

Centro Italiano Studi di Biologia Ambientale
Corso teorico-pratico di formazione: La fauna ittica dei corsi d'acqua
(Parco del Ticino, Magenta, MI, 5-9 settembre 2005)



I pesci come indicatori di qualità ambientale:
indici biotici ed altri approcci

Lorenzo Tancioni e Michele Scardi
Università di Roma 'Tor Vergata' – Dipartimento di Biologia
Laboratorio di Ecologia Sperimentale ed Acquacoltura

Email: tancioni@uniroma2.it; mcardi@mclink.it
URL: <http://www.mare-net.com/mcardi>

- Negli ultimi decenni, tra i bioindicatori di nuova generazione, i pesci sono andati assumendo un crescente interesse per la valutazione della qualità ambientale in diversi ecosistemi acquatici continentali (fiumi, laghi, lagune costiere, estuari).
- L'esigenza di utilizzare i pesci per il monitoraggio ambientale, secondo procedure di classificazione e valutazione basate sempre più su un approccio ecosistemico, è stata evidenziata nelle legislazioni degli USA (già da oltre un ventennio), di altri Paesi industrializzati e soltanto recentemente in Europa, attraverso la WFD del 2000 (Karr and Chu, 1999; European Union, 2000; Kurtz *et al.*, 2001).

- In tutti i casi queste legislazioni sono focalizzate sulla esigenza di valutare lo stato d'integrità biotica o ecologico dei sistemi al fine di recuperarne o conservare la qualità, in relazione ad obiettivi prefissati, e fare esprimere le potenzialità multifunzionali degli ecosistemi (conservazione, estetica, produttiva, ecc.), nel quadro dello sviluppo sostenibile.

Integrità Biotica vs. Stato Ecologico

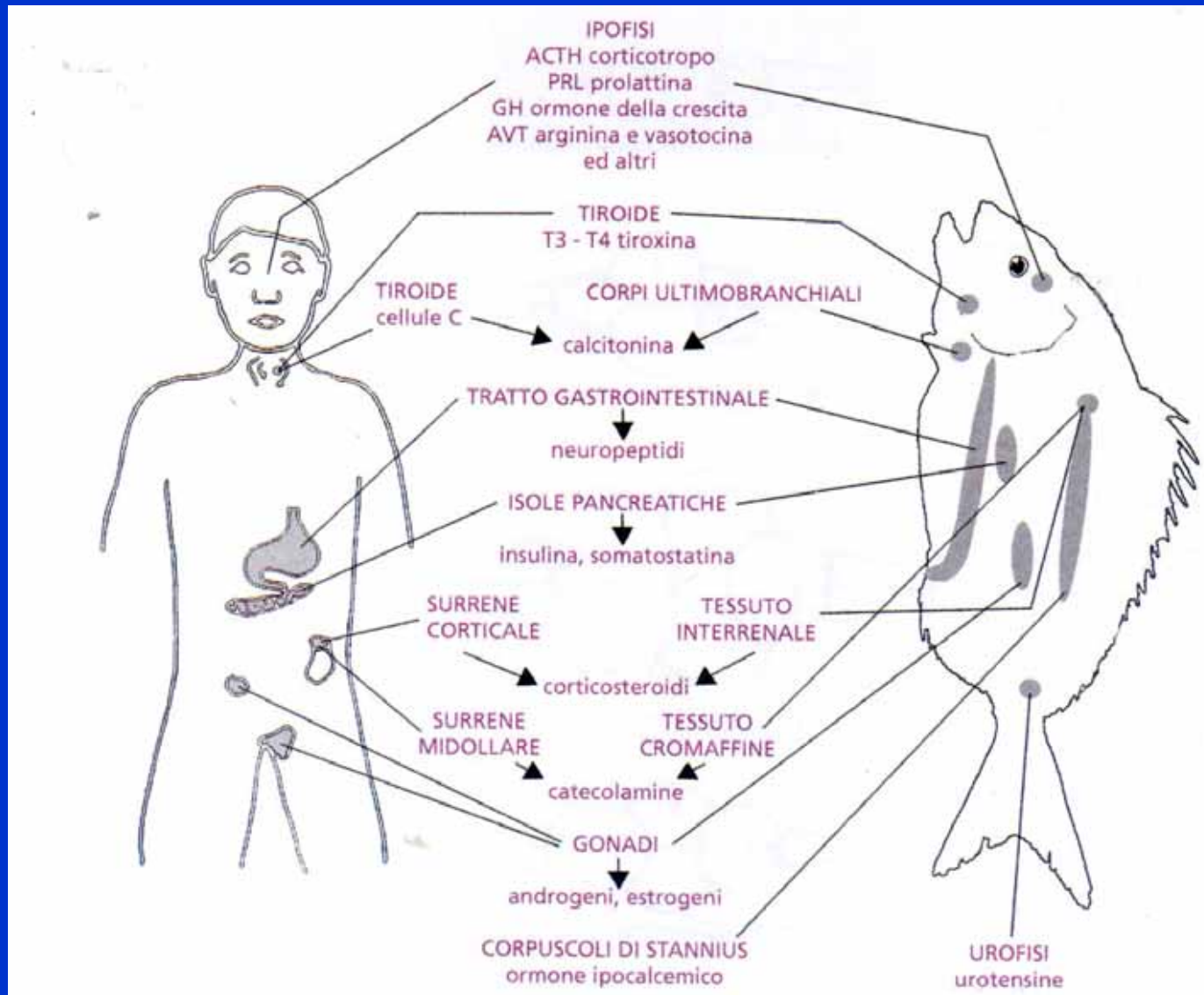
- **Integrità Biotica:** la capacità di sostenere e mantenere una comunità di organismi bilanciata, integrata, adattativa, con composizione in specie, diversità e organizzazione funzionale comparabile con quella degli ambienti naturali della regione (Karr & Dudley, 1981).
- **Stato Ecologico:** espressione della qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici, associati ai corpi d'acqua superficiali... (WFD - EU, 2000)

L'utilizzo dei pesci come indicatori negli ecosistemi acquatici è basato sull'assunto che le specie e le comunità ittiche sono indicatori sensibili, in grado di evidenziare cambiamenti ambientali.

Alcune caratteristiche ecologiche-evolutive ne rappresentano i punti di forza per il proprio utilizzo nelle valutazioni ambientali:

- Lunga storia evolutiva
- Ampio spettro adattativo
- Colonizzazione di tutti gli ambienti acquatici
- Tra i "pesci", i Teleostei rappresentano i più moderni abitanti dei sistemi acquatici continentali

I Teleostei presentano dinamiche biochimiche e cellulari da vertebrato (es. ampia gamma di biomarker)



VANTAGGI DELL'USO DEI PESCI QUALE TAXON INDICATORE (1)

- I pesci (così come altri vertebrati acquatici) sono indicatori efficaci della qualità ambientale e sono specificamente indicati come elementi di qualità ambientale nella WFD
- Sono organismi per i quali le conoscenze disponibili sono in genere più avanzate rispetto ad altri gruppi
- In molti casi si collocano al vertice o comunque ai livelli trofici più elevati, integrando così la risposta dell'intera rete trofica alle perturbazioni ambientali
- I pesci hanno cicli vitali lunghi e si spostano entro un'area più o meno vasta (a seconda della specie), ma sempre integrando risposte biotiche su scale spazio-temporali più estese di quelle di altri organismi acquatici utilizzati nei monitoraggi ambientali (es. diatomee e macroinvertebrati bentonici).

VANTAGGI DELL'USO DEI PESCI QUALE TAXON INDICATORE (2)

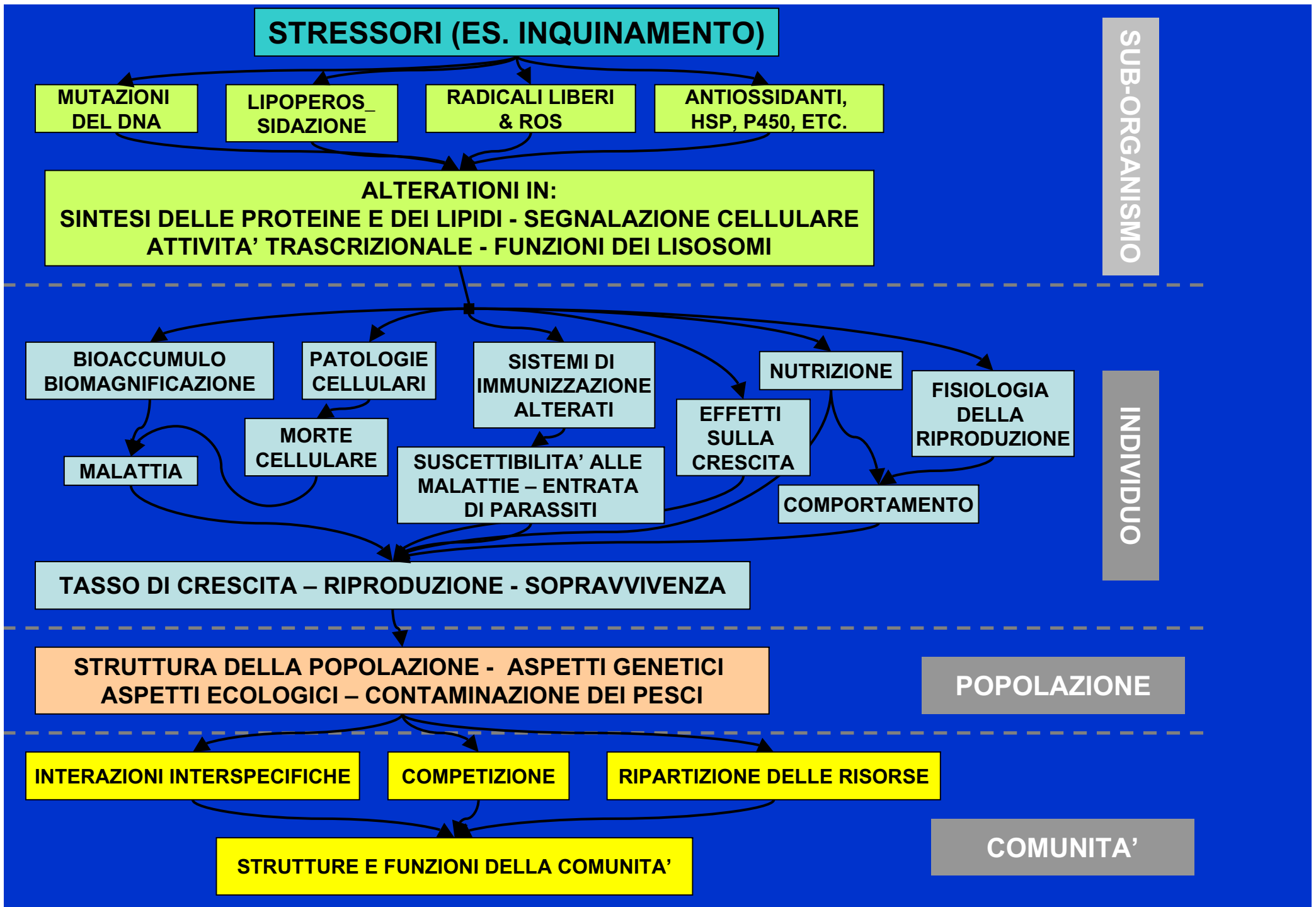
- La sistematica dei pesci è più semplice di quella di altri gruppi
- Molte specie ittiche possono essere mantenute in cattività in impianti di acquacoltura dove è possibile produrre un gran numero di uova embrionate, larve e giovanili utilizzabili per test ecotossicologici
- E' possibile prelevarne sangue in maniera non distruttiva (es. prelievo dal cuore), sia in campo che in laboratorio, consentendo più prelievi nel tempo dallo stesso esemplare
- I pesci ricoprono un grande interesse sociale ed economico, con molte specie e popolazioni ittiche (stock ittici) oggetto di pesca ed utilizzate in acquacoltura
- I pesci sono indicatori il cui ruolo ed il cui valore (anche simbolico) è ben chiaro anche (e forse ancor di più) ad un pubblico non tecnico.

I PESCI NEGLI STUDI DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

I pesci sono utili bioindicatori e possono rappresentare un sistema di allarme precoce di danni ambientali, utilizzabile anche per la valutazione dei potenziali rischi per la salute umana perché, ad esempio:

- integrano gli effetti di un'ampia varietà di stress ambientali, con risposte a diversi livelli dell'organizzazione biologica (biomolecolare vs. comunità);
- evidenziano relazioni tra le risposte individuali di organismi esposti ad inquinanti o altri stressori e gli effetti a livello di popolazioni e comunità;

- Può essere quindi necessaria l'esecuzione di misure multiple dello stato di salute degli organismi per identificare e separare gli effetti di stressori (es. termici, fisici, chimici) di origine antropica da quelli naturali (www.esd.ornl.gov).
- Diverse risposte, a diversi livelli dell'organizzazione biologica, possono essere utilizzate come "indicatori" di stress:
 - risposte a livello sub-cellulare (es. alterazioni ormonali);
 - risposte a livello cellulare e dei tessuti (es. cambiamenti metabolici, alterazioni cellulari, disturbi osmoregolazione, immunodepressione);
 - risposte a livello di organismo (es. mortalità, cambiamenti nelle performance di crescita, diminuzione resistenza alle malattie, incremento anomalie)



STRESSORI (ES. INQUINAMENTO)

SUB-ORGANISMO

- MUTAZIONI DEL DNA
- LIOPEROSIDAZIONE
- RADICALI LIBERI & ROS
- ANTIOSSIDANTI, HSP, P450, ETC.

ALTERAZIONI IN:
SINTESI DELLE PROTEINE E DEI LIPIDI - SEGNALAZIONE CELLULARE
ATTIVITA' TRASCRIZIONALE - FUNZIONI DEI LISOSOMI

INDIVIDUO

- BIOACCUMULO BIOMAGNIFICAZIONE
- PATOLOGIE CELLULARI
- SISTEMI DI IMMUNIZZAZIONE ALTERATI
- NUTRIZIONE
- FISIOLOGIA DELLA RIPRODUZIONE
- MALATTIA
- MORTE CELLULARE
- SUSCETTIBILITA' ALLE MALATTIE - ENTRATA DI PARASSITI
- EFFETTI SULLA CRESCITA
- COMPORAMENTO

TASSO DI CRESCITA - RIPRODUZIONE - SOPRAVVIVENZA

POPOLAZIONE

STRUTTURA DELLA POPOLAZIONE - ASPETTI GENETICI
ASPETTI ECOLOGICI - CONTAMINAZIONE DEI PESCI

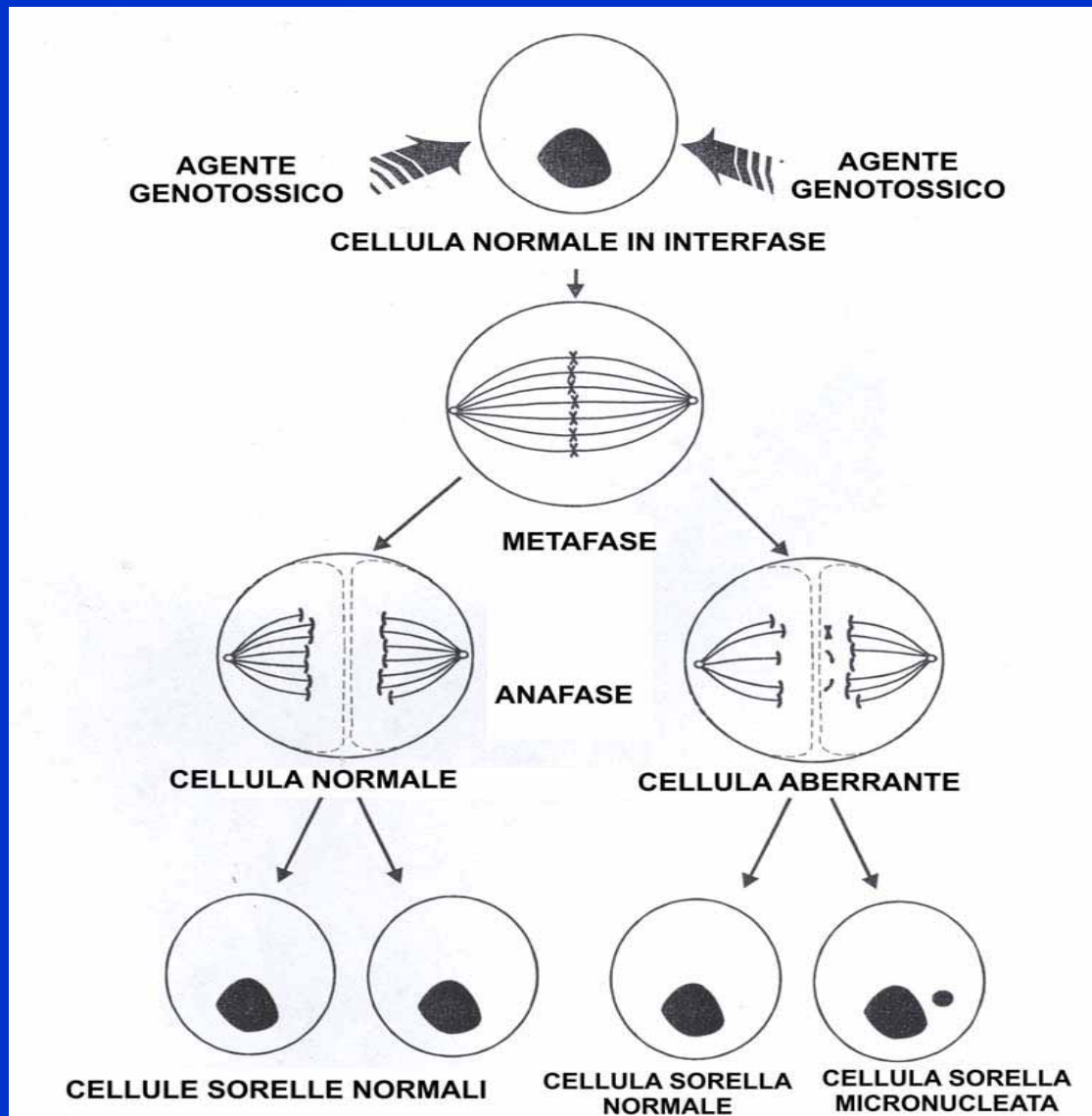
COMUNITA'

- INTERAZIONI INTERSPECIFICHE
- COMPETIZIONE
- RIPARTIZIONE DELLE RISORSE

STRUTTURE E FUNZIONI DELLA COMUNITA'

Livelli	Fauna ittica “indisturbata”	Fauna ittica “disturbata”
Molecolare/ Cellulare	<p>Normale livelli ormonali (corticosteroidi e catecolamine). Normale funzionamento neurotrasmettitori</p> <p>Normale funzionamento cellulare, lisosomi stabili, integrità genetica</p>	<p>Incremento degli ormoni corticosteroidi e delle catecolamine (indicatori dello “stress”) Danni genetici con effetti sull’assetto cromosomico (es. aumento frequenza micronuclei).</p> <p>Incremento attività di detossificazione</p>
Individuale	<p>Assenza anomalie (deformità, pinne danneggiate, lesioni cutanee, tumori), normale comportamento, normale accrescimento</p>	<p>Aumento frequenza anomalie scheletriche, esemplari con pinne danneggiate ed altre lesioni esterne, tumori, alterazione del comportamento e dell’accrescimento</p>
Popolazione	<p>Popolazioni “autosostenute”, adeguato reclutamento larvale, normale struttura demografica, distribuzione spaziale prevedibile</p>	<p>Alterazione reclutamento, basso numero di giovanili e sub-adulti, struttura demografica alterata, distribuzione spaziale alterata</p>
Comunità	<p>Elevata diversità, molti raggruppamenti funzionali presenti (trofici, riproduttivi, tolleranza, ecc.), interazioni biotiche complesse, cicli stagionali attesi</p>	<p>Bassa diversità, assenza o variazione dei rapporti tra gruppi (es. diminuzione specie invertivore ed intolleranti), riduzione interazioni biotiche, alterazione cicli stagionali</p>

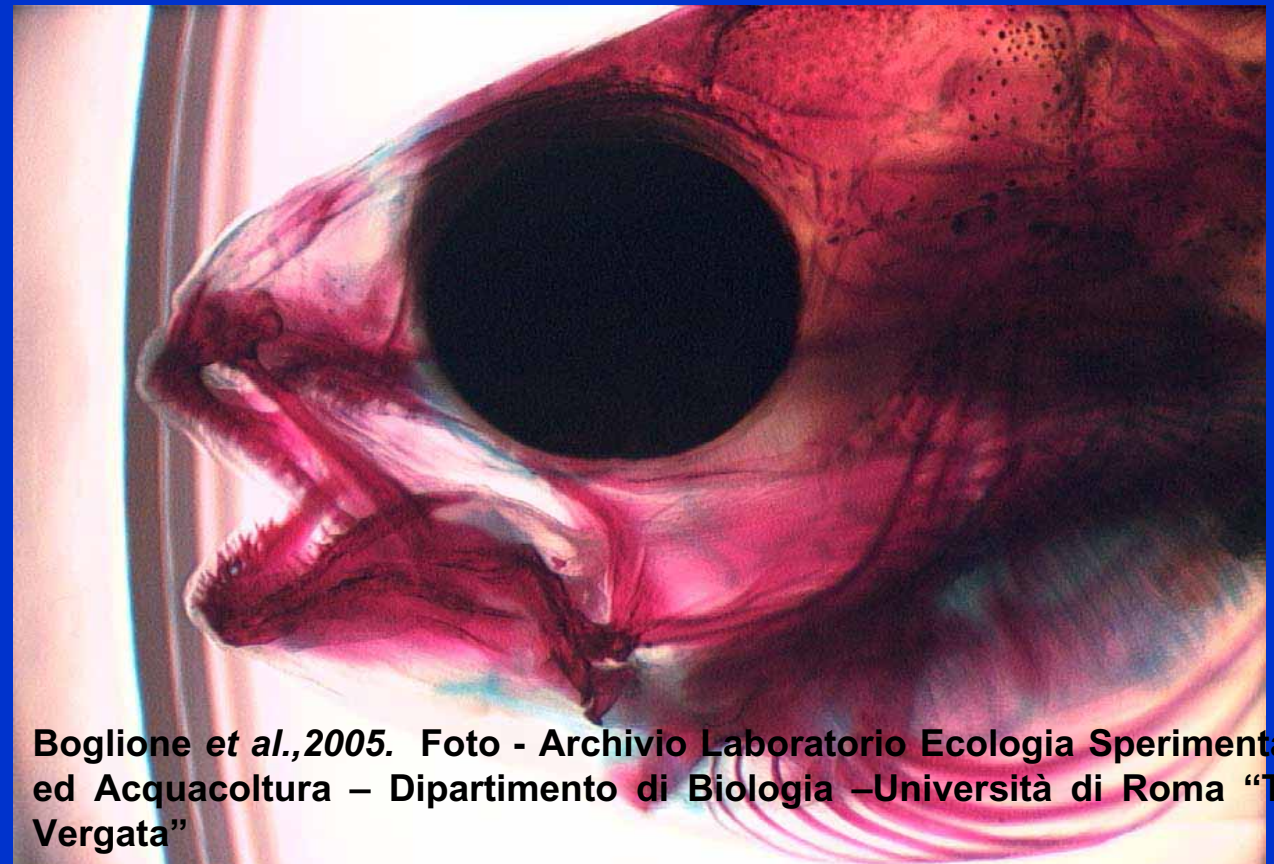
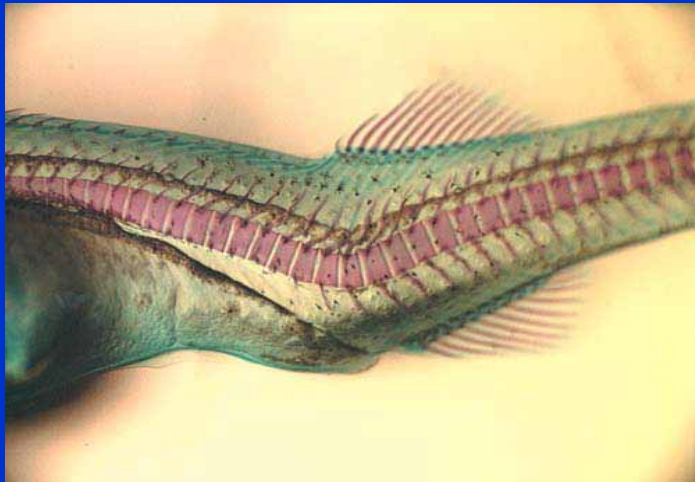
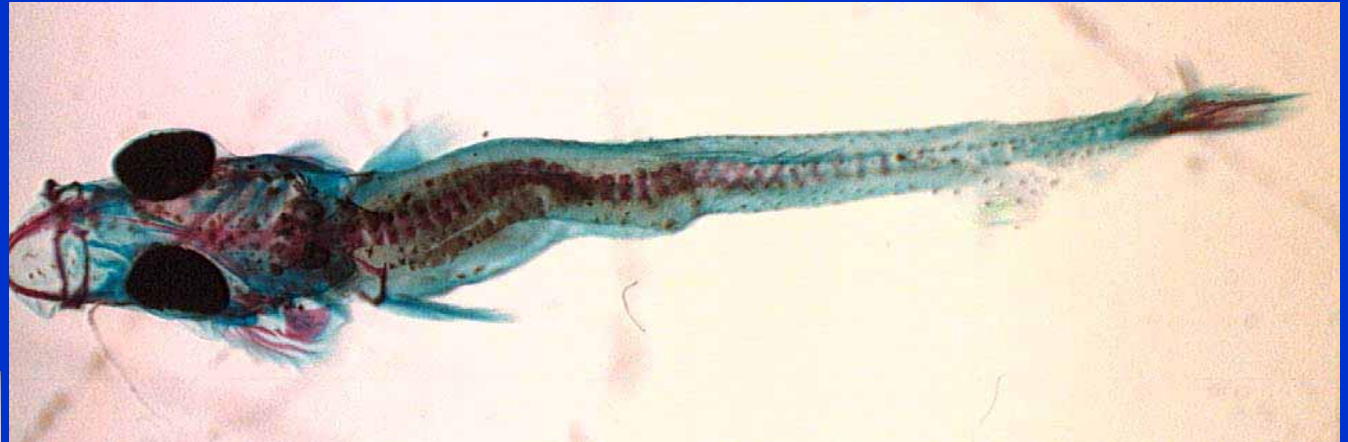
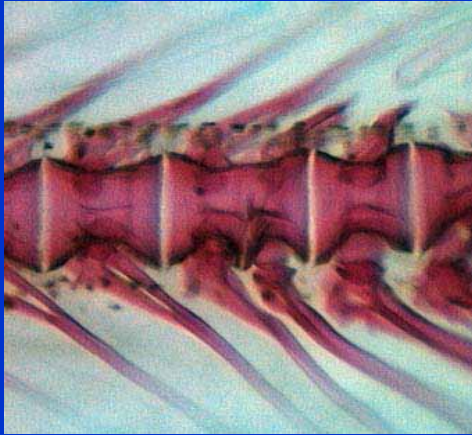
Rappresentazione schematica del processo di formazione dei micronuclei in cellule dopo una replica cellulare a seguito di danni al DNA



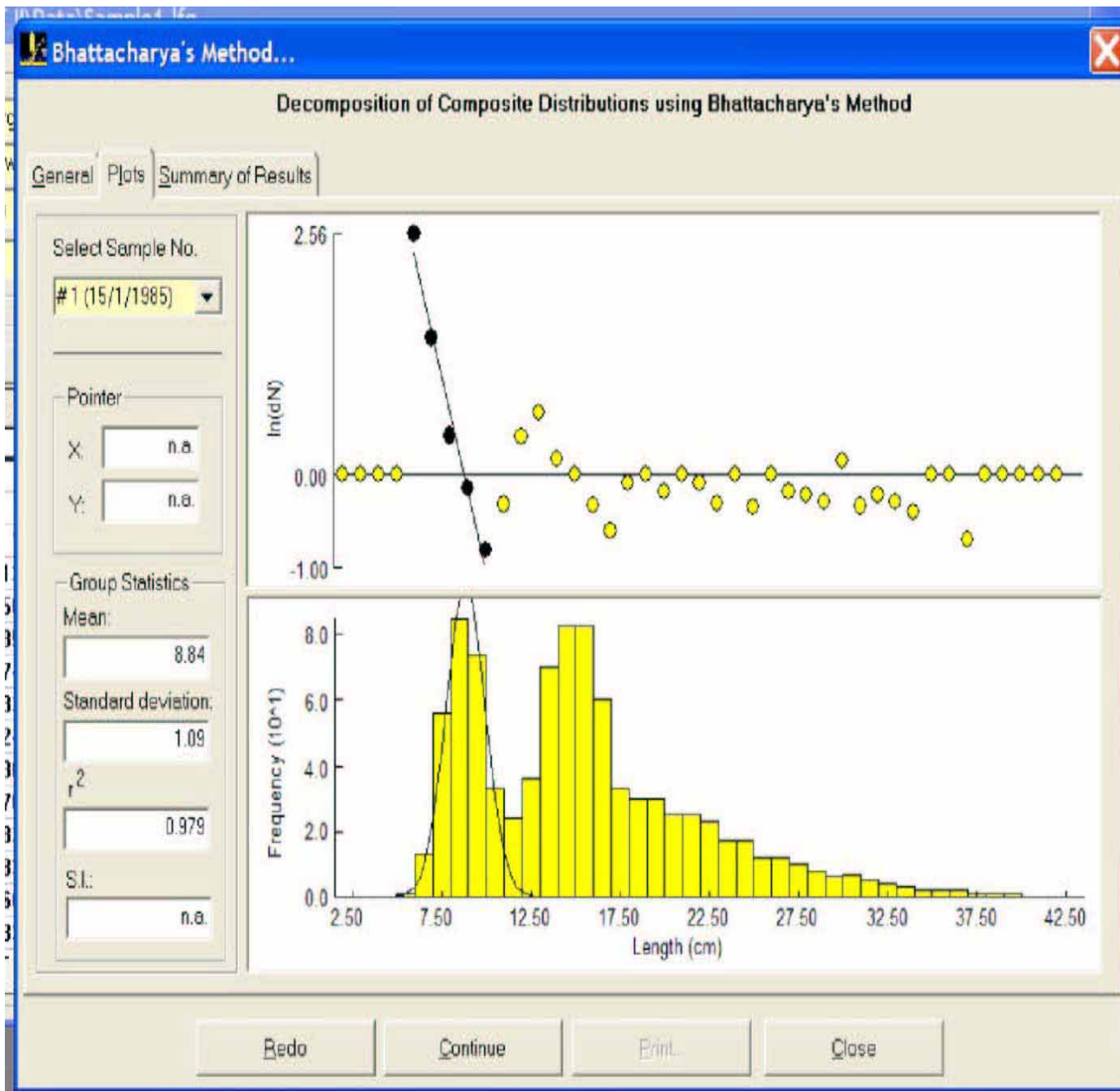
Risposte misurabili sul campo con prelievo di sangue su pesci (per facilità tecniche)

- glicemia
- emoglobina
- ematocrito
- leucocrito
- proteine del plasma
- cloro del plasma

Esempi di anomalie gravi su larve di *P. fluviatilis*



Boglione *et al.*, 2005. Foto - Archivio Laboratorio Ecologia Sperimentale ed Acquacoltura – Dipartimento di Biologia –Università di Roma “Tor Vergata”



Software FISAT 2 (FAO) - Nelle foto esemplari di barbo e rovello

Esempio di classificazione delle specie del popolamento ittico del basso Tevere (inclusi i Ciclostomi – lamprede) in "gruppi ecologici funzionali"

