



Recenti sviluppi nella classificazione ecologica dei laghi tramite i macroinvertebrati

Boggero Angela
CNR - ISE
a.boggero@ise.cnr.it
<http://www.ise.cnr.it/>



La situazione in Europa prima della DQA

- **Anni '30:** I primi lavori sulla classificazione ecologica dei laghi basati sulle relazioni fra macroinvertebrati e sostanze nutritive risalgono a quasi un secolo fa
- **Anni '70:** l'acidificazione dovuta al trasporto degli inquinanti atmosferici su lunga distanza, emerge come un'altra minaccia per i sistemi d'acqua dolce. Si diffonde il monitoraggio degli effetti delle piogge acide e dell'inquinamento atmosferico su laghi e fiumi
- **Anni '90:** l'alterazione idromorfologica guadagna l'attenzione dei ricercatori quando si comprende che la maggior parte dei laghi sono colpiti da urbanizzazione, rinforzi delle sponde, costruzione di ponti, ormeggi, muri di sostegno, strade, e molti altri interventi



La situazione in Italia prima della DQA

- **Anni '50:** un crescente numero di laghi è soggetto a eutrofizzazione accelerata a causa dei crescenti impatti umani, pertanto, i ricercatori concentrano la loro attenzione su questa pressione
- **Anni '80:** l'acidificazione viene considerata la seconda causa di impatto sui laghi. L'acidificazione causata da inquinanti atmosferici viene studiata principalmente sui laghi di alta quota sulle Alpi occidentali, mentre l'acidificazione dovuta a scarichi industriali nel Lago d'Orta
- **Attualmente:** ancora oggi, pochissimi i dati disponibili che evidenziano le relazioni macroinvertebrati-alterazioni idromorfologiche



Scopo

L'obiettivo è la classificazione di diverse caratteristiche ambientali peculiari dei corpi idrici lacustri, come variabili esplicative della diversità e della ricchezza dei macroinvertebrati, così come richiesto dalla Direttiva.

- Identificazione delle variabili più importanti
- Costruzione di modelli (regressione quantile) che definiscono gli intervalli di valori previsti per ricchezza e diversità in funzione delle caratteristiche ambientali.



L'idea in numeri

protocollo nazionale standardizzato (Boggero et al., 2013)



9 laghi

Piemonte

- Mergozzo
- Sirio
- Viverone
- Candia
- Avigliana piccolo



Sardegna

- Liscia
- Posada
- Bidighinzu
- Sos Canales



L'idea in numeri

protocollo nazionale standardizzato (Boggero et al., 2013)



9 laghi

Piemonte

- Mergozzo
- Sirio
- Viverone
- Candia
- Avigliana piccolo



Sardegna

- Liscia
- Posada
- Bidighinzu
- Sos Canales

2 campionamenti

- Autunno
- Primavera

n. transetti per lago

3 zone lacustri

- Litorale
- Sublitorale
- Profondo

3 replicati ognuna

3 parametri ambientali

- Chimica
- Biologia
- Granulometria



L'idea in numeri

protocollo nazionale standardizzato (Boggero et al., 2013)



9 laghi

Piemonte

- Mergozzo
- Sirio
- Viverone
- Candia
- Avigliana piccolo



Sardegna

- Liscia
- Posada
- Bidighinzu
- Sos Canales

2 campionamenti

- Autunno
- Primavera

n. transetti per lago

3 zone lacustri

- Litorale
- Sublitorale
- Profondo

3 replicati ognuna

3 parametri ambientali

- Chimica
- Biologia
- Granulometria

60 campioni per ogni parametro ambientale!!



Analisi

- **Chimica:** pH, alcalinità, conducibilità, ossigeno, nutrienti
 - **Biologia:** identificazione, densità, numero di taxa, Indice di Shannon (SDI) (specie e genere)
 - **Granulometria:** dimensioni del tipo di sedimento
-
- **Chimica:** Tartari & Mosello (1997 e <http://www.idrolab.ise.cnr.it>)
 - **Biologia:** guide tassonomiche riconosciute a livello nazionale e internazionale
 - **Granulometria:** Ongley (1996)

