consistono in opere longitudinali radenti (gabbionate, scogliere o strutture di cemento) finalizzate a controllare l'erosione delle sponde.

Altri metodi di canalizzazione, quali il rivestimento e la copertura del canale fluviale sono estensivamente usati soprattutto nei piccoli corsi d'acqua.

Nei corsi d'acqua della nostra provincia sono utilizzate soprattutto le pratiche di arginatura e di protezione delle banchine riparie. Obbedendo a questa cultura tipicamente ingegneristica, le nostre acque correnti sono state considerate solamente condotte d'acqua e non veri ecosistemi. Questa cultura ha por-

tato al taglio dei meandri, alla scomparsa delle zone lentiche e della flora riparia, in una parola ha portato ad una semplificazione degli habitat biologici ed ha ridotto notevolmente il numero di specie animali e vegetali presenti nei corsi d'acqua. La storia di moltissimi corsi d'acqua italiani, grandi e piccoli, è una storia di semplificazione, di banalizzazione ambientale. Gli anni futuri dovranno vedere il prevalere di una nuova cultura e di una pratica del ripristino ecologico.

La stabilità di un territorio dipende infatti dalla complessità delle interrelazioni tra le entità floro-faunistiche: quanto più diversificato è un ambiente, tanto più alte saranno queste interrelazioni e tanto più stabile sarà l'ambiente.

La tab. 4 mostra che nella maggior parte dei corsi d'acqua della costa centrale toscana non solo sono presenti lunghi tratti canalizzati, ma in essi sono assenti o scarsamente rilevanti sia la fascia arborea riparia che il fragmiteto. Nel

**Tab. 4 - Corsi d'acqua della costa centrale toscana: lunghezza dei tratti canalizzati e delle fasce di vegetazione riparia**

BACINO	LUNGHEZZA km	CANALIZZATI km (%)	VEGETAZIONE ARBOREA RIPARIA	FRAGMITETO
T. Ugione	13	5,0 (38,5%)	Assente nei tratti canalizzati	Assente nei tratti canalizzati
Rio Ardenza	8	0,7 (8,7%)	Assente nei tratti canalizzati	Presente
T. Tanna	8	3,5 (43,7%)	Assente nei tratti canalizzati	Assente
T. Nugola	6,2	1,5 (24,0%)	Assente nei tratti canalizzati	Parzialmente presente
T. Tora	35,5	19,0 (54,0%)	Assente nei tratti canalizzati	Scarsamente presente
F. Fine	29,5	-	16,5 km riva dx (Fascia troppo 16,5 km riva sx sottile)	Presente
F. Cecina	82	-	5,3 km riva dx 6,6 km riva sx	Presente
F. Cornia	42,5	10,0 (20,0%)	5,3 km riva dx 6,6 km riva sx	Assente
TOTALE	224,7	39,7 (17,7%)		

tratto potamale di alcuni dei nostri corsi d'acqua -f. Tora, t. Tanna, t. Nugola, t. Ugione- nei quali il processo di canalizzazione è particolarmente spinto, si potrebbe procedere nuovamente alla ricostruzione dei meandri e alla ricostituzione della vegetazione tipica delle zone riparie.

In una interessante pubblicazione di A. BROOKES (1984) dal titolo "Recommendations bearing on the sinuosity of Danish stream channels" vengono illustrati alcuni esempi di tecniche "soft" alternative alle canalizzazioni: queste tecniche sono riassunte nella tab. 5. La tecnica della ricostruzione delle pozze e dei raschi potrebbe essere facilmente applicata alla maggior parte dei nostri corsi d'acqua canalizzati. Questa tecnica favorirebbe sia una maggiore stabilità del canale fluviale che una maggiore produttività biologica dei corsi d'acqua.