NOME COMUNE	Origine nel bacino (1)	Habitat alimentare (2)	Tipo di alimentazione (3)	Riproduzione (4)
Lampreda di fiume	D		Pa	L
Lampreda di mare	D		Pa	L
Anguilla	M	B	Iv	
Alosa	D	CA	O	L
Abramide	I	B	O	FTL
Alborella	N	CA	O	FTL
Barbo	I	B	O	L
Barbo comune	I	B	O	L
Barbo tiberino	N	B	O	L
Carassio dorato	I	B	O	FTL
Carassio	I	B	O	FTL
Carpa	I	B	O	Fitof
Cavedano	N	CA	O	L
Pseudorasbora	I	CA/B	Iv	FTL
Rovella	N	B/CA	O	FTL
Rutilo	I	CA	O	FTL
Scardola	N	B/CA	O	Fitof
Tinca	N	B	O	Fitof
Pesce gatto amer.	I	B	Iv	L
Pesce gatto punt.	I	B	Iv	L
Siluro	I	B	P	FTL
Gambusia	I	CA	Iv	O
Persico reale	I	CA	P	Fitof
Sandra	I	B	P	FTL
Acerina	I	B	O	FTL
Persico sole	I	CA	Iv	L
Persico trota	I	CA	P	FTL
Cefalo	M	CA	D	
Cefalo calamita	M	CA	D	
Spigola	M	CA	P	
Cagnetta	N	B	Iv	L

LEGENDA: (1) D= diadromi; I= introdotti; N= nativi o indigeni; M= marini. (2) B= bentonici; CA= colonna d'acqua. (3) D= detritiv.; Iv= invertiv.; O= onniv.; P= pisciv. (4) Fitof= fitofili; FTL= fitolitofili; L= litofili; O= ovoviv

Variazioni attese di alcune metriche alle perturbazioni (considerate nell'ambito del progetto FAME)

METRICS	CALCULATION	ALTERNATIVES	TREND
DIVERSITY			
Species richness	Total number of species	minus exotic	↗ (↘)
Diversity index	Shannon, Simpson...	minus exotic	↗ (↘)
NATIVE/EXOT			
	Number of species		
	Number of individual or biomass (CPUE)		
	% of Total number of species		
	relative abundance (% total number of individuals, biomass)		
HABITAT PREFERENCE			
Benthic	Number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	Number of individual or biomass (CPUE)	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	% of Total number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	relative abundance (% total number of individuals)	minus exotic AND OR Tolerant	↘
Rheophilic	Number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	Number of individual or biomass (CPUE)	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	% of Total number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	relative abundance (% total number of individuals)	minus exotic AND OR Tolerant	↘
SPAWN HABITAT			
Lithophilic	Number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	Number of individual or biomass (CPUE)		↘
	% of Total number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	relative abundance (% total number of individuals)	minus exotic AND OR Tolerant	↘

METRICS	CALCULATION	ALTERNATIVES	TREND
TROPHIC GUILD			
Omnivorous	Number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↗
	Number of individual or biomass (CPUE)	minus exotic AND OR Tolerant	↗
	% of Total number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↗
	relative abundance (% total number of individuals, biomass)	minus exotic AND OR Tolerant	↗
Invertivorous	Number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	Number of individual or biomass (CPUE)	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	% of Total number of species	minus exotic AND OR Tolerant	↘
	relative abundance (% total number of individuals, biomass)	minus exotic AND OR Tolerant	↘
TOLERANCE			
Tolerant	Number of species	minus exotic	↗
	Number of individual or biomass (CPUE)	minus exotic	↗
	% of Total number of species	minus exotic	↗
	relative abundance (% total number of individuals, biomass)	minus exotic	↗
Intolerant	Number of species	minus exotic	↘
	Number of individual or biomass (CPUE)	minus exotic	↘
	relative species richness (% of total species richness)	minus exotic	↘
	relative abundance (% total number of individuals, biomass)	minus exotic	↘
Abundance			
CPUE	Number or biomass per 100 m ²		↘
	Number or biomass per sampling duration		↘
Age - length structure	PRESENCE of several Trout OR Pike length classes (2 or 3 categories)		Absence
	PRESENCE of several Intolerant AND Dominant species length classes (2 or 3)	minus exotic	Absence
	PRESENCE of several Dominant species length classes (2 or 3)	minus exotic AND Tolerant	Absence
MIGRATION			
Long-distance species	presence	site, reach, basin scale??	Absence
	number of species	site, reach, basin scale??	↘
	% of species	site, reach, basin scale??	↘

VALUTAZIONI BIOLOGICHE CON MATRICI DI DIVERSI INDICATORI

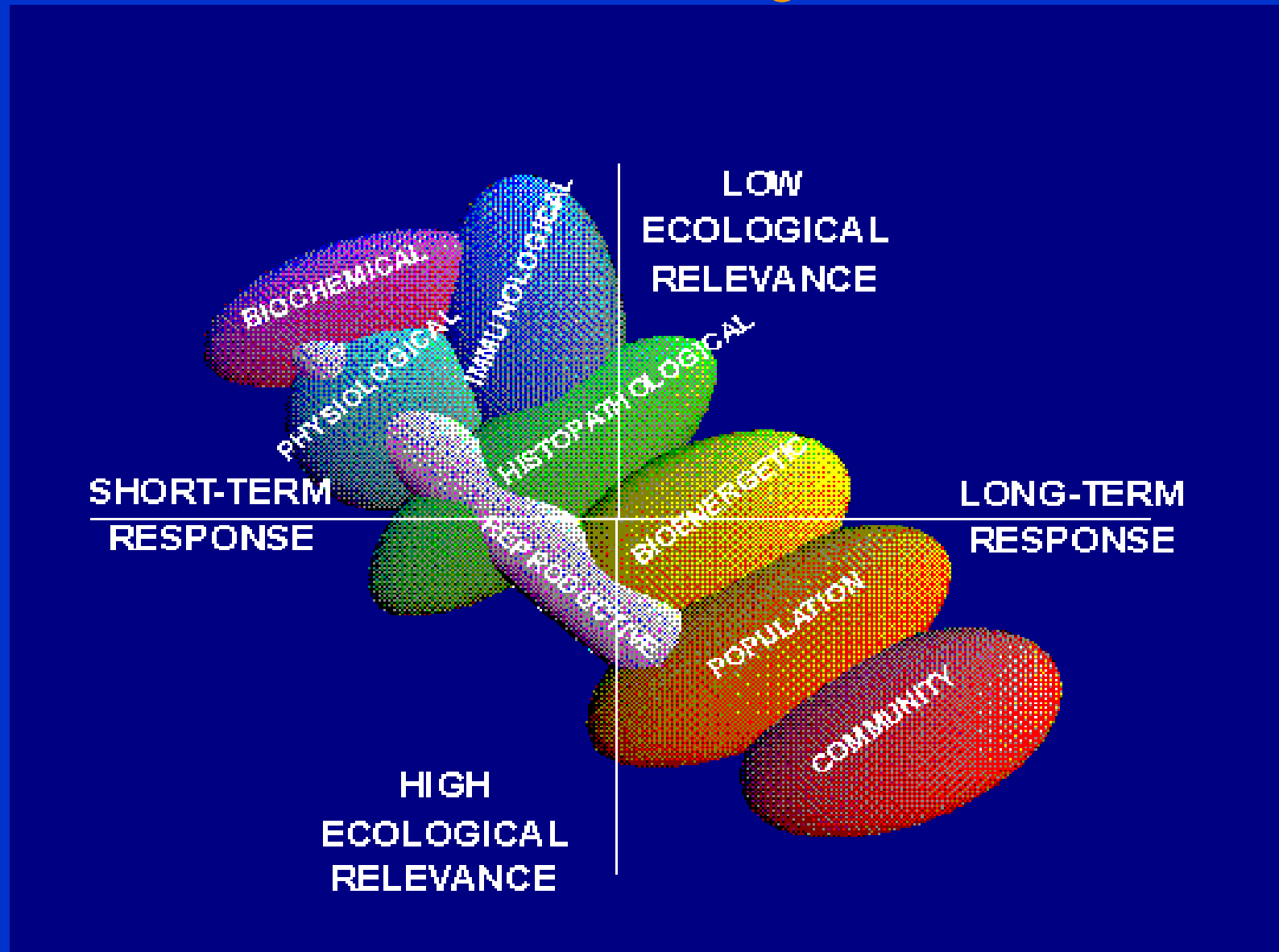
SEGMENTO	USO DESIGNATO	INDICATORI DI STRESS					INDICATORI DI ESPOSIZIONE						INDICATORI DI RISPOSTA			
	STATO ATTUALE	ECCEDENZE CONSENTITE	PERDITE/EMISSIONI	MORIE	TOSSICITA'	MODIFICAZIONI DELL'HABITAT	COLONNA D'ACQUA (CHIMICA)	COLONNA D'ACQUA (PAHs)	SEDIMENTO (METALLI)	SEDIMENTI (PAHs)	SEDIMENTO PCBs	HABITAT (QHEI)	FBI	Mlwb	ICI	BRS
<i>Dicks Creek & N. Branch - MWH Use Designation</i>																
Dts. Moraine Materials (RM 5.2)	[NON]	—	0	—	—	—	15/8 [0>max.]	—	MOLTO ELEVATO (As, Cr)	0 PAH det.	0 PCB det.	—	—	NA	VP*	
N. Branch Ust. AK 004 (RM 1.0)	NON	—	0	—	—	—	5/4 [0>max.]	0 PAH	ELEVATO (AS,Cr)	—	0 PCB det.	—	45	NA	8*	ENRICHMENT
N. Branch Dst. AK 004 (RM 0.1)	NON	26	1	0	SI	Recovering Channel	13/7 [0>max.]	0 PAH	Non/Slight	0 PAH det.	0 PCB det.	52.5	48	NA	VP*	TOSSICO
Dst. N. Branch & AK 004 (RM 5.0/4.7)	NON	—	—	—	—	—	12/6 [0>max.]	0 PAH	ELEVATO (AS,Cr)	0 PAH det.	0 PCB det.	—	43	NA	6*	
Dst. Shakers Cr. (RM 4.4/4.1)	NON	—	—	—	—	Recovering Channel	—	—	—	—	—	58.5	41	9.7	P*	TOSSICO
Dst. AK 015 (RM 3.9)	[NON]	1	1	—	NO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8*	TOSSICO
Dst. AK 003 (RM 3.0/3.7)	NON	8	5	—	YES/NO	—	—	—	ESTREMO (Cr)	—	0 PCB det.	—	—	—	12*	TOSSICO
Dst. AK 002 (RM 2.8)	[NON]	5	2	0	NO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12*	TOSSICO
Dst. Landfill Trib. (RM 2.6)	NON	0	0	0	—	—	—	—	ALTO (Cr)	—	ESTREMO	52.0	—	—	8*	TOSSICO
<i>Dicks Creek - WWH Use Designation</i>																
Amanda Elem. (RM 2.4/1.7)	NON	—	0	0	—	Recovering Channel	—	—	—	—	—	62.5	28/12*	4.3*/2.1*	16*	TOXIC
Ust. Mouth (RM 0.4/0.2)	NON	—	—	—	—	Natural Channel	8/7 [0>max.]	1 PAH (1 of 3 det.)	HIGHLY (Cd)	9 PAH det. [8>LEL]	EXTREME	72.5	30*/12*	6.9*/1.5*	20*	ENRICHMENT

Fonte: Yoder and DeShon, 2003. Using Biological Response Signatures within a Framework of Multiple Indicators to Assess and Diagnose Causes and Sources of Impairments to Aquatic Assemblages in Selected Ohio Rivers and Streams. In: (T.P. Simon) Biological Response Signatures – Indicator Patterns Using Aquatic Communities. CRC Press, 23-81.

Indicatori potenziali delle condizioni biologiche a diversi livelli di organizzazione

CATEGORIA BIOLOGICA	ELEMENTO (LIVELLO)	PROCESSO	INDICATORE
TASSONOMICO	SPECIE	RANGE DI ESPANSIONE O DI CONTRAZIONE ESTINZIONE EVOLUZIONE	RANGE DIMENSIONALE NUMERO DI POPOLAZIONI DIMENSIONI DELLE POPOLAZIONI MECCANISMO DI ISOLAMENTO
GENETICO	GENE	MUTAZIONE RICOMBINAZIONE SELEZIONE	NUMERO DI ALLELI GRADO DI LINKAGE DEPRESSIONE DA IMBREEDING O OUTBREEDING
ECOLOGICO	INDIVIDUO	SALUTE	DEFORMITA' TAGLIA INDIVIDUALE E INDICE DI CONDIZIONE TASSI DI CRESCITA
	POPOLAZIONE	CAMBIAMENTI NELLA ABBONDANZA COLONIZZAZIONE O ESTINZIONE EVOLUZIONE MIGRAZIONE	ETA' O TAGLIA DELLA STRUTTURA COMPORTEMENTO DI DISPERSIONE PRESENZA DI TAXA PARTICOLARI (ES. INTOLLERANTI) FLUSSO GENICO
	POPOLAMENTO	ESCLUSIONE COMPETITIVA PREDAZIONE O PARASSITISMO FLUSSO DI ENERGIA CICLO DEI NUTRIENTI	NUMERO DI SPECIE DOMINANZA NUMERO DI LEGAMI TROFICI LUNGHEZZA DEL FLUSSO PER UNA SINGOLA MOLECOLA DI CARBONIO PER IL PASSAGGIO COMPLETO LA CATENA TROFICA (LUNGHEZZA SPIRALIZZATA)
	PAESAGGIO	DISTURBO SUCCESIONE FORMAZIONE DEL SUOLO DINAMICHE DI METAPOPOLAZIONE	FRAMMENTAZIONE PERCENTUALE DI AREA DISTURBATA NUMERO DI COMUNITA' SORGENTI E BACINI NUMERO E CARATTERISTICHE DELLE METAPOPOLAZIONI

Esempi di indicatori a diversi livelli di complessità biologica e attinenza ecologica



Condizione di riferimento per le valutazioni

Indipendentemente dal livello dell'organizzazione biologica, la valutazione dello stato ecologico di un ecosistema acquatico basata sui pesci quale "taxon bioindicatore" (lo stesso vale per altri organismi) è possibile se, ad esempio, è ben definita una metrica o l'insieme di più metriche appropriate per misurare la deviazione di condizioni osservate da quelle attese (condizioni di riferimento).

La "condizione di riferimento" rappresenta uno stato caratterizzato dall'assenza o dalla minima presenza di alterazioni umane di tutti gli elementi di qualità inclusi nel monitoraggio

Per una valutazione dello stato ecologico basata sulla fauna ittica la *Water Framework Directive* 2000/60 suggerisce di rilevare alcuni attributi delle popolazioni e delle comunità ittiche:

1. Composizione in specie
2. Abbondanza
3. Specie sensibili
4. Struttura demografica popolazioni
5. Riproduzione

Per tale classificazione e' prevista:

- l'analisi della composizione e dell'abbondanza delle specie delle comunità;**
- la verifica della presenza delle specie più sensibili attese per una specifica situazione ambientale;**
- l'analisi della struttura demografica delle popolazioni che compongono le comunità ittiche per verificare l'eventuale compromissione della riproduzione, del reclutamento o dello sviluppo di una particolare specie.**

Schema della procedura di valutazione dello Stato Ecologico (Proposta del progetto FAME)



1. Classificazione delle tipologie attraverso variabili abiotiche (verificate con il biota)
2. Definizione delle condizioni di riferimento per specifiche tipologie (assenza o presenza di minimi disturbi antropici)
3. Campionamento nei siti di monitoraggio
4. Valutazione della deviazione della condizione ambientale dei siti di campionamento da quella della condizione di riferimento
5. Assegnazione della qualità di stato sulla base delle deviazioni

Elevato	
Buono	Green
Moderato	Yellow
Scadente	Orange
Cattivo	Red

Quali metodi basati sui popolamenti ittici possiamo utilizzare per monitorare i sistemi acquatici?

Per tradizione gli indici biotici:

Indici di diversità (es. Shannon), indice di ricchezza in specie, indice di benessere, ecc.

Indici basati su una “gerarchia di condizioni” (valutazione di ciò che si osserva contro un riferimento teorico) (es. IBE per macroinvertebrati e ISECI per pesci, proposto da Zerunian)

- **Indici multimetrici, basati su più metriche, con valutazioni basate sempre sul confronto tra ciò che si osserva ed un riferimento teorico, ma con base statistica precedente (es. IBI – Karr, 1981)**
- **Metodi basati sulla previsione delle condizioni (composizioni del popolamento, ecc.) con modelli (es. RIVPACS-II e parzialmente lo *European Fish Index - EFI*)**

UN MINI-GLOSSARIO PER GLI INDICI BIOTICI

Attributo, variabile, descrittore: una qualsiasi componente misurabile di un sistema biotico.

Metrica: un attributo che mostra di variare quantitativamente in risposta ad un gradiente di disturbo antropico.

Indice Multimetrico: un numero che integra più metriche biotiche per esprimere una stima della qualità ambientale di un sito, es. Indice di Integrità Biotica (IBI).

Extended Biotic Index (Ghetti, 1997)

tolerance to pollution

E.B.I calculation criteria (in order of priority)		Number of observed taxa								
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-
Plecoptera (<i>Leuctra</i> ¹)	more than one taxon	-	-	8	9	10	11	12	13	14*
	only one taxon	-	-	7	8	9	10	11	12	13*
Ephemeroptera (without Baetidae and Caenida ²)	more than one taxon	-	-	7	8	9	10	11	12	-
	only one taxon	-	-	6	7	8	9	10	11	-
Trichoptera (with Baetidae and Caenidae ²)	more than one taxon	-	5	6	7	8	9	10	11	-
	only one taxon	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Gammaridea (and Palaemonidae)		-	4	5	6	7	8	9	10	-
Asellida		-	3	4	5	6	7	8	9	-
Oligochaeta		1	2	3	4	5	-	-	-	-

1 If *Leuctra* is the only Plecoptera taxon and no other Ephemeroptera are present except Baetidae and/or Caenidae, then *Leuctra* is added to the number of Trichoptera taxa

2 Baetidae and Caenidae are always to be added to Trichoptera

Che cosa è l'IBI?

Il principio dell'IBI (Karr, 1981) è basato sull'assunto che le comunità ittiche rispondono, mutando le proprie caratteristiche strutturali e funzionali, ai disturbi antropici dei sistemi acquatici in maniera prevedibile e quantificabile.

L'IBI (Karr, 1981) utilizza diverse componenti delle comunità ittiche (in realtà diversi livelli dell'organizzazione biologica, da quello individuale a quello di ecosistema), ad es.: composizione tassonomica, livelli trofici, abbondanza, salute dei pesci.

Ciascuna componente è quantificata da metriche (es. proporzione di esemplari che presentano deformità, erosione pinne, lesioni, tumori) (“DELT anomalies”) (Karr *et al.*, 1986).

La metrica che rappresenta un attributo o variabile misurabile cambia in valore lungo un gradiente d'influenza antropica, aumentando (es. n. specie tolleranti, n. specie onnivore) o diminuendo (n. specie sensibili, n. specie insettivore) in relazione all'intensità delle pressioni antropiche.

Table 1. Index of biotic integrity metrics as originally developed (modified from Karr and others, 1986).

Category	Metric
Species richness and composition	1. Total number of fish species
	2. Number and identity of darter species
	3. Number and identity of sunfish species
	4. Number and identity of sucker species
	5. Number and identity of intolerant species
Trophic composition	6. Proportion of individuals as green sunfish (tolerant species)
	7. Proportion of individuals as omnivores
	8. Proportion of individuals as insectivorous cyprinids (minnows)
	9. Proportion of individuals as top carnivores
Fish abundance and condition	10. Number of individuals in sample
	11. Proportion of individuals as hybrids
	12. Proportion of individuals with disease, tumors, fin damage, or skeletal anomalies

IL CALCOLO DELL'IBI

- Si assegna un punteggio di 1, 3 o 5 per ogni metrica (1 se si è al livello più basso)
- I punteggi vengono sommati fra loro

Assumendo 12 metriche:

Classe di qualità	
Eccellente	53 - 60
Buona	45 - 52
Media	36 - 44
Scarsa	23 - 35
Molto scarsa	12 - 23

CATEGORIE DI METRICHE COMUNI ALLA MAGGIOR PARTE DEGLI IBI

- Composizione in specie e diversità
- Gruppi trofici
- Abbondanza
- Riproduzione e condizione

Ma le metriche impiegate per ogni categoria variano ampiamente anche su base regionale!

NORD-AMERICA VS. EUROPA

- Meno della metà delle metriche sono utilizzate in entrambi i continenti, ma fra le rimanenti esistono molte affinità.
- Le metriche europee sono più eterogenee: es. considerano anche gli aspetti riproduttivi e demografici.
- Ciò è la conseguenza della minore ricchezza specifica del vecchio continente.

CRITERI DI SELEZIONE DELLE METRICHE

- In totale, sono state utilizzate circa 100 differenti metriche nei diversi IBI.
- Alcune sono comuni a tutte o quasi le implementazioni:
 - Numero di specie
 - Proporzione di onnivori
 - Alterazioni o malattie
- Altre variano su base regionale o di bacino.

CRITERI DI SCELTA DELLE METRICHE

- Rilevanza ecologica
- Rilevanza statistica (es. In base ad analisi multivariate)
- Riferimenti in letteratura (metriche mutuuate da altri Autori)
- Pareri esperti (es. descrittori efficaci su scala locale)
- Sensibilità a perturbazioni specifiche

IBI NORD-AMERICA (1)

CATEGORY	METRICS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SPECIES COMPOSITION												
	Number of species	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Number of native species					■			■			
	% expected number of total species										■	
	Number of darter and sculpin species					■						■
	Species richness and composition of Darters	■	■	■	■			■		■		
	Species richness and composition of Sunfish	■	■		■			■		■	■	■
	Number of water-column species								■			
	Species richness and composition of Suckers	■	■		■			■		■		
	Number of Sucker or catfish species					■						
	Number of shiner species											■
	Number of centrachid species						■		■			
	Number of cyprinid species						■					
	% expected number of native minnow species										■	
	% expected number of madtom and darter species										■	
	% native minnows										■	
	% samples as <i>Rhinichthys</i> spp.					■						
	Presence / Absence of brook trout					■						
	Number of Sunfish or trout species					■						
Tolerance/Intoler.	Presence of intolerant species	■	■	■	■				■	■		■
	% tolerant species individuals						■		■	■		■
	% individuals as green sunfish		■	■	■							

IBI NORD-AMERICA (2)

CATEGORY	METRICS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TROPHIC COMPOSITION												
	Proportion of omnivores	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Proportion of individuals as pioneering species											■
	Proportion of insectivorous Cyprinids	■	■	■	■			■		■		
	Proportion of insectivores						■				■	■
	% piscivore biomass					■		■	■	■		
	% generalist biomass								■			
	% specialist biomass								■			
	Proportion of top carnivores	■	■		■							
	% expected number of piscivorous species										■	
ABUNDANCE												
productivity	Biomass of natives (kg.)								■			
	Number of native individuals								■			
	Number of individuals in sample	■	■	■	■			■			■	
	Catch per Unit Effort											
CONDITION and REPRODUCTION												
Health	Proportion with disease, tumors, anomalies, etc.	■	■	■	■	■	■			■	■	■
	Proportion of hybrid individuals	■	■		■					■		
	Exotic species individuals (%)									■		
Ecological niche	% individuals as simple lithophilic species (%)											■
Migrating	Migrating species value						■					

IBI EUROPA (1)

CATEGORY	METRICS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SPECIFIC SPECIES										
	Number of species	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Number of native species				■		■			
	% benthic species individuals	■	■		■					
	Number of benthic (specialist) species					■		■		
	Number of water-column species	■								
	Sentinel species ratio				■					
	% roach	■								
	% individuals as eel and roach (tolerant species)		■							
	Indicator species			■						
	% rheophilic species									■
	Rheophilic species richness (minus highly tolerant)								■	
	Number of lithophilous species					■			■	
	% lithophilic species (minus exotic and tolerant)									■
	Type species					■				
	Mean typical species value					■		■		
Tolerance/Intoler.	Presence of intolerant species	■			■					
	% tolerant species individuals								■	■
	% intolerant species									■
	% tolerant species									■
	% individuals as sculpin (intolerant species)		■							
	% intolerant individuals				■	■				■
	Occurrence of acid sensitive fish and stages						■			

IBI EUROPA (2)

CATEGORY	METRICS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TROPHIC COMPOSITION										
	Predator			■						
	Proportion of predatory fish (%)			■						
	Euryphagous species			■						
	Proportion of euryphagous fish (%)			■						
	Proportion of ind of bentophagous fish species (%)			■						
	Proportion of omnivores	■	■		■				■	
	% piscivore biomass	■								
	% individuals invertivores							■	■	■
	% individuals as omnivores		■			■				■
	Proportion of top carnivores	■								
	% omnivorous species					■				
	% individuals as piscivore and piscivore-invertivore				■					
	% invertivorous species					■				
	% piscivorous species					■				
	Weight ratio piscivores / non-piscivores					■				
ABUNDANCE										
Productivity	Fish abundance (ind/ha)			■					■	
	Fish biomass (kg/ha)			■	■	■		■		
	Biomass of natives (kg)		■				■			
	Catch per Unit Effort	■	■				■			
	Total number of fish caught per 100m ²									■
	Total biomass of fish caught per 100m ²									■

IBI EUROPA (3)

CATEGORY	METRICS	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Age structure	Year classes in species dominant & intolerant				■					
	Brown trout year classes		■							
	Trout or pike year classes	■								
	value for length classes					■		■		
CONDITION and REPRODUCTION										
Health →	Proportion with diseases, tumors, anomalies, etc.	■	■	■						
	Proportion of hybrid individuals			■						
	% of alien / invasive species				■					
	Shannon-Weaver index (species out of place)				■	■		■		
Reproductive guild	% individuals as gravel spawners	■								
	% specialized spawners				■			■		
	% non-specialised spawners				■	■				
	Reproduction of salmonid species native to habitat						■			
	Natural recruitment (%)					■				
Migration	Migrating species value					■		■		

Nord-America: + categorie tassonomiche

Number of species
Number of native species
% expected number of total species
Number of darter and sculpin species
Species richness and composition of Darters
Species richness and composition of Sunfish
Number of water-column species
Species richness and composition of Suckers
Number of Sucker or catfish species
Number of shiner species
Number of centrachid species
Number of cyprinid species
% expected number of native minnow species
% expected number of madtom and darter species
% native minnows
% samples as <i>Rhinichthys</i> spp.
Presence / Absence of brook trout
Number of Sunfish or trout species
Presence of intolerant species
% tolerant species individuals
% individuals as green sunfish

Europa: + categorie funzionali

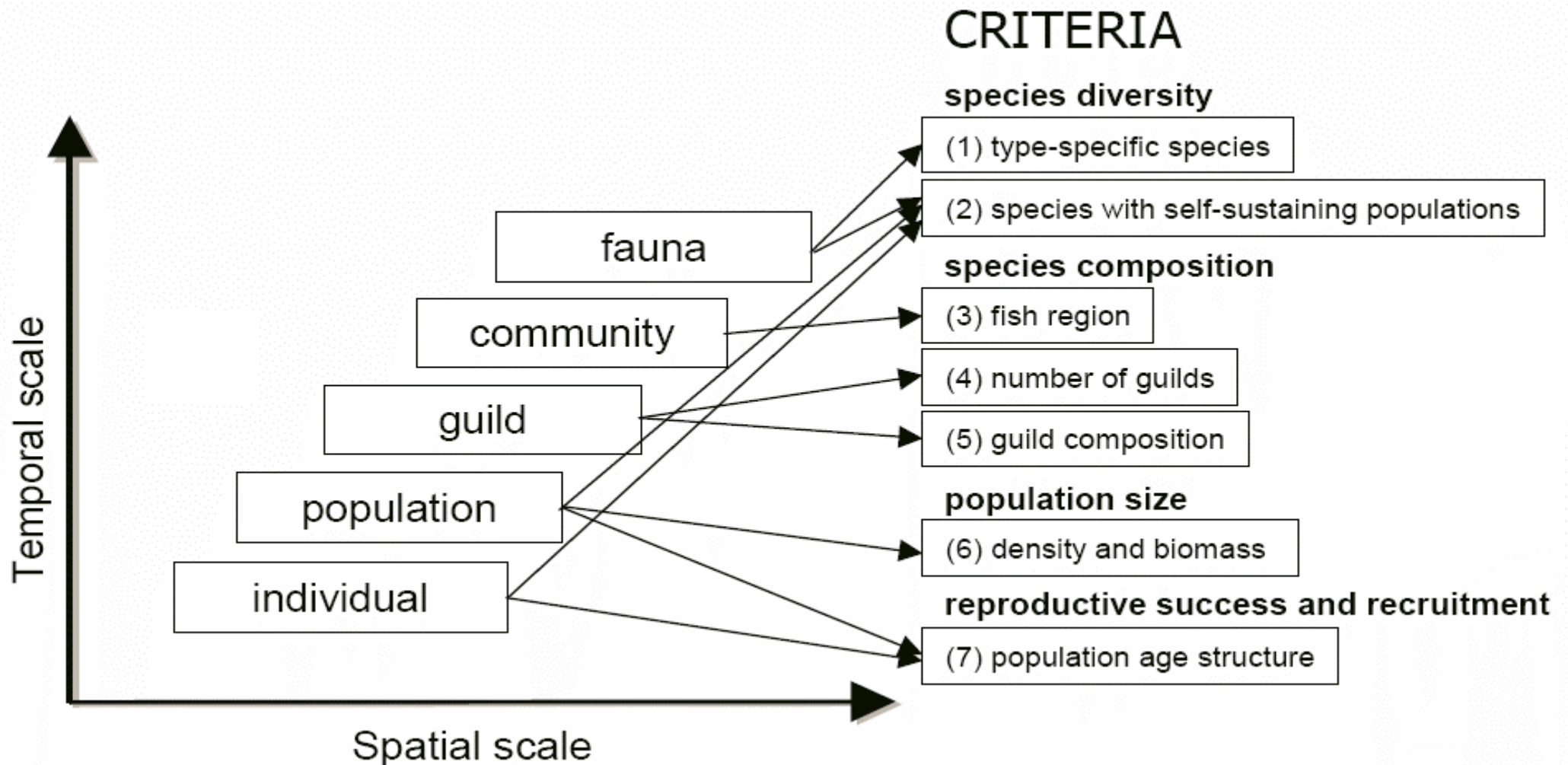
Number of species
Number of native species
% benthic species individuals
Number of benthic (specialist) species
Number of water-column species
Sentinel species ratio
% roach
% individuals as eel and roach (tolerant species)
Indicator species
% rheophilic species
Rheophilic species richness (minus highly tolerant)
Number of lithophilous species
% lithophilic species (minus exotic and tolerant)
Type species
Mean typical species value
Presence of intolerant species
% tolerant species individuals
% intolerant species
% tolerant species
% individuals as sculpin (intolerant species)
% intolerant individuals
Occurrence of acid sensitive fish and stages

BREVE RASSEGNA DEI METODI DI BIOMONITORAGGIO BASATI SULLA FAUNA ITTICA IN EUROPA

Fonte: Kestemont & Gouffaux, 2002. Work package 3 – Reviewing and classifying metrics and sampling procedure
Progetto FAME (<http://fame.boku.ac.at>)

MuLFA – a fish-based, river-type-specific assessment of ecological integrity in Austria

Melcher A. & Schmutz S.



