CIVILTÀ GARDESANA
STUDI ED ESPERIENZE
13

LE CARATTERISTICHE AMBIENTALI ED ECOLOGICHE DEL LAGO DI GARDA ALLA LUCE DEL PROGETTO EULAKES

COMUNITÀ DEL GARDA

13
LE CARATTERISTICHE AMBIENTALI ED ECOLOGICHE DEL LAGO DI GARDA ALLA LUCE DEL PROGETTO EULAKES

EuLakes

Il progetto è sostenuto dal CENTRAL EUROPE Programme cofinanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR)
This project is implemented through the CENTRAL EUROPE Programme co-financed by the ERDF
CENTRAL EUROPE COOPERATING FOR SUCCESS.
EUROPEAN UNION EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND

CIVILTÀ GARDESANA

STUDI ED ESPERIENZE

13

L'ipotesi di una civiltà gardesana possiede sicuramente radici ben attendibili. Esse affondano di certo nella preistoria e in quei complessi dinamismi delle popolazioni protostoriche che trovarono sulle sponde del Benàco l'occasione per insediare comunità umane caratterizzate e accomunate da un ambiente tutto particolare, ben distinto dalle selve padane e dalle asperità alpine.

Nei tempi storici la civiltà benacense consolidò una sua precisa identità sociale, culturale e territoriale, esaltandosi non di rado dalle turbinose vicende che percuotevano l'Europa.

Ed è proprio in relazione all'Europa - e quindi a tutta la nostra civiltà occidentale - che il Garda è venuto costantemente assumendo, sino dall'età moderna, un ruolo di riferimento, quasi che la sua configurazione territoriale e culturale potesse conciliare le genti mediterranee con le stirpi nordiche, la fantasia latina con il sassone e il goto rigore.

Soltanto all'inizio di questo secolo - quando una cultura prevalentemente cittadini è diventata vincente sulla cultura dei pagi - l'immagine di una civiltà del Garda è sembrata velarsi e rallentare l'incedere nei confronti della più invadente e rapida civiltà urbana, con i suoi artifici e i suoi vessilli.

Questa Collana desidera testimoniare e riaffermare la cultura di questo Lago così unico e così universalmente europeo nella totalità delle sue espressioni più genuine, come ipotesi di una Civiltà Gardesana non soltanto passata o larvatamente presente, quanto soprattutto futura, perché quotidianamente feconda.

CIVILTÀ GARDESANA

STUDI ED ESPERIENZE

LE CARATTERISTICHE AMBIENTALI ED ECOLOGICHE DEL LAGO DI GARDA ALLA LUCE DEL PROGETTO EULAKES

a cura di:
Silvia Tavernini, Nicola Gallinaro e Filippo Cantoni

coordinamento:
Pierlucio Ceresa

COMUNITÀ DEL GARDA

2013

© Tutti i diritti riservati
Comunità del Garda - via dei Colli, 15 - 25083
Gardone Riviera (BS) - Tel. 0365 290411 - Fax 0365 290025
www.lagodigarda.it
e-mail: info@lagodigarda.it
Collaborazione redazionale: Elisabetta Bonzanini
Stampa - Ediguida srl - Cava de' Tirreni (SA)

INDICE

1. Introduzione	Pag.	8
2. Il lago di Garda	"	10
3. Studi limnologici recenti	"	12
4. Il bacino del Garda	"	14
4.1. La morfologia	"	14
4.2. Copertura e uso del suolo	"	18
4.3. Condizioni meteo climatiche	"	21
5. La cuvetta lacustre	"	25
5.1. Idrologia	"	25
5.2. Termica	"	27
5.3. Trasparenza e clorofilla	"	29
5.4. Stato trofico	"	33
6. Biocenosi acquatiche	"	37
6.1. Il fitoplancton	"	37
6.2. Lo zooplancton	"	40
6.3. Le macrofite	"	43
7. Il canneto come ambiente di transizione	"	47
8. L'ambiente terrestre	"	50
9. L'Indice di Funzionalità Perilacuale (IFP)	"	54
9.1. L'applicazione dell'IFP sul Garda	"	56
10. Pilot action: Cianobatteri e qualità dell'acqua	"	59
10.1. La produzione di cianotossine	"	59
10.2 Cianobatteri potenzialmente tossici nel lago di Garda	"	60
11. Analisi paleolimnologiche	"	63
11.1. Evoluzione ambientale del lago di Garda	"	64

11.2. La colonizzazione del lago da parte dei cianobatteri " 67

12. Specie invasive " 69

12.1. Taxa Acquatici " 69

12.1.1. Macrofite " 69

12.1.2. Invertebrati " 71

12.1.3. Pesci " 74

12.1.4. Rettili " 75

12.2. Taxa terrestri " 75

12.2.1. Piante " 75

12.2.2. Invertebrati " 76

12.2.3. Uccelli " 78

12.2.4. Mammiferi " 78

12.2.5. Batteri, funghi e virus " 79

13. Bibliografia " 81

Un importante traguardo raggiunto per il futuro del nostro lago

Sono lieto di presentare il tredicesimo e quattordicesimo numero della ultratrentennale collana Civiltà Gardesana, studi ed esperienze.

Le due pubblicazioni si prefiggono di fornire al lettore circostanziate informazioni sullo stato di salute del Garda e sul tema dei cambiamenti climatici e dei loro possibili effetti all'interno del nostro bacino. Il lavoro parte dai risultati del progetto europeo Eulakes che ha visto la Comunità del Garda capofila di un prestigioso partenariato internazionale.

Siamo giunti alla fine, dopo 3 anni di intenso lavoro, di incontri e confronti svoltisi nei 4 laghi coinvolti, di scambi epistolari, e telefonici, convegni specifici e di settore. Un'esperienza unica e avvincente, di cooperazione internazionale su tematiche attuali e decisive per gli anni futuri e per le prossime generazioni.

Protagonisti i 4 laghi - il Balaton (H), il Charzykowsie (PL), il Garda (IT) e il Neusiedl (A) – il loro sviluppo e la fruibilità delle loro acque, l'equilibrio del loro ecosistema.

Non è facile lavorare insieme, ma sicuramente arricchente e produttivo.

In qualità di Lead Partner, la Comunità del Garda desidera ringraziare tutti quanti hanno fattivamente collaborato e direttamene lavorato all'ambizioso progetto Eulakes - *European Lakes Under Environmental Stressor*: le difficoltà e le criticità consone e naturali in un progetto di così ampio spessore e valenza sono state superate e hanno consentito di conseguire risultati importanti per lo sviluppo futuro del lago di Garda. Grazie!

Giorgio Passionelli
Presidente della Comunità del Garda

1. Introduzione

I cambiamenti climatici in atto sono tra i fattori maggiormente responsabili delle profonde alterazioni trofiche ed ecologiche subite da molti laghi europei negli ultimi decenni. Inoltre, anche l'inquinamento dovuto alle attività umane a partire dagli anni '50 ha alterato le caratteristiche ambientali di questi ecosistemi.
È diventata perciò sempre più pressante la necessità di capire come si debba intervenire per far fronte a questi rischi ambientali e sviluppare delle linee guida a livello europeo per una gestione sostenibile della risorsa idrica.
Il desiderio di sviluppare una strategia comune di gestione dei laghi che comprendesse non solo la cuvetta lacustre ma tutto il bacino imbrifero, ha indotto 9 diversi partner europei, provenienti dall'Italia, dall'Austria, dalla Polonia e dall'Ungheria, a cooperare dando origine al progetto EULAKES: *European Lakes under Environmental Stressors* (*Supporting lake governance to mitigate the impact of climate change*) (progetto Nr. 2CE243P3). EULAKES ha avuto durata triennale (2010-2013) ed è stato finanziato dal Programma Central Europe (fondi ERDF).
In Italia i partner coinvolti sono stati la Comunità del Garda, capofila del progetto, l'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente (APPA) di Trento, la fondazione Edmund Mach (IASMA FEM) e il CNR-IREA.
Complessivamente il progetto è stato incentrato su quattro dei più importanti laghi d'Europa: il lago di Garda (I), il lago Neusiedl (A), il lago Balaton (H) e il lago Charzykowskie (PL) (Figura 1). In ognuno dei quattro ambienti sono state sviluppate delle azioni comuni e delle attività di ricerca specifiche quali:

- il monitoraggio della qualità chimico-fisica dei laghi e dei bacini e lo sviluppo di nuovi metodi di controllo e analisi ambientale;
- il miglioramento della conoscenza dello stato ecologico, attuale e passato, dei laghi e lo studio della loro potenziale evoluzione sul lungo periodo, in funzione dei cambiamenti climatici;
- l'implementazione di specifiche azioni pilota (per evidenziare in ognuno dei quattro corpi idrici l'effetto dell'impatto antropico e dei cambiamenti climatici).

Figura 1. Localizzazione dei 4 laghi di studio di EULAKES.



Nel complesso il progetto EULAKES ha beneficiato della sinergia tra i diversi gruppi di ricerca, le amministrazioni, gli enti di gestione e le popolazioni locali, coinvolti nelle diverse fasi del progetto.
Grazie all'approccio transfrontaliero e all'analisi non solo del contesto ambientale ma anche delle componenti economiche e sociali, i risultati emersi da EULAKES hanno dato origine a delle linee guida comuni che potranno essere efficacemente applicate per contrastare i molteplici effetti dell'impatto antropico sullo stato di salute e l'evoluzione dei laghi europei.

Figura 2. Il lago di Garda.



2. Il lago di Garda

Il lago di Garda (o Benàco), con una superficie di 368 km^2 e un bacino imbrifero di 2290 km^2 (Tabella 1, Figura 2) è il più grande lago italiano.
Da un punto di vista amministrativo il Garda appartiene a tre regioni: il Trentino Alto-Adige a nord, il Veneto ad est e la Lombardia ad ovest (Figura 3). La zona nord si trova nella provincia di Trento, alla quale appartengono i comuni di Nago-Torbole, Arco, Riva del Garda e Ledro. La zona est rientra nella provincia di Verona, con i comuni di Malcesine, Brenzone, Torri del Benàco, Garda, Bardolino, Lazise, Castelnuovo del Garda e Peschiera del Garda. Ben 11 comuni appartenenti alla provincia di Brescia sono invece dislocati sulla costa occidentale, dove, procedendo da nord a sud, si incontrano: Limone sul Garda, Tremosine, Tignale, Gargnano, Toscolano-Maderno, Gardone Riviera, San Felice del Benàco, Salò, Manerba del Garda, Moniga del Garda e Desenzano del Garda.

Tabella 1. Caratteristiche morfometriche del lago di Garda e del suo bacino imbrifero.

Bacino	
Area (AB)	2290 km^2 (*) – 2350 km^2 (**)
Altitudine massima	3558 m a.s.l.
Tributario principale	River Sarca
Portata media del tributario principale	30,5 km^3s^{-1}
Emissario	River Mincio
Portata media dell'emissario principale	58,4 $km^3 s^{-1}$
Lago	
Area (AL)	368 km^2
AB/AL	6,2 (*) - 6,4 (**)
Perimetro	165 km
Indice di sinuosità	2,43
Lunghezza massima	51,9 km
Ampiezza massima	16,7 km
Profondità massima	346 m
Profondità media	133 m
Latitudine	45°42′ N
Longitudine	10°43′ E
Volume	49031 $10^6 m^3$
Tempo di ricambio	26,6 anni

* considerando il bacino chiuso a Peschiera del Garda

** considerando il bacino chiuso a Salionze-Monzambano

Assieme ai laghi Maggiore, Lugano, Como e Iseo, il Garda comprende circa l'80% delle risorse idriche dulcicole italiane (Salmaso & Mosello, 2010). In maniera

specifica, il lago di Garda rappresenta il 30% delle risorse idriche lentiche naturali ed artificiali d'Italia. È fonte d'acqua per l'irrigazione e per le attività produttive del territorio circostante, e rappresenta anche un'importante riserva di acqua potabile. A questo scopo ci sono circa 40 opere di derivazione, per lo più posizionate sulla costa occidentale. A nord, l'acqua del lago è invece pompata fino al lago di Ledro dove viene utilizzata per scopi idroelettrici, analogamente a quanto viene fatto nel caso della diga di Valvestino (Figura 4). Le attività di pesca a scopo commerciale sono state piuttosto importanti fino alla metà del secolo scorso, ma negli ultimi decenni sono fortemente diminuite a causa della riduzione delle specie ittiche autoctone e dell'aumento di forme invasive (Salmaso et al., 2009). Tuttavia, grazie alla bellezza del paesaggio e al clima mite, l'utilizzo principale delle acque del Garda è senz'altro quello ricreativo e turistico. Il lago e le aree circostanti sono mete turistiche molto popolari durante tutto l'anno e, in particolare in estate, quando il numero di turisti aumenta considerevolmente, superando i 30 milioni di presenze (Comunità del Garda, comm. pers.).

Figura 3. Il lago di Garda e la sua divisione amministrativa.