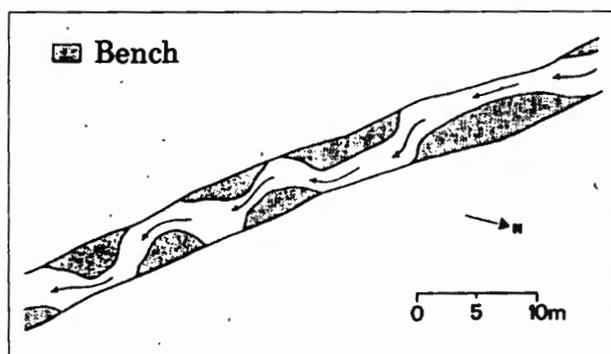
A partire dalla seconda metà del secolo scorso, fino a tutti gli anni sessanta, i tratti potamali meandrificati dei nostri corsi d'acqua sono stati canalizzati e dotati di argini artifi-

ciali per contenere le piene. Durante il periodo estivo la vegetazione riparia ed il fragmiteto che crescono sugli argini vengono costantemente tagliati. Se è comprensibile il taglio degli alberi cresciuti in pieno alveo fluviale (che potrebbero portare a delle esondazioni) non è ecologicamente corretto il taglio della vegetazione che cresce sull'argine poiché questa fornisce l'ombreggiatura necessaria per limitare la crescita delle macrofite e delle alghe filamentose, rappresenta l'habitat di rifugio per molte specie faunistiche e, infine, dà stabilità agli ambienti ripari.

La tecnica dell'"aggradation", consistente nel restauro della sinuosità dei tratti canalizzati, è già stata sperimentata in corsi d'acqua di varie parti del mondo. Nella fig. 3 è illustrato il processo di aggradation del fiume Boest back, consistente nel favorire artificialmente il deposito di sabbia e substrato fine allargando alternativamente, sulla sponda sinistra e su quella destra, il canale fluviale in modo da favorire zone di deposito e di erosione. In sostanza si tratta di favorire artificialmente

**Tab. 5 - Esempi di alternative alla canalizzazione** (da Brookes et Al., 1983)

ESEMPIO	AREE DI APPLICAZIONE
<p style="text-align: center;"><b>Rapide e pozze</b></p> <p>Costruzione di pozze e rapide in modo da dare stabilità alla morfologia dell'alveo. Con questa operazione si migliora la produttività biologica e l'aspetto estetico del corso d'acqua.</p>	<p>Nord America</p>
<p style="text-align: center;"><b>Aree di riposo</b></p> <p>Inserimento di tratti naturali nei canali fluviali cementificati. In questo modo si conserva sufficiente habitat per la migrazione dell'ittiofauna.</p>	<p>Hawaii</p>
<p style="text-align: center;"><b>Restauro del corso d'acqua</b></p> <p>Minimizzazione dei processi di rettifica del tracciato: mantenimento degli alberi per dare stabilità alle aree ripariali; minimizzazione dei processi di risagomatura dell'alveo; mantenimento della morfologia naturale.</p>	<p>Briar Creek North Carolina (impiegato sin dal 1975)</p>



**Fig. 3 - Fiume Boest back.**

Aumento della sinuosità del canale fluviale ottenuta con il processo di aggradation.

sinuosità di piccolo raggio che portano ad una diversificazione di microhabitat e favoriscono l'impianto di numerose specie animali e vegetali, dando maggiore stabilità a tutto l'ecosistema fluviale.

Dispositivi "instream" possono aumentare la variabilità degli habitat: variando la portata,

la morfologia o il substrato e favorendo la parziale copertura vegetazionale del canale fluviale. SWALES e O'HARA (1980) hanno classificato queste strutture in tre tipi principali a seconda del beneficio apportato: strutture che favoriscono accelerazioni o rallentamenti localizzati della corrente (deflettori e briglie), dispositivi che forniscono aree coperte (ripari per l'ittiofauna) e, infine, strutture che contribuiscono alla formazione di aree di deposizione delle uova. La tab. 6 riassume brevemente dove sono state applicate queste tecniche e gli effetti positivi che queste hanno portato al miglioramento biologico dei corsi d'acqua.

Dalla tab. 4 si rileva che dei 224,7 km di corsi d'acqua presi in esame in questo studio, circa il 18% (con punte del 54% sul f. Tora) sono stati canalizzati e che nella maggior parte di questi tratti la vegetazione arborea riparia ed il fragmiteto sono assenti o scarsamente presenti.