Criteria	Ecological integrity levels				
	1 high	2 good	3 fair	4 poor	5 bad
(1) Type-specific species	none or nearly none missing	some species missing	several species missing	many species missing	most species missing
(2) Self-sustaining species	none or some missing	several species missing	many species missing	most species missing	nearly all species missing
(3) Fish region	no shift	no shift	shift	shift	shift
(4) Number of guilds	no guild missing	no guild missing	single guilds missing	many guilds missing	most guilds missing
(5) Guild composition	no alteration	slight alteration	substantial alteration	complete alteration	complete alteration
(6) Biomass and density	no or nearly no changes	slight changes	substantial changes	heavy changes	extremely changed
(7) Population age structure	no or nearly no changes	slight changes	substantial changes	heavy changes	extremely changed

IBIP – a fish-based index developed for assessment of lotic ecosystem in Wallonia (Belgium)

Kestemont P., Didier J., Depiereux E. & Micha J.C.

Metrics	Scoring criteria				
	5	4	3	2	1
Species richness and composition					
1. Number of native species					
2. Number of benthic species					
3. Value of intolerant species ¹					
4. % of intolerant individuals ¹					
5. Shannon-Weaver diversity index (H') ²	<0.05	-	0.05-0.1	-	>0.1
6. Presence of fry, juveniles and adults ³	a	b, c	d	e, f	g
7. Bullhead/bullhead+loach ratio	>0.8	0.6-0.8	0.4-0.6	0.2-0.4	<0.2
Trophic composition					
8. % of individuals as omnivores	<5	-	5-10	-	>10
9. % of individuals as piscivores and piscivores-invertivores	>20	-	10-20	-	<10
Fish health and abundance					
10. Estimated biomass (kg ha ⁻¹) ⁴					
Reproductive function					
11. % of ind. as specialised spawners	>67	-	33-67	-	<33
12. % of ind. as non specialised spawners	<5	-	5-10	-	>10

1. To water quality degradation, 2. for non-resident species and individuals, 3. for the dominant intolerant species, 4. Captured biomass when based on one passage only.

Metrics	Factor loadings	
	Axis 1	Axis 2
1. Number of native species	-0.141	0.870*
2. Number of benthic species	-0.026	0.943*
3. Value of intolerant species	0.525	0.628
4. % of intolerant individuals	0.906*	-0.090
5. Shannon-Weaver diversity index (H')	0.435	0.130
6. Presence of fry, juveniles and adults	0.809*	0.131
7. % of individuals as omnivores	0.166	-0.131
8. % of ind. as piscivores and piscivores-invertivores	0.624	-0.248
9. Estimated biomass (kg ha ⁻¹)	0.120	0.376
10. Bullhead/bullhead+loach ratio	0.756*	0.053
11. % of ind. as specialised spawners	0.773*	0.061
12. % of ind. as non specialised spawners	0.120	-0.134
Explained variance	3.576	2.328
Proportion	0.298	0.194

* factor loadings > 0.7

Categories Metrics	Scoring criteria				
	5	4	3	2	1
Indicators of species richness					
1. Number of native species					varies with stream size
2. Number of benthic species					varies with stream size
Indicators of water quality					
3. % intolerant individuals					varies with stream size
4. Bullhead/bullhead+loach ratio	> 0.8	0.6-0.8	0.4-0.6	0.2-0.4	< 0.2
Indicators of physical habitat quality					
5. % individuals as specialised spawners	> 67	-	33-67	-	< 33
6. Presence of fry, juveniles and adults	a	b, c	d	e, f	g

IBI METHODS USED IN FLANDERS (BELGIUM)

J. Breine & C. Belpaire

(slope >3‰ and river width < 4.5 m)

Metrics	Metric score		
	1	3	5
Species richness and composition			
Total number of species			
Slope class 1 (<4‰)	<4	4-7	>8
Slope class 2 (4-5‰)	<3	3-5	>6
Slope classes 3, 4 & 5 (>5‰)	1	2-4	>5
Typical species value			
Slope class 1	<1.44	1.44-2.88	>2.88
Slope class 2	<1.49	1.49-2.97	>2.97
Slope class 3 (>5-8‰)	<1.57	1.57-3.13	>3.13
Slope class 4 (>8-12.5‰)	<1.69	1.69-3.37	>3.37
Slope class 5 (>12.5‰)	<1.85	1.85-3.69	>3.69
Shannon-Weaver diversity index evenness	<0.53	0.53-0.68	>0.68
Migrating species value	<2	2-4	>4
Fish condition and abundance			
Biomass (kg/ha)			
Slope class 1	<130	130.1-250	>250
Slope class 2	<80	80.1-150	>150
Slope class 3	<46	46.1-100	>100
Slope classes 4 & 5	<30	30.1-60	>60
Length classes value	<2	2-3.99	4-5
Trophic composition and habitat use			
% invertivorous individuals	<26	26-45	>45
Number of benthic species	1	2-3	>3
% specialised spawners			
Slope class 1	<8	8-15.9	>16
Slope class 2	<10	10-20.9	>21
Slope class 3	<12	12-30.9	>31
Slope class 4	<24	24-47.9	>48
Slope class 5	<35	35-69.9	>70

(lakes, ponds and canals)

Metric	Type S1				
	5	4	3	2	1
Total number of species	>15	15-12	11-8	7-3	<3
Mean tolerance value	≥2.4	2.39-2	1.99-1.6	1.59-1.2	<1.2
Type species*	≥4.5	4.49-3.5	3.49-2.5	2.49-1.5	<1.5
<i>% Rutilus rutilus</i>	<i>10-25</i>	<i>25.1-35</i>	<i>35.1-45</i>	<i>45.1-55</i>	<i>>55</i>
		<i>9.9-7.5</i>	<i>7.4-5</i>	<i>2.5-4.9</i>	<i><2.5</i>
<i>% Scardinius erythrophthalmus</i>	<i>≥10</i>	<i>9.9-5</i>	<i>4.9-2</i>	<i>1.9-1</i>	<i><1</i>
<i>% Abramis brama</i>	<i>0.1-10</i>	<i>10.1-20</i>	<i>20.1-30</i>	<i>30.1-40</i>	<i>>40</i>
					<i>0</i>
Pike recruitment and biomass (kg/ha)**	≥20 (+ recr.)	10-19.9 (+ recr.)	<10 (+ recr.)	≥20 (- recr.)	<20 (- recr.)
Tench recruitment and biomass (kg/ha)**	≥15 (+ recr.)	10-14.9 (+ recr.)	<10 (+ recr.)	≥15 (- recr.)	<15 (- recr.)
Total biomass (kg/ha)	100-349	350-499	500-649	650-799	≥800
		75-99	50-74	25-49	<25
Weight % of non-native species	<1	1-3.99	4-6.99	7-9.99	≥10
Weight ratio piscivores/non-piscivores	0.2-0.14	0.139-0.1	0.09-0.067	0.066-0.05	<0.05
		0.201-0.25	0.251-0.33	0.331-0.5	>0.5

* score is obtained by taking the mean of the species scores in italics

** : + recr. and - recr. stand for the presence and absence of natural recruitment.

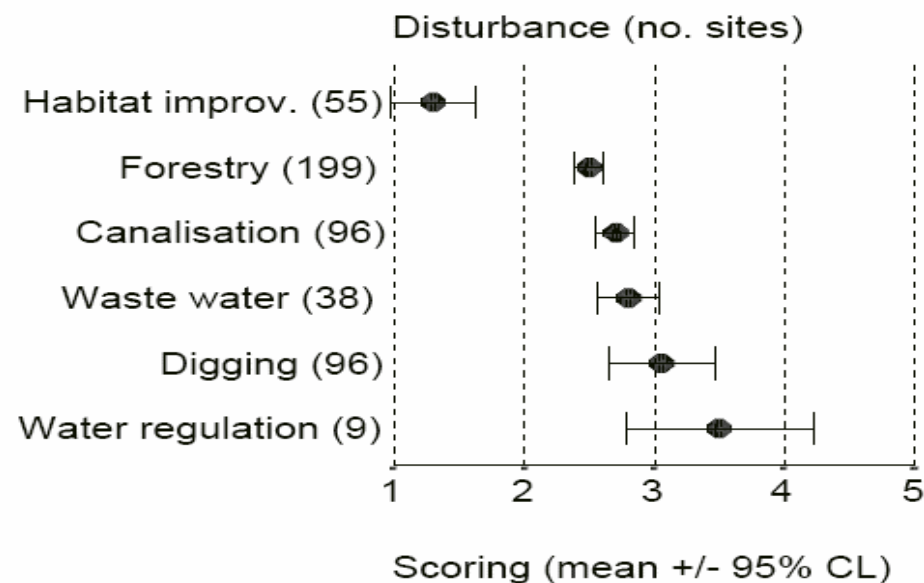
USING FISH TO ASSESS ENVIRONMENTAL DISTURBANCE OF SWEDISH LAKES AND STREAMS

M. Appelberg, B. C. Bergquist & E. Degerman

Habitat	Category	Metric description
L&S	Structure	Number of fish species native to the habitat
L	Structure	Species evenness (Shannon-Wieners H' /number of native species)
L&S	Structure	Catch per unit effort in weight of fish species native to the habitat
L&S	Structure	Catch per unit effort in numbers of fish species native to the habitat
L	Guild	Proportion biomass of cyprinid species in relation to total biomass
L	Guild	Proportion biomass of piscivorous percid species in relation to total biomass
S	Function	Proportion biomass of salmonid species in relation to total biomass
S	Function	Reproduction of salmonid species native to the habitat
L&S	Env. disturb.	Occurrence of acid sensitive fish species and stages
L	Env. disturb.	Proport. biomass species tolerant to oxygen deficit in relation to total biomass
L&S	Env. disturb.	Proportion biomass of non-native fish species in relation to total biomass

Table 3c.5.2. Final scoring criteria for the index, based on the mean values of the 9 metrics in lakes and the 7 metrics in streams, respectively. Final index adjusted to the distribution of the final index values for all fish communities included in the two databases in such way that 50% will fall into class 1, 25% in class 2, 15% in class 3 and 5 % in classes 4 and 5, respectively.

Final scoring	Criteria description	Mean score of all metrics	
		Lakes	Streams
1	No or minor deviation from reference	<2.0	<2.8
2	Small deviation from reference	2.0-2.7	2.8-3.3
3	Evident deviation from reference	2.7-3.4	3.3-4.5
4	Large deviation from reference	3.4-4.0	4.5-4.9
5	Very large deviation from reference	≥ 4.0	≥ 4.9



AN IBI DEVELOPED TO ASSESS ECOLOGICAL INTEGRITY IN ENGLISH LOWLAND RIVERS

K. Rahman, R. A. A. Noble & I. G. Cowx

Category	Metric	Expected trend in fish community structure with degradation
Species richness	1. Total number of native fish species	Declining
	2. Proportion of individuals as non-natives	Increasing*
	3. Number of intolerant species	Declining
	4. % of individuals as tolerant species	Increasing
Habitat composition	5. Number of water-column species	Declining
	6. Number of benthic species	Declining
	7. % of individuals as rheophilic species	Declining
	8. % of individuals preferring vegetated areas	Declining
	9. Proportion of individuals as gravel spawners	Declining
Trophic composition	10. Percentage of individuals as omnivores	Increasing
	11. Percentage of individuals as invertivores	Declining
	12. Percentage of individuals as piscivores	Declining
Fish abundance and biomass	13. Number individuals of long-lived species (No 100 m ⁻²)	Declining
	14. Number of individuals in sample (No 100 m ⁻²)	Declining
	15. Total biomass (g m ⁻²)	Declining

Metric description	Score				
	5	4	3	2	1
1. Total number of native species (Reference no.18)	14 - 18 (80-100%)	11-13 (60-79)	7 - 10 (40-59)	4 - 6 (20-39)	1 - 3 (1-19)
2. Proportion of individuals as non-natives (Max. expected no.=10)	≤2 (≤11-16)	3 - 4 (17-22)	5 - 6 (28-33)	7 - 9 (39-50)	≥10 (≥56%)
3. Number of intolerant species (5)	5	4	3	2	1
4. % of individuals as tolerant species (13)	≤11-16	17-21	22-38	39-71	≥72%
5. Number of water - column species (10)	10	8-9	6-7	4-5	1-3
6. Number of benthic species (8)	≥8	6 -7	5	3-4	1-2
7. % of individuals as rheophilic species (Rheophilic = 6)	33	28-32	22-27	11-21	≤6-10%
8. % of individuals preferring vegetated areas (Limnophilic = 12)	67	56-66	39-55	28-38	≤11-27%
9. Proportion of individuals as gravel spawner (9)	50	39-49	28-38	22-27	≤11-21%
10. % of individuals as omnivores (O = 9)	≤11-21	22-27	28-38	39-49	≥50%
11. % of individuals as invertivores (I = 5)	28	22-27	17-21	11-16	≤6-10%
12. % of individuals as piscivores (P = 4)	22	17-21	11-16	6-10	≤5%
13. Number of individuals of long-lived species (chub and common bream) (No 100 m²) (≥ 25)	≥25	20-24	15-19	10-14	1-9
14. Number of individuals in sample (No 100 m ²) (≥ 200 fish)	≥200	100-199	50-99	20-49	1-19
15. Total biomass (B = 35 g m²)	≥35	28-34	17-27	6-16	≤5

INDICI DERIVATI DALL'IBI IN PAESI DELL'EST EUROPEO:

- Romania: PMIs Preliminary Multimetric Indices (Angermeier and Davideanu, 2004).
- Lituania: IBI modificato, include anche la biomassa (Kesminas & Virbickas, 2000).

Indici proposti per l'Italia

Negli ultimi 15 anni sono stati proposti alcuni indici biotici sia multimetrici, di derivazione IBI, che non:

Lodi, E. & Badino, G., 1991. Classificazione delle acque fluviali (zona di Cipriniformi) mediante l'Indice Ittico

Maio, G., Rigatti Luchini, S., Castaman, D., Moretta, A., Salviati, S., Marconato, E., 1996. Prima applicazione ed adeguamento dell'Index of Biotic Integrity (IBI) in provincia di Vicenza

La Porta, G., Lorenzoni, M., Carosi, A., Mearelli, M., 2001. Definizione di un indice di integrità biologica per il bacino del Fiume Tevere

Zerunian, S., 2004. Proposta di un indice dello stato ecologico delle comunità ittiche viventi nelle acque interne italiane

Forneris, G., Merati, F., Pascale, M., Perosino, G.C., (in stampa). Proposta di un indice ittico (I.I.) per il bacino occidentale del Po

CLASSIFICAZIONE DELLE ACQUE FLUVIALI (ZONA DI CIPRINIFORMI) MEDIANTE L'INDICE ITTICO

E. Lodi & G. Badino

E' un indice specificamente mirato alle caratteristiche dei corsi d'acqua dell'Italia Settentrionale, limitatamente alla sola zona a Ciprinidi.

Considera come descrittore primario la ricchezza specifica (S) corretta per due fattori:

- a) che dipende dalla struttura demografica delle popolazioni;
- b) che dipende dalla densità della fauna ittica dato il livello di ricchezza specifica osservato.

In particolare:

$$I.I. = S (0.5 + 0.25 a + 0.25 b)$$

CORREZIONE PER LA STRUTTURA DEMOGRAFICA (A)

Per ogni specie è stato definito un intervallo di taglie (lunghezza totale) per gli individui sub-adulti. Al di sotto di tale intervallo si collocano i giovani, al di sopra gli adulti. Ad esempio:

Esox lucius (luccio) 13-29 cm

Thymallus thymallus (temolo) 9-19 cm

Leuciscus cephalus (cavedano) 11-24 cm

Si calcola il numero medio di classi di taglia per l'intero popolamento (t_m), che varia ovviamente da 1 a 3.

In base a ciò sarà: $a = 2$ se $t_m > 2$
 $a = 1$ se $1.4 < t_m < 2$
 $a = 0$ se $t_m < 1.4$

CORREZIONE PER LA DENSITÀ RISPETTO ALLA RICCHEZZA SPECIFICA (B)

Per ogni campione viene comparato il numero di individui totale (N) con il numero di specie identificate (S). Ad esempio:

per $S > 17$ se $N > 120$, $b = 2$
 se $50 \leq N \leq 120$, $b = 1$
 se $N < 50$, $b = 0$

per $8 \leq S \leq 17$ se $N > 110$, $b = 2$
 se $40 \leq N \leq 110$, $b = 1$
 se $N < 40$, $b = 0$

etc.

INTERPRETAZIONE DELL'INDICE ITTICO

I.I.	Classe	Colore	Comunità ittica
≥17	I	Blu	Presenti tutte o quasi tutte le specie caratteristiche, in rapporti equilibrati
7.75-16.75	II	Verde	Sono presenti molte specie, ma mancano alcune specie caratteristiche della zona
4.50-7.50	III	Giallo	Il popolamento è significativamente alterato
2.25-4.25	IV	Arancio	Struttura del popolamento non equilibrata, sono presenti relativamente poche specie
0-2	V	Rosso	Assenza di fauna ittica o presenza di poche specie molto tolleranti

PROPOSTA IBI TEVERE – ZONE DELLA “TROTA” E DEL “BARBO”

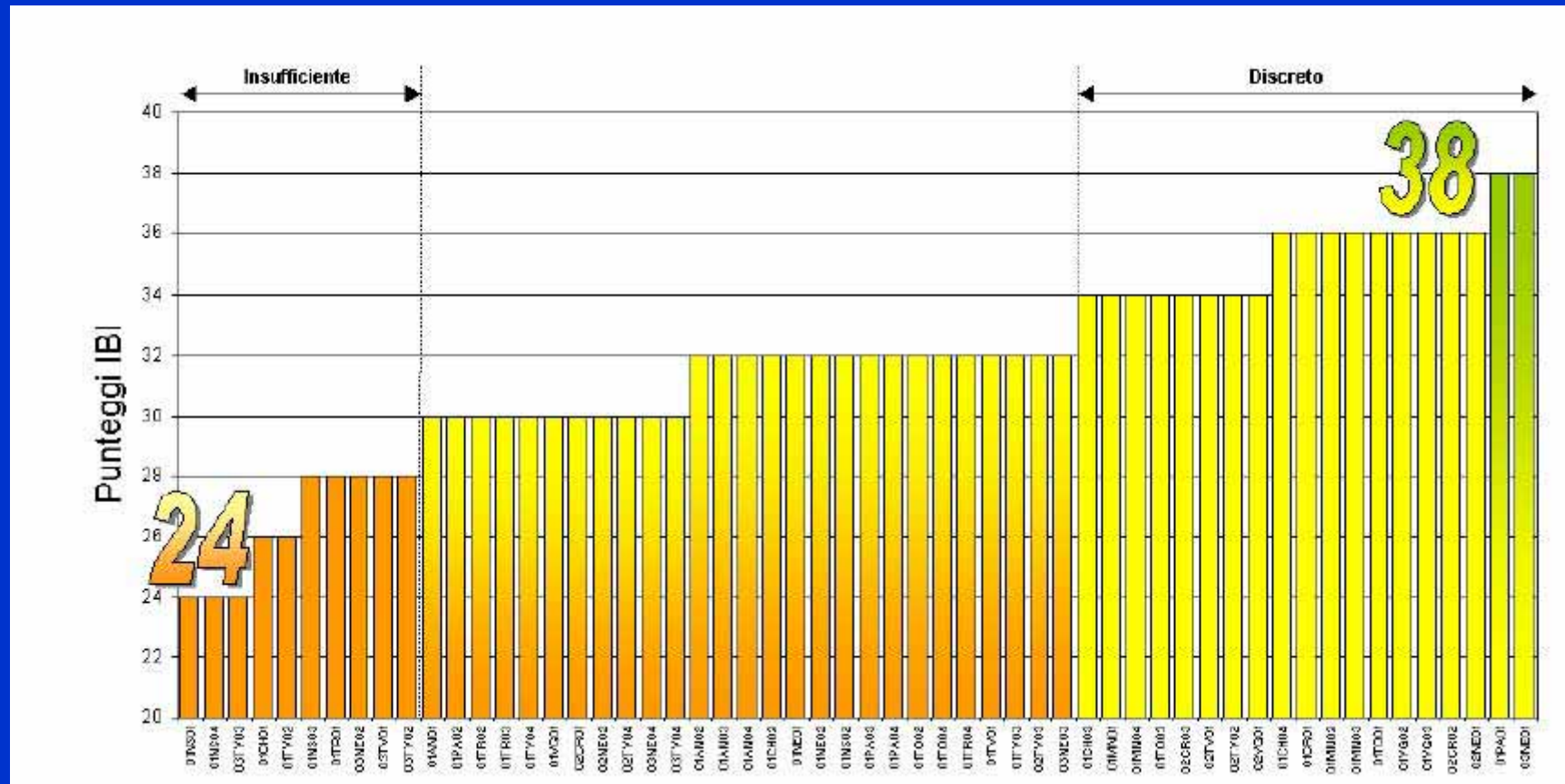
Metriche adottate	Metriche di Karr
Numero delle specie	Numero delle specie
Percentuale specie bentoniche	Numero di <i>darther species</i>
Percentuale specie della colonna d'acqua	Numero di <i>sunfish species</i>
Percentuale delle specie intolleranti	Numero di specie intolleranti
Percentuale di predatori	Percentuale di predatori
Percentuale di invertivori	Percentuale di invertivori
Percentuale di onnivori	Percentuale di onnivori
Percentuale di specie autoctone	Nessun equivalente
Densità ittica media (n°/m ²)	Nessun equivalente
Standing crop ittico medio (gr/m ²)	Nessun equivalente

Fonte: La Porta, G., Lorenzoni, M., Carosi, A., Mearrelli, M., 2001. Definizione di un indice di integrità biologica per il bacino del Fiume Tevere
Atti XI Congresso Nazionale SItE – Atti 25 (a cura M. Falcucci e V. Hull), 2001

Specie	Numero esemplari
<i>Alburnus alburnus alborella</i> (De Filippi 1844)	3202
<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	92
<i>Barbus barbus</i> (Linnaeus, 1758)	43
<i>Barbus plebejus</i> (Bonaparte 1839)	2
<i>Barbus tyberinus</i> (Bonaparte 1839)	4034
<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)	3628
<i>Chondrostoma genei</i> (Bonaparte 1839)	3371
<i>Chondrostoma soetta</i> (Bonaparte 1832)	11
<i>Cobitis taenia</i> (Linnaeus, 1758)	32
<i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)	366
<i>Esox lucius</i> (Linnaeus 1758)	8
<i>Gambusia affinis</i> (Baird and Girard 1853)	1
<i>Ictalurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	61
<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus 1758)	64
<i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus 1758)	7338
<i>Leuciscus lucumonis</i> Bianco 1983	70
<i>Leuciscus souffia</i> (Risso, 1826)	2085
<i>Micropterus salmoides</i> (Lacépède 1802)	57
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)	1
<i>Padogobius martensi</i> (Verga 1841)	1
<i>Padogobius nigricans</i> (Canestrini, 1867)	967
<i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	117
<i>Pseudorasbora parva</i> Bleeker, 1860	2455
<i>Rutilus erythrophthalmus</i> (Zerunian, 1982)	135
<i>Rutilus rubilio</i> (Bonaparte, 1837)	4184
<i>Salmo (trutta) trutta</i> (Linnaeus, 1758)	13154
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	59
<i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758)	16

Fonte: La Porta, G., Lorenzoni, M., Carosi, A., Mearelli, M., 2001. Definizione di un indice di integrità biologica per il bacino del Fiume Tevere Atti XI Congresso Nazionale SITE – Atti 25 (a cura M. Falcucci e V. Hull), 2001

DISTRIBUZIONE SITI DI CAMPIONAMENTO IN DIVERSI VALORI DI IBI



Fonte: La Porta, G., Lorenzoni, M., Carosi, A., Mearelli, M., 2001. Definizione di un indice di integrità biologica per il bacino del Fiume Tevere
Atti XI Congresso Nazionale SIte – Atti 25 (a cura M. Falcucci e V. Hull), 2001

Punteggi	Condizione sito	Giudizio
48-50	Eccellente	Situazione di totale naturalità, condizioni della comunità eccellenti
40-43	Buona	Diminuzione della ricchezza in specie, in particolare scomparsa delle specie più sensibili
33-37	Discreta	Specie sensibili e intolleranti assenti; alterazioni nella struttura trofica
23-28	Insufficiente	Predatori e la maggior parte delle specie attese assenti o rare; specie onnivore e tolleranti dominanti
10-18	Molto scarsa	Poche specie con pochi individui presenti; presenti solo specie tolleranti; pesci con patologie
	Nessun pesce	Assenza di fauna ittica

Fonte: La Porta, G., Lorenzoni, M., Carosi, A., Mearelli, M., 2001. Definizione di un indice di integrità biologica per il bacino del Fiume Tevere
 Atti XI Congresso Nazionale SItE – Atti 25 (a cura M. Falcucci e V. Hull), 2001

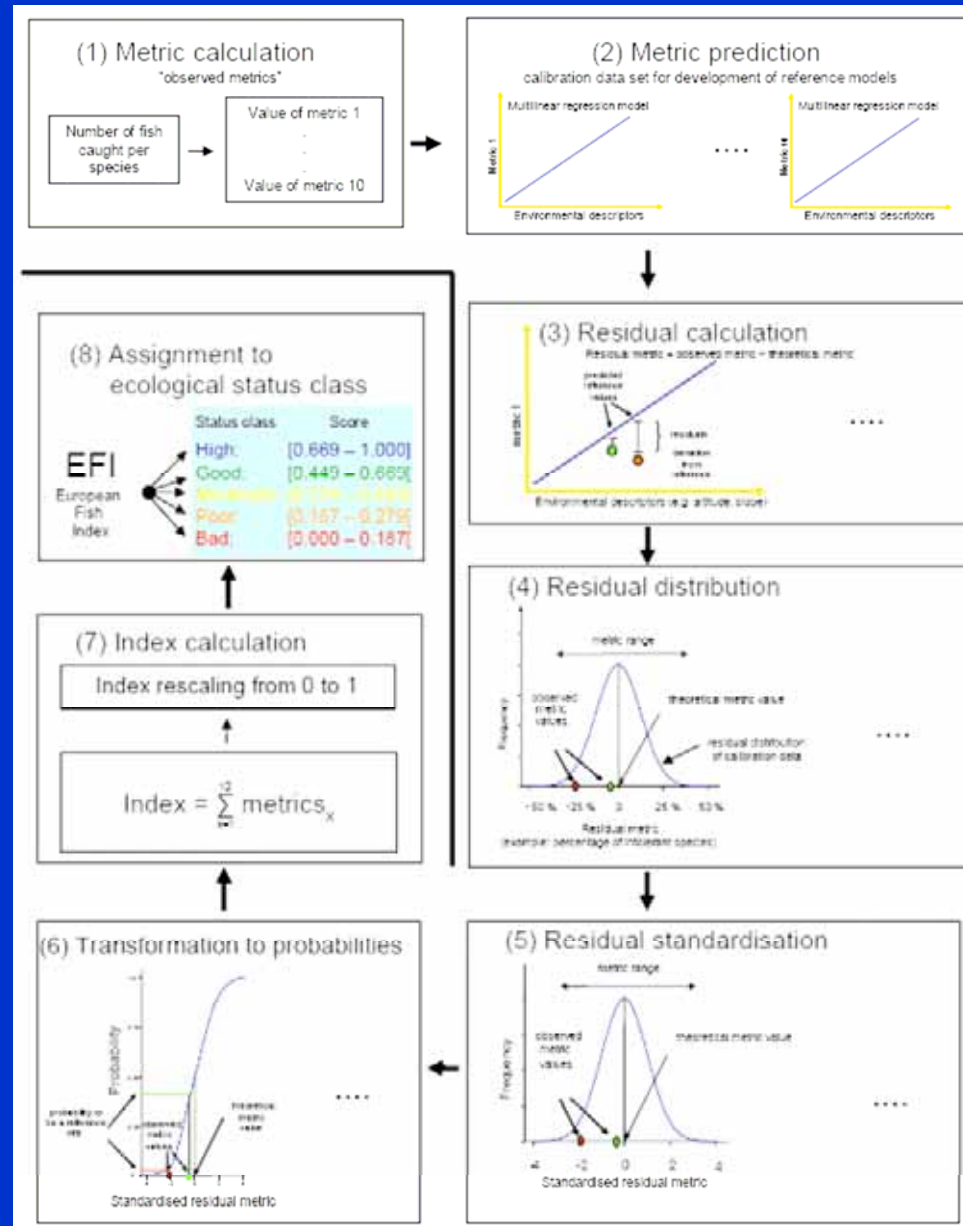
THE EUROPEAN FISH INDEX (EFI)

- L'EFI si basa su un insieme di modelli predittivi che derivano la condizione di riferimento per siti individuali e quantificano la deviazione tra le condizioni attese e quelle osservate della fauna ittica.
- Lo stato ecologico è espresso come un indice compreso tra 1 (alto stato ecologico) e 0 (cattivo stato ecologico).

Fonte: FAME CONSORTIUM (2004). Manual for the application of the European Fish Index – EFI. A fish-based method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive. Version 1.1, january 2005.

La metodologia dell'EFI è schematizzabile in 8 fasi principali:

1. Calcolo della metrica
2. Predizione della metrica
3. Calcolo delle deviazioni
4. Distribuzione delle deviazioni
5. Standardizzazione delle deviazioni
6. Trasformazione in probabilità
7. Calcolo dell'indice
8. Classificazione dello stato ecologico



CALCOLO EFI (1)

Nella prima fase, per calcolare le metriche di valutazione si usano i dati di cattura derivati da un singolo passaggio di pesca elettrica. Sei delle metriche utilizzate sono basate sulla ricchezza in specie e quattro sulla densità.

Le 10 metriche utilizzate per il calcolo dell'EFI e le proprie risposte alle pressioni

Metriche selezionate

Risposte alle pressioni umane

Livello trofico

1. Densità di specie insettivore
2. Densità di specie onnivore



Strategie riproduttive

3. Densità di specie fitofile
4. Abbondanza relativa di specie litofile



Habitat "fisico"

5. Numero di specie bentoniche
6. Numero di specie reofile



Tolleranza generale

7. Numero relativo di specie intolleranti
8. Numero relativo di specie tolleranti



Comportamento migratorio

9. Numero di specie migratrici su lunghe distanze
10. Numero di specie potamodroche



Fonte: FAME CONSORTIUM (2004). Manual for the application of the European Fish Index – EFI. A fish-based method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive. Version 1.1, january 2005.

Assigning species to guilds

Number of fish caught	
<i>Gobio gobio</i>	225
<i>Alburnus alburnus</i>	69
<i>Rutilus rutilus</i>	41
<i>Chondrostoma toxostoma</i>	30
<i>Phoxinus phoxinus</i>	22
<i>Leuciscus cephalus</i>	20
<i>Barbatula barbatula</i>	15
<i>Lepomis gibbosus</i>	11
<i>Rhodeus sericeus</i>	9
<i>Barbus barbus</i>	2
<i>Leuciscus leuciscus</i>	2
<i>Perca fluviatilis</i>	2
<i>Anguilla anguilla</i>	1



Intol	Tol	Benth	Rheo	Litho	Phyto	Insec	Omni	Diadr	Pota
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	1	1	1	0	0	1	0	1
0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	1
0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	1	0



Calculating "observed metrics"

Insectivorous species (Insec)	275 ind.ha ⁻¹
Omnivorous species (Omni)	4050 ind.ha ⁻¹
Phytophilous species (Phyto)	0 ind.ha ⁻¹
Lithophilic species (Litho)	19 % ind.
Benthic species (Benth)	5 species
Rheophilic species (Rheo)	7 species
Diadromous species (Diadr)	1 species
Potamodromous species (Pota)	3 species
Intolerant species (Intol)	15 % species
Tolerant species (Tol)	38 % species

Fonte: FAME CONSORTIUM (2004). Manual for the application of the European Fish Index – EFI. A fish-based method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive. Version 1.1, january 2005.