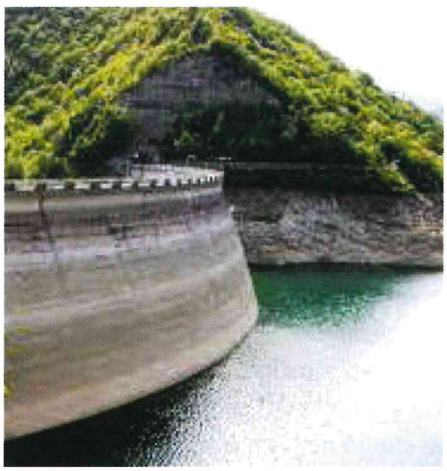
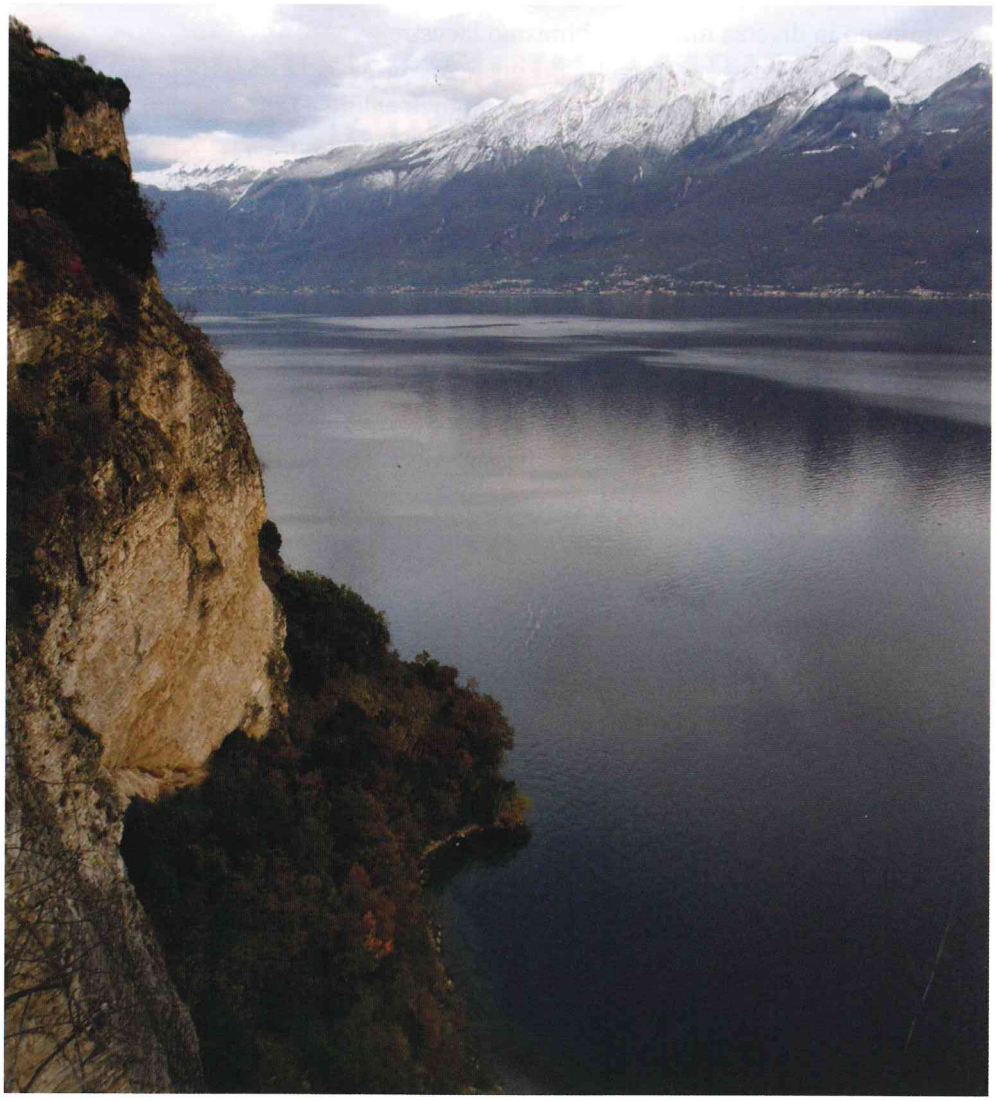


Figura 4. Diga di Valvestino

3. Studi limnologici recenti

I primi studi ecologici sistemici sul Garda, prevalentemente riguardanti la componente idrochimica e algale, risalgono agli anni '90 (Salmaso & Mosello, 2010), sebbene il lago fosse stato investigato anche precedentemente (es. IRSA, 1974). Più recente è invece lo studio del bacino con tecniche di telerilevamento, incentrate soprattutto sull'analisi della distribuzione dei produttori primari (Bresciani et al., 2009; 2011).
Gli studi limnologici, strettamente legati al necessario monitoraggio e alla raccolta spesso laboriosa di campioni da analizzare, sono quasi sempre estremamente settoriali. Come negli altri grandi laghi subalpini (Salmaso & Mosello, 2010), anche sul Garda è mancato per lungo tempo un approccio sperimentale e lo sviluppo di nuove linee di ricerca riguardanti aree di studio diversificate (es. zooplancton, microbiologia, fauna ittica e macrobentonica).
A partire dal 2007 Brenzone, la stazione di campionamento più profonda del lago (profondità massima = 350 m; Lat 45°41'51" N, Long 10°43'15" E), è stata inclusa nella rete LTER (Long-Term Ecological Research) (www.lter.it). Dal 2006, la Rete LTER-Italia fa parte della Rete Internazionale LTER (ILTER) che oggi riunisce 40 Paesi dei cinque continenti, e ha lo scopo di evidenziare lo stato e l'evoluzione su lungo periodo di molti importanti ecosistemi italiani, studiando l'effetto dell'inquinamento e dei cambiamenti climatici su questi ambienti e valutando l'alterazione (o la perdita) di biodiversità. L'inserimento del Garda in questa rete è stato quindi fondamentale, perché attraverso l'analisi di dati di lungo termine e a larga scala è possibile comprendere i processi ecologici di un lago e valutarne i cambiamenti nel tempo, anche per fornire informazioni scientificamente fondate a chi deve prendere decisioni gestionali.
Lo sviluppo del progetto Eulakes e l'inclusione del Garda tra gli ambienti oggetto di studio ha permesso in parte di risolvere le problematicità riportate in precedenza. Infatti Eulakes, oltre ad avere preso in considerazione tutte le variabili chimico-fisiche e biologiche tipiche degli studi di limnologia, si è concentrato su nuove emergenze ambientali, quali lo sviluppo di cianobatteri e la colonizzazione di nuove specie invasive.
Le cause della rapida proliferazione dei cianobatteri, verificatesi a partire dagli anni '90 in tutto il distretto subalpino, la presenza di ceppi tossici e la loro distribuzione, erano, fino a pochi anni fa, pressoché sconosciute, benché la conoscenza di questi fenomeni fosse di fondamentale importanza per un corretto utilizzo della risorsa idrica. In maniera analoga, anche l'impatto di nuove specie non autoctone nel bacino

del Garda, pur avendo già determinato in più settori non solo una diminuzione della biodiversità ma anche una sostanziale perdita economica, non era mai stato investigato in precedenza.
Nei capitoli successivi verranno riportati i principali risultati emersi dal progetto Eulakes riguardanti le caratteristiche ambientali ed ecologiche del Garda e le nuove emergenze ambientali. Inoltre, anche alcuni studi precedenti, di cui Eulakes è stato il naturale proseguimento, verranno descritti in dettaglio.



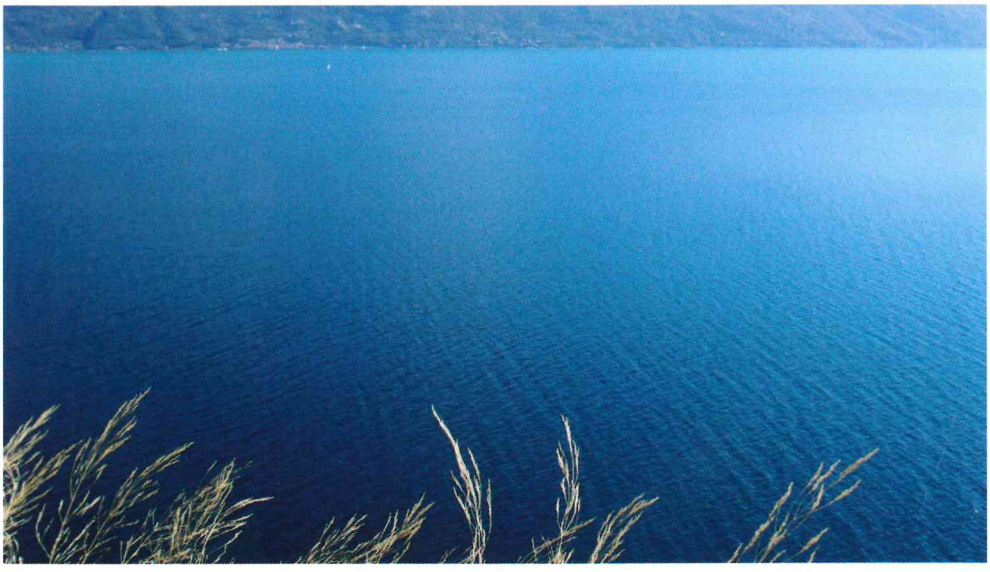
Lago di Garda: scorcio (foto: Elisabetta Bonzanini).

4. Il bacino del Garda

Le caratteristiche del bacino imbrifero di appartenenza influenzano il chimismo di base delle acque di un lago. In particolare, la composizione litologica del bacino, ma anche le sue dimensioni, la pendenza dei versanti, l'utilizzo del suolo (agricolo, abitativo, industriale) e l'estensione della copertura vegetale sono tutti fattori che determinano in diversa misura il chimismo lacustre.
Inoltre, caratteristiche morfometriche quali la forma e la superficie del lago, il volume o la profondità influenzano il contenuto di calore e la sua distribuzione nella colonna d'acqua, determinando la quantità di energia immagazzinata e scambiata con l'esterno.

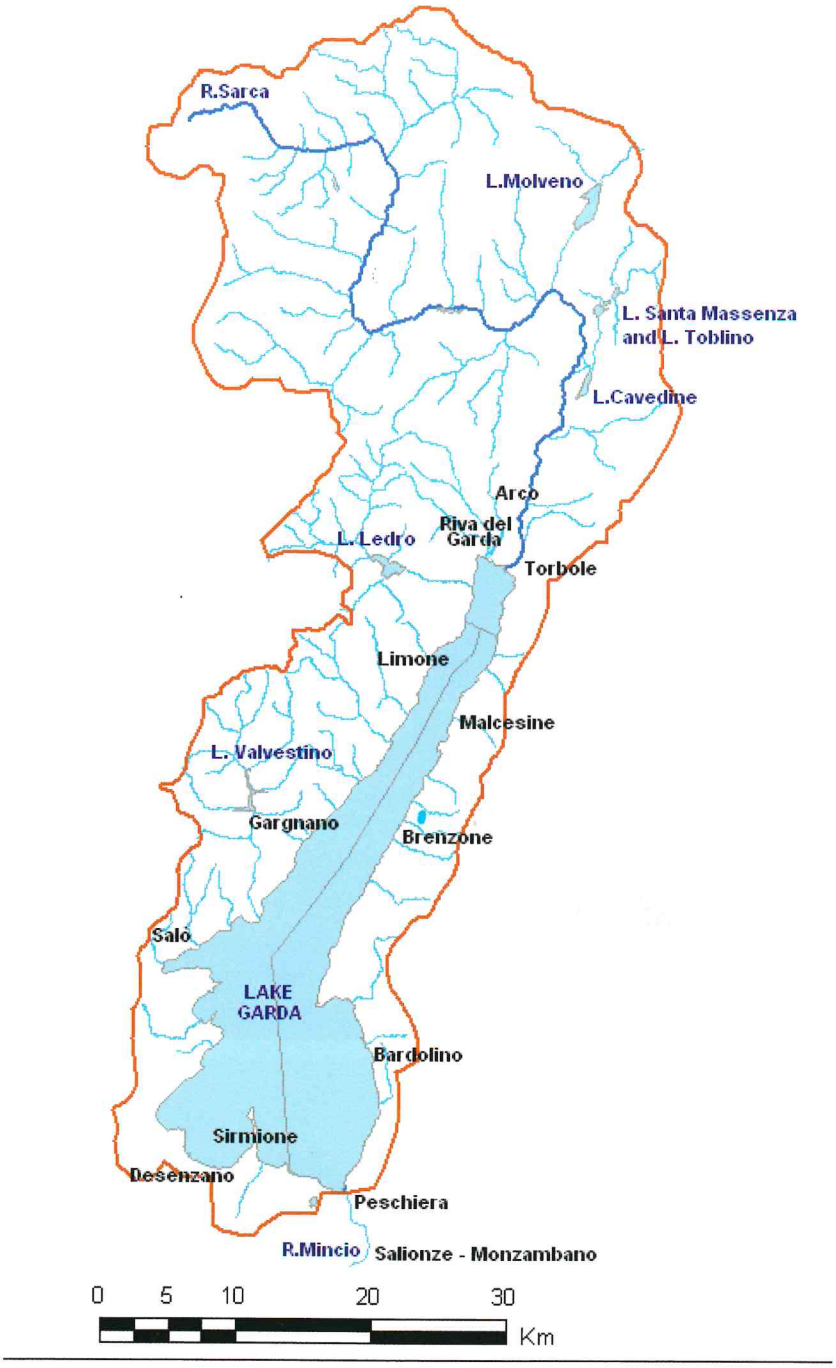
4.1. La morfologia

Il lago di Garda ha un bacino imbrifero di 2350 km^2 (se chiuso alla diga di Salionze-Monzambano sul fiume Mincio) che si riduce a 2290 km^2 se il bacino viene chiuso a Peschiera del Garda (Tabella 1, Figura 5). La maggior parte del bacino si trova ad un'altitudine tra 65 m e i 1500 m s.l.m., in particolare tra i 1000 m e 1500 m, mentre solo un'area ridotta si trova ad altitudini superiori, fino ad un massimo di 3500 m s.l.m. (IRSA, 1974).