**Tab. 6 - Esempi di strutture per migliorare l'habitat dei corsi d'acqua** (da Brookes, 1985)

TIPO	METODO	AREA DI APPLICAZIONE	EFFETTO
Deflettori di corrente	Deviazione del flusso della corrente	Lawrence Creek Wisconsin	L' aumento della biomassa e della dimensione delle trote raggiunge il suo massimo dopo 5 anni dall'installazione
Piccole briglie	Formazione di un piccolo bacino a monte delle briglie e aumento della potenza erosiva a valle	California	Dopo 4 anni di introduzione le trote crescono rapidamente e trovano l' habitat per riprodursi
Rifugi coperti sotto sponda	Rami frondosi immersi (ancorati a riva)	Wisconsin (in diversi corsi d'acqua)	Aree di riparo per i pesci
Miglioramento del substrato	Ghiaie e sassi posizionati dove si possono prevedere piccole rapide	Scozia e U.K.	Miglioramento dell' habitat per la fauna ittica
Miglioramento del substrato	Aggiunta di pezzame calcareo e di ghiaie	Fiume Ock (U.K.)	Il substrato ricostituito favorisce un' alta densità di invertebrati a differenza del substrato argilloso creato dalla canalizzazione

Particolarmente grave appare la situazione dei tratti potamali del t. Ugione, del t. Tanna e soprattutto del f. Tora. In questi corsi d'acqua è possibile applicare alcune delle tecniche esposte precedentemente in modo da migliorare le condizioni fisiche delle aree riparie e del canale fluviale. In sostanza in questi bacini idrografici, senza intaccare le attività economiche e produttive presenti nel bacino, è possibile condurre operazioni pilota di vera e propria ecologia del ripristino.

### IL MAPPAGGIO BIOLOGICO

Al fine di controllare l'impatto biologico delle canalizzazioni, dell'attività agricola intensiva e degli inquinamenti puntiformi si è proceduto al mappaggio biologico dei corsi d'acqua. I risultati sono riportati nella fig. 4 e

nella tab. 7.

Scendendo nei dettagli, si può osservare che dal 1981 al 1986 la qualità biologica del f. Cecina ha subito una evoluzione positiva dopo la completa eliminazione, dal 1982 in poi, dei reflui di boro riversati nel t. Possera dall'ENEL e dalla Società Chimica Larderello. Infatti se osserviamo l'istogramma della fig. 5 delle concentrazioni medie di boro dal 1974 al 1987, si rileva una drastica riduzione di questo elemento dal 1982 in poi. A questa riduzione è corrisposto un aumento della 1ª classe di qualità dal 39% al 62% della lunghezza totale, mentre la 3ª classe di qualità (acqua inquinata) scende parallelamente dal 21,6% al 16,1% della lunghezza. Infine il tratto finale, che era tutto in 4ª classe, migliora di un livello di qualità. Nel 1986 la qualità di questo corso d'acqua ha subito un leggero peggioramento a causa delle escavazioni in alveo ancora operanti nella