CALCOLO EFI (2A)

Nella seconda fase per ogni metrica è predetto un valore teorico di riferimento, che indica l'assenza o la minima presenza di disturbi antropici (uguale ad elevato o buono stato), utilizzando le variabili ambientali per mezzo di un modello di regressione calibrato con la banca dati del progetto FAME, denominata FIDES. Per predire i valori di riferimento sono stati utilizzati 10 fattori ambientali e 3 variabili di campionamento pertinenti con il sito di campionamento.

EFI (2-I)

Esempio delle informazioni sul sito e sulle variabili ambientali

Codice del sito: IT00000001;

Latitudine: xxxxxxN; **Longitudine:** xxxxxxE;

Data:.....;

Regione fluviale: Tevere; **Nome del corso d'acqua:** Aniene;

Nome del sito: lenne.

Variabili ambientali

Geologia: calcareo; **Estensione del bacino:** <1000 km²;

Altitudine: 500 m;

Regime idrico: permanente; **Presenza di laghi a monte:** no;

Temperatura media aria: 15 °C; **Gradiente:** 2,5 ‰;

Distanza dalla sorgente: 25 km; **Larghezza alveo bagnato:** 5 m;

Strategia di campionamento: completa;

Metodo: cammino in acqua; **Area campionata:** 400 m²

CALCOLO EFI (2B)

Per identificare le principali “regioni fluviali” sono state definite 36 unità idrologiche utilizzando 2 criteri:

Ogni grande bacino (>25.000 km²) è stato considerato come unità distinta, caratterizzata da una propria lista di fauna indigena, mentre tutti i piccoli bacini che fluiscono nello stesso versante costiero sono stati raggruppati.

Le 36 unità idrologiche sono state quindi raggruppate in 11 unità regioni fluviali, in base alla similarità della propria fauna ittica indigena.

CALCOLO EFI (3)

Le deviazioni dei modelli di regressione multilineare sono utilizzati per quantificare il livello di degrado. Le deviazioni sono calcolate come la differenza dei valori delle metriche osservate con i valori teorici delle stesse metriche (predette)

CALCOLO EFI (4)

La distribuzione delle deviazioni dei valori delle metriche sono confrontati con i valori teorici.

I siti “impattati” evidenzieranno una grande deviazione dai valori teorici. Quindi si collocheranno ai margini delle distribuzioni delle deviazioni dei valori osservati delle metriche rispetto a quelli attesi per i siti di riferimento

CALCOLO EFI (5)

Le metriche dell'EFI sono basate su differenti attributi (es. numero di specie, numero di individui).

Per rendere comparabili le deviazioni osservate queste vengono standardizzate, sottraendo la media e dividendo il risultato per la deviazione standard delle “deviazioni” dei siti di riferimento.

CALCOLO EFI (6A)

Siccome i valori standardizzati delle deviazioni tendono ad aumentare con il disturbo antropico (es. densità delle specie onnivore), mentre altri a diminuire (es. densità delle specie insettivore), questi sono trasformati in probabilità.

In questo modo tutte le metriche saranno comprese tra 0 e 1.

Il valore della metrica finale descrive, quindi, la probabilità per un sito di rappresentare un “sito di riferimento” (es. sito compreso nelle migliori classi di integrità ecologica, 1 e 2).

Un sito che corrisponde perfettamente con quello predetto (valore teorico) avrà un valore finale della metrica di 0,5.

Valori osservati superiori a 0,5 contraddistinguono il sito come migliore di quello predetto e la probabilità che questo sia un sito eccellente (1 classe di integrità ecologica) aumenta.

Metrics	Observed values	Theoretical values	Probability metric values
Insectivorous species	275 ind.ha-1	383 ind.ha-1	0.423
Omnivorous species	4050 ind.ha-1	255 ind.ha-1	0.099
Phytophilic species	0 ind ha-1	5 ind ha-1	0.912
Lithophilic species	19 % ind	57 % ind	0.032
Benthic species	5 species	4.1 species	0.658
Rheophilic species	7 species	5.9 species	0.677
Diadromous species	1 species	0.5 species	0.841
Potamodromous species	3 species	1.5 species	0.894
Intolerant species	15 % species	17 % species	0.379
Tolerant species	38 % species	37 % species	0.419
Total			5.334

Fonte: FAME CONSORTIUM (2004). Manual for the application of the European Fish Index – EFI. A fish-based method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive. Version 1.1, january 2005.

CALCOLO EFI (7)

Il valore finale dell'EFI è ottenuto sommando le dieci metriche, riscalandolo poi il punteggio tra 0 e 1.

Calcolo EFI (8)

In questa fase in base dal punteggio dell'indice si classifica lo stato ecologico.

I limiti delle classi sono stati definiti in base alla comparazione dei *data sets* con diversi gradi di pressione antropica:

Elevato:	0,669-1.000
Buono:	0,449-0,669
Moderato:	0,279-0,449
Scadente:	0,187-0,279
Cattivo:	0,000-0,187

LIMITI DELL'EFI

L'EFI non dovrebbe essere applicato nei fiumi Mediterranei che presentano elevata proporzione di specie endemiche o nei fiumi dell'Europa sud-orientale che evidenziano comunità ittiche strutturalmente (es. composizione in specie) molto diverse.

Per la mancanza di siti di riferimento per i grandi fiumi l'EFI (come altri metodi di valutazione) deve essere utilizzato con estrema cautela.

Lo stesso limite d'applicazione è riferito a situazioni particolari come: gli emissari di laghi o i tratti fluviali potamali alimentati in predominanza da sorgenti di valle.

L'EFI non considera alcuna metrica relativa alla struttura demografica (classi d'età o di taglia) delle popolazioni ed alla riproduzione, perché i dati relativi non sono disponibili per i Paesi europei.

Problemi tipici delle regioni Mediterranee

- **Scarsità d'acqua e lunghi periodi di magra**
- **Fauna ittica costituita da poche specie spesso tolleranti al disturbo naturale**
- **Forte influenza della gestione idraulica del bacino (incluso il prelievo d'acqua a vari fini)**
- **La somma delle perturbazioni naturali e di quelle antropiche ha causato in tempi recenti effetti imprevedibili e non ancora “a regime”**
- **In mancanza di una risposta leggibile nella struttura del popolamento, indici che considerino gli aspetti popolazionistici (es. struttura in classi di taglia o d'età) possono essere più efficaci**

Problemi legati alla bassa ricchezza specifica

- **La fauna ittica europea è molto meno ricca di quella nord-americana.**
- **In molti casi (es. nell'alto corso di molti fiumi) il popolamento è costituito da poche specie (anche soltanto una o due).**
- **In queste condizioni, come già detto, si deve focalizzare la ricerca di metriche adeguate nel campo della struttura e della dinamica delle popolazioni.**
- **Differenti stadi di sviluppo possono essere considerati, funzionalmente, come fossero taxa differenti.**

Problemi dei grandi fiumi di pianura

- Il problema principale è la scarsa efficienza del campionamento
- In assenza di dati quantitativamente accurati, devono essere utilizzate metriche idonee
- La connettività sia laterale che longitudinale deve essere presa in considerazione
- Anche in questo caso la struttura demografica delle popolazioni può essere considerata come una metrica efficace

Cosa si dovrebbe fare per sviluppare un indice multimetrico: 12 facili passi (1)

1. Selezionare procedure di campionamento standardizzate e coerenti nel tempo
2. Classificare corsi ed eventualmente altri corpi d'acqua in gruppi ecologicamente omogenei
3. Identificare siti di riferimento per ogni classe
4. Effettuare ripetute osservazioni nei siti di riferimento per ogni classe
5. Definire le condizioni di riferimento per ogni classe
6. Campionare i siti perturbati o da monitorare

Cosa si dovrebbe fare per sviluppare un indice multimetrico: 12 facili passi (2)

7. Verificare se esiste variazione degli attributi contro i gradienti rilevanti
8. Testare la risposta degli attributi a variazioni continue delle condizioni ambientali
9. Selezionare fra gli attributi metriche sensibili ed efficaci
10. Sviluppare un criterio di valutazione (punteggio) per ogni metrica
11. Aggregare i punteggi di più metriche in un indice multimetrico
12. Applicare e validare l'indice con il supporto di un'ampia base di utenti

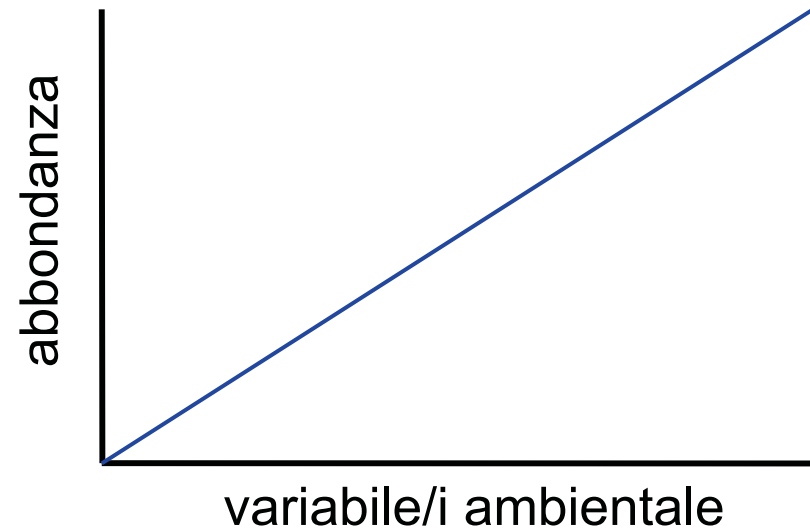
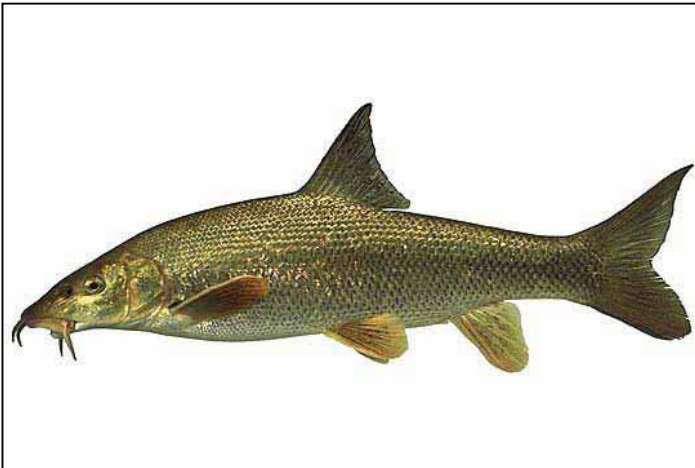
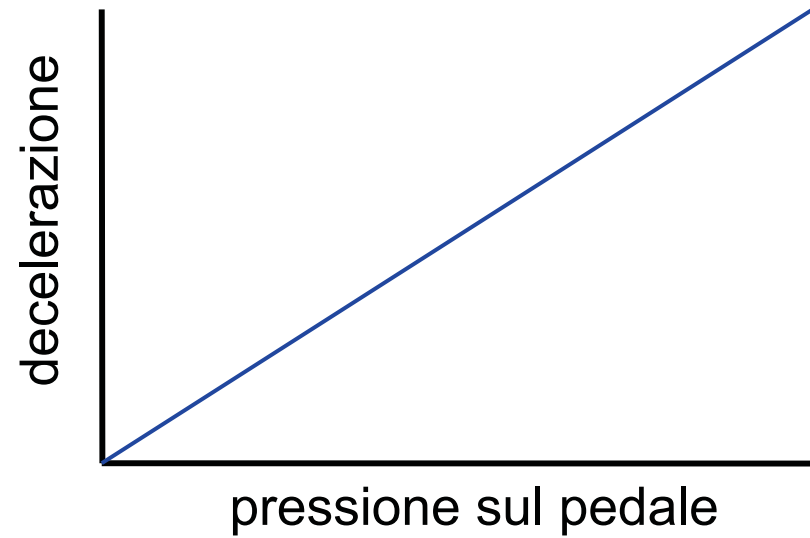
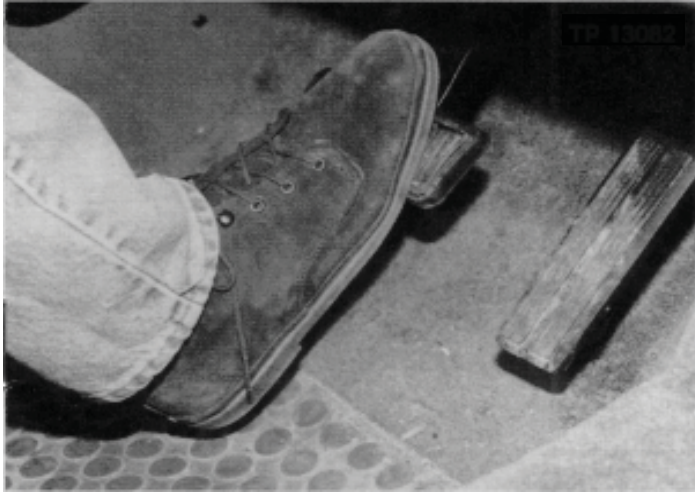
Oltre gli indici biotici...

- Gli indici biotici (multimetrici o meno) hanno svolto un importante ruolo "storico" e possono ancora giocare un ruolo importante in casi specifici.
- Per la Direttiva 2000/60/CE (**WFD**) la piena funzionalità degli ecosistemi è l'obiettivo di qualità da perseguire e le comunità (o i popolamenti) sono gli elementi di qualità biotica da analizzare.
- In quest'ottica, l'ecologia delle comunità è la chiave di lettura obbligata e nessun indice può sostituirsi (da solo) ai suoi strumenti.
- L'analisi della complessità biotica è una sfida da raccogliere per la corretta implementazione della WFD ed un'opportunità di crescita per la ricerca ecologica.
- Non (sovra)semplifichiamo oggi lo studio di ciò che dovremo gestire domani!

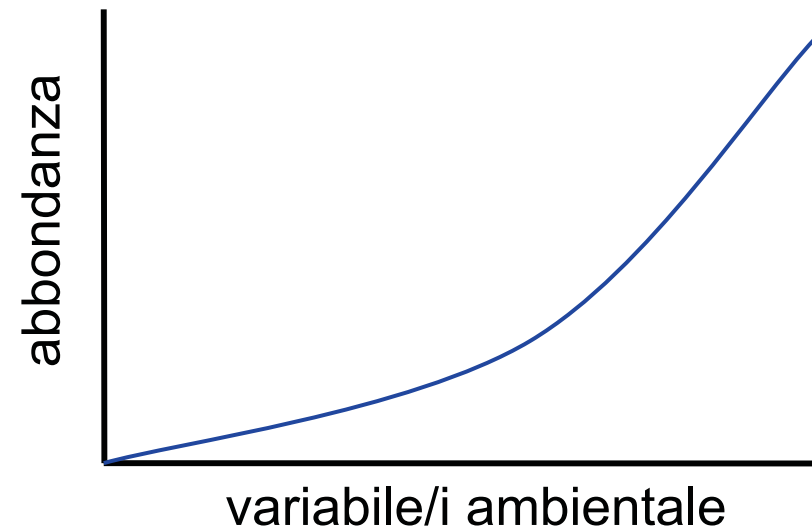
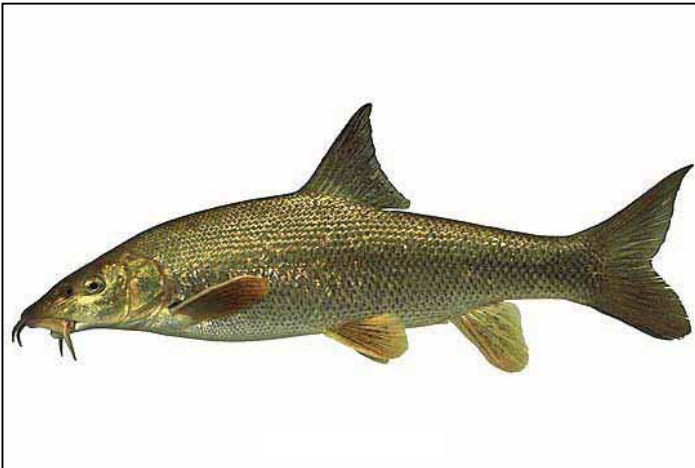
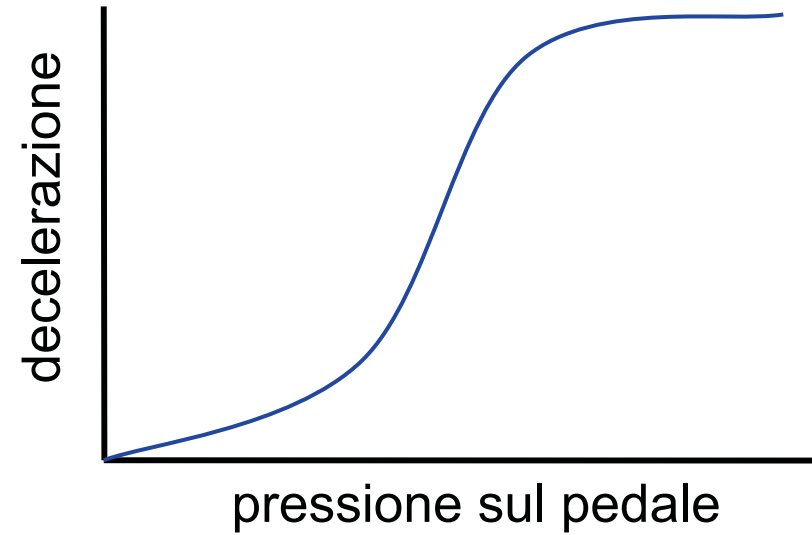
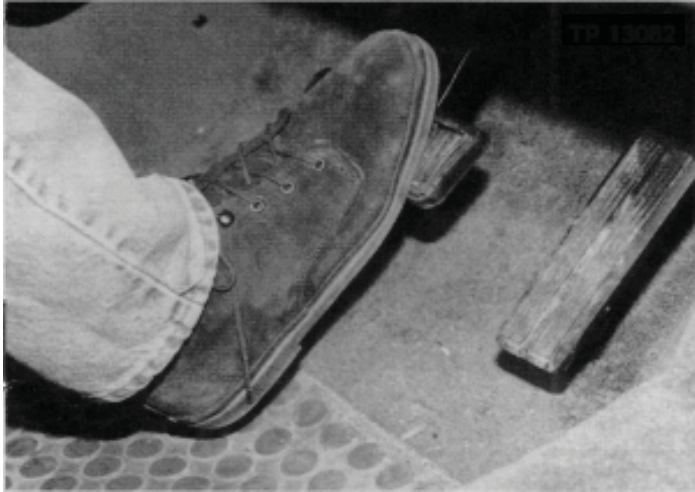
(Sovra)semplificazione?

- Molti metodi (IBI, EFI, etc.) sono basati sulla selezione di metriche che rispondono in maniera lineare alle alterazioni ambientali o comunque sull'uso di modelli lineari.
- Esistono evidenze incontrovertibili che le risposte biotiche non sono né lineari né monotonamente ordinate (vedi distribuzione di una specie contro un gradiente, ipotesi del disturbo intermedio, effetti della competizione, etc.).

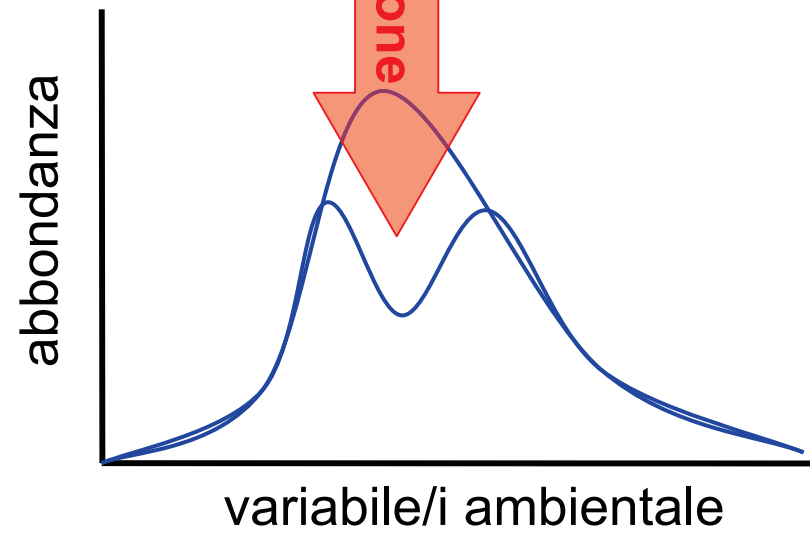
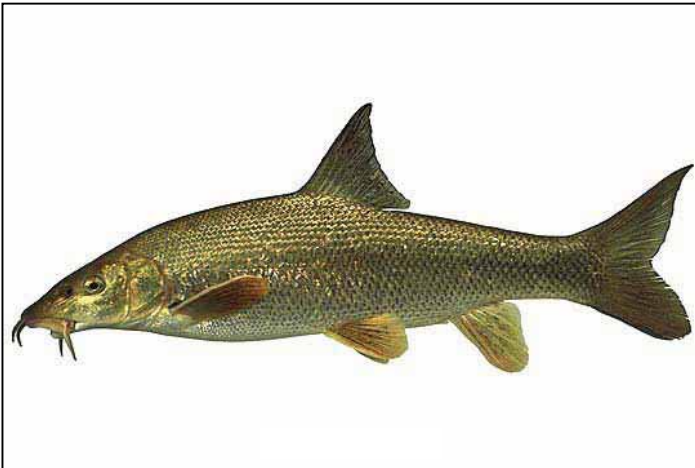
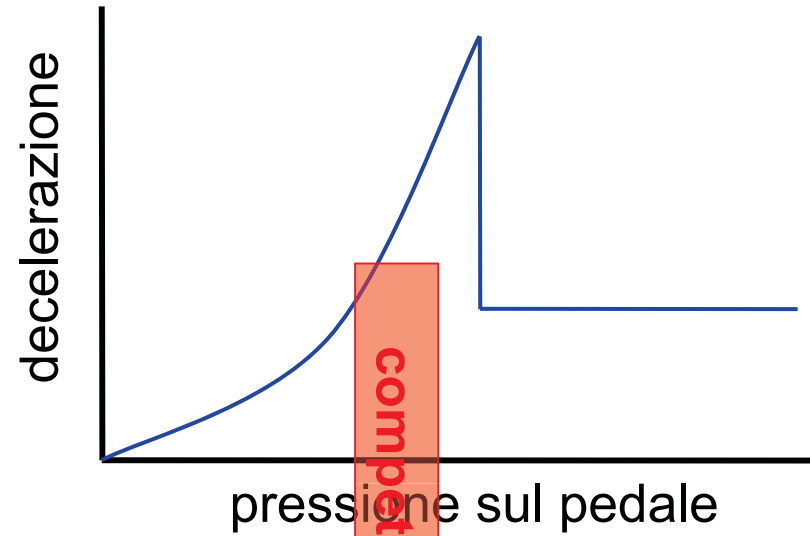
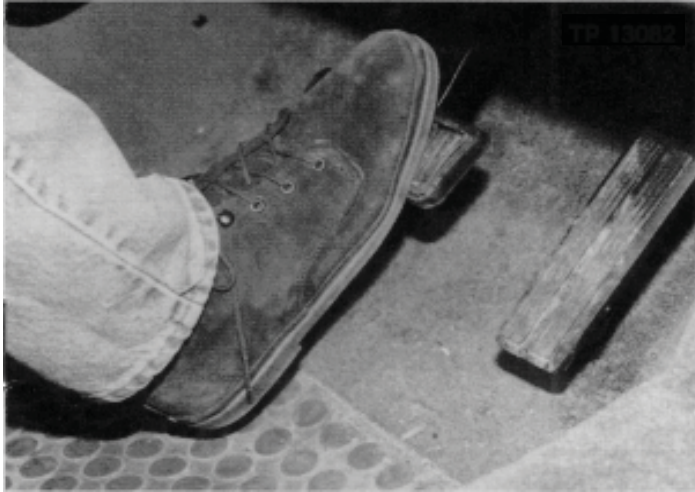
Se il mondo fosse lineare...



Se le risposte fossero monotonamente ordinate...



Invece, nel mondo reale...



Dunque...

- La complessità delle risposte biotiche richiede approcci più efficaci degli indici (e la WFD supporta questa prospettiva).
- Le tecniche statistiche multivariate possono giocare un ruolo, ma stanno emergendo nuovi metodi che sfruttano le capacità di calcolo oggi disponibili.
- Allora gli indici sono inutili?
- No, perché:
 - possono essere utili a fini specifici (es. conservazionistici);
 - possono rappresentare una formalizzazione sintetica del giudizio esperto;
 - il loro razionale può essere ripreso e consolidato;
 - etc.

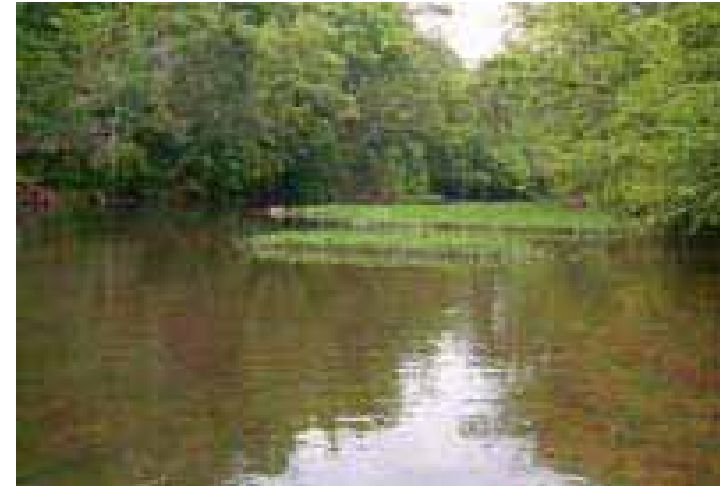
Approccio #1

Confrontiamo la struttura del popolamento ittico attuale con una serie storica di riferimento o con quelle osservate in un grande numero di altri siti e condizioni

Un approccio multivariato (RIVPACS)

Stima del numero di taxa potenzialmente presenti date le condizioni ambientali = E

Numero di taxa effettivamente osservati = O



Il criterio di valutazione è basato sul rapporto fra taxa effettivamente presenti e taxa attesi (O/E)

Una procedura più generalizzabile

- Si seleziona un insieme di osservazioni rappresentative della variabilità di un sito da valutare (con repliche nel tempo e nello spazio).
- Si definisce un insieme di osservazioni imperturbate di riferimento in base alla loro affinità con il sito da valutare desunta da dati ambientali (mediante algoritmi di classificazione, pattern recognition, distanze multivariate, etc.).
- Si effettua un test basato su permutazioni (es. ANOSIM o equivalente) per testare la significatività delle differenze multivariate nella struttura del popolamento o della comunità.
- Il giudizio di qualità è proporzionale al livello di significatività o al valore di p ottenuto.

Ma...

- La scelta delle scale spaziali e temporali rappresentative non è univoca.
- La definizione delle condizioni di riferimento non è univoca.
- La scelta delle misure di similarità o distanza e dei metodi di analisi non è univoca.
- La formulazione di un giudizio di qualità sulla base del valore di p ottenuto non è univoca.

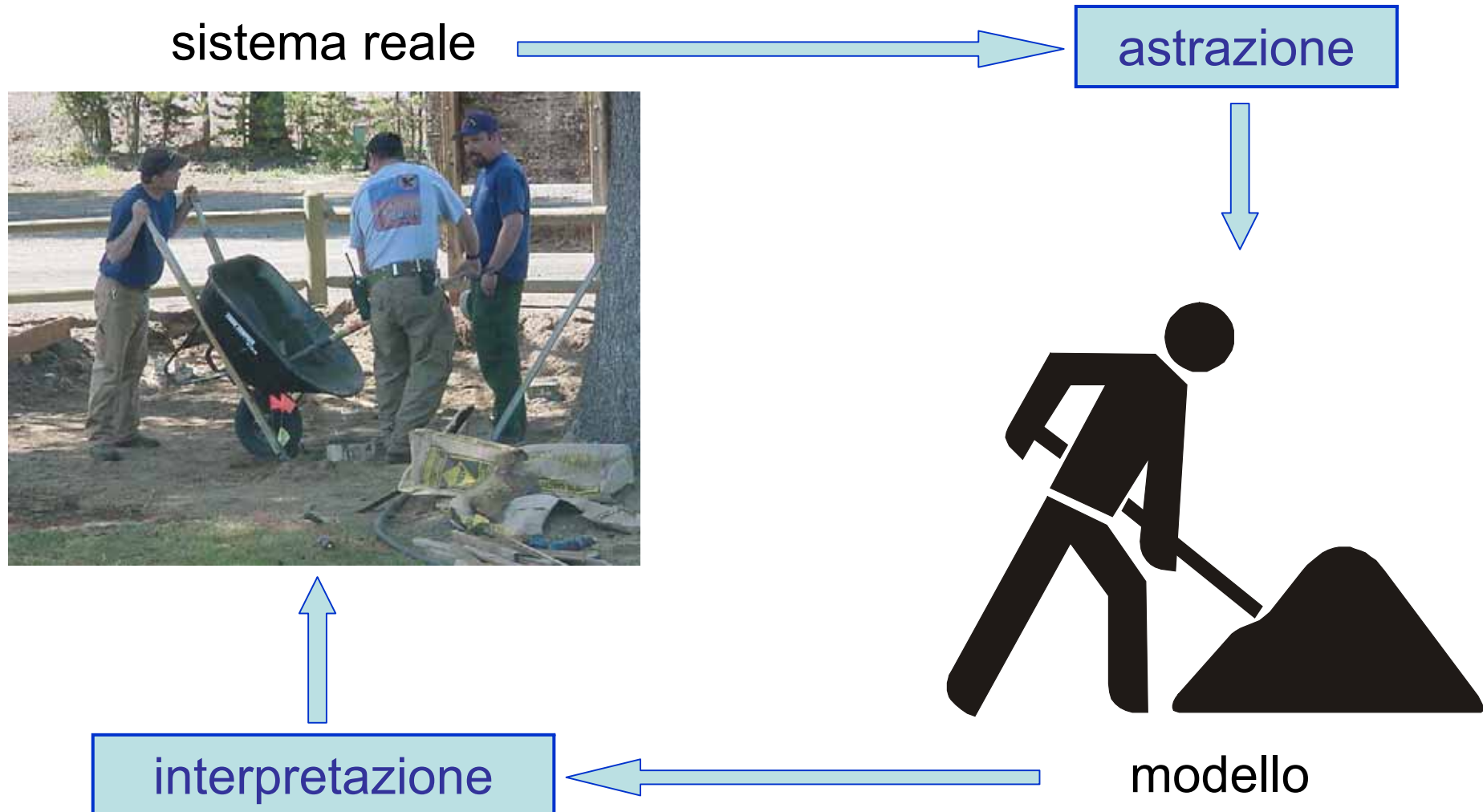
Quindi...

- Nessun approccio è realmente oggettivo.
- Lo stato ecologico o la qualità ambientale non emergono direttamente dall'osservazione: sono comunque l'espressione di un giudizio soggettivo.
- Il giudizio soggettivo può essere formulato da un esperto, che integra efficacemente l'informazione disponibile (se è veramente ...esperto!).
- Se non esistono approcci realmente oggettivi, allora utilizziamo il giudizio esperto, ma amplifichiamo le sue potenzialità attraverso approcci computazionali innovativi.

Approccio #2

Prevediamo la struttura del popolamento in base alle condizioni ambientali e valutiamo lo stato ecologico in base alle differenze fra fauna attesa e fauna osservata

Abbiamo bisogno di modelli non-lineari...