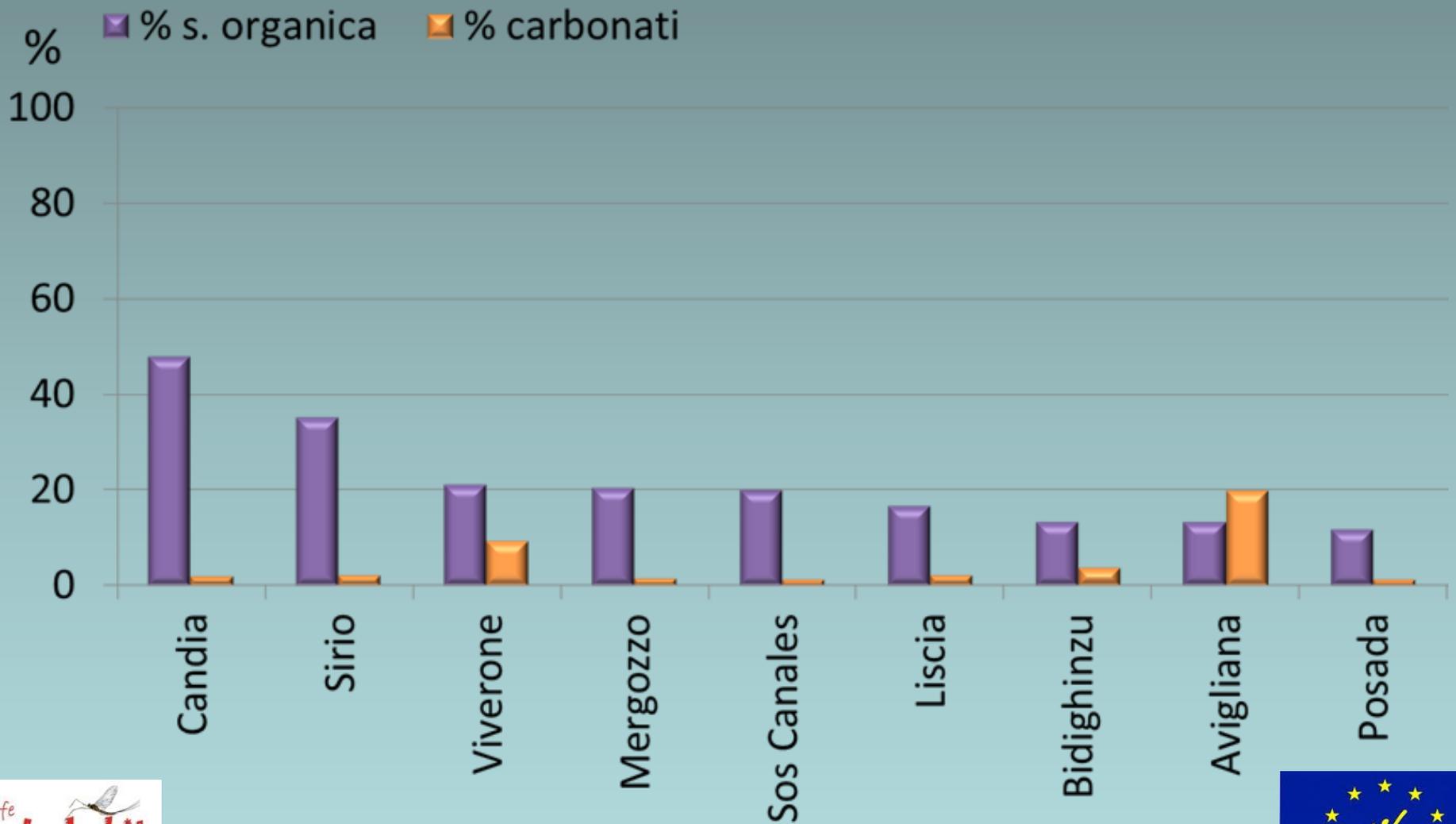


Gradiente trofico

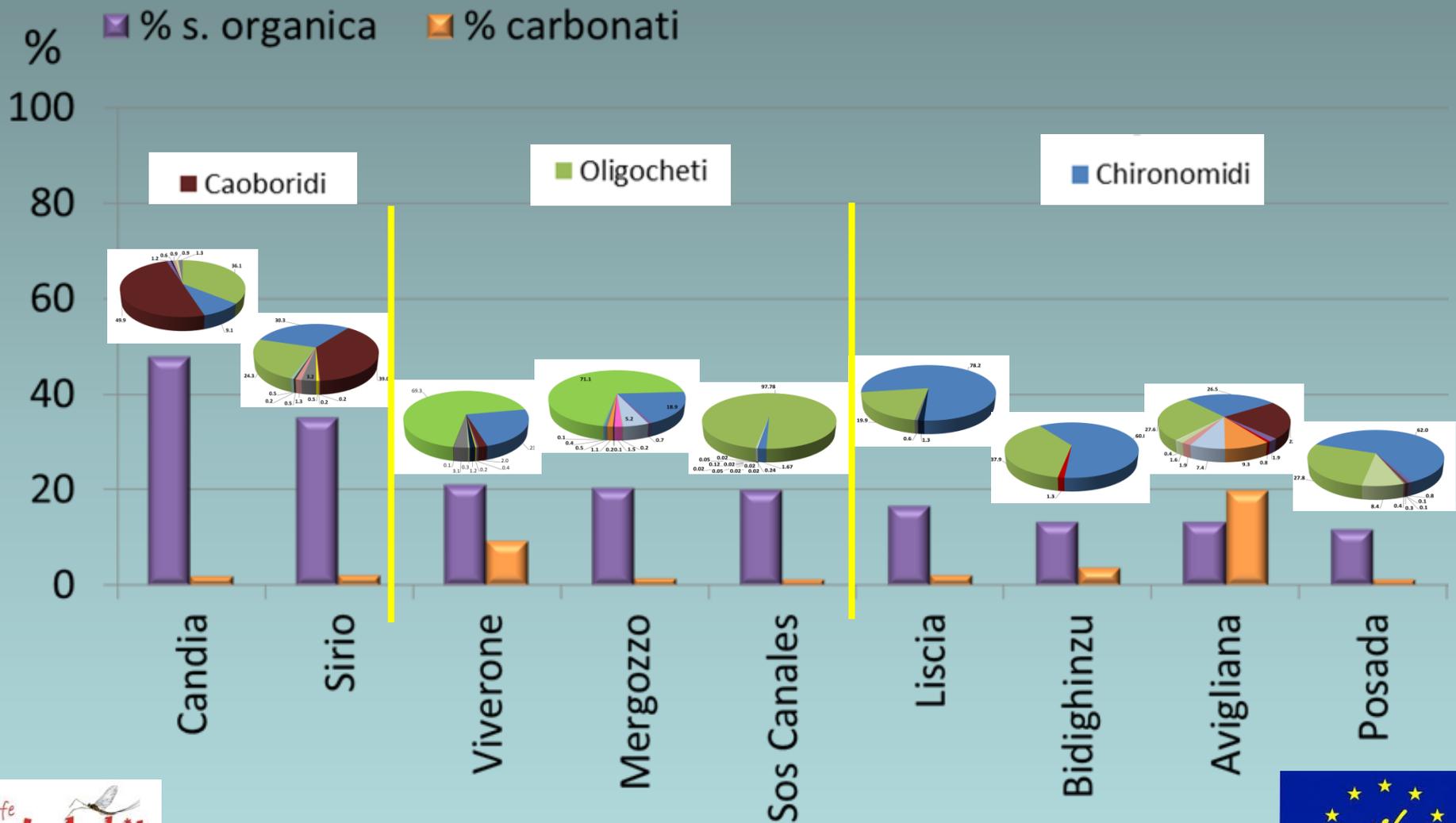
	TP	Chl	SD	
Mergozzo	4.60	1.98	7.50	Oligotrofo
Avigliana	18.56	2.17	4.17	Oligo-mesotrofo
Sirio	41.07	3.70	5.03	Meso-eutrofo
Viverone	80.13	3.42	5.62	Meso-eutrofo
Liscia	41.97	6.73	3.04	Meso-eutrofo
Candia	27.70	11.02	2.74	Eutrofo
Posada	37.44	7.35	1.97	Eutrofo
Sos Canales	31.67	6.66	2.80	Eutrofo
Bidighinzu	259.16	14.67	0.89	Iper-eutrofo



Boggero: Recenti sviluppi nella classificazione dei laghi basati sui macroinvertebrati



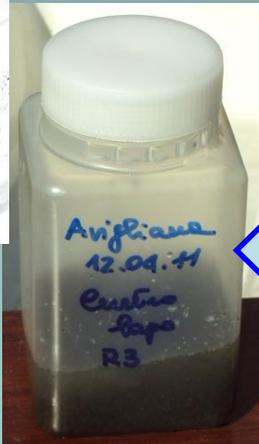
Boggero: Recenti sviluppi nella classificazione dei laghi basati sui macroinvertebrati



Boggero: Recenti sviluppi nella classificazione dei laghi basati sui macroinvertebrati