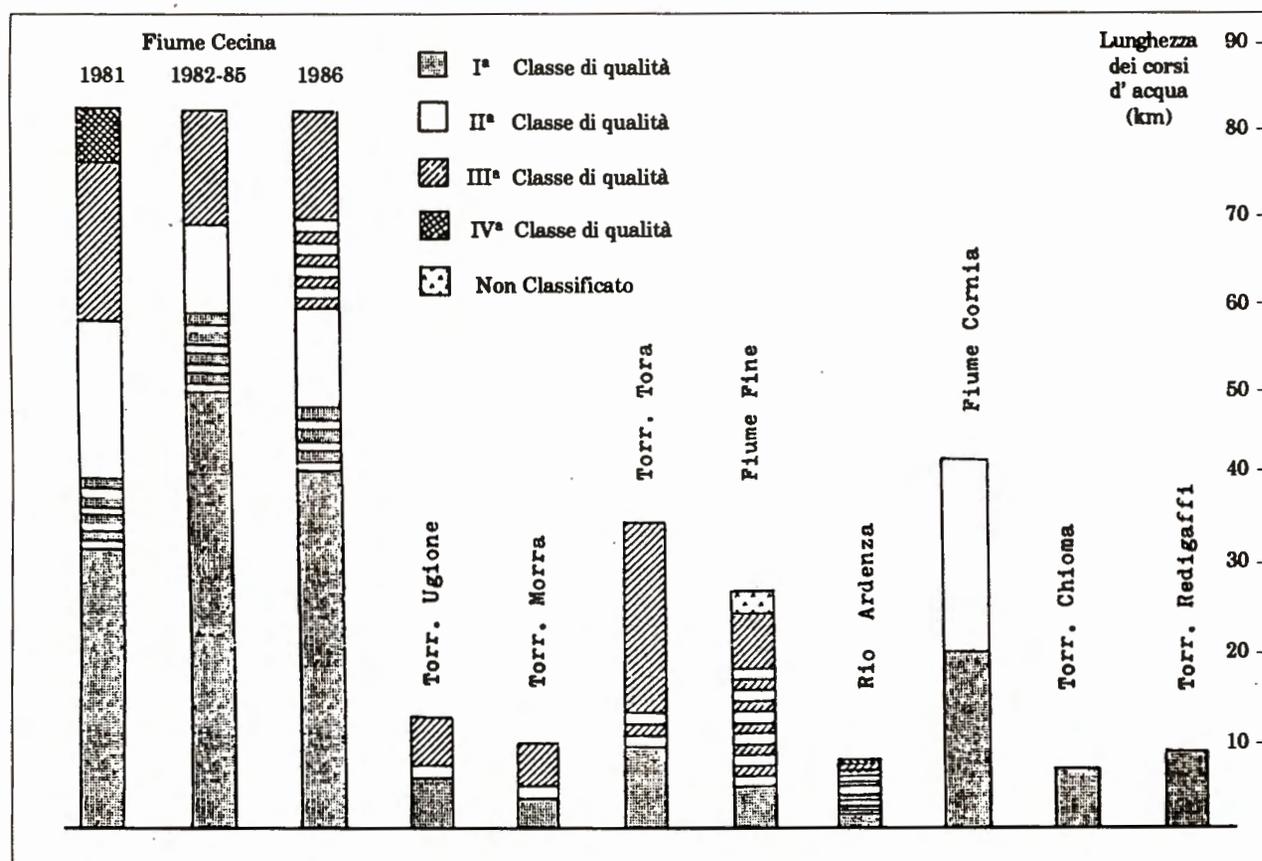
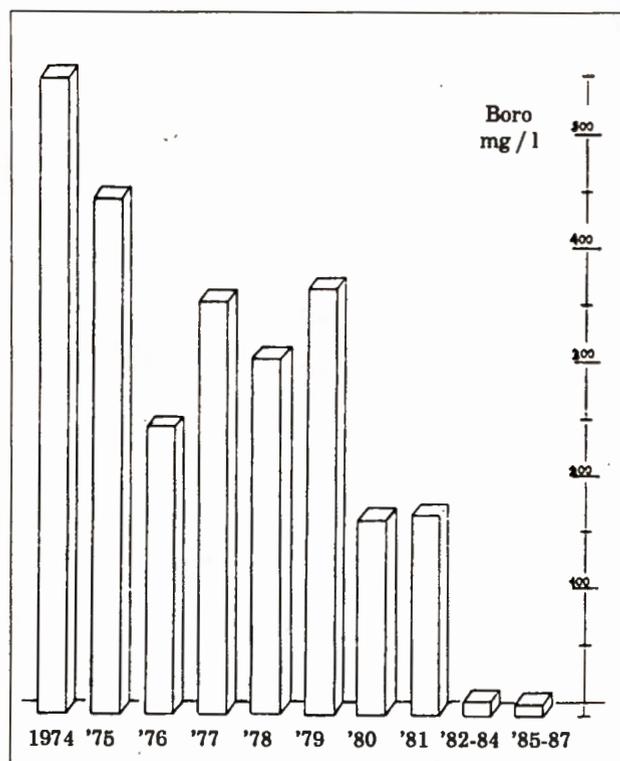


Fig. 4 - Classi di qualità delle acque correnti della costa toscana.