Machine Learning techniques for the implementation of the Water Framework Directive: a perspective from the **PAEQANN** project.

Scardi M.¹, Lek S.², Coste M.³, Descy J.P.⁴, Ector L.⁵, Jorgensen S.⁶, Knoflacher M.⁷, Verdonschot P.⁸

¹UNIROMA2, Rome, Italy (email: mscardi@mclink.it)

²CESAC, Toulouse, France

³CEMAGREF, Cestas, France

⁴LFE, FUNDP, Namur, Belgium

⁵CRP-GL, Luxembourg

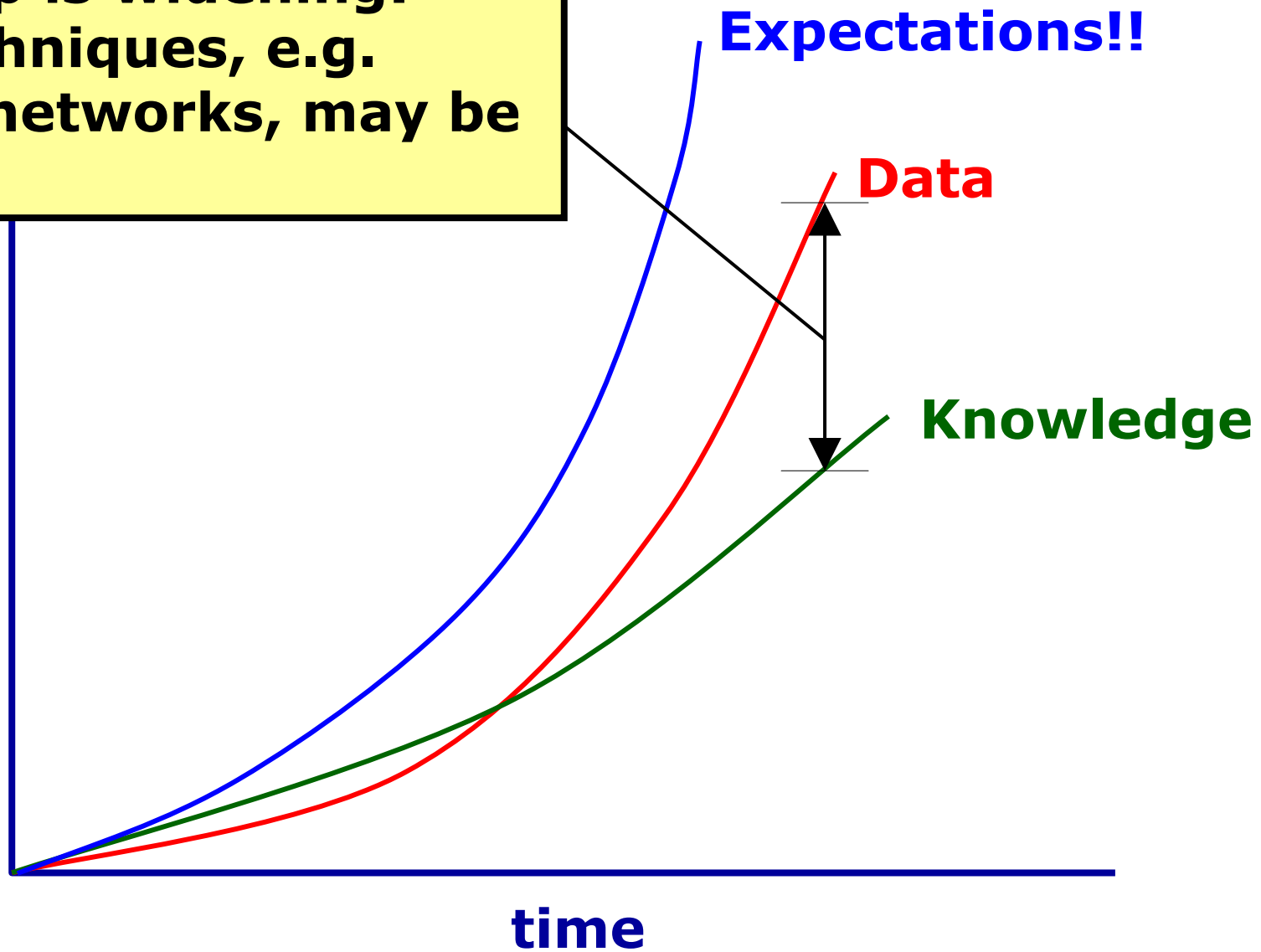
⁶DFH, University Copenhagen, Denmark

⁷ARCS, Seibersdorf, Austria

⁸ALTERRA, Wageningen, The Netherlands



**This gap is widening!
A.I. techniques, e.g.
neural networks, may be
helpful.**



Machine Learning includes many different methods:

- Artificial Neural networks
- Genetic algorithms
- Classification and regression trees
- Fuzzy logic applications
- Cellular automata
- Agent based models
- Etc.

PAEQ**ANN** project focused on **A**rtificial **N**eural **N**etworks, even though other methods have been tested.

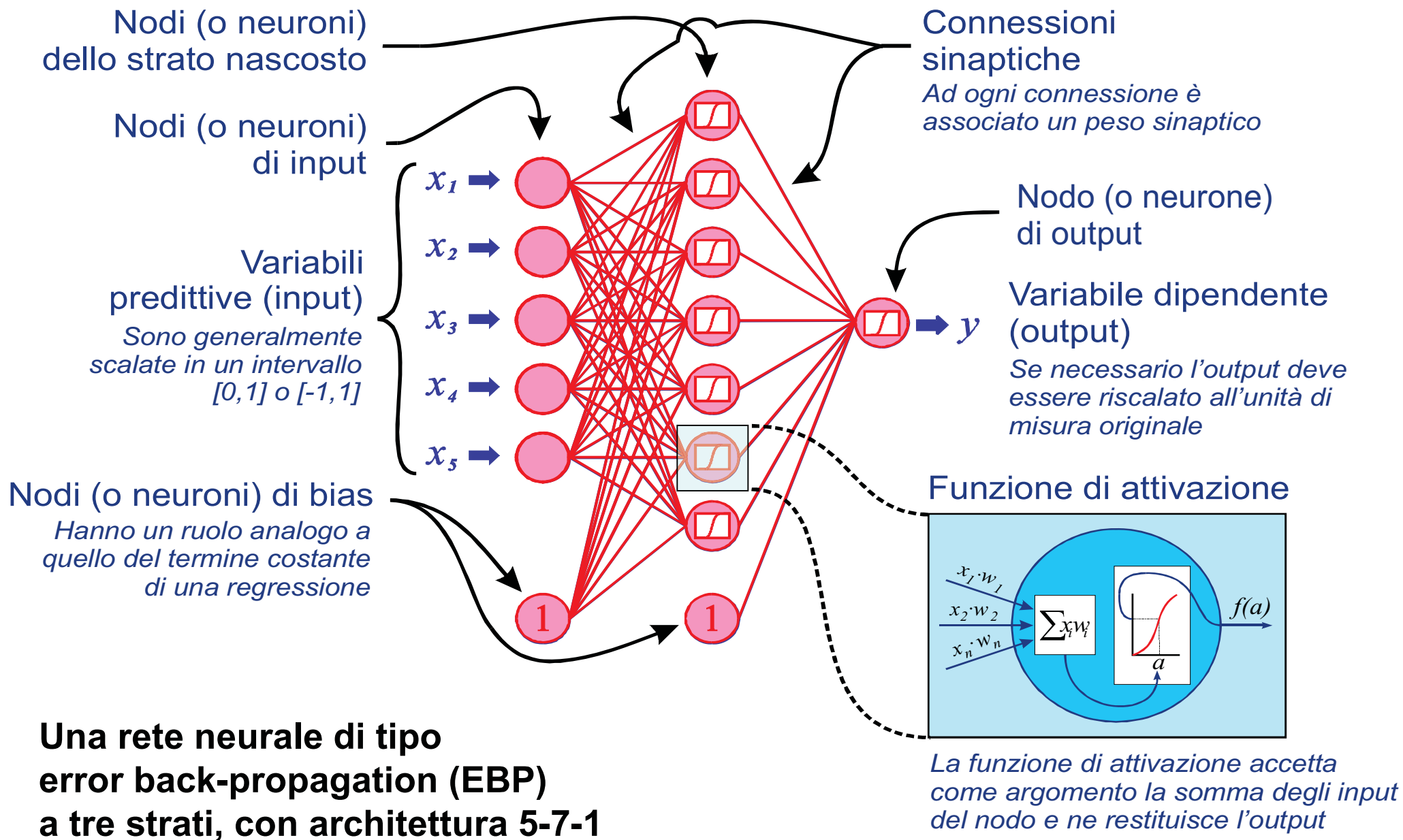
“...a neural network is a system composed of many simple processing elements operating in parallel whose function is determined by network structure, connection strengths, and the processing performed at computing elements or nodes.”

“...una rete neurale è un sistema composto da molti elementi di processo semplici che operano in parallelo, la cui funzione è determinata dalla struttura della rete, dall'intensità delle connessioni e dai processi attuati negli elementi di calcolo o nodi.”

*(DARPA Neural Network Study, 1988,
AFCEA International Press, p. 60)*

COME FUNZIONANO LE RETI NEURALI?

SOLO UN PIZZICO DI TEORIA...



L'algoritmo EBP

L'algoritmo EBP (Rumelhart et al., 1986) è di gran lunga il più diffuso fra gli algoritmi di training per le reti neurali e può essere schematizzato come segue:

1. le connessioni sinaptiche sono inizializzate in maniera casuale

$$w_{jk} = rnd[0,1] \quad \begin{cases} j = 1, \dots, n_i + 1 \\ k = 1, \dots, n_h \end{cases}$$

$$z_{kl} = rnd[0,1] \quad \begin{cases} k = 1, \dots, n_h + 1 \\ l = 1, \dots, n_o \end{cases}$$

2. un training pattern è immesso nella rete neuronale

$$h_k = \sum_{j=1}^{n_i+1} i_j w_{jk} \quad (k = 1, \dots, n_h) \quad h_k = f(h_k) \quad h_{n_h+1} = 1$$

$$h_k = \sum_{j=1}^{n_i+1} i_j w_{jk} \quad (k = 1, \dots, n_h) \quad h_k = f(h_k) \quad h_{n_h+1} = 1$$

3. tutti i pesi sinaptici vengono quindi modificati in funzione dello scarto rilevato tra outputs e valori noti (error-backpropagation)

$$z_{kl} = z_{kl} + \eta \delta_l^o h_k \quad (k = 1, \dots, n_h + 1; l = 1, \dots, n_o)$$

$$\delta_l^o = (y_l - o_l) \cdot f'(o_l) = (y_l - o_l) \cdot o_l(1 - o_l)$$

$$w_{jk} = w_{jk} + \eta \delta_k^h i_j \quad (k = 1, \dots, n_h + 1; j = 1, \dots, n_i + 1)$$

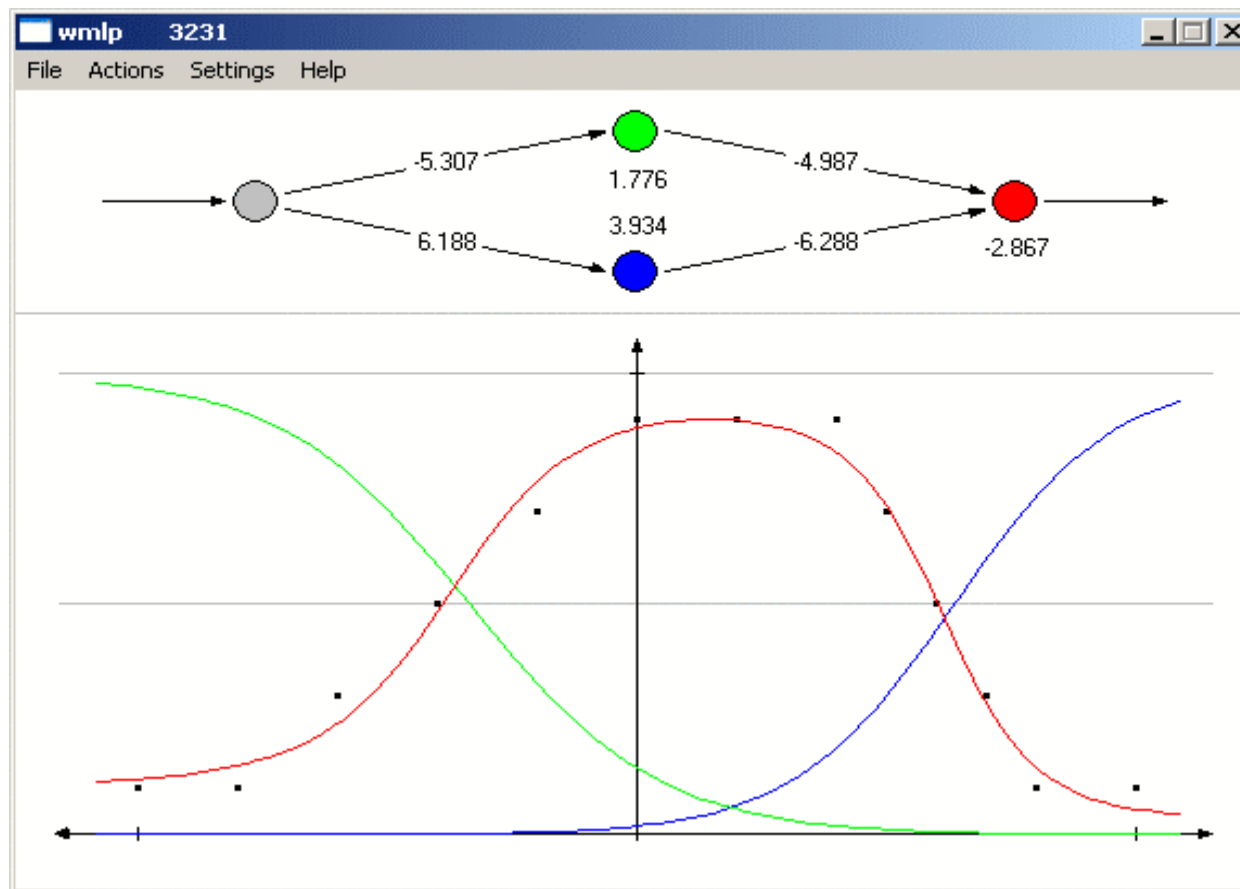
$$\delta_k^h = f'(h_k) \cdot \sum_{l=1}^{n_o} \delta_l^o z_{kl} = h_k(1 - h_k) \cdot \sum_{l=1}^{n_o} \delta_l^o z_{kl}$$

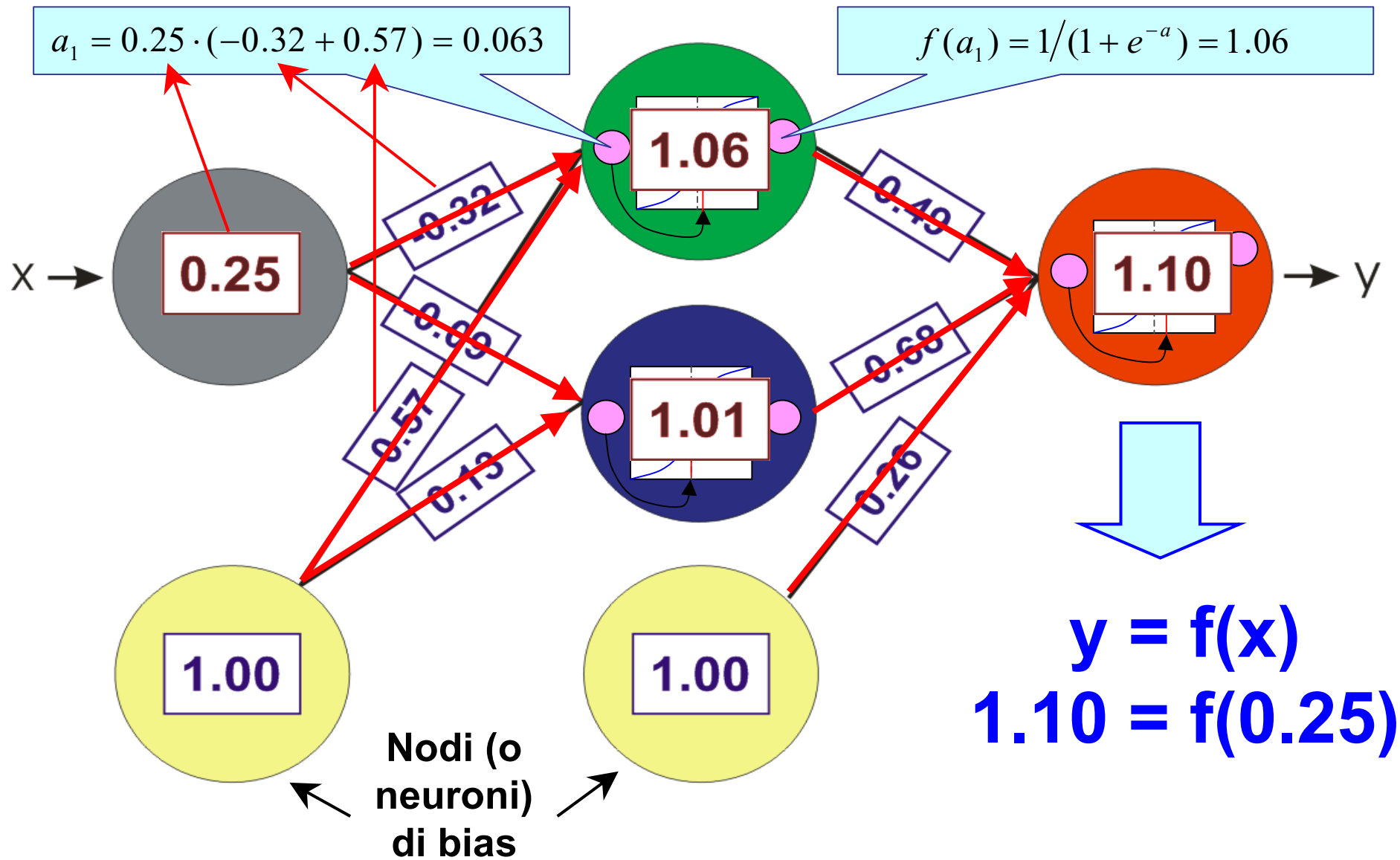
4. l'output della rete è confrontato con i valori noti del set di validazione

$$E = \frac{1}{n_o} \sum_{l=1}^{n_o} (y_l - o_l)^2$$

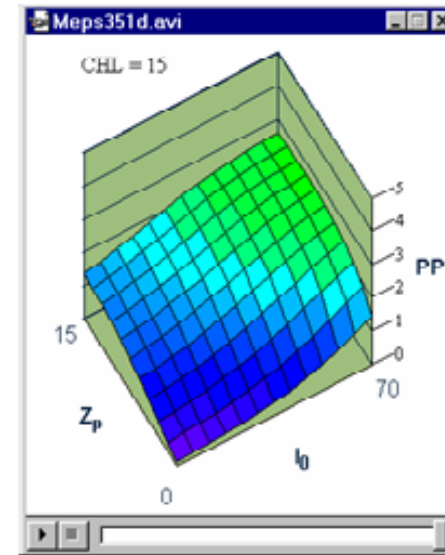
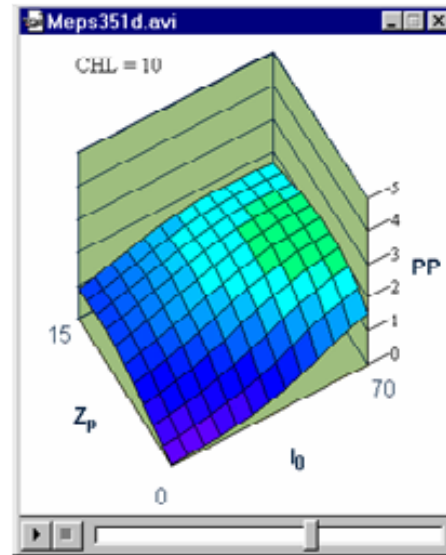
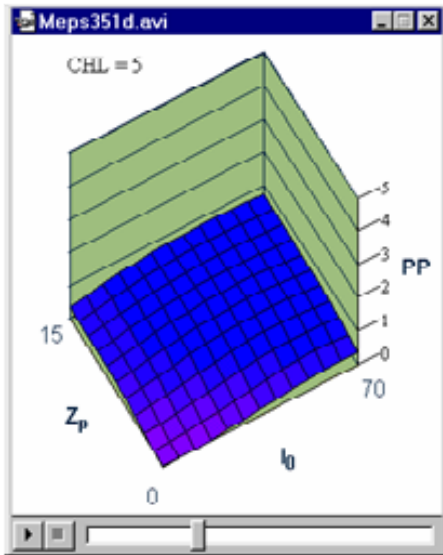
5. se le condizioni di convergenza sono raggiunte, si termina il training, altrimenti si torna al punto 2

L'addestramento di una semplice rete neurale

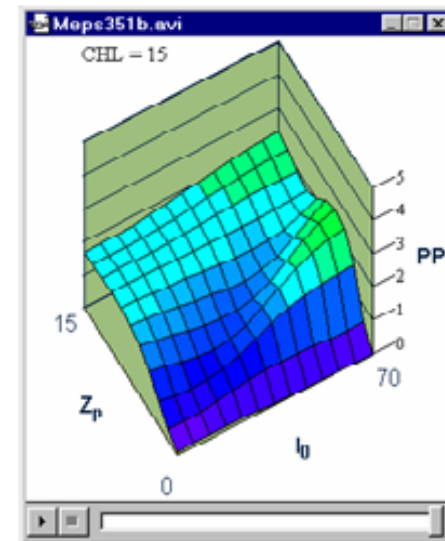
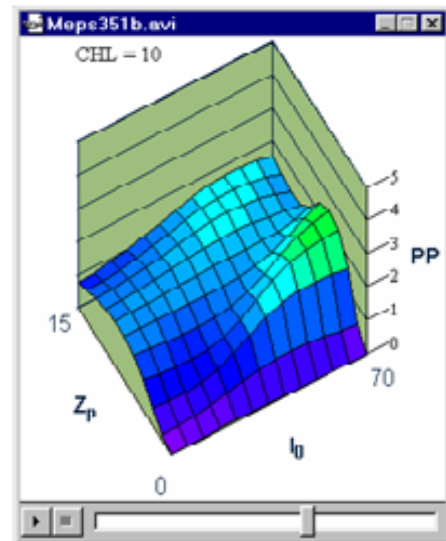
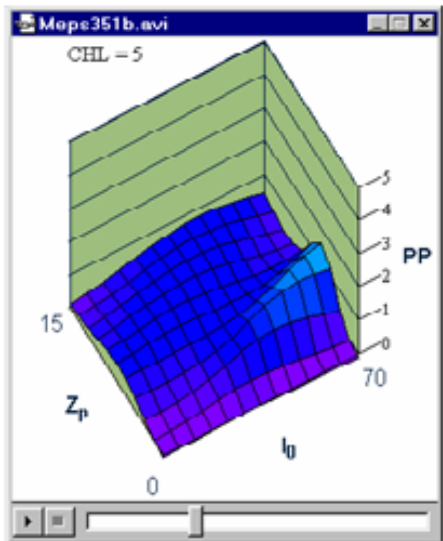
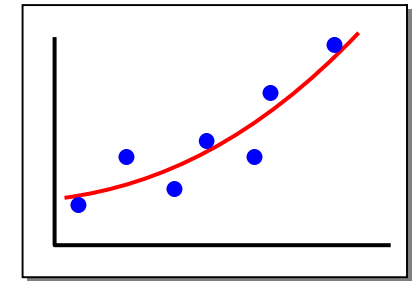




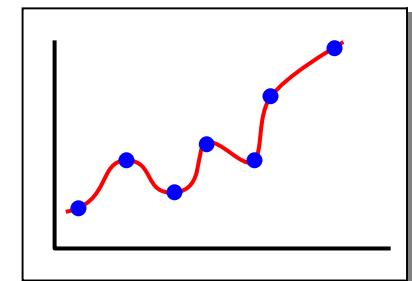
$$PP = f(I_0, Z_p, CHL)$$



generalizzazione



overfitting



Per evitare l'overfitting

- *early stopping*
- *jittering* (aggiunta di rumore agli inputs)
- *weight decay*
- *training patterns* in ordine casuale
- etc.

Per una buona generalizzazione

- gli inputs devono contenere abbastanza informazione predittiva in rapporto agli outputs desiderati (targets)
- la relazione da modellizzare deve essere preferibilmente regolare (cioè piccola variazione in input --> piccola variazione in output)
- il training set deve essere abbastanza grande e comunque deve essere un sottoinsieme rappresentativo del sistema reale

CASO DI STUDIO

PREVISIONE DELLA STRUTTURA DELLA FAUNA ITTICA MEDIANTE RETI NEURALI ARTIFICIALI

Michele Scardi¹, Stefano Cataudella¹, Paola Di Dato¹,
Giuseppe Maio², Enrico Marconato², Stefano Salviati²,
Lorenzo Tancioni¹, Paolo Turin³ e Marco Zanetti³

1. Dip. di Biologia, Univ. di Roma "Tor Vergata", Roma

2. Aquaprogram s.r.l., Vicenza

3. Bioprogramm s.c.r.l., Padova

Problema applicativo #1:

- 1. Previsione della composizione della fauna ittica sulla base di predittori ambientali**
- 2. Comparazione della composizione attesa con quella osservata**
- 3. Formulazione di un giudizio di qualità ambientale
(es. *sensu* Direttiva 2000/60/CE)**

Problema applicativo #2:

- 1. Analisi di sensibilità del modello previsionale**
- 2. Identificazione dei fattori ambientali che determinano le maggiori variazioni nella risposta del modello**
- 3. Definizione di possibili strategie per la gestione dell'ambiente**

Previsione della composizione di una comunità

- Caso 1:** numero limitato di specie
- Caso 2:** molte specie, ma un singolo cenocline (in teoria, tutte le risposte sono unimodali)
- Caso 3:** molte specie e più cenoclini (interazioni di ordine superiore fra variabili ambientali)
- Caso 4:** elevatissimo numero di specie, cenospazio estremamente complesso con discontinuità

Caso 1 o 2: poche specie o singolo cenocline

- **Buoni risultati si possono ottenere sia con metodi convenzionali (es. regressione logistica), sia con le reti neurali.**
- **Le relazioni implicite (non note) fra specie riducono significativamente la dimensionalità reale del problema.**
- **Solo le reti neurali possono trarre vantaggio da ciò.**

Specie presenti nel data set:

32

Combinazioni possibili:

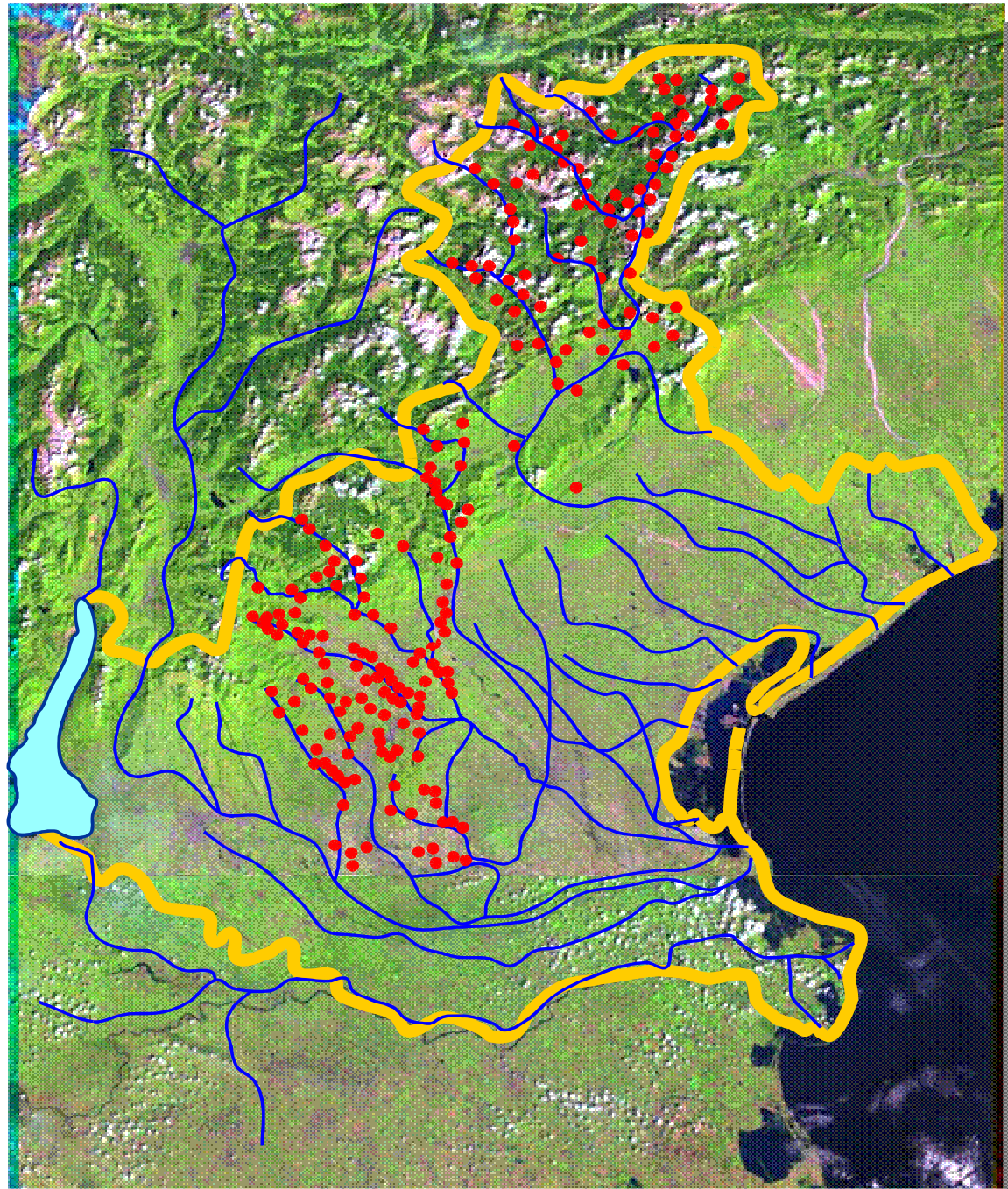
$2^{32} = 4294967296$

Combinazioni osservate:

131 su 264 casi

**Le specie non sono indipendenti le une dalle altre
(meno male, se no, poveri ecologi!)**

**Una rete neurale può "catturare" l'informazione
relativa alle relazioni interspecifiche (es.
competizione), migliorando la sua capacità
predittiva**



Variabili predittive (inputs NN)


- 1 altitudine (m)
- 2 profondità media (m)
- 3 correnti (superficie, %)
- 4 pozze (superficie, %)
- 5 raschi (superficie, %)
- 6 larghezza media (m)
- 7 massi (superficie, %)
- 8 sassi e ciottoli (superficie, %)
- 9 ghiaia (superficie, %)
- 10 sabbia (superficie, %)
- 11 peliti (superficie, %)
- 12 velocità flusso (punteggio, 0-5)
- 13 copertura vegetale (superficie, %)
- 14 ombreggiatura (%)
- 15 disturbo antropico (punteggio, 0-4)
- 16 pH
- 17 conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- 18 gradiente (%)
- 19 bacino versante (km^2)
- 20 distanza dalla sorgente (km)

Taxa considerati

Abramis brama
Alburnus alburnus alborella
Anguilla anguilla
Barbus meridionalis
Barbus plebejus
Carassius auratus
Chondrostoma genei
Cobitis taenia
Cottus gobio
Cyprinus carpio
Esox lucius
Gambusia holbrooki
Gasterosteus aculeatus
Gobio gobio
Ictalurus melas
Lampetra zanandreae
Lepomis gibbosus