Variabili ambientali considerate

21 variabili ambientali sono state evidenziate come tipiche di siti lacustri e associate ai campioni raccolti. Alcune si riferiscono a caratteristiche del lago, altre a caratteristiche del campione.



campione



lago

Variables	Units	Minimum	Maximum
Sampling Depth	(m)	1.2	70
Sand	(%)	51	99
Silt	(%)	0.7	35
Clay	(%)	0.0	27.5
Temperature	(°C)	4.4	26.0
Oxygen Saturation	(%)	1.1	128
pH		6.46	9.11
Conductivity	($\mu\text{s}/\text{cm}$)	53	561
Alkalinity	(mEq/L)	14	398
Total Phosphorous	($\mu\text{g}/\text{L}$)	3.5	1081
Total Nitrogen	(mg/L)	0.4	4.3
Nitrate	(mg/L)	0.01	1.3
Ammonium	(mg/L)	0.0	2.2
Elevation	(m a.s.l.)	43	709
Surface Area	(km^2)	0.3	5.6
Watershed Area	(km^2)	1.4	3366
Maximum Depth	(m)	8	73
Mean Depth	(m)	5.9	45.4
Volume	(10^6 m^3)	4.3	122
LHMS		14	26
LHQA		47	62

Boggero: Recenti sviluppi nella classificazione dei laghi basati sui macroinvertebrati

Lake Habitat Survey

Lake Habitat Survey (Rowan et al., 2006) è stato applicato per caratterizzare l'habitat fisico dei laghi evidenziando le caratteristiche del litorale, le pressioni presenti e le modifiche del regime idrologico.

Su questa base sono state stimate due diverse metriche riassuntive:

- LHMS relativo al grado di modifica del sito;
- LHQA come misura della diversità e della naturalezza dei laghi.

	Avigliana piccolo	Candia	Mergozzo	Sirio	Viverone	Bidighinzu	Liscia	Posada	Sos Canales
LHQA	56	56	56	53	62	47	61	48	52
LHMS	18	16	14	22	26	16	14	14	18



BQIES

L'Indice BQIES (Rossaro et al., 2013) è stato applicato per stimare la qualità ecologica degli ambienti esaminati.

$$BQIES_i = \left[\sum_{j=1}^p \left(\frac{\log_{10}(y_{ij} + 1)}{\sum_{j=1}^p \log_{10}(y_{ij} + 1)} * BQIW_j \right) \right] * \log_{10}(m + 1) * \left(\frac{\sum_{j=1}^m y_{ij}}{\sum_{j=1}^m y_{ij} + 5} \right)$$

	BQIES
Mergozzo	0,844
Viverone	0,783
Sirio	0,664
Posada	0,644
Candia	0,570
Sos Canales	0,570
Avigliana piccolo	0,543
Bidighinzu	0,474
Liscia	0,413



Analisi statistiche

Per evitare multicollinearità si è adottata una selezione graduale delle variabili (VIF) prima di applicare la Regressione Quantile.

Maintained Variable	VIF	Excluded Variable
Sampling Depth	2.34	Sand
Silt	2.01	Alkalinity
Clay	1.45	Total Nitrogen
Temperature	2.68	Elevation
Oxygen Saturation	3.84	Mean Depth
pH	4.11	Volume
Conductivity	4.01	
Total Phosphorus	2.76	
Nitrate	5.38	
Ammonium	4.73	
Surface Area	2.88	
Watershed Area	1.71	
Maximum Depth	2.47	
LHMS	7.20	
LHQA	4.25	



Analisi statistiche

Ogni relazione tra variabili ambientali - ricchezza e diversità è stato saggiato attraverso modelli lineari, esponenziali, logaritmici e di secondo grado, mantenendo solo il modello che meglio si adattava.