**Tab. 7 - Corsi d' acqua della costa centrale toscana:  
lunghezza dei tratti fluviali e relativa classe di qualità**

BACINO	lungh. (km)	I <sup>a</sup> km (%)	I <sup>a</sup> - II <sup>a</sup> km (%)	II <sup>a</sup> km (%)	II <sup>a</sup> - III <sup>a</sup> km (%)	III <sup>a</sup> km (%)	IV <sup>a</sup> km (%)	N. C. km (%)
T. Ugione	13	5,8 (44,6%)		1,7 (13,0%)		5,5 (42,0%)		
T. Morra	10	4 (40,0%)		1 (10,0%)		5 (50,0%)		
T. Tora	35,5	10 (28,2%)			3,5 (9,8%)	22 (62,0%)		
Rio Ardenza	8	3,3 (41,2%)				1 (12,8%)	0,7 (8,7%)	
T. Chioma	7,5	7,5(100,0%)						
F. Fine	29	5,5 (18,8%)			13,7 (47,3%)	7 (24,2%)		2,8 (9,7%)
F. Cecina 1981 *	82	32 (39,0%)	7,2 (8,8%)	19,4 (23,6%)		17,8 (21,6%)	5,5 (6,7%)	
F. Cecina 82-85*	82	51,4 (62,7%)	7,2 (8,8%)	10,2 (12,4%)		13,2 (16,1%)		
F. Cecina 1986*	82	41,4 (50,5%)	7,2 (8,8%)	10,2 (12,4%)	10,0 (12,2%)	13,2 (16,1%)		
F. Cornia	42	20,8 (49,5%)		21,2 (50,5%)				
T. Redigaffi	9,5	9,5(100,0%)						
<b>TOTALE</b>	<b>236,5</b>	<b>107,75(45,6%)</b>	<b>10,2 (4,3%)</b>	<b>37,84 (14,4%)</b>	<b>27,2 (11,5%)</b>	<b>53,7 (22,7%)</b>	<b>0,7 (0,003%)</b>	<b>2,8 (1,18%)</b>

(\*) Esclusi dal computo totale



**Fig. 5 - Torrente Possera: concentrazione media annua di boro (mg/l).**

provincia di Siena.

Questo bacino idrografico merita un'analisi più particolareggiata poichè è presumibile che, almeno in alcuni tratti e raccordi (vedi ad esempio l' area del bacino idrografico all' altezza di ponte di Monterufoli, dove la zona riparia sinistra è completamente erosa con conseguente scomparsa della vegetazione riparia) il dilavamento dei fertilizzanti nel fiume alteri la qualità biologica.

In altri corsi d' acqua, come il f. Fine, il t. Tora e il t. Ugione, il rapporto tra uso del territorio e qualità delle acque è più evidente. Il bacino del f. Fine è intensivamente utilizzato per le attività agricole (68,8%) e, dal momento che nel tratto mediano non esistono scarichi puntiformi, è evidente che i 13,7 km pari al 47% dell' intera lunghezza -ai quali corrisponde una classe di qualità intermedia tra la 2<sup>a</sup> e la 3<sup>a</sup>- sono tutti dovuti al dilavamento dei fertilizzanti nelle acque del fiume. Nella no-

stra provincia questo è il caso più tipico di effetto delle attività agricole sulla qualità biologica degli ambienti fluviali. In effetti, nonostante che questo corso d'acqua sia fiancheggiato per 16,5 km di una fascia di vegetazione riparia, questa risulta troppo sottile per assorbire la perdita di 267.380 kg di azoto dal bacino verso il fiume. In questo bacino idrografico è pertanto necessaria un'attenta valutazione dello spessore delle zone riparie al fine di trattenerne l'azoto dilavato dai terreni agricoli.