Leuciscus cephalus
Leuciscus souffia
Micropterus salmoides
Knipowitschia punctatissima
Padogobius martensii
Perca fluviatilis
Phoxinus phoxinus
Rutilus erythrophthalmus
Sabanejewia larvata
Salmo (trutta) marmoratus
Salmo (trutta) trutta
Salvelinus fontinalis
Scardinius erythrophthalmus
Thymallus thymallus
Tinca tinca
Salmo (trutta) hybr. trutta/marmoratus
Oncorhynchus mykiss

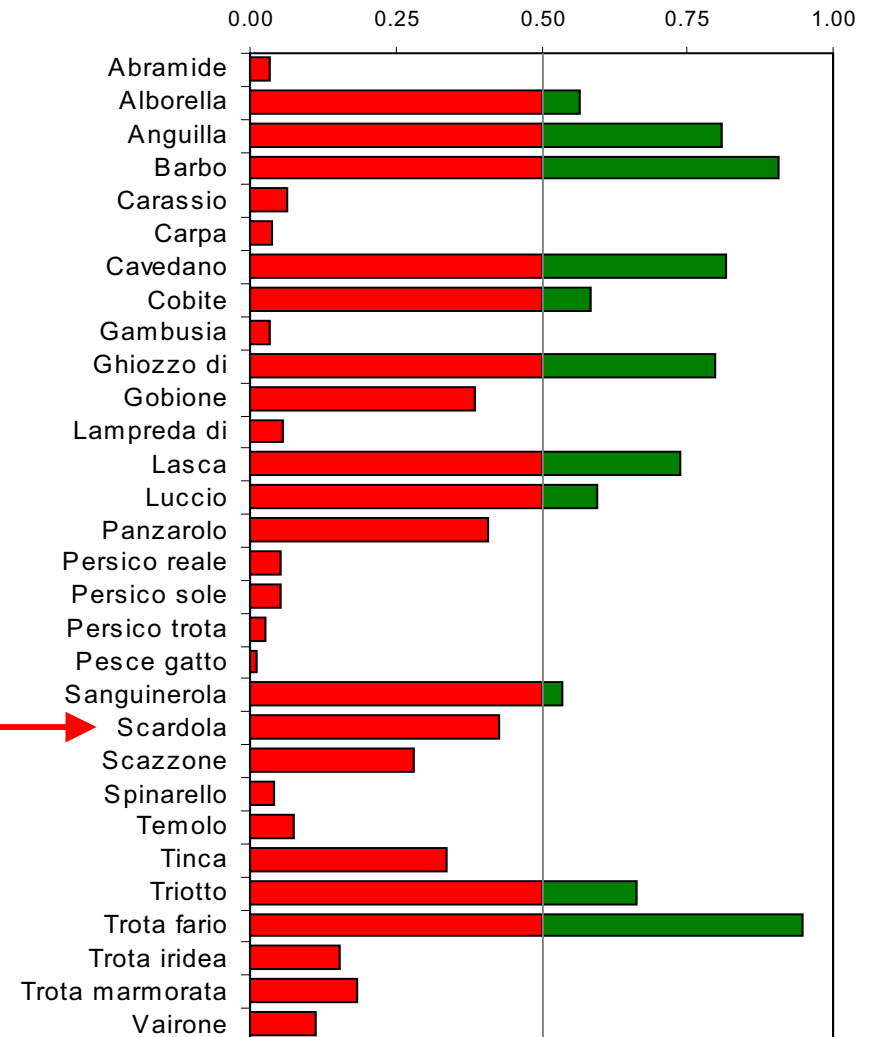
Struttura del modello: 20-17-32

- **264 patterns (campioni)** 
 - training, n=131**
 - validazione, n=66**
 - test, n=67**
- **20 variabili ambientali predittive**
- **32 specie (dati binari, presenza/assenza)**
- **training della rete neurale: algoritmo di error back-propagation con early stopping basato sull'errore del set di validazione**

Un esempio di output

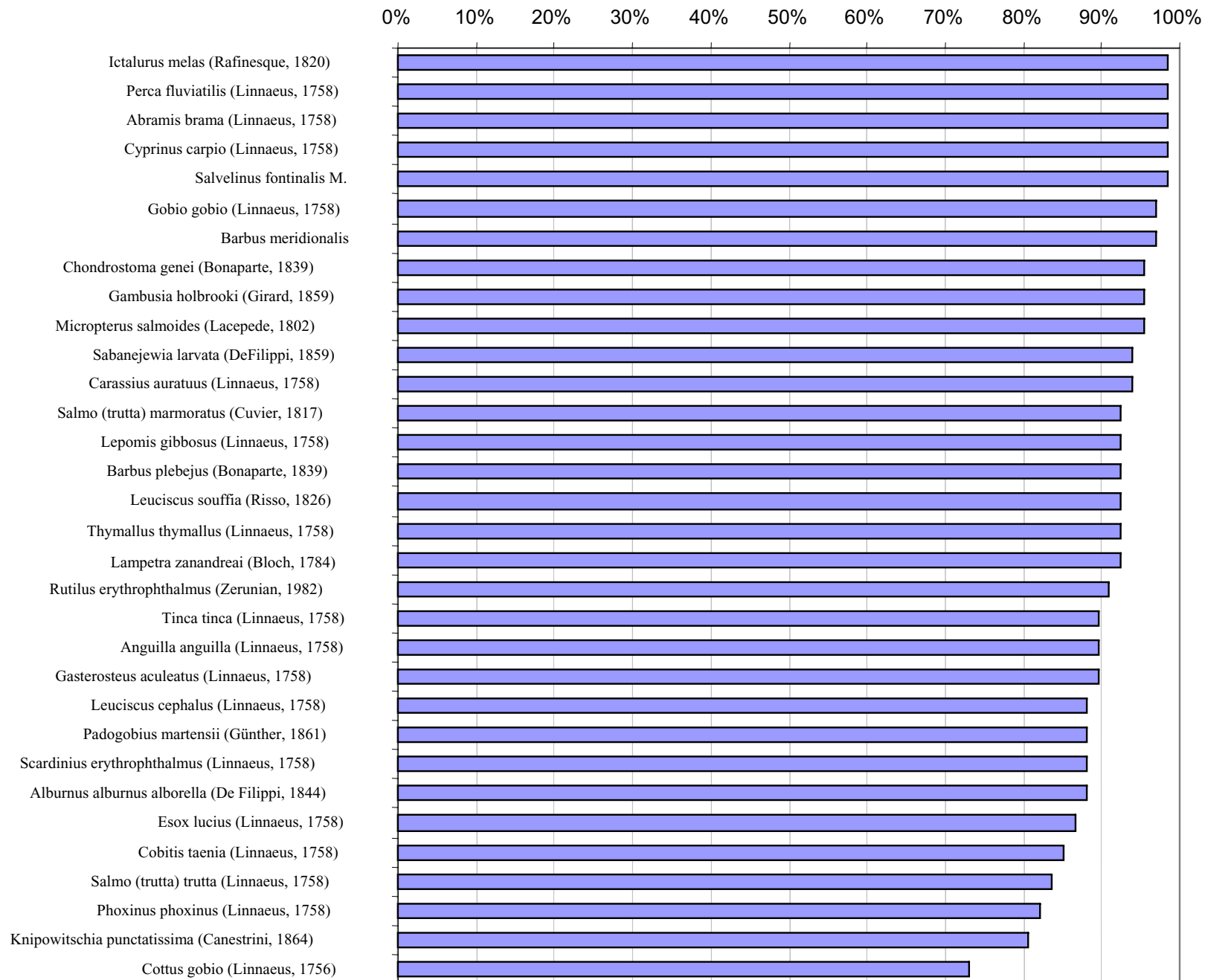
Taxon	NN output	>0.5?	osservato	ok?
Abramide	0.032	0	0	1
Alborella	0.565	1	1	1
Anguilla	0.807	1	1	1
Barbo	0.905	1	1	1
Carassio	0.064	0	0	1
Carpa	0.038	0	0	1
Cavedano	0.817	1	1	1
Cobite	0.584	1	1	1
Gambusia	0.036	0	0	1
Ghiozzo di fiume	0.798	1	1	1
Gobione	0.384	0	0	1
Lampreda di ruscello	0.057	0	0	1
Lasca	0.739	1	1	1
Luccio	0.597	1	1	1
Panzarolo	0.407	0	0	1
Persico reale	0.053	0	0	1
Persico sole	0.054	0	0	1
Persico trota	0.026	0	0	1
Pesce gatto	0.011	0	0	1
Sanguinerola	0.536	1	1	1
Scardola	0.427	0	1	0
Scazzone	0.281	0	0	1
Spinarello	0.040	0	0	1
Temolo	0.074	0	0	1
Tinca	0.337	0	0	1
Triotto	0.663	1	1	1
Trota fario	0.948	1	1	1
Trota iridea	0.154	0	0	1
Trota marmorata	0.182	0	0	1
Vairone	0.111	0	0	1

previsioni corrette: 29 su 30



assente

presente




**Previsioni
esatte:
91.6%
(media
test set)**

The K statistics

		model output	
		<i>presence</i>	<i>absence</i>
target	<i>presence</i>	1 - 1	1 - 0
	<i>absence</i>	0 - 1	0 - 0

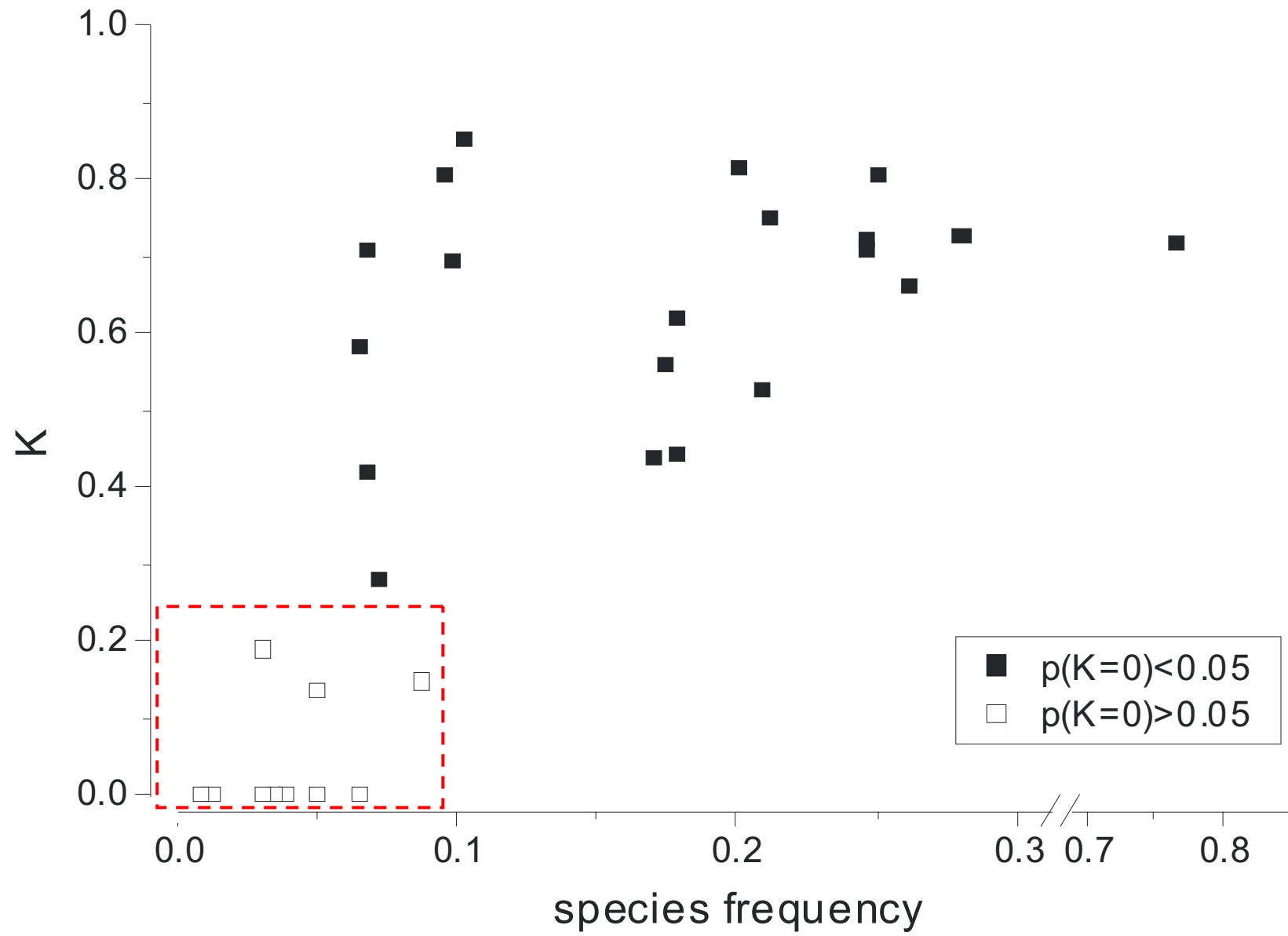
H₀ = modeled and observed data are independent of each other

$$K = \frac{Oa - Ea}{N - Ea}$$


Oa = observed count of matches

Ea = expected count of matches

N = total number of cases



Come migliorare le basi di dati

- Una copertura spaziale **omogenea** è **utile**, ma non **sufficiente**
- Il piano di campionamento deve considerare **più scale spaziali**
- Occorrono più osservazioni
- Occorrono più osservazioni
- Occorrono più osservazioni

Come migliorare l'apprendimento

- **Escludere specie, taxa, classi, cenotipi, etc. la cui frequenza nei set di training, validazione e test sia troppo alta o troppo bassa.**
- **Usare criteri ecologicamente appropriati invece dell'MSE per misurare l'errore dei modelli.**
- **Utilizzare regole ecologiche per vincolare l'apprendimento.**

Come misurare l'errore

Con dati binari (presenza/assenza):

◆ Per singoli output, su tutti i patterns:

- numero (or percentuale) di previsioni esatte
- coefficiente Kappa
- correlazione tetracorica

◆ Tutti gli output per singolo pattern:

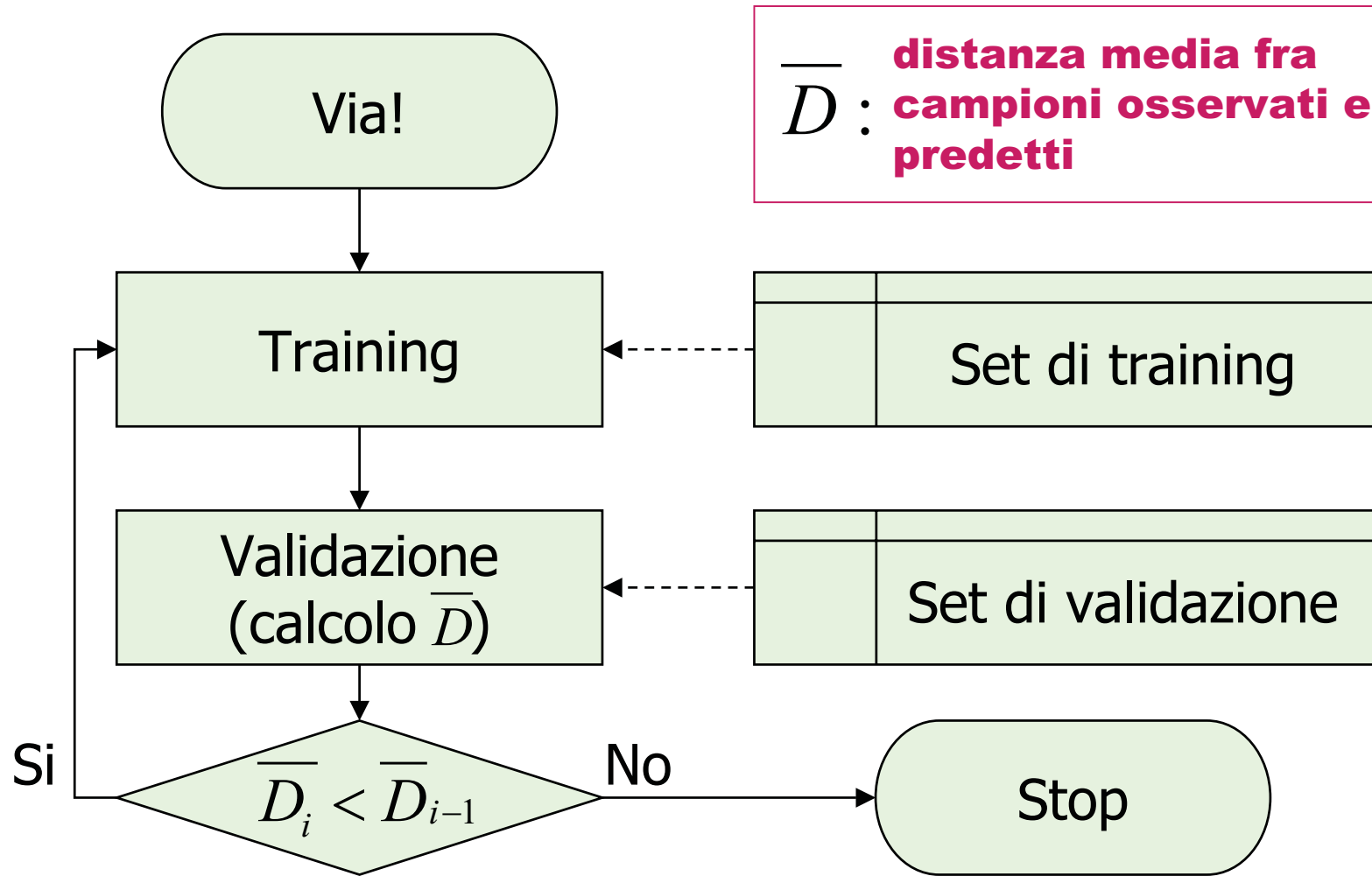
- indici di distanza/similarità

◆ Tutti gli outputs su tutti i patterns (totale):



- distanza/similarità media
- statistica di Mantel

Training di una EBP NN basato su misure di distanza



Misurare la distanza fra popolamenti

(cioè patterns, campioni, osservazioni)

- Se sia i dati di presenza che quelli di assenza sono rilevanti e certi (fiumi guadabili), è necessario un **indice di dissimilarità simmetrico**.
- Es. la dissimilarità di **Rogers & Tanimoto**:

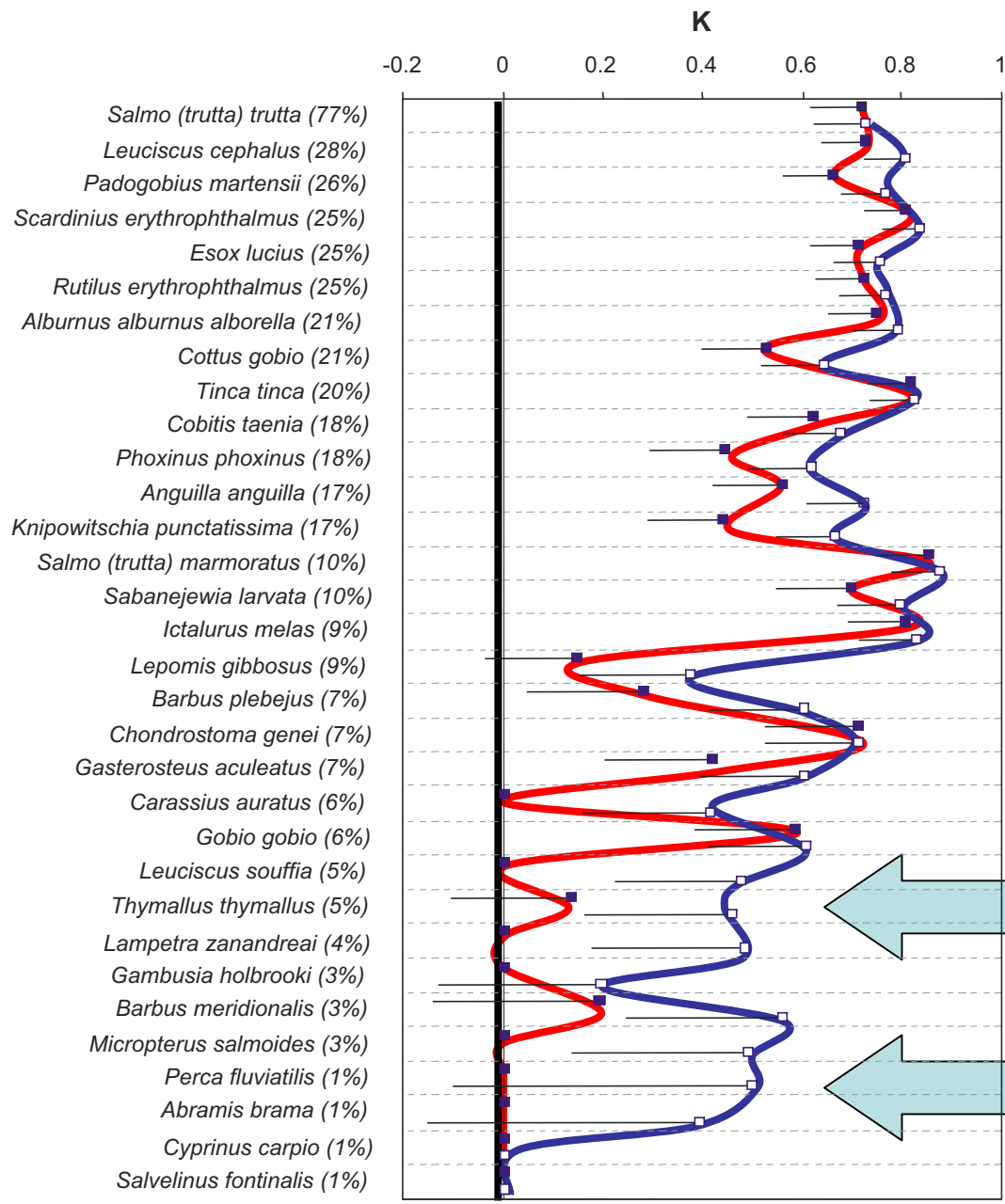
$$D = 1 - \frac{a + d}{a + 2b + 2c + d}$$

N.B. Le discordanze pesano più delle concordanze in questo indice (particolarità utile se le assenze sono molto più frequenti delle presenze nei dati o viceversa)

Training basato sulla dissimilarità di Rogers & Tanimoto

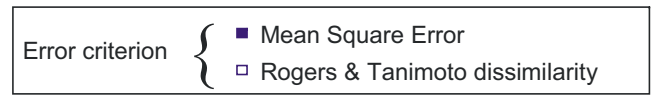
<i>Predizioni esatte</i>	<i>Diss. R&T</i>	<i>MSE</i>
totale	94.4%	93.1%
training+validazione	95.4%	93.6%
test	91.8%	91.6%

Inoltre, le specie la cui **presenza** non è stata **mai predetta** dal modello sono **solo 2 e molto rare** (carpa e salmerino, presenti due sole volte ciascuna nel test set). Con un training convenzionale, basato sull'**MSE**, sono ben **9**.



MSE

**Dissimilarità
(Rogers & Tanimoto)**



Conclusioni (1)

- Modellizzando la composizione di un popolamento ittico si devono **escludere i taxa troppo frequenti o troppo rari** (non forniscono una risposta interpretabile alle variabili ambientali!)
- **I dati (binari) di presenza/assenza non possono essere trattati come se fossero quantitativi** a causa del loro significato ecologico (il loro reale "valore" dipende dal contesto!)
- Di conseguenza, **l'errore quadratico medio non è una misura adeguata dell'accuratezza del modello** (bisogna usare altri criteri)

Conclusioni (2)

- Tali criteri devono **considerare il reale “valore”** della presenza o assenza **di ogni specie** all'interno del popolamento
- La **distanza o similarità media** fra popolamenti osservati e predetti o la **statistica di Mantel** calcolata fra matrici osservate e predette di distanza o similarità **sono due criteri adeguati**
- La loro applicazione ha consentito di ottenere **previsioni più accurate** della struttura del popolamento ittico, specialmente nei casi in cui le specie rare giocavano un ruolo rilevante

EU 5th Framework Programme

PAEQANN

*Contract n°:
Proposal number:*

**EVK1-CT1999-00026
EVK1-1999-00125**

Predicting Aquatic Ecosystem Quality using Artificial Neural Networks: Impact of Environmental characteristics on the Structure of Aquatic Communities (Algae, Benthic and Fish Fauna)

- | | | |
|---|---|----------------------|
| 1. France, Univ. Paul Sabatier, CESAC lab | → | S. Lek (ccord.) |
| 2. Denmark, Univ. Copenhagen, DFH, Env. Chemistry lab | → | S.E. Jorgensen |
| 3. Italy, Univ. Rome Tor Vergata, Dept. Biology | → | M. Scardi |
| 4. Belgium, Univ. Namur, Freshwater Ecology lab (LFE) FUNDP | → | J.P. Descy |
| 5. France, CEMAGREF, Bordeaux | → | F. Delmas / M. Coste |
| 6. Luxemburg, Cell. Recherche Environ. Biotechnol. | → | L. Ector |
| 7. Netherlands, ALTErrA Institute, Freshwater Ecol. team | → | P.F.M. Verdonschot |
| 8. Austria, Austrian Research Center, Seibersdorf | → | H.M. Knoflacher |




<http://aquaeco.ups-tlse.fr>

PAEQANN | Country : Italy - Organism : Fish

Site environmental variables

Variable	Value
River	Not Available
Tributary	Not Available
commune	Not Available
Longitude	11.8393
Latitude	45.7650
Total Catchment of the basin(km2)	28.6231
Catchment of the river(km2)	Not Available
Distance from source (km)	10.3914
Width (m)	3.0000
Slope (%)	0.5300
Albtude (m)	89.0000
Mean depth (m)	0.1000
Shady surface area (m2)	Not Available

Available visits :



Visit environmental variables

Variable	Value
runs (surface, %)	0.0000
pools (surface, %)	0.0000
riffles (surface, %)	100.0000
boulders (surface, %)	0.0000
rocks and pebbles (surface, %)	27.0000
gravel (surface, %)	68.0000
sand (surface, %)	0.0000
silt and clay (surface, %)	5.0000
stream velocity (score, 0-5)	2.0000
vegetation covering (surface, %)	0.0000
shadow (%)	60.0000
pH	8.0700
conductivity (mS/cm)	681.0000

Community composition

Species name	Density
Orsingobius punctatissimus (Panzaro)	Not Available
Padogobius martensii (Ghiozzo di fi...	Not Available
Salmo trutta trutta (Sea trout)	Not Available

Command

Back Help Info Quit

PAEQANN | Country : Italy - Organism : Fish | New Site Prediction

Input Values

Environmental...	Value	Min	Max
Altitude (m)	500	0	1800
Mean depth (m)	1	0	1.5
runs (surface, %)	25	0	100
pools (surface, ...)	15	0	100
riffles (surface, ...)	60	0	100
Width (m)	2	0	85
boulders (surfa...	35	0	100
rocks and pebb...	15	0	100
gravel (surface...	45	0	100
sand (surface, ...)	5	0	100
silt and clay (su...	0	0	100
stream velocity...	2	0	5
vegetation cov...	45	0	100

Prediction

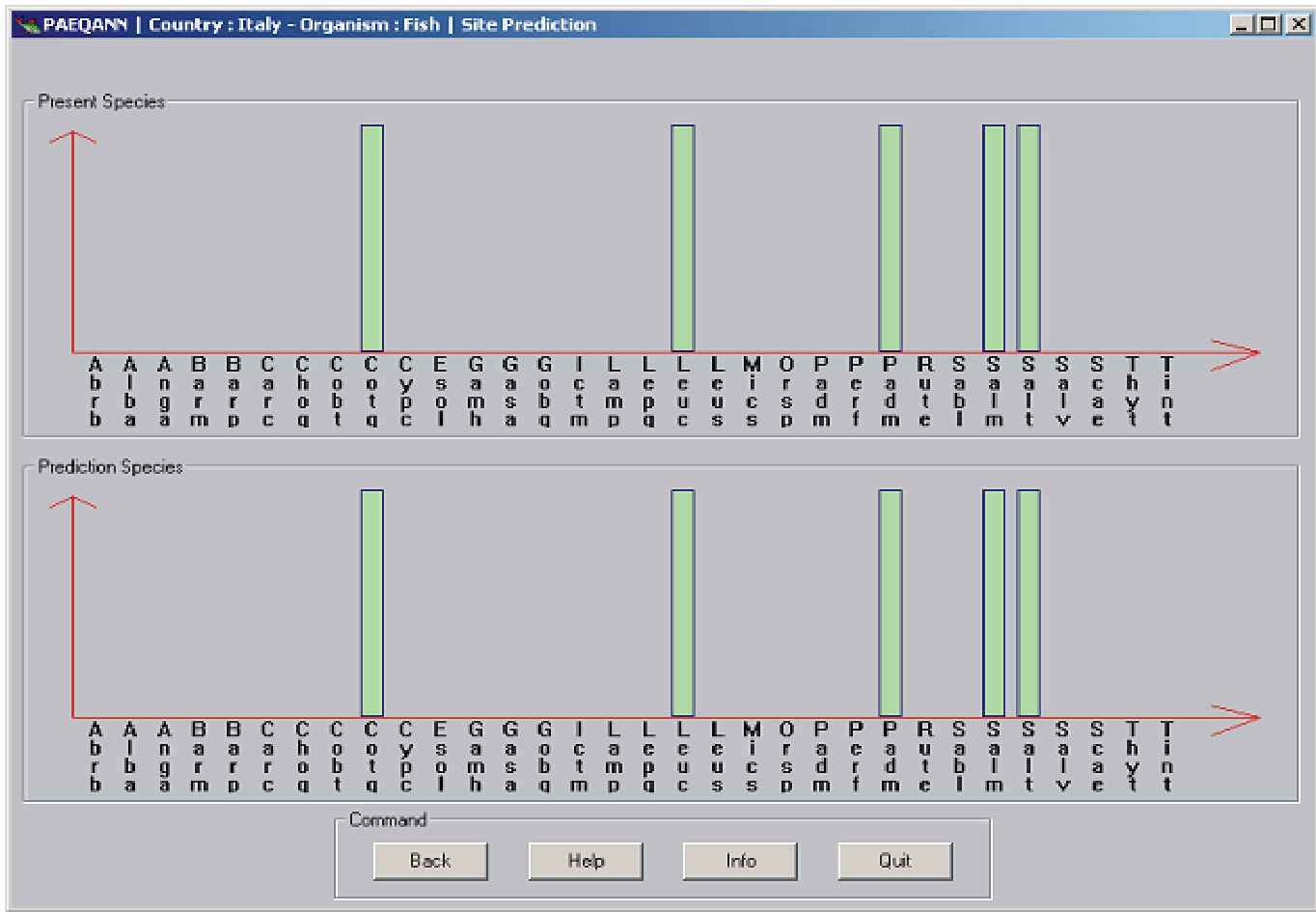
Results

Name of species	Density predicted
Salmo trutta trutta (Sea trout)	1.0000000000
Leuciscus cephalus (Chub)	0.0000000000
Padogobius martensii (Ghiozzo di fi...	1.0000000000
Scardinius erythrophthalmus (Rudd)	0.0000000000
Esox lucus (European Pike)	0.0000000000
Rubilus erythrophthalmus ()	1.0000000000
Alburnus alburnus (Bleak)	0.0000000000
Cottus gobio (Bullhead)	0.0000000000
Tinca tinca (Tench)	0.0000000000
Cobitis taenia (Spined loach)	0.0000000000
Phoxinus phoxinus (Minnow)	1.0000000000
Anguilla anguilla (European Eel)	1.0000000000
Orsinogobius punctatissimus (Panzaro)	0.0000000000
Salmo trutta marmoratus (Marble T...	1.0000000000

Command

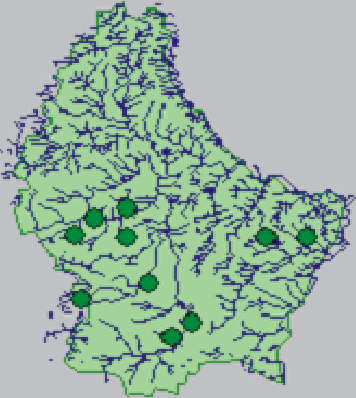
Back Help Info Quit

Export model Open File



PAEQANN | Country : Luxembourg - Organism : Macroinvertebrate | Patterning

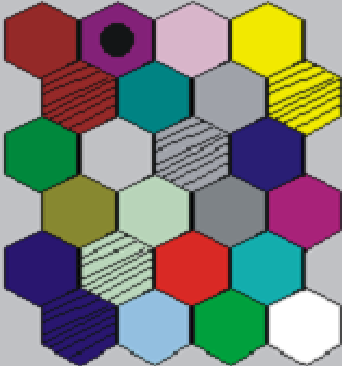
Geographic Map



Navigation controls: up, down, left, right arrows and zoom in/out icons.