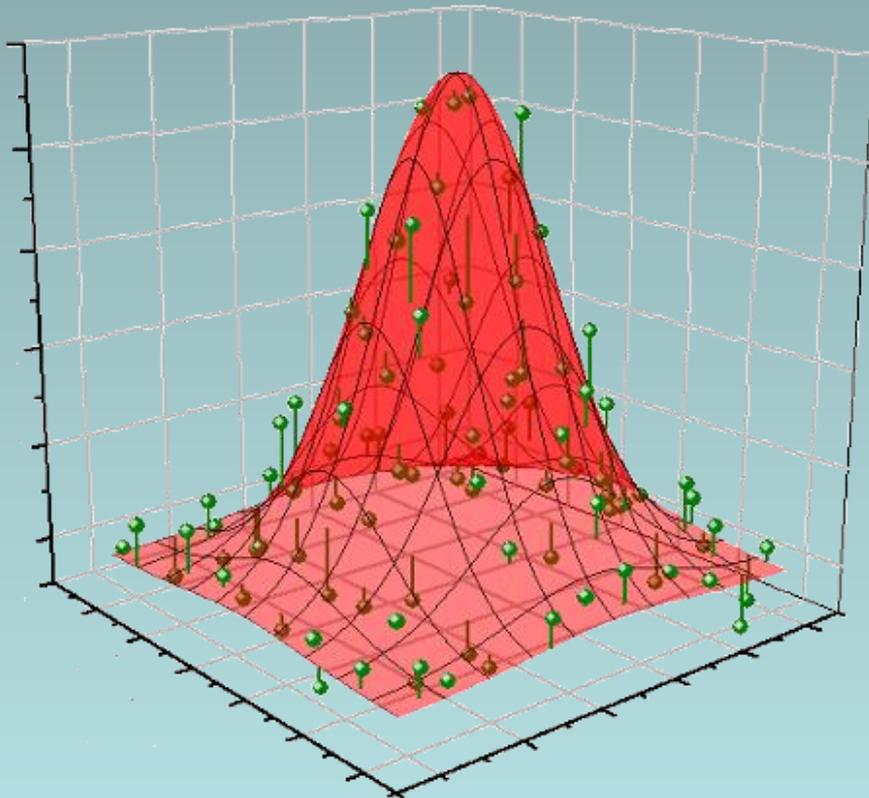
Rank	Richness		
	Model	Shape	Averaged w_i
1	Oxygen content	Qua	0.726
2	Sampling depth	Qua	0.181
3	Clay %	Qua	0.080
4	Temperature	Qua	8.81E-03
5	Silt %	Qua	2.40E-03
6	Watershed area	Qua	3.70E-04
7	LHMS	Lin	2.22E-04
8	Null Model		1.92E-04
9	LHQA	Qua	1.58E-04
10	Nitrate	Qua	1.26E-04
11	Conductivity	Log	1.22E-04
12	Total phosphorous	Log	9.65E-05
13	Ammonium	Log	6.63E-05
14	pH	Lin	6.59E-05
15	Surface area	Qua	6.17E-05
16	Maximum depth	Qua	2.92E-05



Analisi multivariata

Utilizzando le stesse variabili usate nel modello di best-fitting, si è usato il modello di regressione quantile multivariata per valutare se migliorava la stima.

Gaussian Surface Fit



È frequente, infatti, che sia necessaria più di una variabile per descrivere al meglio l'habitat ottimale.



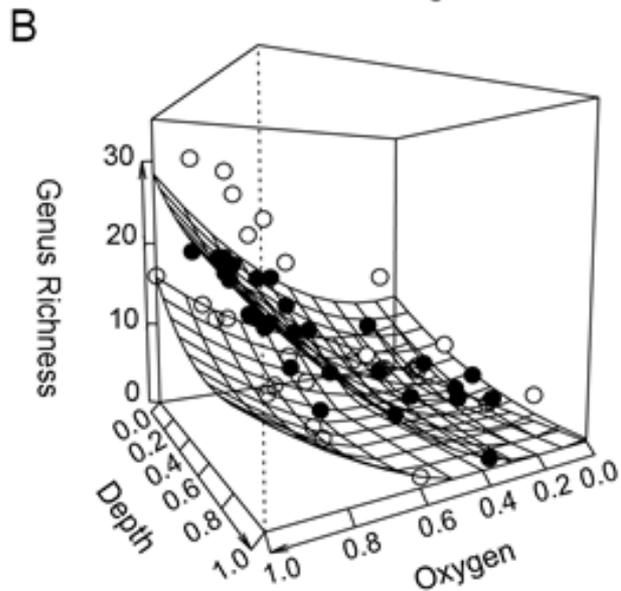
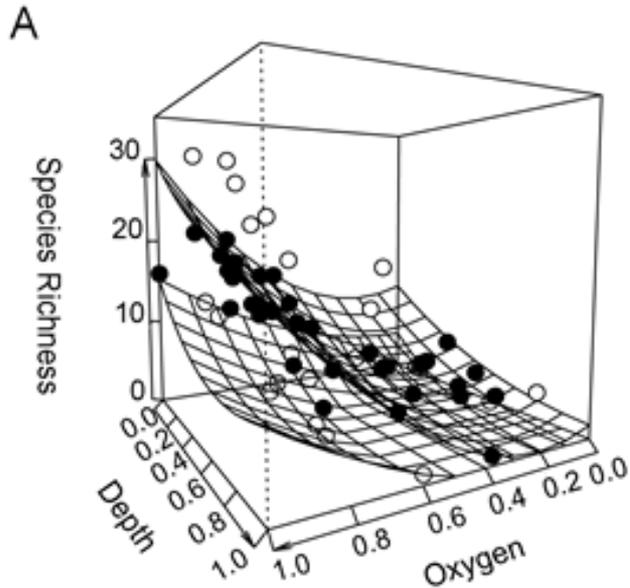
Analisi statistiche