Lago di Garda: scorcio (foto: Elisabetta Bonzanini).

Figura 5. Bacino imbrifero del lago di Garda (fonte: Sieghel, 2013a).



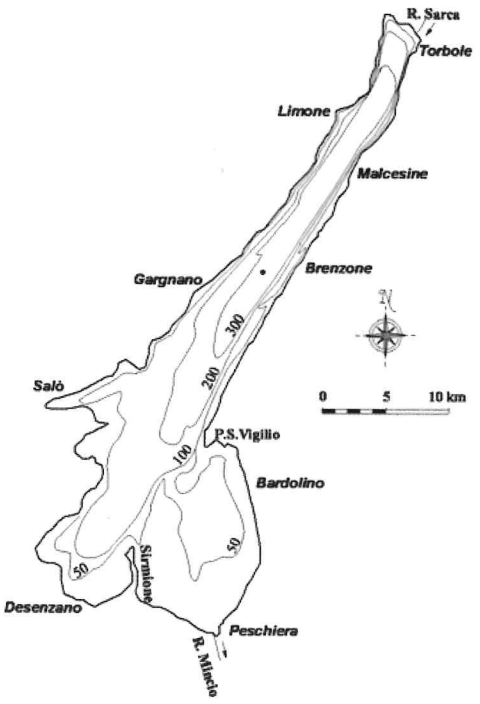
Da un punto di vista litologico il bacino del Garda è prevalentemente composto da rocce sedimentarie di origine marina (60%) e in misura minore da rocce eruttive e metamorfiche (Sauro, 2001).
Per quanto riguarda il lago, il suo perimetro è di 165 km che sottende un'area di 368 km^2 (Tabella 1). Il rapporto tra l'area del bacino imbrifero e quello del lago è quindi pari a 6.1, il rapporto più basso tra i vari ambienti lacustri dell'Italia settentrionale. Questo valore ridotto è probabilmente imputabile al fatto che, nell'ultimo periodo glaciale, sul lago di Garda insisteva un bacino glaciale che raggiungeva un'estensione ben più vasta (10.500 km^2 circa) di quella attuale.
Il Garda ha una forma caratteristica: lunga e stretta nella zona settentrionale all'interno delle montagne, dove il lago presenta la larghezza minima (2,5 km) e la massima profondità (346 m), più ampia e sub-circolare nella zona a sud racchiusa da un anfiteatro morenico. La zona a nord è inoltre caratterizzata da rive scoscese a picco sul lago, quella a sud da zone costiere poco profonde (Figura 6).

Figura 6. Particolare della costa nella parte (a) nord (b) e sud del lago di Garda.



Il lago occupa una fossa tettonica formatasi nell'Eocene (35 Ma) quando i ghiacciai si addentrarono all'interno della fossa, originando la conca lacustre. Tuttavia l'escavazione glaciale non è l'unica responsabile dell'origine del Garda, che va invece ricondotta ad un fenomeno geologico avvenuto nel Miocene (7-8 Ma) quando il bacino del Mediterraneo, chiuso a seguito di movimenti tettonici, andò incontro ad un progressivo e totale essiccamento, testimoniato da sedimenti evaporitici come il gesso ed il salgemma che affiorano lungo tutta la dorsale appenninica. L'azione erosiva dei fiumi diede così origine a valli strette e profonde che fecero da guida alle masse glaciali in espansione. Il mare inondò le terre emerse una volta ristabilitosi il collegamento con l'oceano, e retrocesse nuovamente a seguito del raffreddamento climatico. L'origine spiega perciò l'orientamento NE-SSW del Garda, la forma allungata e il fatto che il lago occupi una criptodepressione di 281 m.
Da un punto di vista batimetrico (Figura 7), il lago può essere suddiviso in due bacini comunicanti tra loro (occidentale e orientale), separati da una dorsale montuosa subacquea, che da Sirmione si snoda verso Punta San Vigilio.
La zona orientale, meno profonda, con quote medie al fondo di 60 m circa e massime di 81 m, degrada in quella occidentale, dove le profondità medie sono più elevate, attorno ai 100 m.

Figura 7. Batimetria del lago di Garda.



4.2. Copertura e uso del suolo

Il 65% del bacino del Garda è coperto da Habitat erbacei semi naturali (prati e pascoli) e foreste, la maggior parte dei quali si trova in Trentino; il 14% da aree agricole, generalmente dislocate nella zona meridionale; il 17% da corpi idrici superficiali e il rimanente 4% da superfici artificiali come centri abitati, strade, ecc. (Figura 8). Le aree maggiormente antropizzate si trovano vicino alla costa, soprattutto nella zona a sud più pianeggiante, e nelle valli del Trentino.

Figura 8. Copertura del suolo nel bacino del Garda (fonte: Corine Land Cover, 2006).

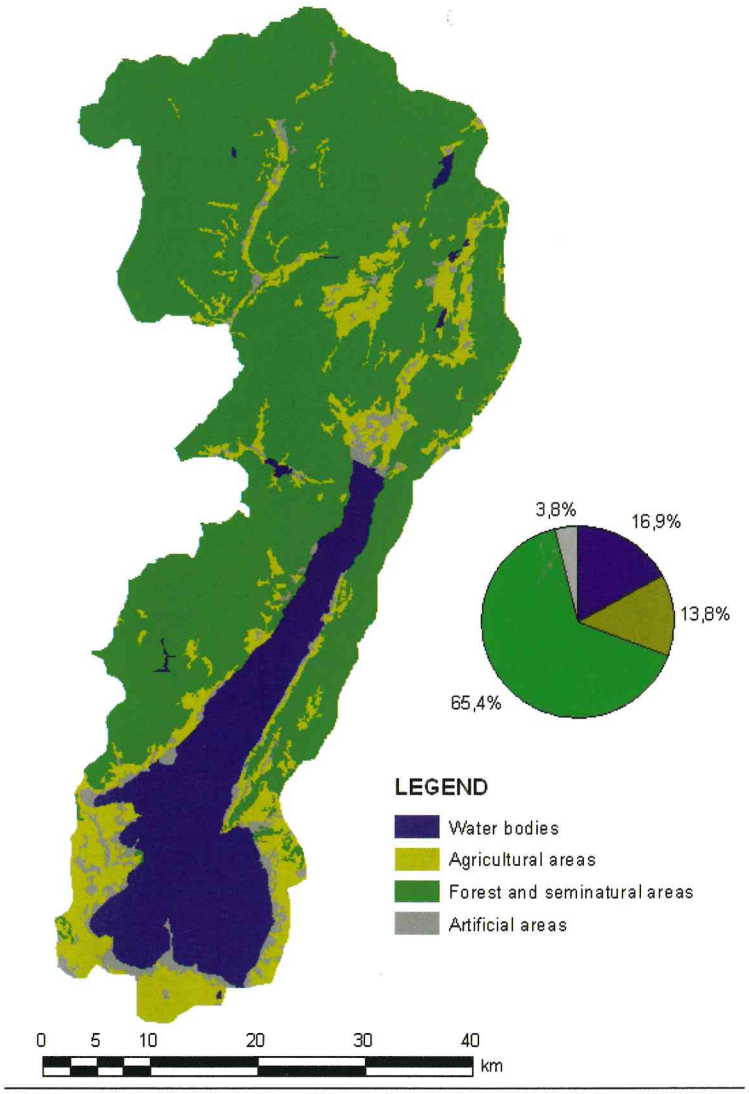
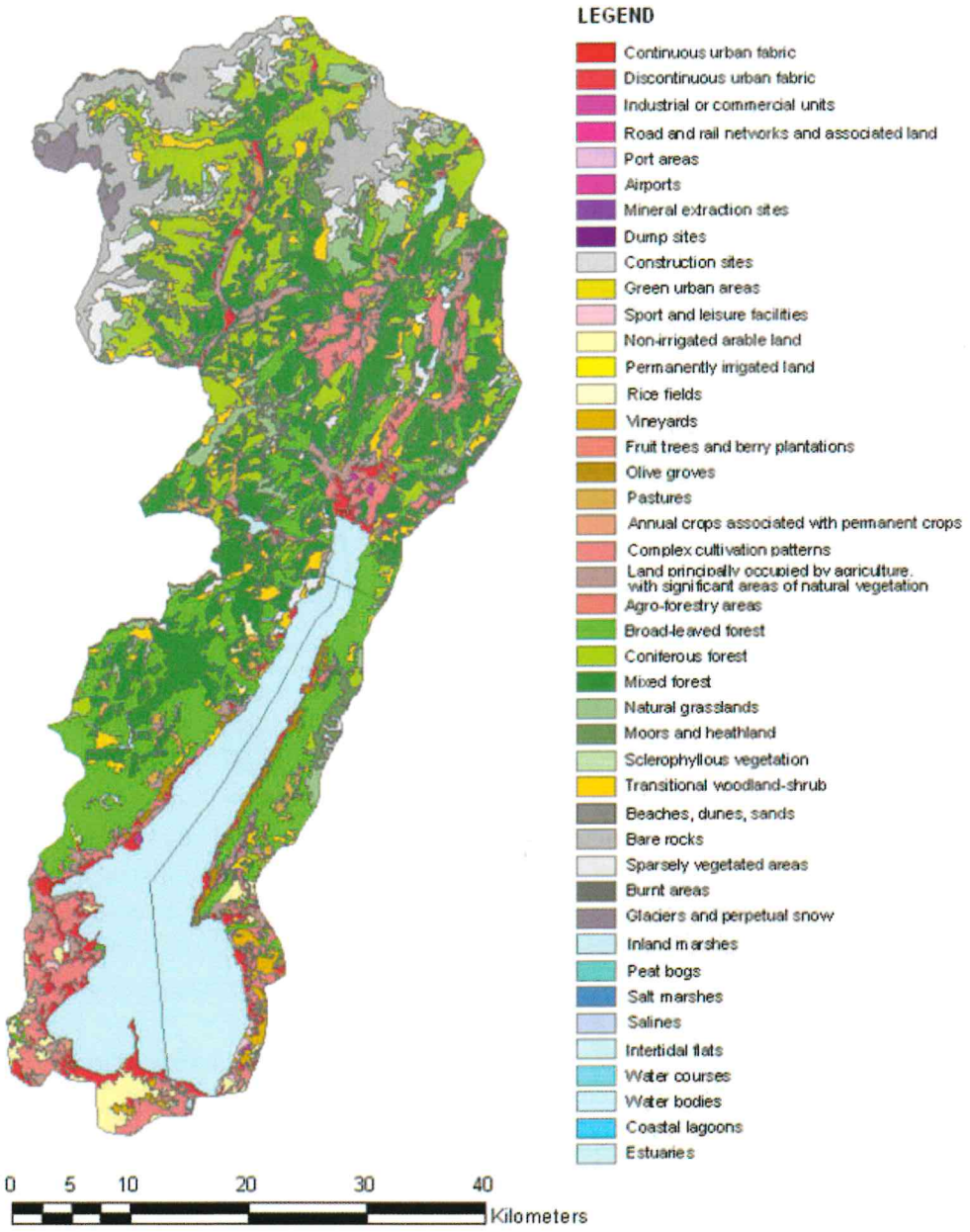
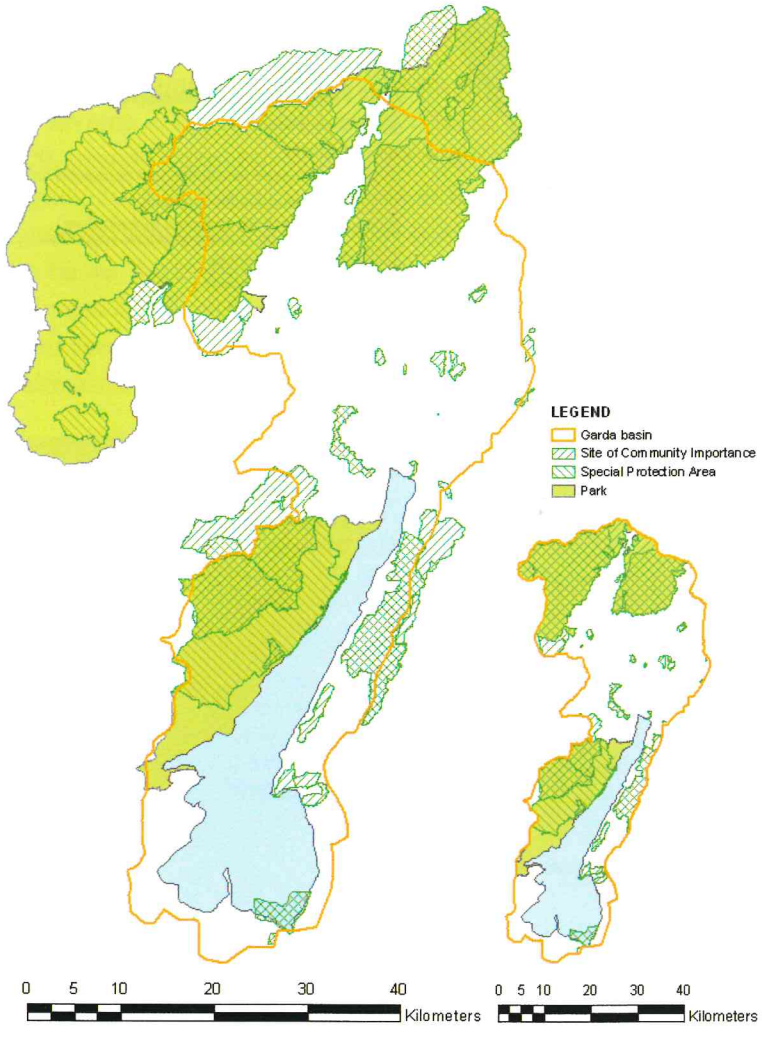


Figura 9. Diversi usi del territorio nel bacino del Garda (fonte: Corine Land Cover, 2006).