Self-Organizing Map

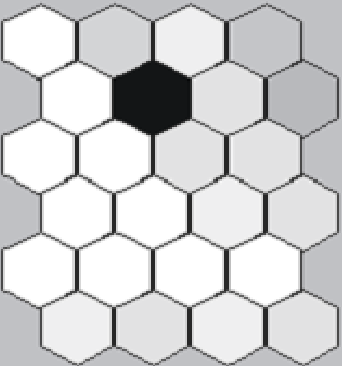
Level 1 | All Sites



Click on a cell to view repartition

Environmental Variables

Slope (m/km)



min= 0.12 max= 4.23

Action

Test new data

Command

Back Help Info Quit

Information

Interpretation

E LA DIRETTIVA SULLE ACQUE?

Da un modello (rete neurale) alla WFD

Struttura **predetta del popolamento**
+
Struttura **osservata del popolamento**
+
Misura adeguata di **similarità o distanza**
=
Valutazione dello **Stato Ecologico**
(secondo la WFD)

Problema

- Una volta definita la struttura della **comunità di riferimento**, date le condizioni dell'ambiente fisico al contorno, come si misura lo scarto da essa della **comunità osservata**?
- Ovvero, come si formula un **giudizio di qualità**?

Alcune misure di scarto dall'assetto atteso della comunità

cfr. Moss *et al.* (1987)

$$O/E$$

Sokal & Michener (1958)

$$S_{jk} = \frac{a + d}{a + b + c + d}$$

Rogers & Tanimoto (1960)

$$S_{jk} = \frac{a + d}{a + 2b + 2c + d}$$

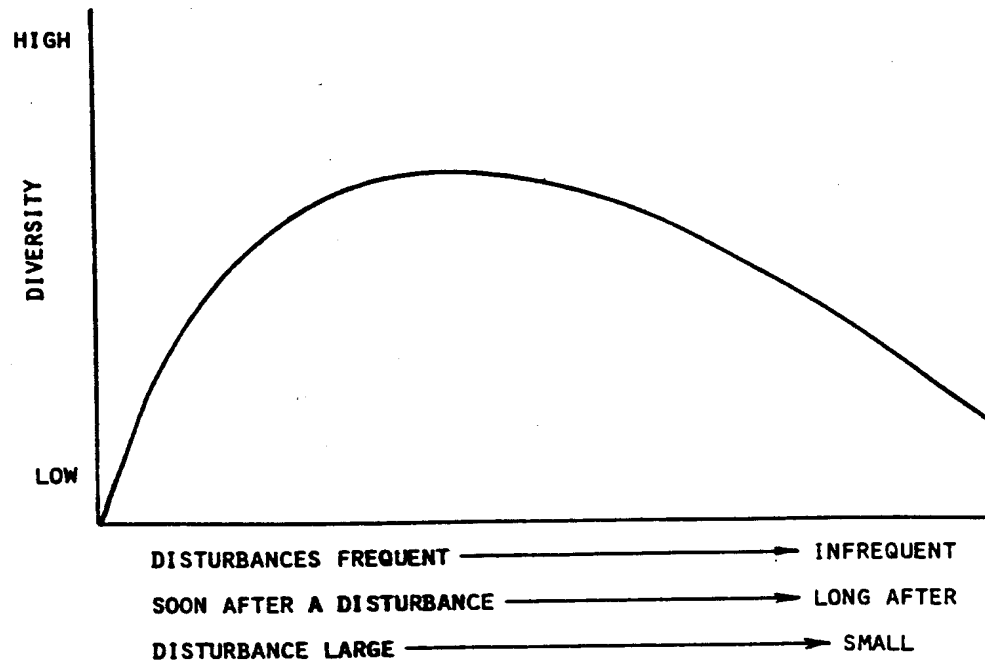
Jaccard (1900)

$$S_{jk} = \frac{a}{a + b + c}$$

O/E { $<1 \rightarrow$ comunità degradata
 $\approx 1 \rightarrow$ comunità integra
 $>1 \rightarrow$ comunità arricchita

Teoria del disturbo intermedio

Connell, J. H. (1978): Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. Science 199: 1302-1310.



	osservato		atteso (rete neurale)	
	n	p	n	
Abramide	0	0.030	0	<i>d</i>
Alborella	0	0.528	1	<i>c</i>
Anguilla	0	0.751	1	<i>c</i>
Barbo	1	0.853	1	<i>a</i>
Carassio	0	0.074	0	<i>d</i>
Carpa	0	0.033	0	<i>d</i>
Cavedano	1	0.718	1	<i>a</i>
Cobite	1	0.634	1	<i>a</i>
Gambusia	0	0.040	0	<i>d</i>
Ghiozzo di fiume	1	0.818	1	<i>a</i>
Gobione	0	0.345	0	<i>d</i>
Lampreda di ruscello	0	0.042	0	<i>d</i>
Lasca	1	0.552	1	<i>a</i>
Luccio	0	0.589	1	<i>c</i>
Panzarolo	0	0.360	0	<i>d</i>
Persico reale	0	0.053	0	<i>d</i>
Persico sole	0	0.060	0	<i>d</i>
Persico trota	0	0.028	0	<i>d</i>
Pesce gatto	0	0.019	0	<i>d</i>
Sanguinerola	0	0.391	0	<i>d</i>
Scardola	1	0.521	1	<i>a</i>
Scazzone	0	0.245	0	<i>d</i>
Spinarello	0	0.026	0	<i>d</i>
Temolo	0	0.069	0	<i>d</i>
Tinca	0	0.364	0	<i>d</i>
Triotto	0	0.646	1	<i>c</i>
Trota fario	1	0.897	1	<i>a</i>
Trota iridea	0	0.119	0	<i>d</i>
Trota marmorata	0	0.202	0	<i>d</i>
Vairone	1	0.090	0	<i>b</i>

a = 7
b = 1
c = 4
d = 18

O = 8
 $E_p = 10.099$
 $E_n = 11$

$O/E_p = 0.792$

$O/E_n = 0.727$

Concordanza semplice = 0.833

Rogers & Tanimoto. = 0.714

Jaccard = 0.583

	osservato		atteso (rete neurale)	
	n	p	n	
Abramide	0	0.025	0	d
Alborella	1	0.549	1	a
Anguilla	1	0.817	1	a
Barbo	1	0.916	1	a
Carassio	0	0.063	0	d
Carpa	0	0.030	0	d
Cavedano	1	0.805	1	a
Cobite	1	0.614	1	a
Gambusia	0	0.031	0	d
Ghiozzo di fiume	1	0.818	1	a
Gobione	0	0.351	0	d
Lampreda di ruscello	0	0.048	0	d
→ Lasca	0	0.665	1	c
Luccio	1	0.651	1	a
→ Panzarolo	1	0.364	0	b
Persico reale	0	0.046	0	d
Persico sole	0	0.048	0	d
→ Persico trota	1	0.021	0	b
Pesce gatto	0	0.012	0	d
→ Sanguinerola	1	0.393	0	b
Scardola	0	0.479	0	d
Scazzone	0	0.250	0	d
Spinarello	0	0.030	0	d
Temolo	0	0.059	0	d
→ Tinca	1	0.352	0	b
Triotto	1	0.666	1	a
Trota fario	1	0.943	1	a
Trota iridea	0	0.169	0	d
Trota marmorata	0	0.157	0	d
Vairone	0	0.089	0	d

a = 9

b = 4

c = 1

d = 16

O = 13

$E_p = 10.458$

$E_n = 10$

$O/E_p = 1.243$

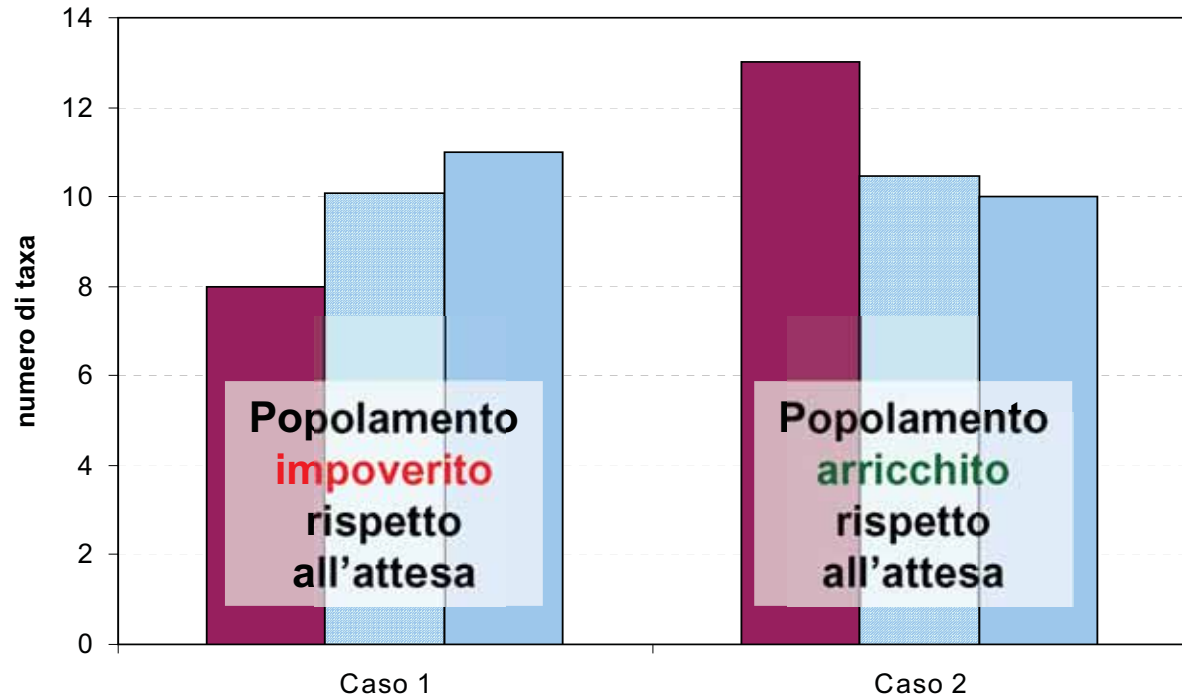
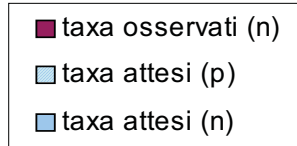
$O/E_n = 1.300$

Concordanza semplice = 0.833

Rogers & Tanimoto. = 0.714

Jaccard = 0.643

Popolamento osservato vs. popolamento atteso



cfr. Moss *et al.* (1987)

$$O/E=0.742$$

$$O/E=1.243$$

Sokal & Michener (1958)

$$S = 0.833$$

$$S = 0.833$$

Rogers & Tanimoto (1960)

$$S = 0.714$$

$$S = 0.714$$

Jaccard (1900)

$$S = 0.583$$

$$S = 0.643$$

E il giudizio esperto?

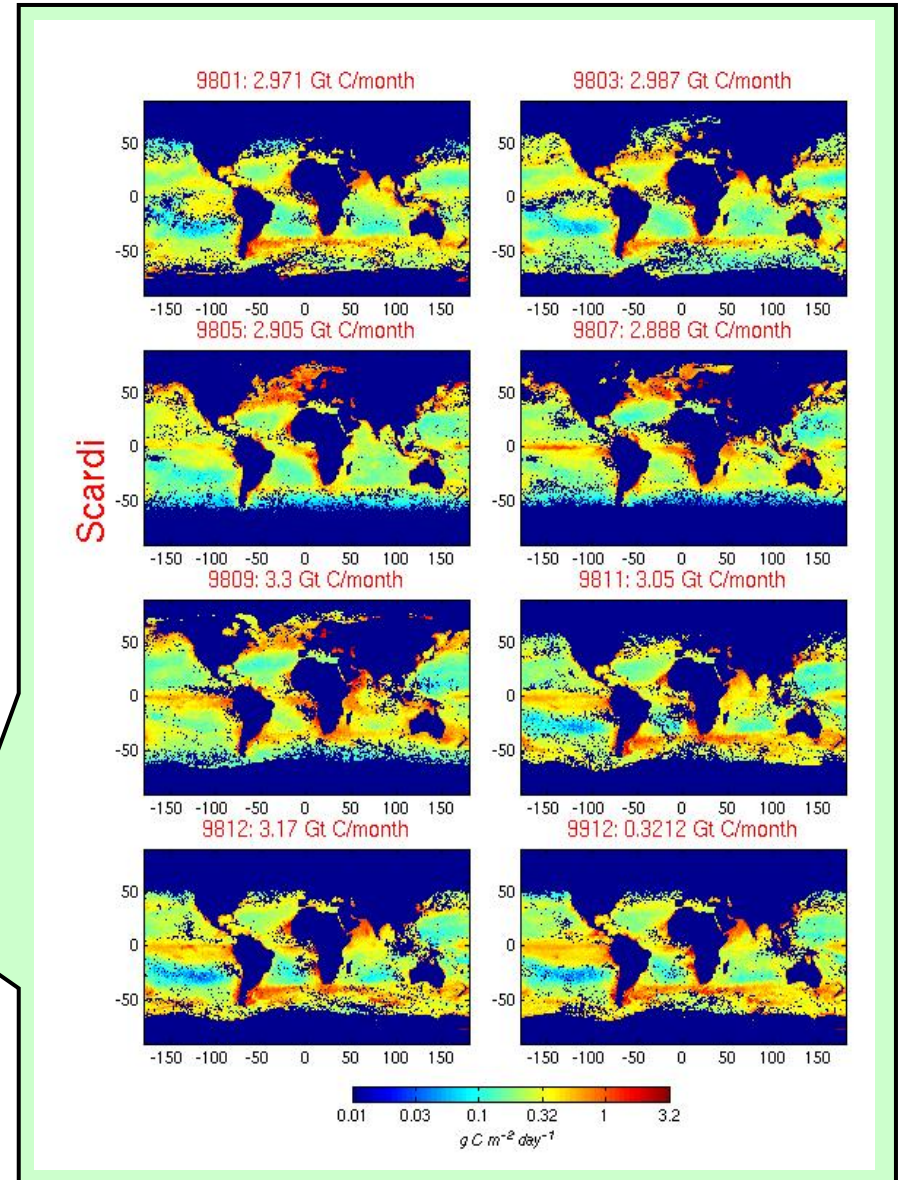
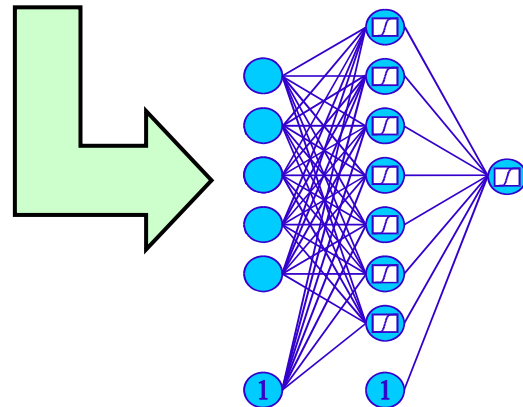
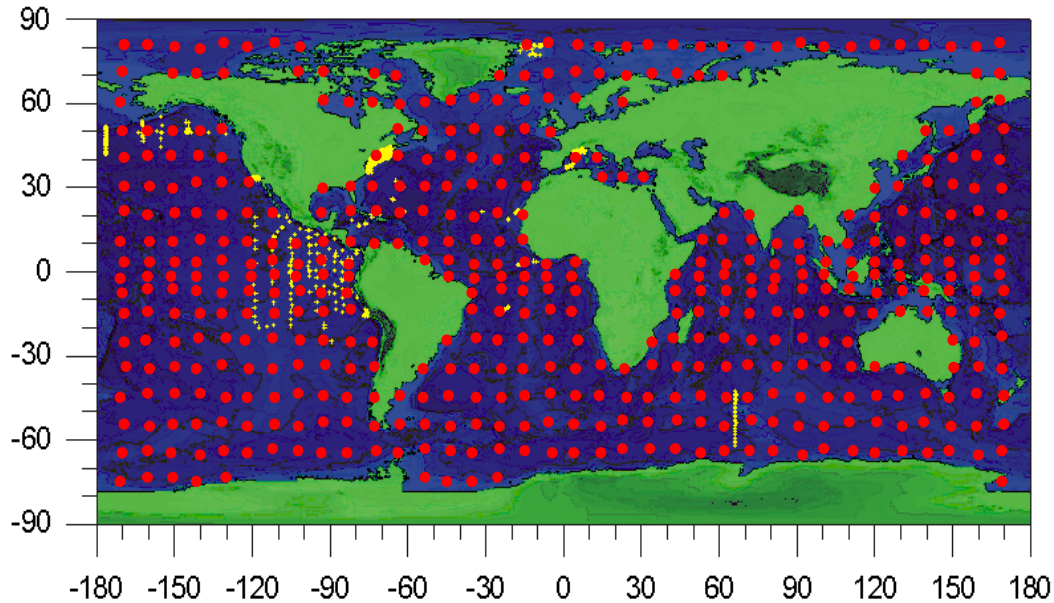
- Può essere considerato:
 - *a posteriori*, se data una distanza fra popolamento atteso ed osservato, questa viene convertita in una valutazione dello stato ecologico attraverso un giudizio esperto.
 - *a priori*, se il giudizio esperto viene incorporato direttamente nel sistema di valutazione, meglio se utilizzando più fonti secondo un approccio meta-modellistico.
- Quest'ultimo approccio ha il merito di generare un giudizio di consenso, che rappresenta la sintesi di più giudizi esperti indipendenti.

Approccio #3 (work in progress!)

Associamo dati e giudizi esperti

Cos'è un meta-modello?

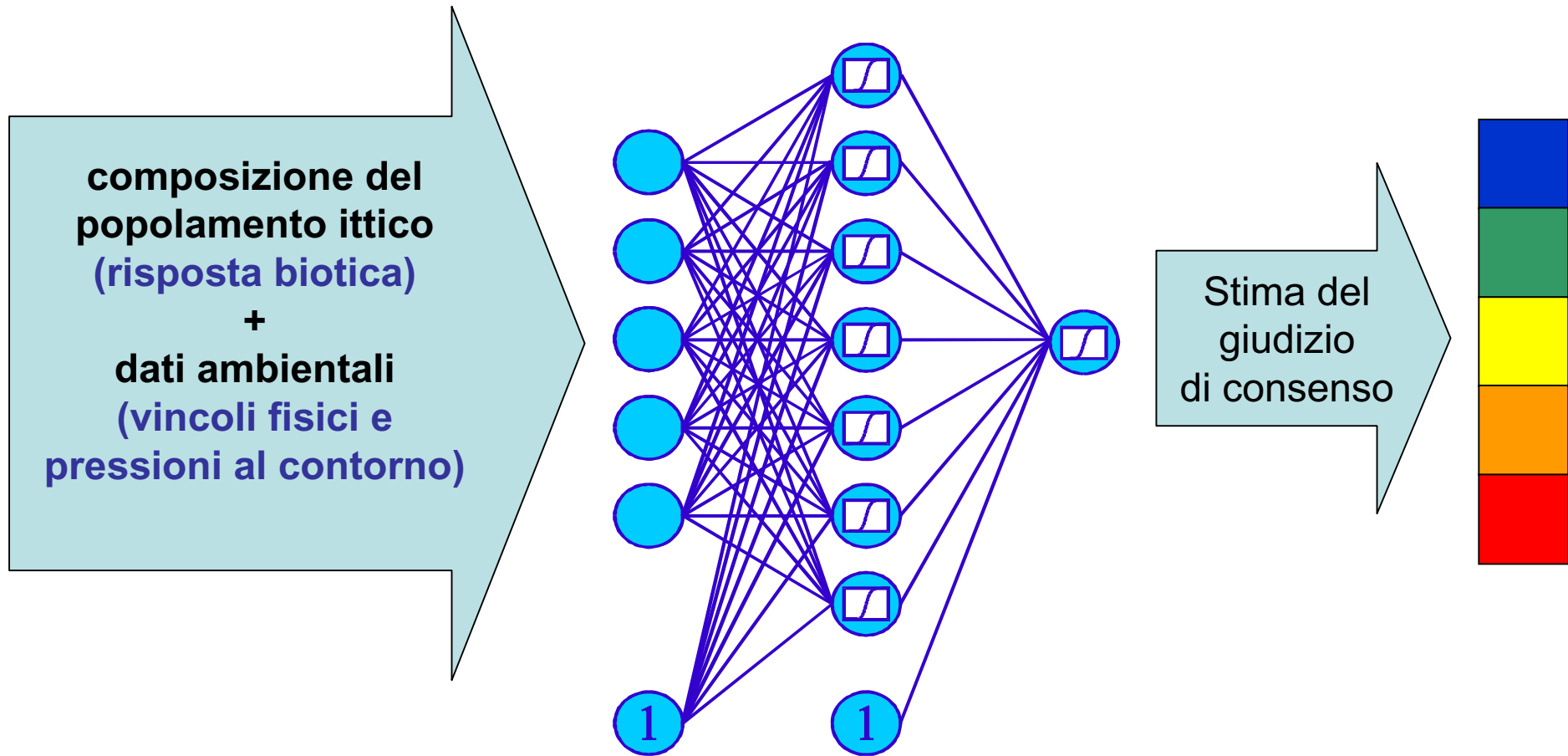
Dati di campo + Stime da altri modelli ●



Una NN per la valutazione della qualità ambientale (di consenso)

- **Informazioni necessarie:**
 - Dati ambientali
 - Composizione popolazione
 - Giudizio esperto da più fonti
- **Risultati attesi:**
 - Giudizio esperto di consenso (migliore approssimazione dell'insieme dei giudizi)
 - Analisi del giudizio esperto di consenso (attraverso analisi di sensibilità o estrazione di regole)

Una NN per la valutazione della qualità ambientale (di consenso)

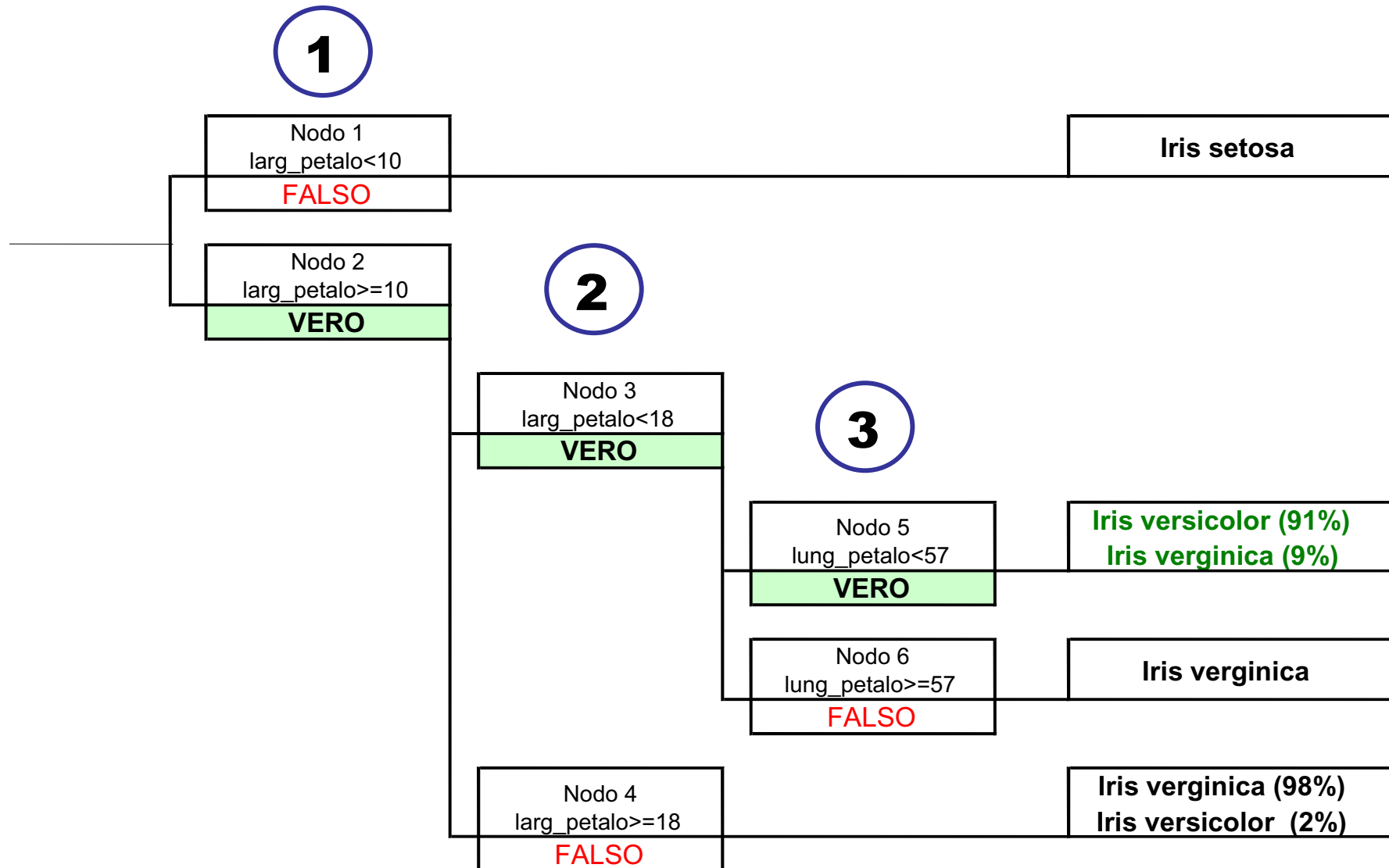


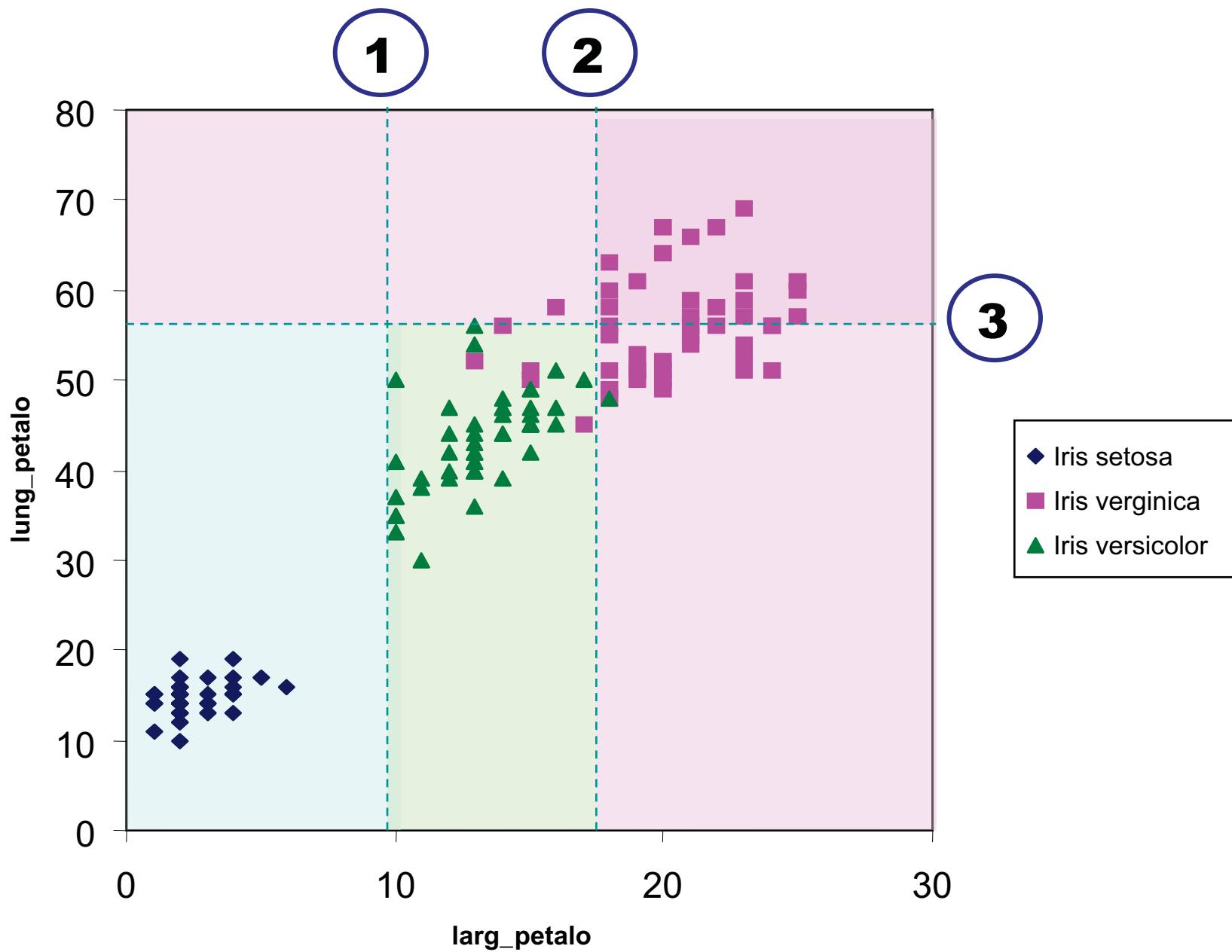
Un'esempio reale: la proposta IFP

- L'approccio proposto per l'Indice di Funzionalità Perilacuale (IFP), sperimentato su un primo data set ridotto, ha mostrato come un giudizio di consenso possa essere efficacemente ricostruito.
- Lo strumento computazionale utilizzato (*classification tree*) è molto semplice nella sua applicazione ed è di facile divulgazione.
- Una rete neurale può fornire anche migliori prestazioni, ma viene percepita dall'utente non tecnico come un black-box.

Classification trees?

Il metodo: un esempio classico...