Ogni relazione tra variabili ambientali - ricchezza e diversità è stato saggiato attraverso modelli lineari, esponenziali, logaritmici e di secondo grado, mantenendo solo il modello che meglio si adattava.

Richness			
Rank	Model	Shape	Averaged w_i
1	Oxygen content	Qua	0.726
2	Sampling depth	Qua	0.181
3	Clay %	Qua	0.080
4	Temperature	Qua	8.81E-03
5	Silt %	Qua	2.40E-03
6	Watershed area	Qua	3.70E-04
7	LHMS	Lin	2.22E-04
8	Null Model		1.92E-04
9	LHQA	Qua	1.58E-04
10	Nitrate	Qua	1.26E-04
11	Conductivity	Log	1.22E-04
12	Total phosphorous	Log	9.65E-05
13	Ammonium	Log	6.63E-05
14	pH	Lin	6.59E-05
15	Surface area	Qua	6.17E-05
16	Maximum depth	Qua	2.92E-05



Ricchezza



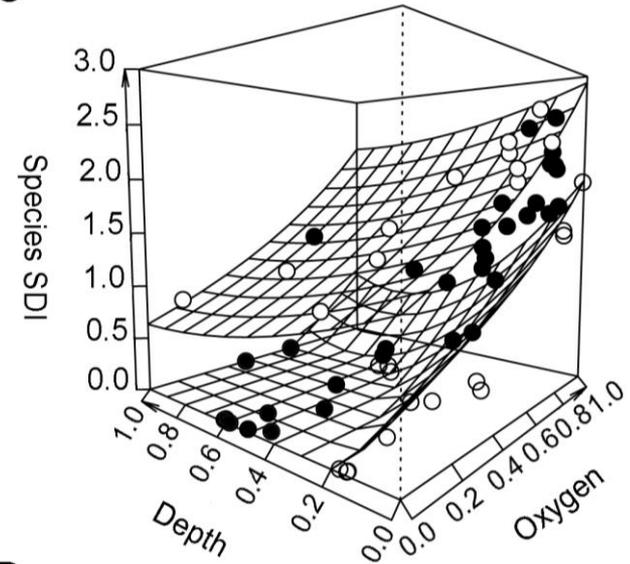
Questi modelli permettono di descrivere come i valori di ricchezza (di specie e di genere) varino secondo il gradiente delle due variabili ambientali selezionate.