Le aree artificiali sono composte da tessuto urbano (80%), attività commerciali, industriali ed infrastrutture (12%), e zone verdi artificiali a scopo non agricolo (5%). Le zone agricole sono invece composte per il 45% da aree agricole eterogenee, da terreno coltivabile per il 24% e coltivato per il 19%, da pascoli per il 12% (Figura 9). Bisogna comunque sottolineare il fatto che il 40% del bacino sia composto da aree protette, per un totale di 878 km^2, dei quali il 50% in Lombardia, il 38% in Trentino e 29% in Veneto (Figura 10). Ci sono 3 parchi (2 parchi regionali in Lombardia e 1 provinciale in Trentino), 34 siti di importanza comunitaria, e 10 aree a protezione speciale. In Trentino inoltre ci sono anche 7 biotopi di interesse provinciale.

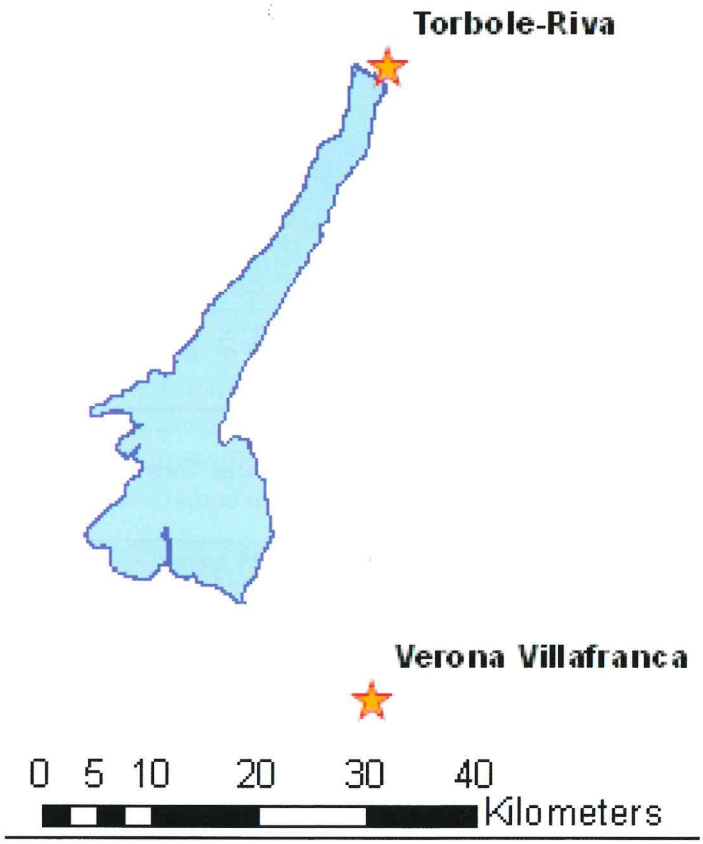
Figura 10. Aree protette nel bacino del Garda (fonte: Corine Land Cover, 2006).



4.3. Condizioni meteo climatiche

Il clima del Garda è di transizione tra quello dell'Europa centrale e quello mediterraneo con piogge equinoziali e siccità estiva. Attualmente le maggiori precipitazioni[1] si riscontrano in autunno, con valori complessivi attorno ai 400 mm. In inverno e in primavera le precipitazioni sono più ridotte (370 mm) fino a raggiungere i 250 mm in estate.

Figura 11. Localizzazione delle stazioni meteo-climatiche di Torbole (nord) e Verona Villafranca (sud).



Nella zona nord del lago (Figura 11), a partire dagli anni '60, è stato misurato un aumento della temperatura media dell'aria, da un minimo di 12°C ad un massimo di 14 °C (Figura 12). Nello stesso periodo è stato inoltre registrato un decremento,

1 I valori di temperatura e precipitazioni medie fanno riferimento ai dati raccolti durante il progetto HISTALP nella stazione di Torbole-Riva dal 1869 al 2005, e, per quanto riguarda la sola temperatura dell'aria, anche nella stazione dell'aeroporto di Verona Villafranca (1816-2005).

sebbene non troppo marcato, delle precipitazioni (Figura 13). A sud del lago (Figura 11) invece l'incremento di temperatura è iniziato più tardi, a partire dagli anni '70 (Figura 14).

Figura 12. Temperatura media misurata nella stazione Torbole – Riva dal 1869 al 2005 (fonte: ZAMG, 2007).

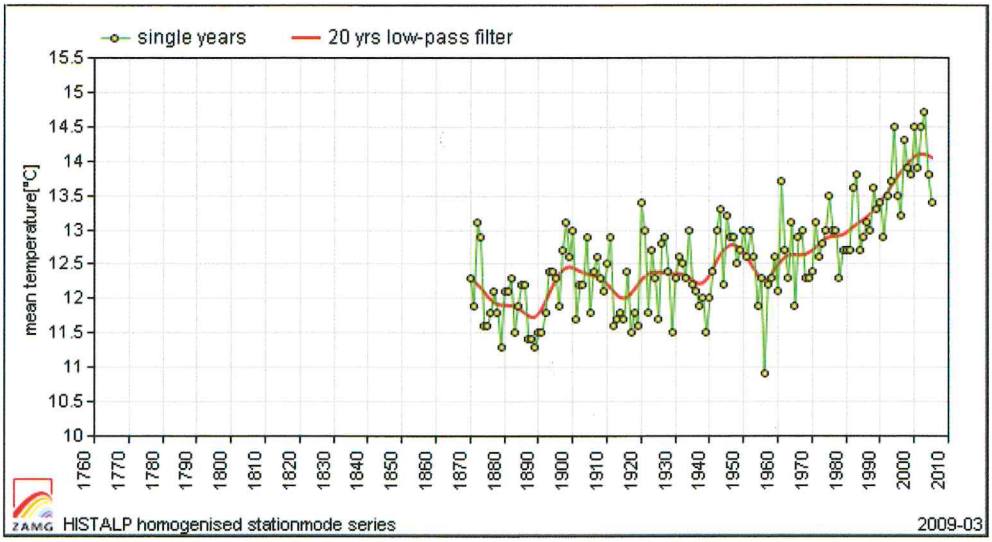


Figura 13. Precipitazioni totali misurate nella stazione Torbole – Riva dal 1869 al 2005 (fonte: ZAMG, 2007).

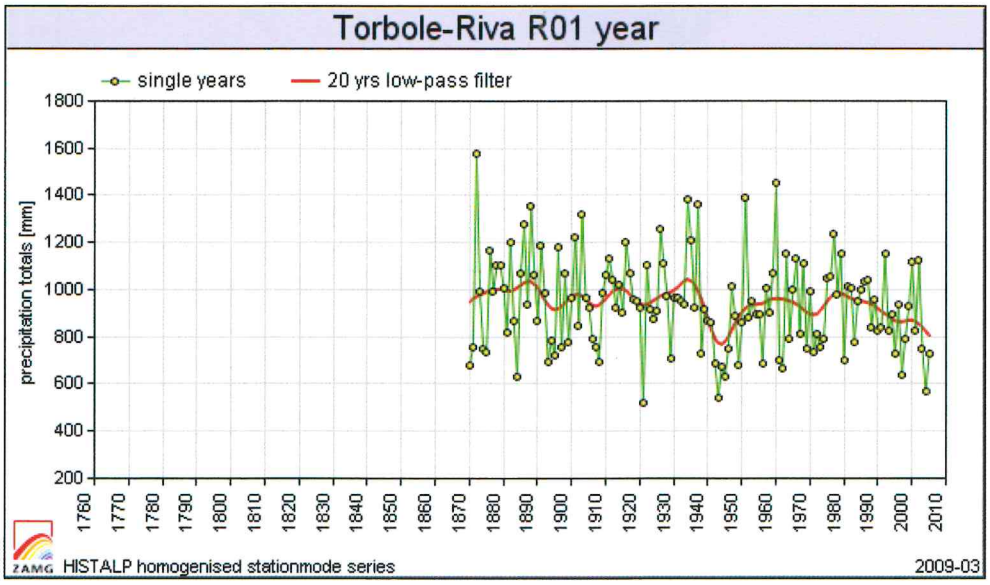
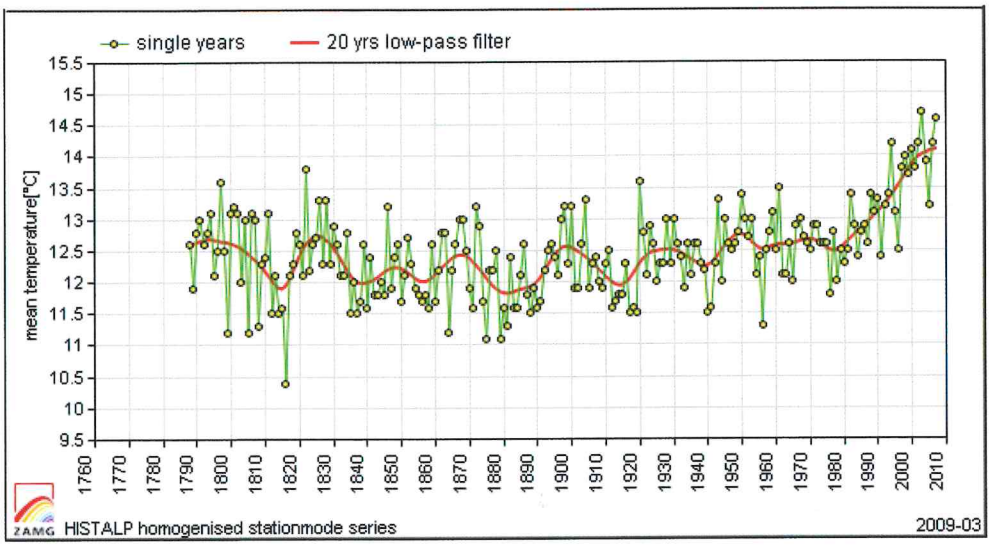
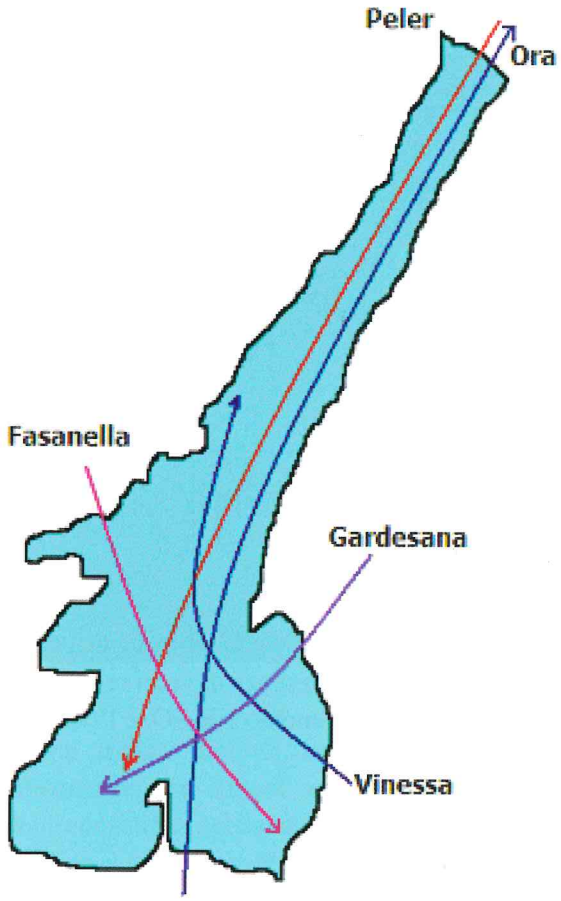


Figura 14. Temperatura media misurata nella stazione di Verona Villafranca dal 1788 al 2005 (fonte: ZAMG, 2007).