Ancora maggiore attenzione richiede il f. Tora poichè, come possiamo vedere dalla tab. 8, la perdita di azoto dal bacino verso le acque è di circa 138.533 kg per anno. In questo bacino, per giunta, la qualità biologica delle acque è ancora peggiore a causa della rettifica dell'alveo (canalizzazione) che porta alla scomparsa di numerosi microhabitat. La composizione della fauna bentonica è estremamente semplificata e ridotta a soli 8 taxa, con netta dominanza dei Crostacei *Atyaephyra* sp., *Asellus* sp., *Gammarus* sp. e dei Molluschi Gasteropodi *Limnaea* sp. e *Valvata* sp.

Sinteticamente, in questo bacino possono essere compiute due operazioni di ecologia del ripristino: da una parte impiantare nei tratti canalizzati la vegetazione arborea riparia e

dall'altra restituire all'alveo almeno una certa sinuosità per ottenere una maggiore diversificazione degli habitat. Problemi simili si hanno anche nel tratto finale del t. Ugione dove il corso d'acqua è canalizzato per il 38,5% di tutta la lunghezza.

In totale su 236,5 km analizzati, 107,75 km (45,6%) sono in 1ª classe di qualità e, anche considerando accettabili i 48 km (18,7%) in 1ª-2ª e 2ª classe, restano 81 km (34,2%) in condizioni qualitative scadenti. Mentre il recupero di quei tratti la cui qualità è degradata da inquinamenti puntiformi non dovrebbe rivelarsi particolarmente difficile, più impegnativo sarà riuscire a "restaurare" quei tratti soggetti a inquinamento diffuso.

Riuscire a capire ed a prevedere quale sarà l'impatto di una certa attività di uso del suolo non solo non è facile, ma è anche un lavoro lungo e tedioso. Per questo è utile usare alcuni "trucchi", alcune estrapolazioni, per riuscire a dare valutazioni numeriche per via indiretta a questo impatto. Ad esempio, se due bacini idrografici sono vicini, ricevono la stessa quantità di pioggia ed hanno le stesse caratteristiche geomorfologiche e di uso del suolo, è possibile, conoscendo le perdite di azoto -nelle tre forme

**Tab. 8 - Perdita media annua di "azoto" di alcuni bacini idrografici con simili caratteristiche di uso del suolo**

Bacini idrografici	F. Fine	T. Tora	T. Nugola	T. Tanna	T. Morra
Superficie (ha)	17.085	8.852	678	1.768	1.620
Perdite di N-NO <sub>3</sub> kg/anno	178.367	92.415	7.78	18.458	17.017
Perdite di N-organico kg/anno	84.912	43.994	3.370	8.787	8.101
Perdite di N-NH <sub>4</sub> kg/anno	4.100	2.124	163	424	391
Perdite totali di N kg/anno	267.380	138.533	10.611	27.669	25.509
Carico totale di N sul bacino	1.289.400	686.000	47.810	119.800	119.310
Percentuali di N perso nei corsi d'acqua	20,7%	20,2%	22,2%	23,0%	21,4%

organica, nitrica, ammoniacale- di un bacino idrografico, riuscire ad estrapolare le perdite di azoto nel bacino confinante.

Da CAPORALI (1980, 1985) e CAPORALI et al. (1981) sappiamo che il bacino del f. Era "perde" verso il corso d'acqua, soprattutto durante i mesi invernali e primaverili, le seguenti quantità di azoto: 10,44 kg N-NO<sub>3</sub>/ha · anno, 4,97 kg N-org./ha · anno e 0,24 kg N-NH<sub>4</sub>/ha · anno per un computo totale di 15 kg N/ha · anno. Dal momento che i bacini idrografici del f. Fine, del f. Tora e dei t. Nugola, Tanna e Morra hanno le stesse caratteristiche di uso del suolo (vedi tab. 2) e che ricevono la stessa quantità di pioggia del bacino del f. Era è facile calcolare le perdite di azoto dei nostri corsi d'acqua. La tab. 8 mostra che nel solo bacino del f. Fine vengono persi 267.380 kg N/anno per cui si comprende come il fiume sia particolarmente eutrofico. La classe di qualità registrata tra il 2° e 3° livello, in tutto il tratto intermedio del fiume, ha ora una spiegazione esaustiva.