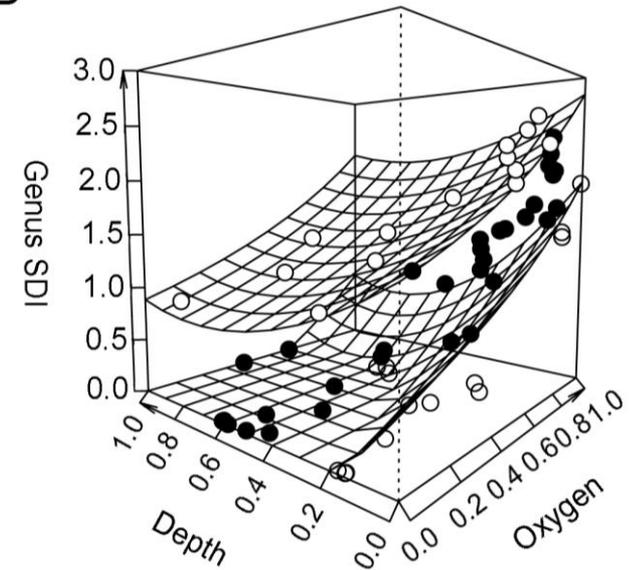
Diversità

Rank	Model	SDI	Shape	Averaged w_i
1	Oxygen content		Exp	0.461
2	Temperature		Qua	0.273
3	Sampling depth		Qua	0.263
4	Watershed area		Qua	2.41E-03
5	Clay %		Qua	6.45E-04
6	LHMS		Log	1.19E-04
7	Total phosphorous		Log	6.10E-05
8	LHQA		Log	2.94E-05
9	Surface area		Qua	2.36E-05
10	Silt %		Exp	7.95E-06
11	Ammonium		Qua	3.56E-06
12	Conductivity		Log	3.05E-06
13	Null Model			2.63E-06
14	Nitrate		Exp	1.15E-06
15	Maximum depth		Qua	6.34E-07
16	pH		Qua	3.64E-07

C

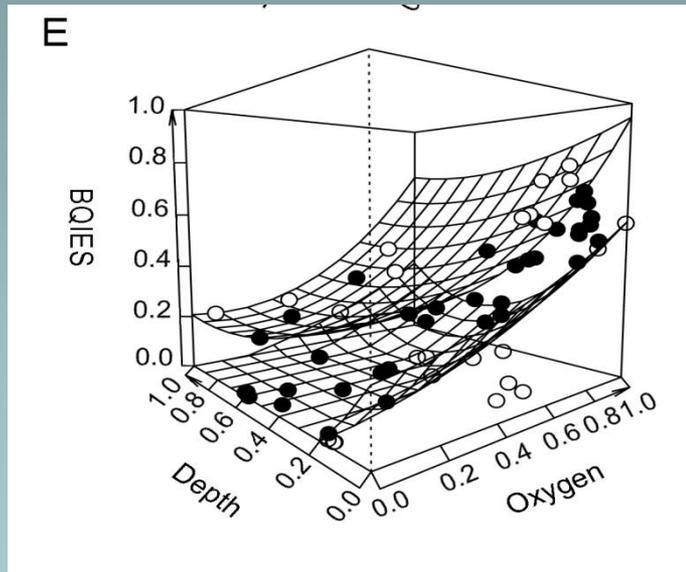


D



Boggero: Recenti sviluppi nella classificazione dei laghi basati sui macroinvertebrati

BQIES



Modelli di regressione quantile multivariata sono stati utilizzati per verificare infine, se i risultati di questo lavoro erano conformi a quanto fornito dall'indice in uso a livello nazionale.



Ricchezza e diversità potenziale

Inoltre, per un numero discreto di combinazioni di profondità di campionamento e saturazione di ossigeno, si forniscono valori di ricchezza e diversità potenziale.

Questi risultati sono utili alle Agenzie nel decidere dove posizionare transetti e punti di campionamento in un sito mai studiato dal pdv dei macroinvertebrati.

	Depth (m)			
	1	5	15	50
	Species Richness			
30	5 - 11	4 - 10	1 - 7	0 - 1
70	8 - 14	6 - 13	3 - 11	0 - 5
120	14 - 27	13 - 26	10 - 23	5 - 17
	Genus Richness			
30	6 - 11	4 - 10	2 - 7	0 - 1
70	7 - 14	6 - 13	3 - 11	0 - 5
120	14 - 26	13 - 25	10 - 22	6 - 16
	Species SDI			
30	0.81 - 1.44	0.60 - 1.38	0.15 - 1.25	0 - 0.95
70	1.19 - 1.92	0.98 - 1.86	0.53 - 1.72	0 - 1.42
120	1.87 - 2.78	1.66 - 2.72	1.21 - 2.58	0.46 - 2.28
	Genus SDI			
30	0.79 - 1.61	0.58 - 1.51	0.14 - 1.31	0 - 0.99
70	1.18 - 2.01	0.97 - 1.91	0.52 - 1.70	0 - 1.39
120	1.87 - 2.71	1.66 - 2.61	1.21 - 2.41	0.46 - 2.09
	BQIES			
30	0.266 - 0.396	0.193 - 0.368	0.041 - 0.309	0 - 0.203
70	0.364 - 0.524	0.292 - 0.496	0.140 - 0.437	0 - 0.331
120	0.549 - 0.879	0.476 - 0.852	0.324 - 0.793	0.147 - 0.687

Oxygen saturation (%)



Previsioni sul tipo di comunità

Utilizzando le formule fornite è invece possibile prevedere intervalli di valori di ricchezza e diversità in funzione della profondità di campionamento e del contenuto di ossigeno.