La differenza di condizioni meteorologiche tra la parte settentrionale e quella meridionale del lago è in parte imputabile alla presenza di venti regolari e periodici: il Pelèr, che soffia la mattina presto con un andamento NE-SO, e l'Ora, che soffia in direzione opposta fino a tarda sera (Figura 15).

Figura 15. Venti principali del lago di Garda (fonte: APPA, 2011).



Nel complesso, il numero di eventi estremi è aumentato, in particolare sono diventati più frequenti gli episodi siccitosi (Maugeri et al., 2006). Dall'analisi dei dati raccolti negli ultimi 30 anni si è vista una decrescita delle precipitazioni in inverno, primavera ed estate ed un aumento in autunno, nelle stagioni delle inondazioni (Regione Lombardia, 2007).

5. La cuvetta lacustre

5.1. Idrologia

Il bilancio idrologico del Garda è fortemente influenzato dal suo principale immissario, il fiume Sarca (Figura 16), il cui bacino rappresenta il 55% di tutto il bacino gardesano. Le sorgenti del Sarca si trovano alla base del ghiacciaio Mandrone (catena dell'Addamello) (Figura 17) e anche altri numerosi tributari del Sarca sono alimentati da acque provenienti da ghiacciai. Ancora oggi, sebbene abbia subito numerose modificazioni nell'arco del tempo soprattutto per scopi idroelettrici, il Sarca presenta caratteristiche tipiche di un fiume di origine glaciale, come ad esempio l'essere soggetto a piene nella stagione tardo primaverile – inizio estate (portata media annuale = 30.5 m^3 sec^{-1}).

Figura 16. Il Sarca.



Figura 17. Il ghiacciaio del Mandrone (fonte: meteopassione.com).



Oltre a questi apporti naturali, anche gli altri input che arrivano al lago sono quasi totalmente regolati ad uso umano: le dighe di Valvestino e di Ledro a nord, l'immissione controllata nel Sarca delle acque del lago di Molveno e l'acqua prelevata dal fiume Adige e canalizzata attraverso il tunnel che collega il fiume Adige al Garda (tunnel Mori - Torbole), opera costruita negli anni '60 per controllare le piene e che oggi può portare al lago fino a fino a 500 m^3 sec^{-1}.
Proprio per regolare le portate e gestire gli usi idrici per diversi portatori di interesse negli anni '50 venne realizzato sul fiume Mincio (Figura 18), unico emissario del Garda, uno sbarramento artificiale all'altezza di Salionze, che regola i livelli normali tra le quote 64,18 m (minimo normale) e 65,43 m (massimo normale). Oggi il Mincio può gestire portate fino a 200 m^3 sec^{-1}, ma mediamente i valori non superano i 58 m^3 sec^{-1} (Salmaso et al., 2009).

Figura 18. Il fiume Mincio.



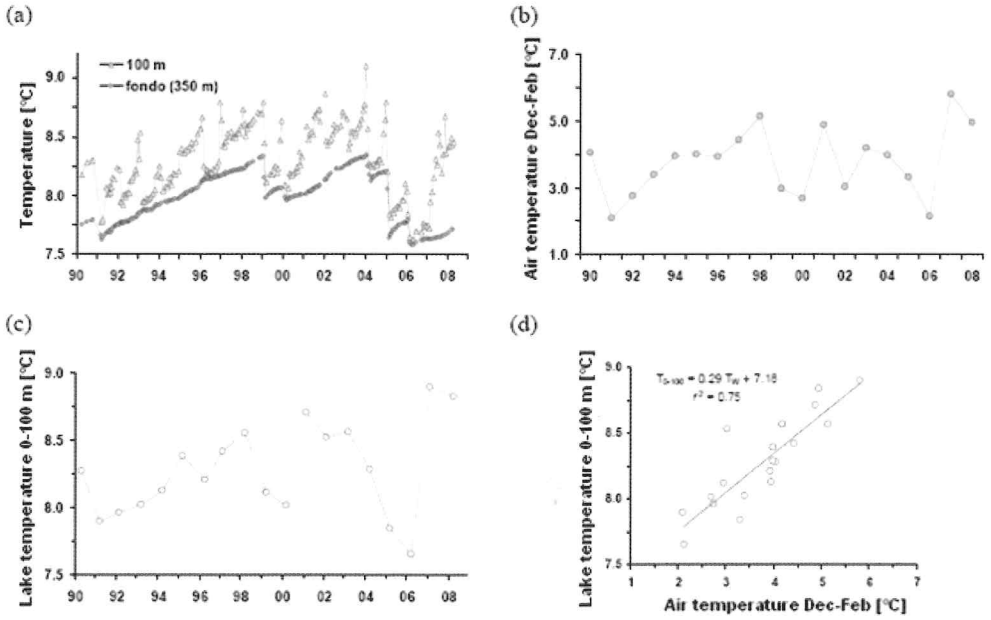
Considerando i volumi d'acqua in entrata nel lago (Sarca + precipitazioni sul lago + 20% delle precipitazioni sull'intero bacino) e quelli in uscita attraverso il Mincio, il bilancio idrico risulta fortemente squilibrato, con i deflussi che nell'ultimo decennio sono stati quasi il doppio degli afflussi (Sieghel, 2013a).
Anche per questo motivo il tempo teorico di ricambio del Garda è pari a 26,6 anni.

5.2. Termica

Le dinamiche termiche di un lago sono di cruciale importanza per l'ecologia di un ecosistema lacustre, giacché influenzano tanto la distribuzione dell'ossigeno lungo la colonna d'acqua che la distribuzione dei nutrienti.
Il lago di Garda è classificato come monomittico caldo, ovvero un lago che non ghiaccia mai e risulta termicamente stratificato per la maggior parte dell'anno, in cui il rimescolamento, che avviene a fine inverno-inizio primavera, è spesso parziale e non interessa tutta la colonna d'acqua ma solo i primi 150-200 m. È inoltre un lago oligomittico, perché la completa circolazione avviene solo in anni particolari a seguito di inverni rigidi.
Ricerche condotte a partire dal 1971 hanno evidenziato un completo rimescolamento della massa d'acqua nel 1971, 1978-1981, 1984-1985, 1991, 1999-2000 e 2004-2006 (IRSA, 1974; IASMA, 2009; APPA, 2011). Durante questi eventi la temperatura

dell'acqua a Brenzone - la zona più profonda del lago - è diminuita negli strati sotto i 200 m di 0.1°C (1991) e 0.5°C (2005). Nei periodi intermedi, invece, si è visto un progressivo riscaldamento dell'acqua più profonda con un aumento di 0.09-0.10°C l'anno (Figura 19a). Dopo il 2006 il rimescolamento completo non si è più verificato.

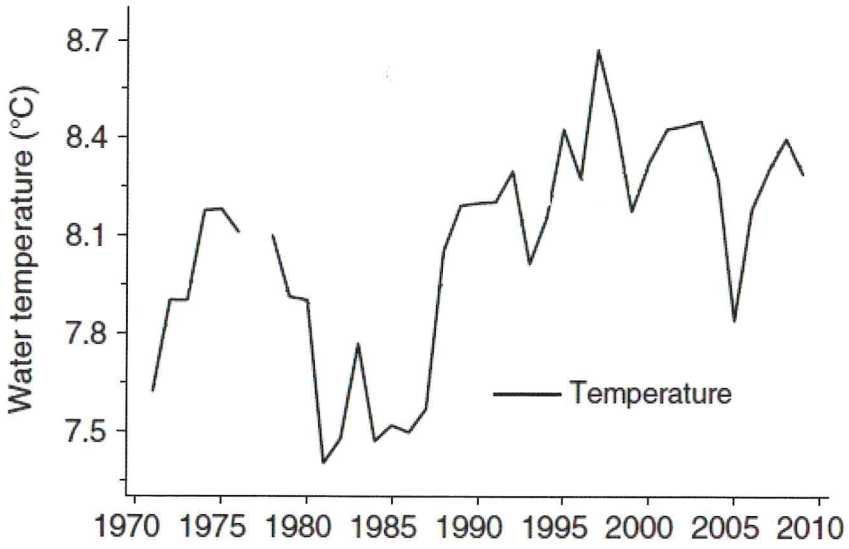
Figura 19. (a) Temperatura dell'acqua degli strati ipolimnici (> 100 m) misurata tra aprile 1990 e aprile 2008 nel punto più profondo del lago, di fronte a Brenzone. (b) Temperature medie invernali (dicembre-febbraio) dell'aria misurate nella stazione meteorologica di Arco (Tw). (c) Temperature minime dell'acqua misurate negli strati superficiali (0-100 m, $T_{0\text{-}100}$) durante il rimescolamento primaverile. (d) Rapporto tra $T_{0\text{-}100}$ e T_w (modificata da: IASMA, 2009).



L'alternanza di brevi periodi di riscaldamento e episodi di raffreddamento è strettamente legata all'evoluzione delle condizioni climatiche invernali su scala temporale più ampia (Figura 19b). Il raffreddamento delle acque più profonde nel 1991, dal 1999 al 2000, e nel 2005-2006 è stato dovuto a una più marcata diminuzione della temperatura dell'aria (tra 1 e 2.5°C) rispetto agli inverni precedenti (Figura 19b) (IASMA, 2009). L'effetto di inverni più freddi è confermato negli stessi anni anche dalle minori temperature delle acque superficiali ($T_{0\text{-}100}$) (Figura 19c), che subiscono sempre un rimescolamento completo e che, essendo a stretto contatto con l'atmosfera, sono maggiormente influenzate dalle condizioni climatiche esterne.

Nel complesso è comunque utile sottolineare che un chiaro e significativo aumento della temperatura dell'intero lago è stato misurato dal 1971 al 2005, con un aumento per decade di circa 0.2 °C (Figura 20), analogamente a quanto misurato in altri grandi laghi sud-alpini (Como, Maggiore ed Iseo) (Salmaso & Mosello, 2010).

Figura 20. Temperatura media del lago di Garda misurata durante il rimescolamento primaverile tra il 1971 e il 2009 (modificata da: Salmaso & Mosello, 2010).



L'esistenza di un trend di aumento delle temperature nei laghi subalpini era stato chiaramente riconosciuto per la prima volta da Ambrosetti & Barbanti nel 1999. Nella regione alpina infatti i cambiamenti di temperatura appaiono di maggiore entità rispetto alle variazioni globali, riflettendo una amplificazione dei segnali mondiali in questa area specifica.

5.3. Trasparenza e clorofilla

Nel periodo di studio legato al progetto Eulakes, il CNR-IREA, usando tecniche di telerilevamento, ha elaborato delle mappe rappresentanti l'andamento della trasparenza (z90), delle concentrazioni di materiale totale sospeso (TSM), materia organica disciolta colorata (CDOM) e clorofilla-a fitoplanctonica (Chl-a) nel bacino gardesano dal 2004 al 2010 (CNR-IREA, 2012a).
Gli stessi dati sono stati anche raccolti in campo durante una campagna di campionamento che ha avuto luogo nell'agosto 2011 (Tabella 2).

Tabella 2. Valori medi (± Deviazione standard) dei dati limnologici raccolti durante la campagna svolta sul Garda nell'agosto 2011.

Parametri	Valori medi (deviazione standard)
Chl-a (mg m^{-3})	1.17 (1.1)
TSM (g m^{-3})	1.4 (0.7)
CDOM (m^{-1})	0.03 (0.02)
z90 (m)	8.5 (2.8)

Tra il 2004 e il 2010 i valori minimi di trasparenza sono stati misurati nel 2006 e il 2007, sempre nella parte centro-meridionale del lago (Figura 21) (CNR-IREA, 2012a).

I valori massimi di clorofilla (Figura 22) sono sempre stati registrati tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera ad eccezione di due volte: nel 2006 e nel 2009, quando i massimi sono stati misurati rispettivamente in dicembre e settembre (Sighel, 2013a). Poiché la crescita di fitoplancton (e quindi l'aumento di Chl-a) è legata all'abbondanza di nutrienti (rimessi in circolo grazie al rimescolamento) e alla buona disponibilità di luce - fattori che di solito si manifestano in primavera (Salmaso 2010) - si può ipotizzare che le eccezioni del 2006 e del 2009 siano dovute ad un aumento di cianobatteri la cui abbondanza è meno legata a fattori stagionali (Salmaso, 2005) (vedi paragrafi successivi).



Lago di Garda: scorcio (foto: Elisabetta Bonzanini).

Figura 21. Mappe della trasparenza (z90) nel periodo 2004-2010. Nel grafico a barre sono riportati i valori medi annuali e le deviazioni standard (fonte: CNR-IRSA, 2012a).