Anche il bacino del f. Tora perde circa 138.533 kg N/anno provocando i più massivi processi eutrofici di tutti i corsi d'acqua della provincia. In questo torrente le continue e ripetute morie di pesci possono essere spiegate con l'abnorme consumo di ossigeno durante le ore notturne da parte delle alghe filamentose, appartenenti al genere *Cladophora*. L'eutrofizzazione delle acque del fiume provoca anche un grande sviluppo delle idrofite *Ranunculus* sp. e *Potamogeton* sp.

## CONCLUSIONI

Nel concludere questo lavoro ci sembra importante sottolineare che i due fattori che influiscono maggiormente sulla qualità biologica e chimica delle acque correnti della costa centrale toscana sono l'uso del suolo (principalmente le attività agricole) e le canalizzazioni. Gli inquinamenti puntiformi, anche se ancora presenti, hanno un impatto sicu-

mente inferiore rispetto ad alcuni anni fa, poichè alcuni di questi inquinanti sono stati eliminati (ad es. il boro dal f. Cecina) o sono parzialmente depurati dagli impianti di trattamento. In ogni caso gli inquinanti puntiformi sono destinati, nel prossimo futuro, ad avere un impatto sempre più marginale sulla qualità delle acque delle nostre zone.

Uno degli scopi principali di questa relazione era quello di dimostrare che è possibile minimizzare l'impatto delle attività agricole proteggendo e/o ispessendo le zone interfaccia tra il bacino idrografico e il corso d'acqua. Le zone "filtro" riparie sono le più importanti aree di protezione della qualità delle acque per l'assorbimento dei fertilizzanti azotati e fosforati dilavati dai terreni agricoli, prima che questi raggiungano i corsi d'acqua superficiali.

Mentre per le zone riparie costituite da pioppeti è ben noto il potere di assorbimento (89 kg N/ha · anno) non sono note le capacità di assorbimento delle nostre aree riparie costituite da comunità vegetali complesse che comprendono il fragmiteto (*Phragmites australis* e *Arundo donax*) il salice bianco (*Salix alba*), il pioppo bianco (*Populus alba*), il pioppo tremulo (*Populus tremula*), il pioppo nero (*Populus nigra*), il salicone (*Salix capraea*) oltre a varie specie di ontani (*Alnus* sp.). Al fine di valutare le capacità di assorbimento dell'azoto e del fosforo delle nostre aree riparie sarà necessario, nel prossimo futuro, effettuare alcune ricerche preliminari per riuscire a quantificare le capacità di "filtrazione" di questi ambienti.

E' meno noto, invece, che anche le canalizzazioni hanno un ruolo importante nella semplificazione e nella degradazione degli ecosistemi fluviali. L'uso di opere ingegneristiche "hard", come il taglio dei meandri, le risagomature e le arginature artificiali hanno accresciuto l'uniformità dell'ambiente, che riesce a sostenere una comunità animale e vegetale estremamente semplificata e instabile. Anche in questo caso, però, abbiamo visto che esisto-

no tecniche bioingegneristiche (aggradation, aree di riposo, pozze e raschi, ecc.) che permettono di ricostruire o restaurare, nel canale fluviale, ambienti differenziati e complessi che possono dare maggiore stabilità agli ecosistemi fluviali.

C'è, infine, anche un aspetto economico rilevante da considerare quando dobbiamo gestire un fiume verde o un fiume canalizzato. Studi effettuati in Olanda hanno dimostrato che la manutenzione di un fiume verde costa 735 lire/m<sup>2</sup> mentre il costo di manutenzione di un fiume canalizzato è di lire 1860/m<sup>2</sup>. Un fiume canalizzato ha un costo, quindi, di 2,5 volte più alto di un fiume verde.