Pertanto, sono necessari valori di concentrazione di ossigeno e di profondità precisi, raccolti tramite metodologie standardizzate, per un uso efficace dei risultati.



Boggero: Recenti sviluppi nella classificazione dei laghi basa

Species Richness = $\beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_1^2 + \beta_3 * X_2 + \beta_4 * X_2^2 + \epsilon$						
$\tau = 0.2$			$\tau = 0.8$			
Estimate	Lower Bound	Upper Bound	Estimate	Lower Bound	Upper Bound	
β_0	4.958	3.751	6.963	12.298	-2.715	19.017
β_1	-1.414	-15.595	8.854	-12.662	-32.099	49.972
β_2	11.702	-1.140	24.846	30.138	9.159	56.243
β_3	-24.354	-30.739	-11.384	-20.426	-43.293	36.376
β_4	17.037	8.746	23.681	9.604	-39.829	34.166

Genus Richness = $\beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_1^2 + \beta_3 * X_2 + \beta_4 * X_2^2 + \epsilon$						
$\tau = 0.2$			$\tau = 0.8$			
Estimate	Lower Bound	Upper Bound	Estimate	Lower Bound	Upper Bound	
β_0	6.533	3.751	7.271	11.068	-3.030	19.021
β_1	-8.078	-15.595	7.775	-7.534	-32.099	46.954
β_2	17.351	-1.541	24.847	24.942	8.428	56.243
β_3	-23.433	-30.193	-11.384	-20.717	-45.373	40.965
β_4	16.506	8.537	23.867	9.929	-43.203	32.505

Species SDI = $\beta_0 + \beta_1 * e^{X_1} + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_2^2 + \epsilon$						
$\tau = 0.2$			$\tau = 0.8$			
Estimate	Lower Bound	Upper Bound	Estimate	Lower Bound	Upper Bound	
β_0	-0.228	-0.620	0.619	0.150	-0.901	0.971
β_1	0.815	0.452	0.902	1.026	0.603	1.509
β_2	-3.731	-4.396	-0.857	-1.074	-3.634	0.244
β_3	2.474	-2.445	3.278	0.531	-1.589	4.244

Genus SDI = $\beta_0 + \beta_1 * e^{X_1} + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_2^2 + \epsilon$						
$\tau = 0.2$			$\tau = 0.8$			
Estimate	Lower Bound	Upper Bound	Estimate	Lower Bound	Upper Bound	
β_0	-0.257	-0.621	0.620	0.543	-0.789	1.068
β_1	0.826	0.453	0.903	0.846	-0.603	1.475
β_2	-3.710	-4.396	-0.857	-1.742	-3.752	-0.106
β_3	2.462	-2.446	3.279	1.237	-1.559	4.743

BQIES = $\beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_1^2 + \beta_3 * X_2 + \beta_4 * X_2^2 + \epsilon$						
$\tau = 0.2$			$\tau = 0.8$			
Estimate	Lower Bound	Upper Bound	Estimate	Lower Bound	Upper Bound	
β_0	0.217	0.103	0.275	0.388	0.137	0.720
β_1	0.147	-0.703	0.524	-0.133	-0.836	1.107
β_2	0.216	-0.297	1.310	0.696	-0.759	1.473
β_3	-1.314	-1.573	-0.039	-0.483	-1.240	0.188
β_4	1.062	0.273	1.307	0.302	-0.424	1.040

X_1 = (Oxygen content - 1.1) / (127.7 - 1.1)
 X_2 = (Sampling depth - 1.2) / (70 - 1.2)

Possibili applicazioni

1. L'uso dei modelli proposti permette l'ottimizzazione delle campagne di campionamento risparmiando tempo senza compromettere le informazioni raccolte.
2. Questi risultati sono particolarmente utili per individuare laghi italiani a rischio su cui concentrare gli sforzi di recupero ambientale.
3. L'utilizzo dei modelli proposti va visto come strumento aggiuntivo (**NON SOSTITUTIVO!!**) e precedente l'applicazione dell'indice BQIES.
4. I modelli proposti consentono agli operatori di by-passare il problema tassonomico visti i significativi risultati ottenuti anche a livello di genere. Tali applicazioni possono quindi essere estese ad una scala geografica più ampia, solitamente impossibile da raggiungere a causa della spesso ristretta distribuzione geografica delle specie.



Quantile regression analysis as a predictive tool for lake macroinvertebrate biodiversity

Fornaroli, Cabrini, Zaupa, Bettinetti, Ciampittiello, Boggero