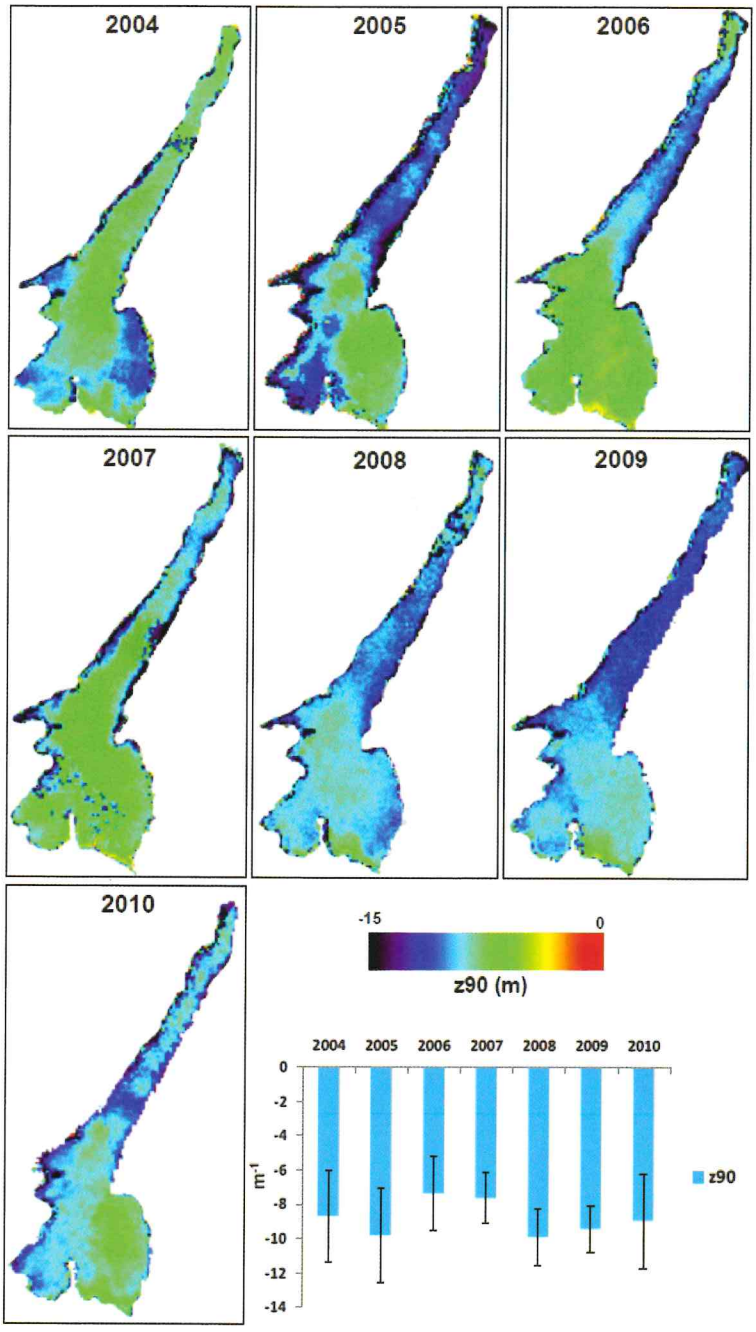
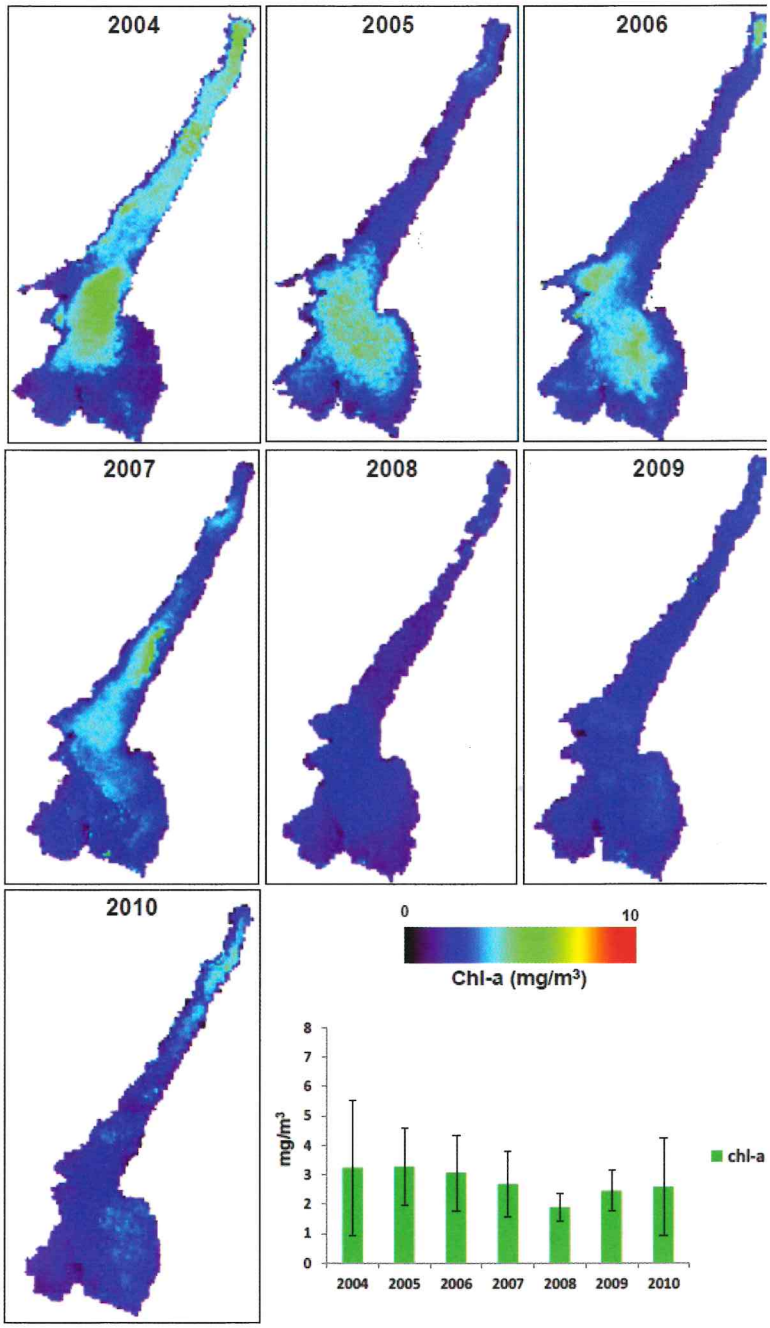


Figura 22. Mappe della concentrazione annuale di clorofilla-a fitoplanctonica (Chl-a) nel periodo 2004-2010. Nel grafico a barre sono riportati i valori medi annuali e le deviazioni standard (fonte: CNR-IRSA, 2012a).

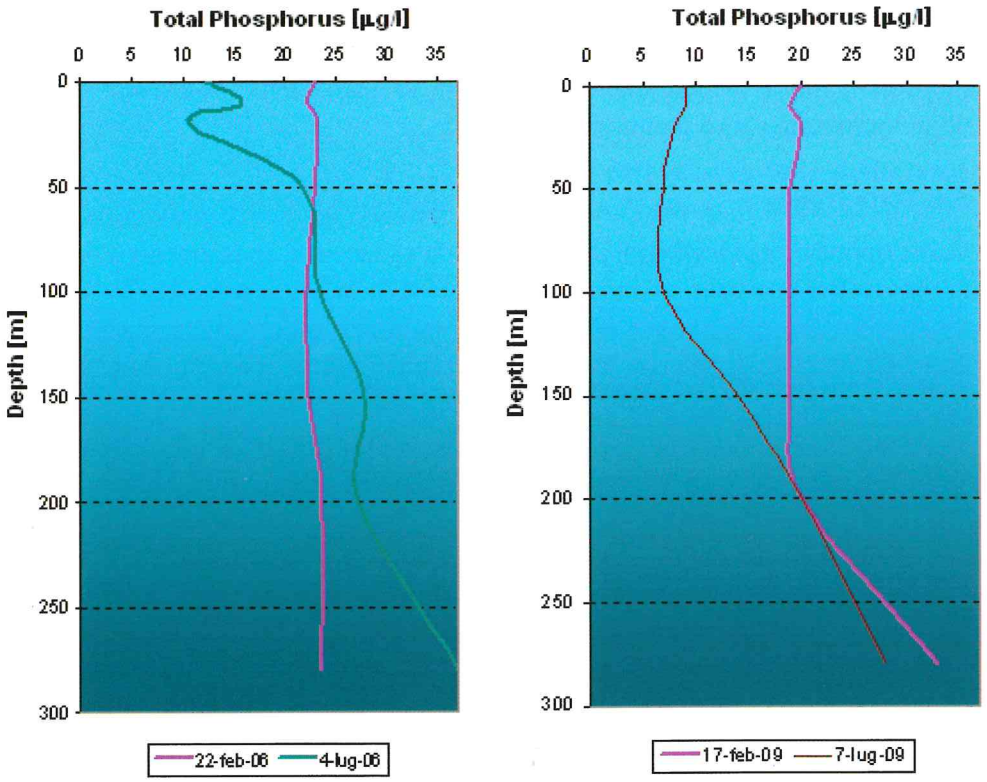


Se si considerano anche dati risalenti agli anni anni '90 (APPA, 2011), i picchi di clorofilla-a sono sempre stati misurati in concomitanza con gli eventi di completo rimescolamento. Tra il 1999 e il 2004 i valori massimi di Clorofilla-a hanno superato gli 8 mg m^{-3} solo in occasione di alcuni bloom algali primaverili. 8 mg m^{-3} è il valore soglia proposto dall'O.E.C.D. (Organization for Economic Cooperation and Development), come limite tra la condizione di oligotrofia e di mesotrofia di un lago (O.E.C.D., 1982), evidenziando come il lago di Garda abbia presentato uno stato oligo-mesotrofico già a partire dagli anni '90.

5.4. Stato trofico

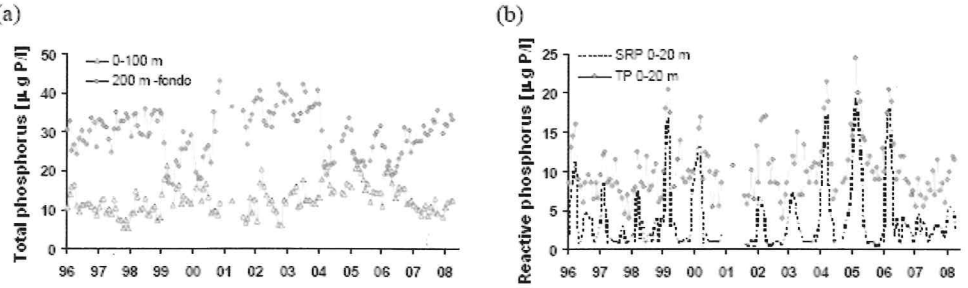
Come riportato in precedenza, il lago di Garda va incontro annualmente a fenomeni di rimescolamento della colonna d'acqua durante la stagione primaverile. A seguito di questi eventi vengono rilevate le maggiori saturazioni di ossigeno e disponibilità di nutrienti che vengono risollevati dagli strati più profondi, in particolar modo in caso di rimescolamento completo (Figura 23).
Lo stato trofico e la qualità dell'acqua di un lago profondo come il Garda dipendono soprattutto dalla entità del rimescolamento verticale e dal quantitativo di nutrienti riciclati dal fondo (Goldman et al., 1989).
Attualmente il lago di Garda è classificato come oligo-mesotrofico, ma, a partire dagli anni '70, aveva mostrato un aumento della concentrazioni di nutrienti, in particolar di fosforo, il cui picco massimo è stato misurato nel 2005 (Salmaso, 2010) (Figura 24).
Poiché nei laghi subalpini il fosforo è essenzialmente l'elemento limitante la produttività biologica, le sue concentrazioni sono un buon indicatore dell'eccesso di carico di nutrienti che arrivano al bacino e dello stato trofico dei sistemi in esame. Oltre a fenomeni di parziale rimescolamento, l'incremento di fosforo misurato all'inizio del XXI secolo era anche imputabile al sottodimensionamento e al cattivo funzionamento dell'impianto di collettamento e depurazione che serve il lago (Mosello & Giussani, 1997).

Figura 23. Profili verticali del fosforo totale misurati in febbraio e luglio 2006, l'anno in cui si è verificato l'ultimo rimescolamento completo del lago, e in febbraio e luglio 2009, quando il rimescolamento è stato solo parziale (fonte: APPA, 2011).



Attualmente i carichi di fosforo, 90% delle quali di origine agricola e 10% di derivazione fognaria urbana, presentano valori pari al 1921,4 tP anno^{-1}. Sebbene i guasti del sistema fognario siano stati in parte riparati negli ultimi 20 anni, il problema principale riguardante un possibile aumento di fosforo rimane comunque il sistema di collettamento dei reflui prodotti nella fascia circumlacuale, che risulta al momento insufficiente a proteggere il lago da afflussi inquinanti non depurati, soprattutto in caso di forti precipitazioni.