Indice di Funzionalità Perilacuale (IFP)

Variabili considerate

		unità di misura	tipologia	ID
TIPOLOGIA VEGETAZIONE PERILACUALE (del tratto omogeneo)	specie arborea	%	%	arbo%
	specie arbustive	%	%	arbu%
	canneto (elofite)	%	%	cann%
	erbe	%	%	erbe%
	suolo nudo	%	%	nudo%
	igrofile	%	%	igro%
	non igrofile	%	%	nigr%
	esotiche	%	%	esot%
AMPIEZZA		punteggio	0 (assente) 1 (da 1 a 5m); 2 (da 5 a 10m); 3 (da 10 a 30 m); 4 (da 30 a 50m) 5 (> 50m)	ampie
CONTINUITA'	vegetazione arborea ed arbustiva	categoria	assente/discontinuo/continuo	co_va
	canneto bagnato	categoria	assente/discontinuo/continuo	co_cb
	canneto asciutto	categoria	assente/discontinuo/continuo	co_ca
INTERRUZIONE	fino a 50 metri dalla riva	punteggio	assegnare un punteggio da 0 a 1: 0=assenza di interruzioni, 1=discontinuità su tutto il tratto considerato, valori intermedi se la discontinuità interessa parte del tratto considerato	inter
TIPOLOGIA INTERRUZIONE	fino a 50 metri dalla riva		punteggio 0: quando l'interruzione è costituita da prati incolti, sentiero o strada sterrata, orto o giardino familiare, siepi, parco giochi, parcheggio filtrante. punteggio 0,5: quando l'interruzione è costituita da urbanizzazione rada, prato coltivato, coltivazioni non intensive, strada asfaltata, parcheggio impermeabilizzato. punteggio 1: quando l'interruzione è costituita da: area urbanizzata, insediamenti produttivi, coltivazioni intensive stagionali e perenni, estrazioni di inerti, infrastrutture primarie	tipol
USO TERRITORIO PREVALENTE	agricolo	categoria	0 foreste e boschi; 1 prati pascoli boschi arativi incolti; 2 colture stagionali e o permanenti e urbanizzazione rada; 3 area urbanizzata	usete
INFRASTRUTTURE	strade provinciali/statali	punteggio	assegnare un punteggio da 0 a 1: 0=assenza, 1=presente su tutto il tratto considerato, valori intermedi se presente solo su parte del tratto considerato	strad
	ferrovie	punteggio	assegnare un punteggio da 0 a 1: 0=assenza, 1=presente su tutto il tratto considerato, valori intermedi se presente solo su parte del tratto considerato	ferro
	parcheggi	punteggio	assegnare un punteggio da 0 a 1: 0=assenza, 1=presente su tutto il tratto considerato, valori intermedi se presente solo su parte del tratto considerato	parch
INFRASTRUTTURE TURISTICHE	strutture fisse, passerelle lungolago, piste ciclabili, spiagge per balneazione, pontili, porti turistici, parchi divertimento	punteggio	assegnare un punteggio da 0 a 1: 0=assenza, 1=presente su tutto il tratto considerato, valori intermedi se presente solo su parte del tratto considerato	strut

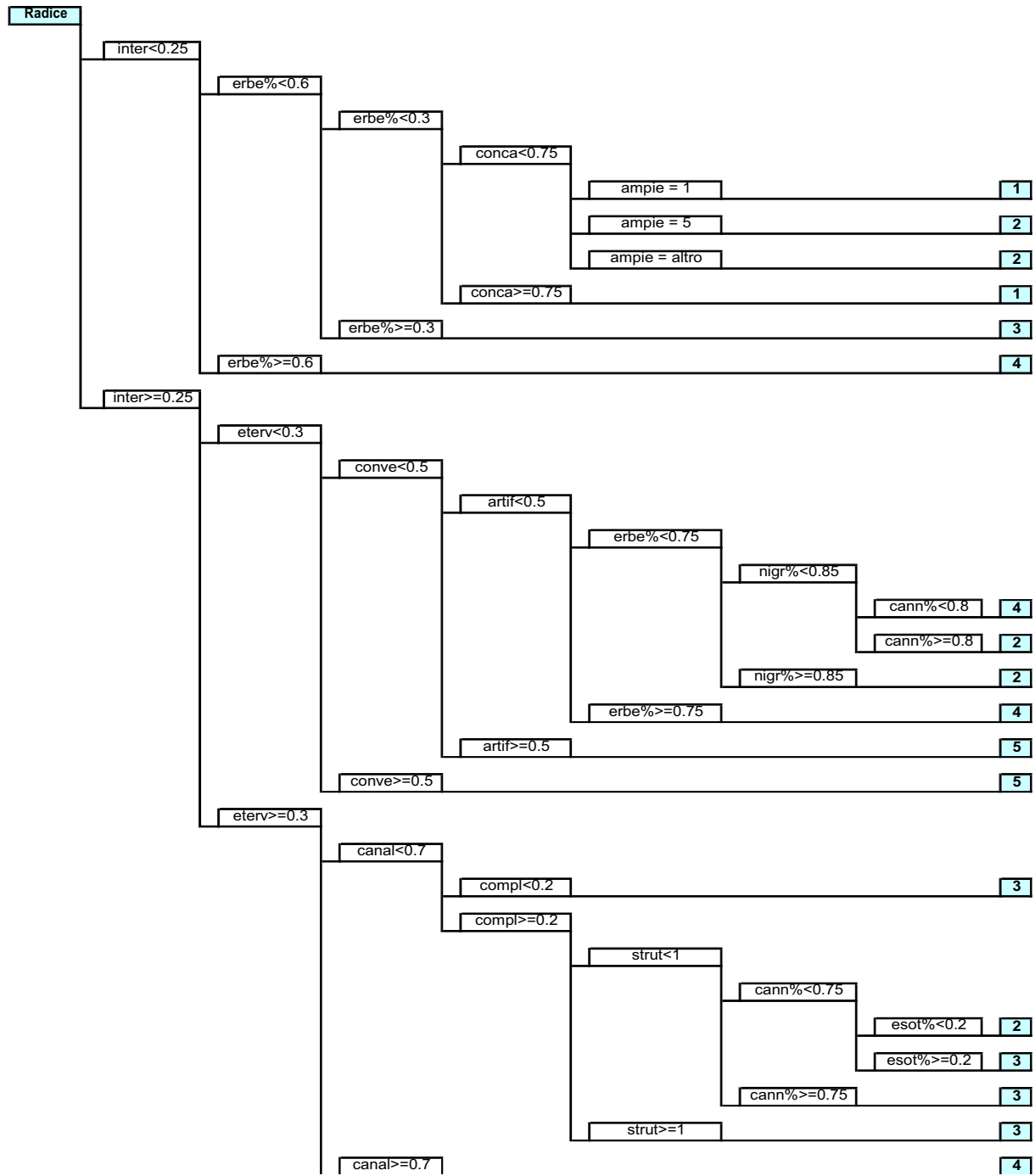
INFRASTRUTTURE TURISTICHE	strutture fisse, passerelle lungolago, piste ciclabili, spiagge per balneazione, pontili, porti turistici, parchi divertimento	punteggio	assegnare un punteggio da 0 a 1: 0=assenza, 1=presente su tutto il tratto considerato, valori intermedi se presente solo su parte del tratto considerato	strut
NUOVI DESCRITTORI	Pendenza media della fascia perilacuale emersa	punteggio	punteggio arbitrario: 0=fascia pianeggiante; 1=fascia con pendenza appena apprezzabile ; 2=pendenza evidente, ma superabile senza problemi (es. i sentieri o le strade corrono perpendicolari alla riva); 3=pendenza elevata, ma superabile da sentieri o strade con un andamento non lineare (rampe di accesso); 4=forte pendenza, strade o sentieri procedono con tornanti; 5=pendenza estrema, non superabile da veicoli ne' a piedi sulla massima pendenza	pende
	Pendenza area emersa=pendenza area sommersa?	categoria	si/no (stima sull'intero tratto considerato)	concp
	Concavità del profilo della riva	punteggio	punteggio da 0 (assenza di concavità, ovvero di insenature) a 1 (il tratto considerato forma un'unica insenatura) N.B. se è 0 ed è zero anche il successivo, allora il profilo è lineare. Se è 1 ed è 1 anche il successivo, allora il profilo è complesso, cioè ha sia insenature che "promontori".	conca
	Convessità del profilo della riva	punteggio	punteggio da 0 (assenza di convessità, ovvero di "promontori") a 1 (il tratto considerato forma un'unico "promontorio") N.B. se è 0 ed è zero anche il precedente, allora il profilo è lineare. Se è 1 ed è 1 anche il precedente, allora il profilo è complesso, cioè ha sia insenature che "promontori".	conve
	Complessità della profilo della riva	punteggio	punteggio da 0 (profilo senza ondulazioni o digitazioni di qualsiasi natura) a 1 (il tratto considerato è fortemente digitato e comunque presenta uno sviluppo della linea di riva molto superiore alla distanza fra i suoi estremi).	compl
	Artificialità riva	punteggio	punteggio: 0 per assenza, 0.5 per presenza di argini in pietra o comunque permeabili, 1 per argini in cemento o comunque non impermeabili. N.B. dare un punteggio ridotto in proporzione se l'argine interessa solo parte del tratto considerato	artif
	Canalizzazione apparente del run-off	punteggio	punteggio: 0 se non si nota nessuna direzione di flusso prevalente, 1 se tutto lo scolo converge in un unico punto di immissione, intermedio se la condizione lo richiede	canal
	Eterogeneità vegetazione arborea	punteggio	punteggio: 0 se è monospecifica, 1 se è fortemente diversificata, senza nessuna specie dominante. intermedio negli altri casi	eterv
GIUDIZIO PERSONALE	esprimere un giudizio sulla base della vostra sensibilità ecologica	punteggio	1 (eccellente); 2 (buono); 3 (mediocre); 4 (scadente) 5 (pessimo)	val

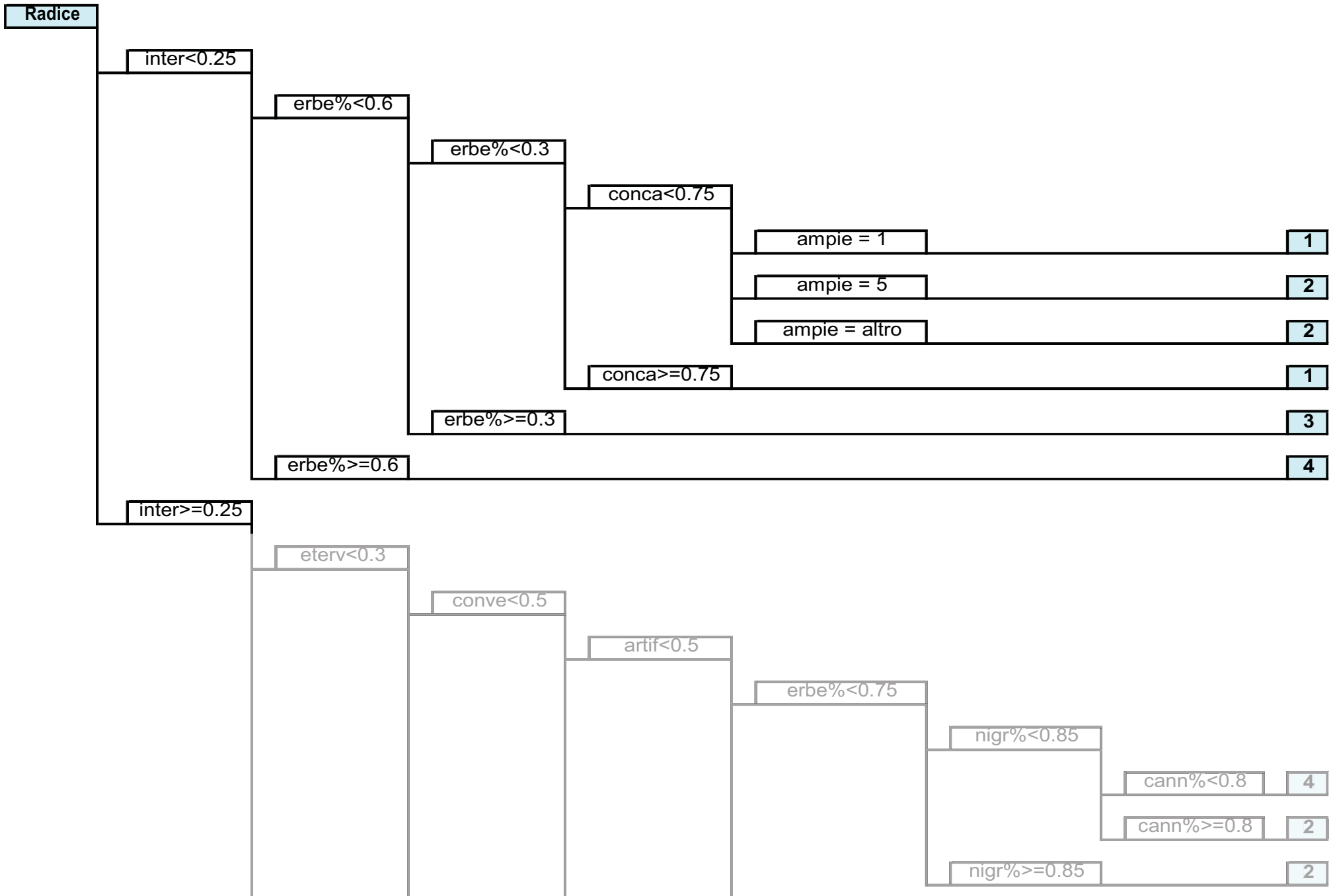
Acquisizione dei dati

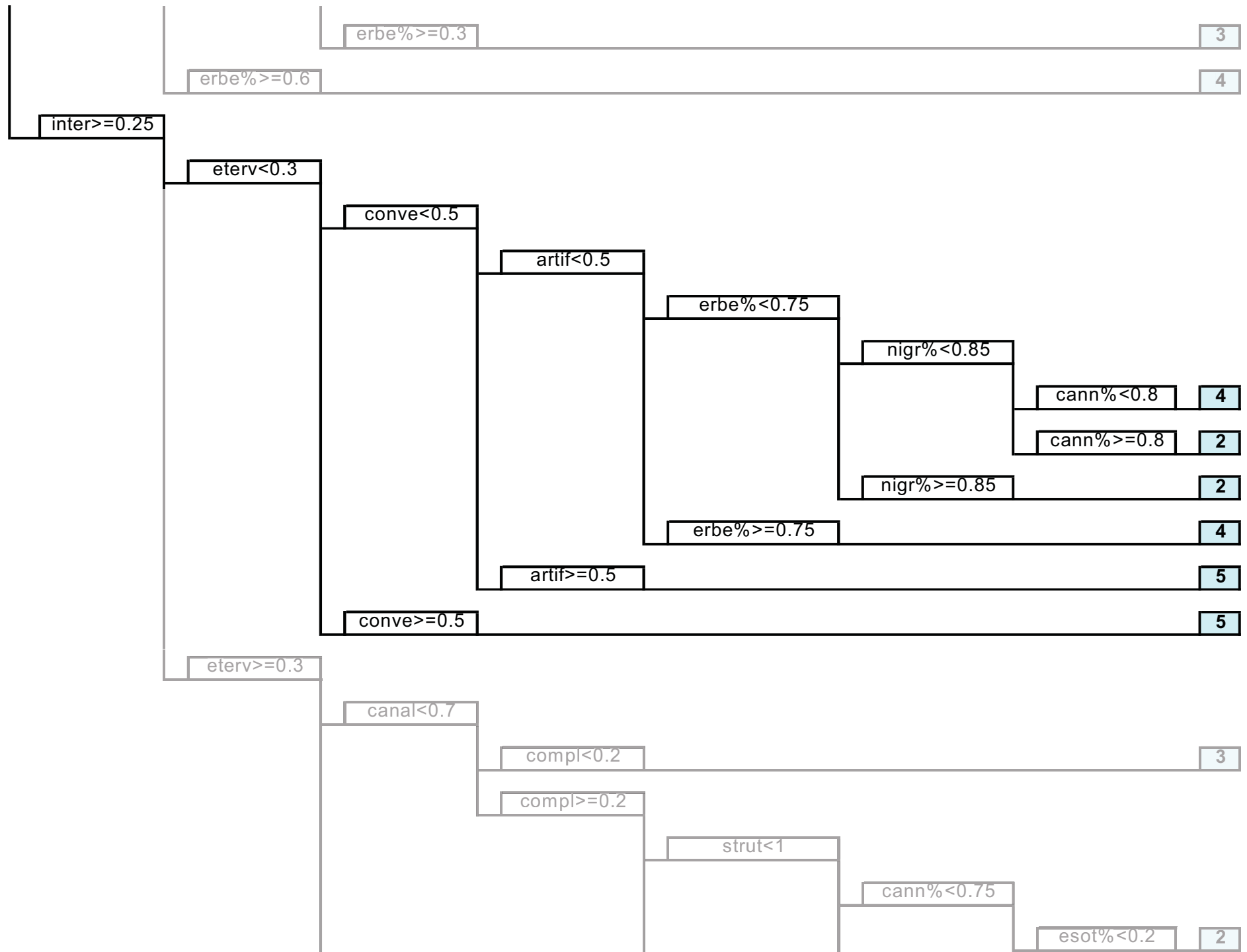
- Dove possibile, più schede relative ad un singolo sito sono state compilate indipendentemente da più osservatori
- Nel caso di un giudizio non certo, l'osservatore poteva assegnare due punteggi invece di uno (codifica pseudo-fuzzy)
- E' stato richiesto di effettuare simulazioni di acquisizione dei dati (cosa dovrebbe essere diverso per formulare un giudizio migliore? ed uno peggiore? che giudizio si assegnerebbe i valori di una o più variabili fossero diversi?)
- In questo modo ogni sito arricchisce la base di dati con informazioni che non sono strettamente sito-specifiche

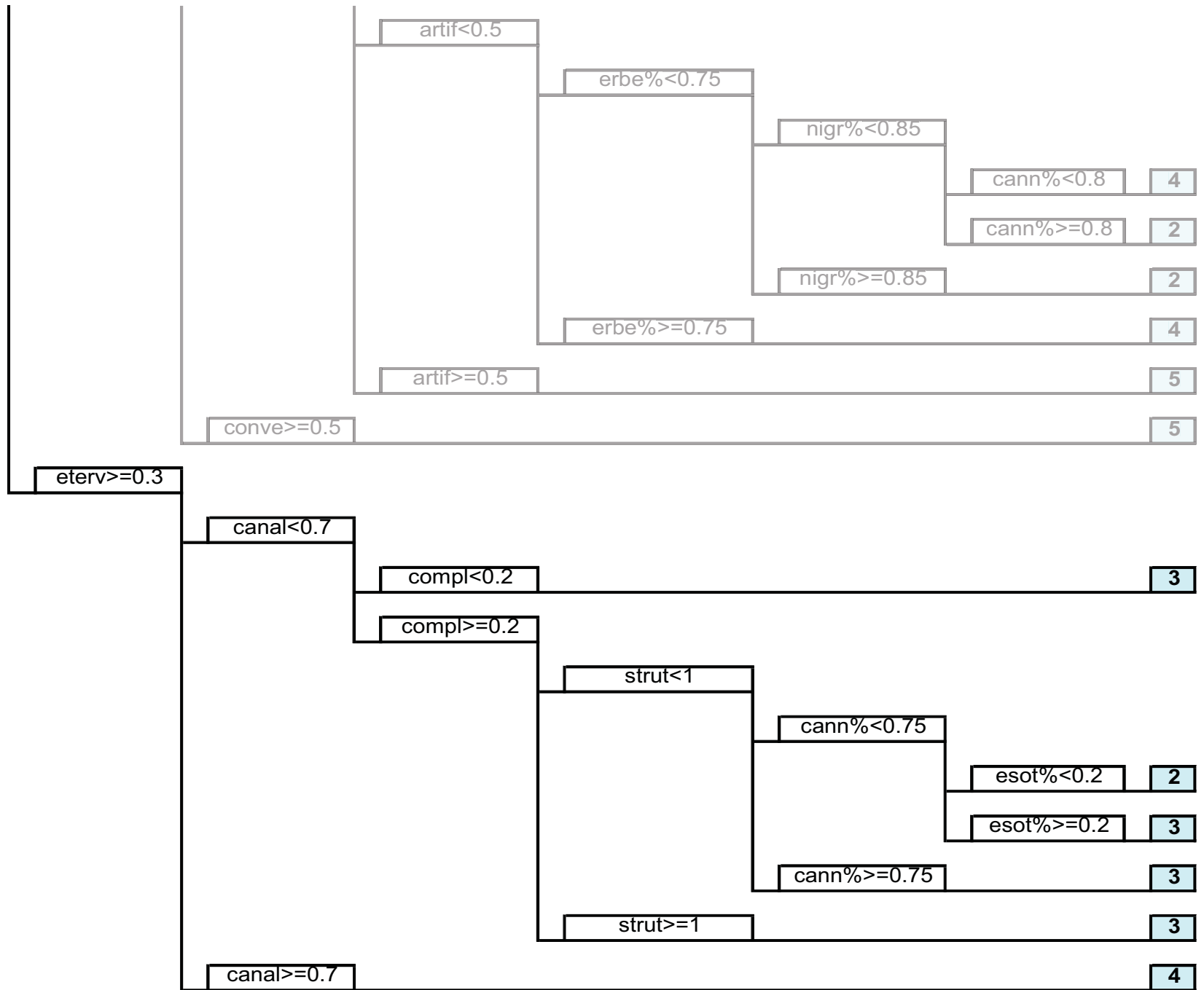
Indice di Funzionalità Perilacuale (IFP)

Il *classification tree* addestrato









Indice di Funzionalità Perilacuale (IFP)

Risultati della validazione

		classe prevista					
		1	2	3	4	5	
classe osservata							
1		10					10
2			20				20
3			1	10		1	12
4			1		11	1	13
5					1	5	6
		10	22	10	12	7	61

- 56 classificazioni corrette su 61 (91.8%)
- Solo 2 casi su 61 con scarto maggiore di una classe
- Nessun caso di scarti maggiori di due classi

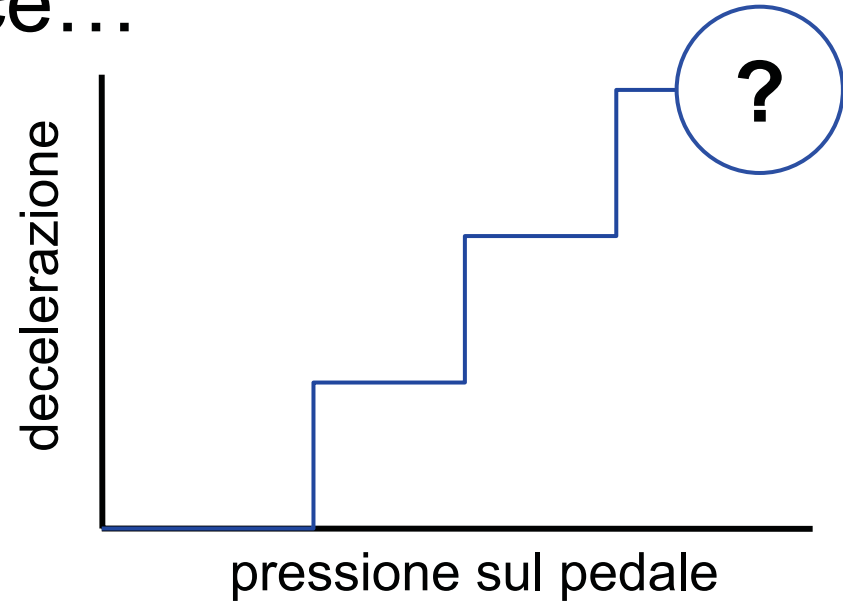
Conclusioni

(breve, giuro!)

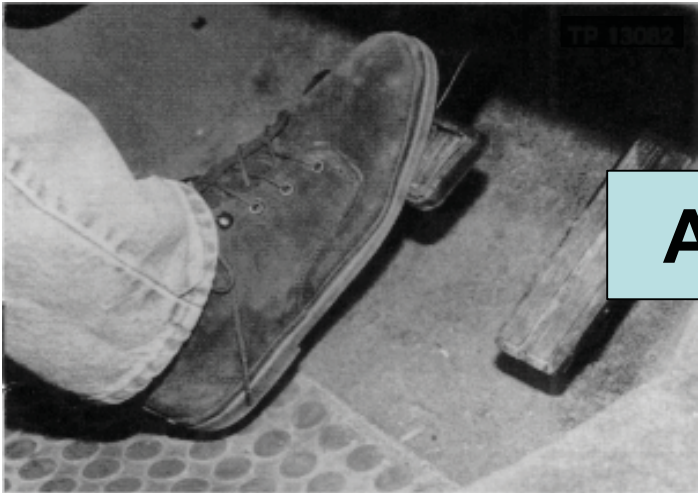
Alcune premesse (*ma come, alla fine?*)

- Valutare la qualità ambientale (in senso lato) o lo stato ecologico (secondo la WFD) non è necessariamente la stessa cosa.
- La qualità ambientale espressa dal biota (*sensu* WFD) non è un valore assoluto: deve essere valutata in rapporto alle caratteristiche abiotiche di un sito.
- Esistono obiettivi di qualità teorici ed obiettivi di qualità realizzabili: la divaricazione fra i due è proporzionale al livello di pressione antropica esercitata nel tempo su un determinato ecosistema.
- (Sovra)semplificare può pagare, ma solo nel breve termine.

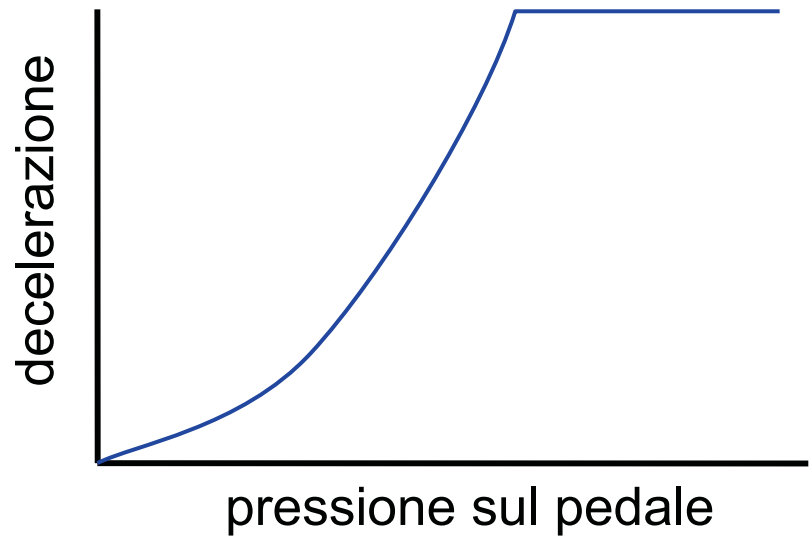
Se il freno fosse un indice...



Se il freno fosse una rete neurale...



ABS



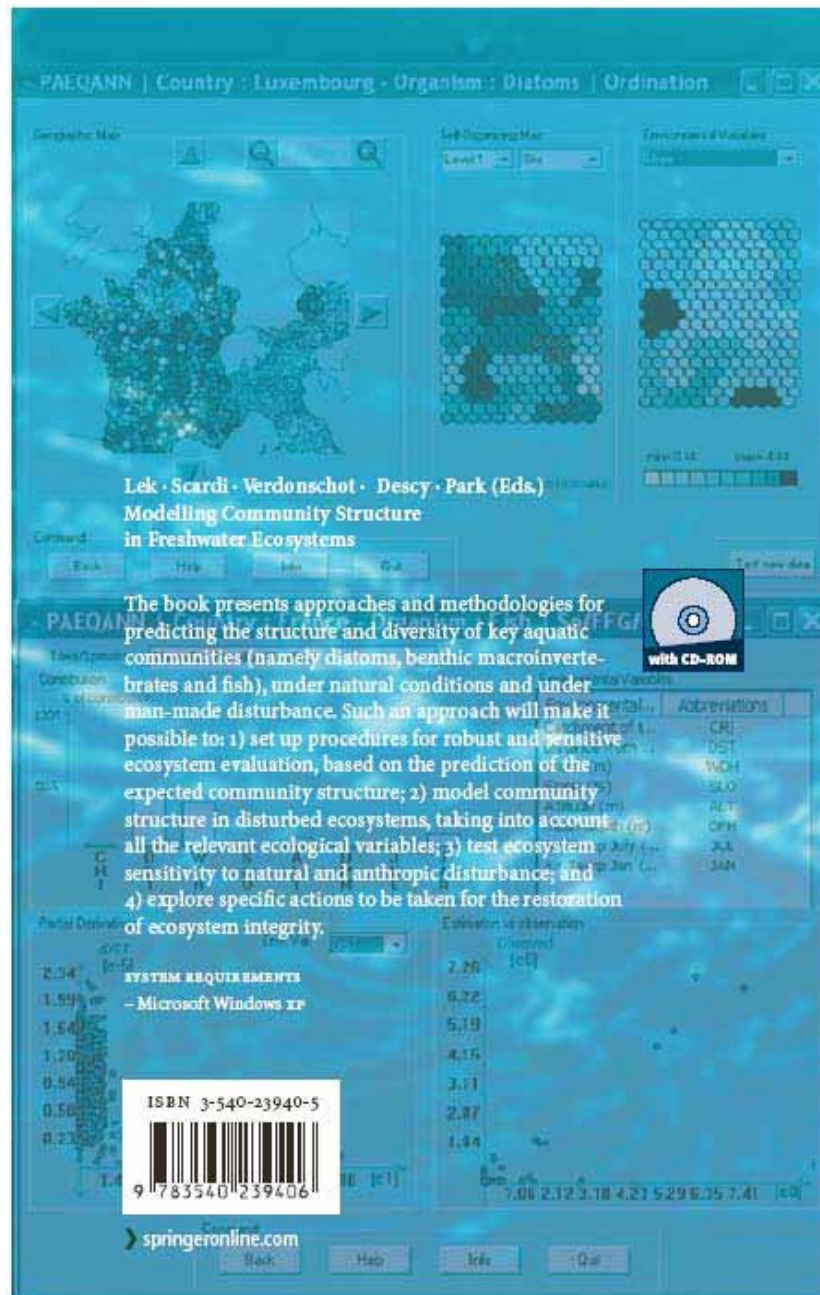
Conclusioni (1 di 2)

- Gli indici biotici, multimetrici e non, hanno meriti storici e valore contingente in molte applicazioni, ma non sono la risposta ottimale alle sfide future ed a quelle della WFD, perché:
 - i loro algoritmi sono elementari e non sono mai realmente ottimizzati;
 - il paradigma lineare o di risposta monotonamente ordinata su cui molti di essi si basano quasi mai è realistico;
 - non sfruttano tutta l'informazione che i popolamenti e le comunità contengono;
 - le loro metriche sono selezionate *a priori*.

Conclusioni (2 di 2)

- Non esiste **il** metodo ottimale per valutare lo stato ecologico di un ecosistema.
- Usiamo con fiducia nuove metodologie per far parlare i nostri dati.
- Accettiamo la sfida della complessità ecologica: è un'occasione di crescita.
- Continuiamo a raccogliere dati.
- Continuiamo a validare i nostri risultati sul campo.

VORREI SAPERNE DI PIU'...



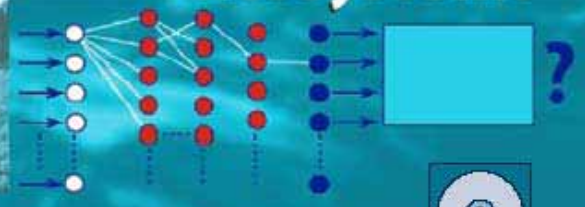
Lek · Scardi · Verdonshot
Descy · Park (Eds.)

Sovan Lek
Michele Scardi
Piet F.M. Verdonshot
Jean-Pierre Descy
Young-Seuk Park
Editors

Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems



Modelling Community Structure in Freshwater Ecosystems



Springer



<http://www.springeronline.com> (search: "modelling community")

- Reti neurali, analisi dati, etc.
<http://www.mare-net.com/mscardi>
- Progetto PAEQANN
<http://aquaeco.ups-tlse.fr/>
- Congressi della International Society
for Ecological Informatics
<http://www.isei3.org>
<http://www.isei4.org>
- Contatti email:
tancioni@uniroma2.it e mscardi@mclink.it