Il mappaggio biologico ha permesso di evidenziare che la qualità biologica di alcuni reticoli idrografici è talmente pregiata da meritare il loro inserimento tra i parchi fluviali. Questi bacini rappresentano, in un quadro di corretta gestione e programmazione del territorio, riserve di flora e fauna che potranno ricolonizzare le aste principali dei fiumi e dei torrenti ri-

sanati. In sostanza la diversificazione di questi ambienti naturali tenderà a ricreare un profondo intreccio di anelli di feed-back tali da dare maggiore stabilità ai sistemi biologici.

L'esposizione, necessariamente sintetica, della qualità biologica dei nostri corsi d'acqua ci permette di evidenziare l'opportunità di interventi articolati e differenziati. Mentre le condizioni dell'alta valle del t. Morra, del bacino del t. Chioma, del t. Pavone e del t. Redigaffi, vista l'ottima qualità delle acque, consentono strategie di tipo conservativo, i tratti terminali del Rio Ardenza, del f. Cecina e del f. Tora necessitano di interventi di risanamento per il controllo degli inquinanti puntiformi. Un'attenzione particolare deve essere riposta alle escavazioni effettuate, sia in passato che in tempi recenti, sia sull'alveo del fiume che nelle zone alluvionali. Queste escavazioni hanno portato profonde alterazioni sia nel canale fluviale che nelle zone riparie. Questi ambienti necessitano, pertanto, di vere e proprie operazioni di ecologia del ripristino.

## BIBLIOGRAFIA

BONHAM A.J., 1980. Bank protection using emergent plants against boat wash in rivers and canals.

*Wallingford Hydraulics Research Station, Report II*, 206.

BROOKES A., GREGORY K.A., DAWSON F.H., 1983. An assessment of river channelization in England and Wales.

*The Science of the Total Environment*, 27: 97-112.

BROOKES A., 1984. Recommendations bearing on the sinuosity of Danish stream channels.

*National Agency of Environmental Protection, Freshwater Laboratory, Silkeborg, Denmark.*

BROOKES A., 1985. River channelization: traditional engineering methods, physical consequences and alternative practices.

*Progress in Physical Geography*, 9(a): 44-73.

CAPORALI F., 1980. Relazione tra uso del territorio e contenuto di azoto nelle acque superficiali di bacini agricoli e forestali della Toscana.

*Atti del 1° Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia*. Salsomaggiore Terme (Parma): 21-24 ottobre 1980.

CAPORALI F., 1985. Gli effetti della gestione agroforestale del territorio nel flusso di acqua e di elementi minerali.

*S.I.T.E. Atti vol. 5*: 127-130.

CAPORALI F., NANNIPIERI P., PEDRAZZINI F., 1981. Nitrogen contents of stream draining and agricultural and forested watershed in central Italy.

*J. of Env. Quality*, 10 (1): 72-76.

DAWSON F.H., KERN-HANSEN V., 1979. The Effect of Natural and Artificial Shade on the Microphytes of Lowland Streams and the use of Shade as a Management Technique.

*Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 64 (4): 437-455.

KELLER E.A., 1976. Channelization. Environmental, geomorphic and engineering aspects. In COATS D.R. (Ed.) 1976: *Geomorphology and Engineering*: 115-140.

LAWRENCE R., TODD R., FALL J. HENDRICKSON O., AMUNSEN L., 1984. Riparian Forests as Nutrients Filters in Agricultural Watersheds. *Bioscience*, 34 (6): 374-377.

OLIVIERI E., 1981. L'analisi statistica idrologica del bacino imbrifero del fiume Cecina.

*Inquinamento*, ott. 1981: 1-7.

PETERSEN R.C., MADSEN B.L., WILZBACH M.A., MAGADZA C., PAARLBERG A., KELLBERG A., CUMMINS K.W., 1987. Stream Management Emerging Global Similarities.

*AMBIO*, 16 (4): 166-179.

SEIBERT P., 1968. Importance of Natural Vegetation for the Protection of Banks, Streams, Rivers, Canals.

*Council of Europe, Nature and Environmental Series 2, Freshwater*: 35-67.

SWALES S., O'HARA K., 1980. Instream habitat improvement devices and their use in Freshwater Fisheries Management.

*J. of Env. Manag.*, 10: 167-169.

\*\*\*\*\*