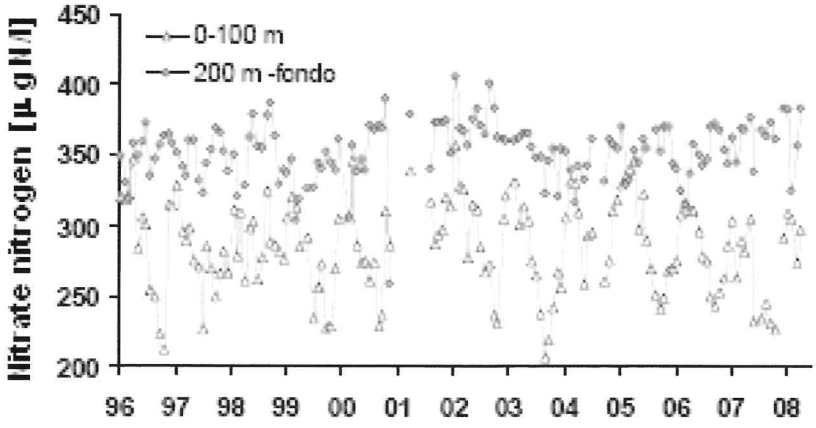
Figura 24. Valori medi di (a) fosforo totale (TP) e (b) fosforo reattivo solubile (SRP) misurati negli strati superficiali (0-100 m) e profondi (200-350 m) nella stazione di Brenzone dal 1996 al 2008 (fonte: IASMA, 2009).



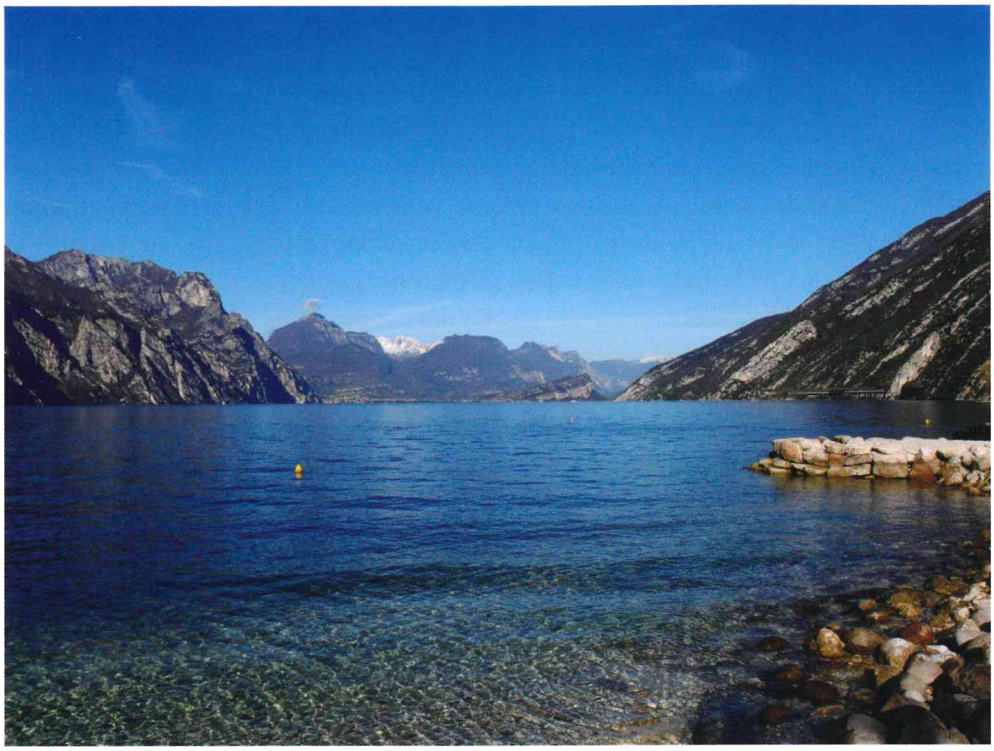
L'altro nutriente inorganico che regola la produzione primaria negli ecosistemi lacustri è l'azoto. Solo i cianobatteri e i batteri fotosintetici anaerobi possono fissare l'azoto atmosferico rendendolo disponibile ai vegetali sotto forma di ioni ammonio o nitrato (NH_4^+ e NO_3^-). Sebbene elevate concentrazioni di nitrati siano, assieme al fosforo, la causa principale nei processi di eutrofizzazione, la loro concentrazione nel lago di Garda è rimasta pressoché stabile nel tempo.

I nitrati presenti negli strati più profondi sembrano mantenere concentrazioni più costanti probabilmente perché l'elevato tempo di ricambio delle acque può favorire una maggiore incidenza dei processi biologici di consumo di azoto. Infatti al di sotto dei 200 m le concentrazioni di nitrati sono sempre state comprese tra 300 e 400 mg N l^{-1} (Figura 25).

Figura 25. Valori medi di nitrato (NO_3-N) negli strati superficiali (0-100 m) e profondi (200-350 m) misurati nella stazione di Brenzone dal 1996 al 2008 (modificata da: IASMA, 2009).



Tuttavia, analogamente a quanto avviene per il fosforo, è comunque evidente l'omogeneizzazione delle concentrazioni di azoto durante i processi di completo rimescolamento negli anni 1999-2000 e 2004-2006. Nei primi 100 m le concentrazioni di $N\text{-}NO_3$ hanno mostrato oscillazioni correlate al consumo primaverile ed estivo di nitrogeno da parte del fitoplancton e queste oscillazioni sono più evidenti negli strati epilimnetici (0-20 m), dove hanno raggiunto, in alcuni casi, valori < 100 mg N l^{-1} potenzialmente limitanti lo sviluppo algale.



Lago di Garda: scorcio (foto: Elisabetta Bonzanini).

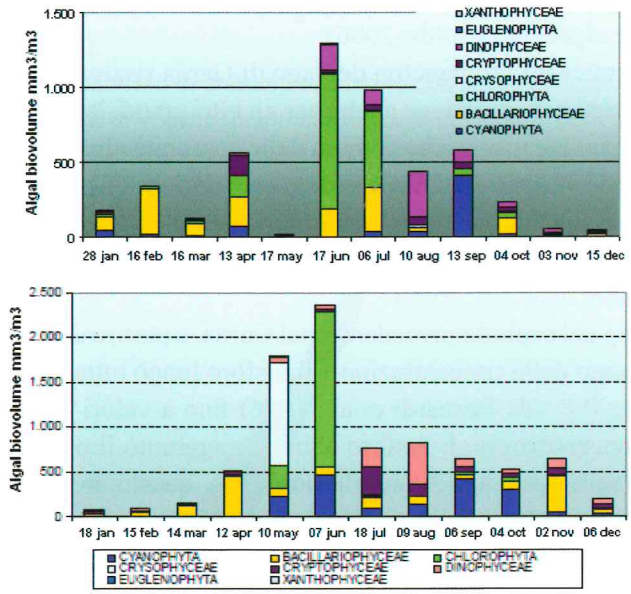
6. Biocenosi acquatiche

6.1. Il fitoplancton

Il fitoplancton rappresenta la componente vegetale del plancton, cioè quell'insieme di organismi viventi di piccole dimensioni adattati alla sospensione in acqua e soggetti al trasporto passivo da parte di onde e correnti.
Il fitoplancton è composto da organismi fotosintetici autotrofi in grado di sintetizzare autonomamente sostanza organica e ricopre quindi un ruolo fondamentale negli ecosistemi acquatici. Esso costituisce inoltre il cibo dello zooplancton (componente animale del plancton) erbivoro, il quale è a sua volta predato dallo zooplancton carnivoro e da pesci planctivori, questi ultimi preda dei grandi piscivori.
Tanto la composizione che l'abbondanza e la distribuzione delle comunità fitoplanctoniche in ambienti lacustri sono regolate da una serie di fattori. La disponibilità di nutrienti influenza in maniera significativa la biomassa totale e la biodiversità (Anderson et al., 2005). Inoltre, benché lo stato trofico sia senz'altro un driver fondamentale, anche l'idrologia e le dinamiche interne al lago, i cambiamenti climatici e la struttura della catena trofica influenzano lo sviluppo e l'evoluzione della componente algale (Reynolds, 2006).
I primi studi sistemici sul fitoplancton del lago di Garda risalgono ai primi anni '90 e, data la mole di dati a disposizione anche per gli altri grandi laghi sub alpini, è stato possibile evidenziare caratteristiche comuni delle comunità algali di questi ambienti, rappresentate dallo sviluppo di diatomee di grosse dimensioni in primavera, da una comunità più diversificata, generalmente composta da Zygnemales, Peridiniales e Ochromonadales nei periodi più caldi, e cianobatteri e Chlorococcales in estate ed autunno (Salmaso & Mosello, 2010).
Come già riportato nel capitolo precedente, nel Garda, a partire dagli anni '70, è stato misurato un aumento della concentrazione di fosforo lungo tutta la colonna d'acqua, da valori < 10 μg P l^{-1} (de Bernardi et al., 1996) fino a valori tra i 18 e i 22 μg P l^{-1}. Sebbene le concentrazioni di fosforo abbiano raggiunto il picco più alto a metà degli anni 2000, senza poi aumentare ulteriormente, questo incremento prolungato dell'abbondanza di nutrienti ha determinato dei cambiamenti nella struttura della comunità algale. In particolar modo l'aumento di fosforo ha influenzato lo sviluppo di cianobatteri prevalentemente appartenenti all'ordine delle Oscillatoriales, e di diatomee.
I primi bloom di cianobatteri filamentosi sono stati osservati sul Benàco a partire dagli anni '90 nelle zone litorali della parte orientale, e successivamente anche

in quella occidentale. Negli anni le Oscillatoriales sono aumentate a discapito di un'alga verde filamentosa prima dominante come *Mougeotia* sp.
Mougeotia sp., l'unica Zygnemales presente nel bacino, è stata infatti una forma preponderante della comunità fitoplanctonica dall'inizio degli anni '90 fino al 2003, presentando volumi medi stagionali (aprile–settembre) con valori fino a 500 mm^3 m^{-3}. Nel 2004 la popolazione di *Mougeotia* ha subito un improvviso collasso, raggiungendo un biovolume medio mensile di 27 mm^3 m^{-3} (Salmaso, 2010). Le cause del declino di questa specie non sono completamente accertate, tuttavia è noto che quest'alga risponde positivamente alla profondità degli episodi di rimescolamento (Salmaso, 2005).
Le variazioni della comunità planctonica del lago di Garda non sono però solo dovute a un aumento di trofia ma anche a variazioni climatiche. Come emerso da studi recenti (Salmaso, 2011), lo sviluppo di forme tecate appartenenti alle Peridiniales, in particolar modo la specie *Ceratium hirudinella*, presente in estate e all'inizio dell'autunno, sembra maggiormente legato alle variazioni interannuali di temperatura che a cambiamenti di stato trofico.

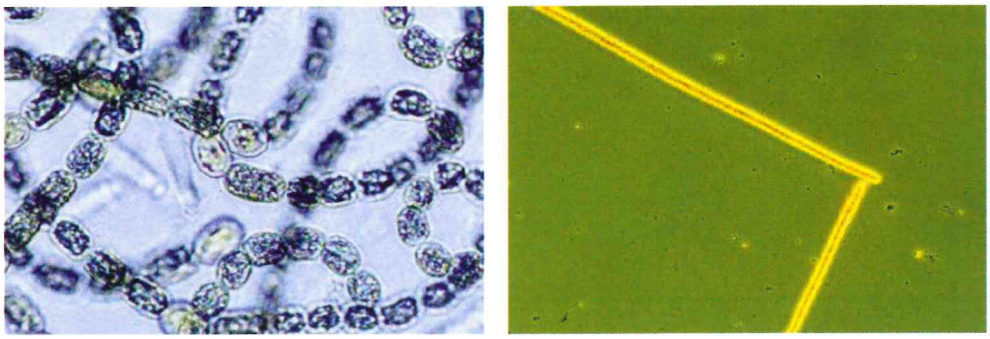
Figura 26. Comunità fitoplanctonica della zona eufotica del lago di Garda[2] nel 2010 e 2011 (fonte: Sieghel, 2013a).



2 I dati riportati nelle figure 26 e 28 descrivono l'analisi di campioni di fitoplancton raccolti da APPA nella zona eufotica della stazione di monitoraggio numero 14.

Ad oggi comunque cianobatteri e diatomee sono le forme più importanti, assieme alle cloroficee (Figura 26).
Tra i cianobatteri, la forma *Planktothrix rubescens/agardhii* è quella più comune durante tutto l'anno, assieme a *Planktotyngbya limnetica* e *Anabaena lemmermanii*, maggiormente presenti alla fine dell'estate – inizio autunno (Figura 27). In particolare *A. lemmermannii* è comparsa per la prima volta sul Garda agli inizi degli anni '90, dando origine a estesi bloom algali tra luglio e settembre. Successivamente questi bloom estivi si sono manifestati, seguendo un gradiente temporale e spaziale, anche nei laghi Iseo (seconda metà degli anni '90), Maggiore (2005), e Como (2006) (Salmaso et al., 2012).
Le diatomee, pesanti e di grosse dimensioni, necessitano che la colonna d'acqua sia rimescolata per rimanere in sospensione e quindi aumentano prima della stratificazione estiva per poi sedimentare verso gli strati più profondi nei mesi più caldi. Le forme più comuni appartenenti a questo gruppo sono soprattutto forme pennate come *Fragilara crotonensis* e in misura minore *Asterionella formosa*, *Tabellaria fenestrata* e *Diatoma tenuis*, queste ultime quasi esclusivamente presenti dalla fine dell'autunno all'inizo della primavera (Salmaso, 2010).
Le cloroficee sono le forme maggiormente presenti in estate, generalmente sotto forma di piccole colonie di *Coelastrum polychordum*, *C. reticulatum* e *Ankyra judayi*. Occasionalmente, e per pochi mesi l'anno, compaiono nella comunità anche forme meno comuni appartenenti alle Euglenophyta e alle Xanthophyceae (Sieghel, 2013a).

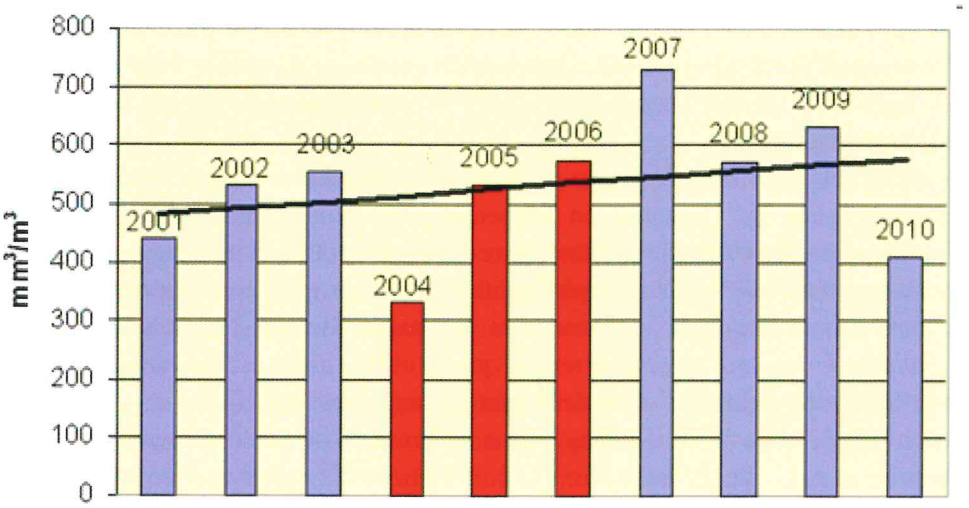
Figura 27. Principali cianobatteri rinvenuti nel lago di Garda: *Anabaena lemmermanii* (sinistra) e *Planktothrix rubescens/agardhii* (destra) (fonte: Ceresino & Salmaso, 2013).



Per quanto riguarda il biovolume totale, si è evidenziato un generale aumento dal 2001 al 2010, benché in quest'anno sia stato misurato un valore decisamente inferiore rispetto all'anno precedente, legato anche alla diminuzione di cianobatteri

(~ 60 mm^3 m^{-3}), dimezzati rispetto 2009 (Figura 28). Nel complesso, anche i valori di biovolume totale misurati danno ragione dello stato oligo-mesotrofico del lago.

Figura 28. Andamento del biovolume algale nella zona fotica del lago di Garda, dal 2001 al 2010 (fonte: Sieghel, 2013a).



6.2. Lo zooplancton

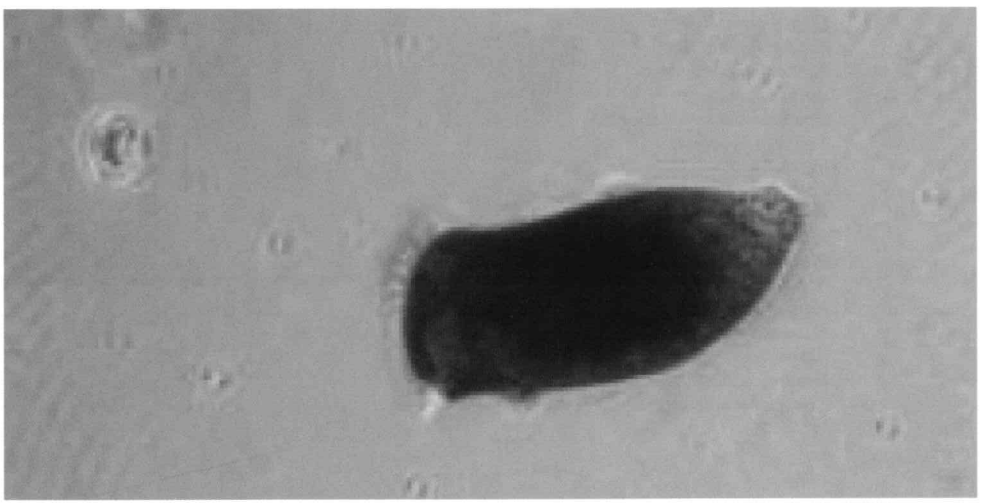
A differenza del fitoplancton, che sul Garda è stato dettagliatamente e continuamente studiato a partire dagli anni '90, le ricerche sullo zooplancton sono state sporadiche (Tabella 3) e quelle più recenti risalgono al 1994-1995 e al 1997 (Salmaso & Naselli-Flores, 1999)

Tabella 3. Comparazione tra i taxa zooplanctonici rinvenuti nel periodo 1994/1997 e negli anni precedenti. Solo i taxa descritti almeno a livello di genere sono riportati. (i): Baldi (1949), (ii): Merlo & Mozzi (1963), (iii): IRSA (1974), (iv) Barbato (1988), (v): Negri & Pelaia (1990). Le specie rinvenute solo sporadicamente sono indicate con "r" (1) indicato come *Eudiaptomus vulgaris*; (2) include *Cyclops abyssorum e C. strenuus*; (3) include *Bosmina coregoni e B. l. kessleri*; (4) indicati come *Bosmina longicornis e B. coregoni*; (5) include *Dahnia hyalina x galeata* (fonte: Salmaso & Naselli-Flores, 1999).

		1949 (i)	1957-1958 (ii)	1970-1972 (iii)	1982-1983 (iv)	1987-1989 (v)	1995/1997 (this work)
COPEPODA	*Copipodiaptomus steueri*	+[1]	+[1]	+	+	+	+
	Cyclops spp.[2]	+	+	+	(+)	+	+
	Mesocyclops leuckarti	+		+	+	+	+
CLADOCERA	*Diaphanosoma brachyurum*	+	+	+	+	+	+
	Sida crystallina	+					
	Bosmina (Eubosmina) spp.[3]	+[4]	+	+	+	+	+
	Daphnia hyalina[5]			+	+	+	+
	Daphnia longispina	+	+				
	Chydorus sp.					+	
	Polyphemus pediculus r				+		
	Bythotrephes longimanus	+	+	+		+	+
	Leptodora kindtii	+	+	+	+	+	+
ROTIFERA	*Brachionus quadridentatus* r						+
	Brachionus sp. r			+		+	
	Keratella cochlearis		(+)	+	+	+	+
	Keratella quadrata			+	+	+	+
	Kellicottia longispina		+	+	+	+	+
	Euchlanis dilatata					+	+
	Lepadella ovalis r						+
	Lecane luna r			+			
	Lecane lunaris			+		+	+
	Cephalodella sp.						+
	Trichocerca longiseta						+
	Trichocerca birostris		+				
	Trichocerca sp.			+	+	+	+
	Gastropus stylifer		+	+	+	+	+
	Ascomorpha ovalis		+	+			+
	Ascomorpha ecaudis				+	+	
	Ascomorpha sp.						+
	Synchaeta lackowitziana			+			+
	Synchaeta pectinata		+	+	+		
	Synchaeta sp.		+	+	+	+	+
	Polyarthra major						+
	Polyarthra vulgaris		+	+	+	+	+
	Ploesoma hudsoni r						+
	Ploesoma sp.		+	+			
	Asplanchna priodonta		+	+	+	+	+
	Filinia longiseta					+	
	Filinia terminalis		+	+		+	+
	Filinia sp.				+		
	Hexarthra mira		+				
	Conochilus unicornis-hippocrepis		+	+	+	+	+

Gli studi compiuti da Salmaso & Naselli-Flores (1999) avevano evidenziato come la comunità zooplanctonica fosse allora dominata dal microcrostaceo calanoide *Copipodiaptomus steueri*, normalmente presente anche nel lago d'Iseo e in altri laghi dell'Italia nord-orientale e centrale. I cladoceri, in particolar modo *Daphnia hyalina-galeata*, *Bosmina l. kessleri* e *Diaphanosoma brachyurum*, erano invece una componente più importante della comunità dalla primavera all'autunno assieme ai rotiferi. Rispetto agli studi precedenti (Tabella 3) negli anni '90 era stata evidenziata la scomparsa del crostaceo *Sida crystallina* e la comparsa di nuove specie di rotiferi (*Keratella quadrata* e *Lecane lunaris*) a partire dagli anni '70.
Nel complesso, una comunità cosi strutturata, dove i calanoidi sono gli organismi più comuni, è tipica di laghi con produttività moderata, rispecchiando lo stato trofico del lago in quel periodo.
Oggi, però, appare difficile fare ulteriori comparazioni e considerazioni riguardanti l'evoluzione temporale della zooplancton del Garda, visto il diverso approfondimento tassonomico e le diversità nei metodi di campionamento e di analisi utilizzati negli studi effettuati.
L'informazione più recente riguardante lo zooplancton del lago riguarda il bloom del protozoo ciliato *Stentor amethystinus* verificatosi nella zona fotica del lago durante i primi 20 giorni di agosto 2004 (APPA, 2011). Si presume che *S. amethystinus* sia stato recentemente introdotto nel lago o, pur facendo normalmente parte della comunità planctonica, abbia raggiunto abbondanze ragguardevoli solo all'inizio del XXI secolo a causa delle elevate concentrazioni di fosforo presenti nel lago in quegli anni (Pucciarelli et al., 2008).

Figura 29. Protozoo ciliato *Stentor amethystinus* ritrovato nel lago di Garda nel 2004.



6.3. Le macrofite

Con il termine macrofite si intendono le angiosperme erbacee, le pteritofite, le briofite e le alghe filamentose macroscopicamente visibili presenti negli ambienti acquatici, palustri o di greto. È un gruppo definito su base ecologico-funzionale che non ha nessuna base di tipo filetico. Si classificano quindi in funzione dell'ecologia delle specie, e in particolare alla loro igrofilia. Si parla di:

- idrofite per indicare piante che svolgono tutte le fasi fondamentali della loro vita completamente sommerse o in acqua;
- anfifite che hanno la capacità di colonizzare anche substrati non costantemente sommersi;
- elofite che comprendono le specie radicate sul fondo del corpo d'acqua ma i cui apparati vegetativo e riproduttivo sono quasi completamente emergenti. Generalmente quest'ultimo gruppo colonizza settori ripariali con scarse profondità medie (< 1m).

Appartengono poi al gruppo delle macrofite anche quelle specie che costituiscono le cenosi erbacee pioniere di greto, piante che quindi tollerano temporanei periodi di sommersione e che colonizzano i settori litoranei dei corpi idrici frequentemente rimaneggiati dagli eventi di piena e/o morbida.
In un lago la distribuzione di macrofite sommerse è regolata da fattori abiotici (geomorfologici e ambientali) e biotici dettati dalle relazioni tra le macrofite stesse e altre piante e animali. Il substrato, la presenza di luce, la profondità dell'acqua, la velocità di corrente e, in misura minore, fenomeni di competizione con le alghe bentoniche e il fitoplancton (Wilson & Keddy, 1991) sono tutti fattori che influenzano direttamente o indirettamente l'insediamento di un comunità di macrofite.
A loro volta le macrofite stesse influenzano la qualità chimico-fisica dell'ecosistema nel quale sono inserite, regolando la quantità e disponibilità di nutrienti e la catena trofica. Sono infatti consumate da molluschi, pesci, uccelli e sono un ideale substrato per la crescita di organismi epifitici come le alghe, i batteri e i protozoi, che a loro volta sono fonte di cibo per altri animali. Le macrofite offrono inoltre riparo e sono il substrato ideale per la deposizione di uova di pesci e insetti.
Queste comunità acquatiche sono particolarmente sensibili ai processi di disturbo indotti ad esempio dall'inquinamento, dal prelievo d'acqua, dall'invasione da parte di specie aliene, dal grazing (es. Jupp & Spence, 1977). Eventi come questi concorrono prima alla perdita di biodiversità e, successivamente, alla scomparsa della comunità macrofitica (Smart et al., 2002).
Data la loro importanza ecologica e la loro intrinseca fragilità, è necessario l'utilizzo di metodologie di monitoraggio ed analisi che permettano di valutare in tempi brevi

lo stato di salute e l'eventuale degrado delle macrofite che caratterizzano i sistemi acquatici lentici e lotici.

Tradizionalmente lo studio della vegetazione acquatica viene svolto attraverso misurazioni di campo e analisi di laboratorio. Tuttavia la necessità di collezionare campioni rappresentativi di piante tale da provvedere a una caratterizzazione adeguata di un sistema ad alta variabilità come quello in esame implica uno sforzo umano non trascurabile.

All'interno del progetto Eulakes una specifica linea di studio (WP.3.3.4. *Implementing monitoring systems using remote sensing techniques*) ha riguardato il monitoraggio delle macrofite presenti sul lago di Garda mediante tecniche di telerilevamento. In questo contesto infatti il telerilevamento è un mezzo potente di monitoraggio e analisi, i cui risultati possono diventare uno strumento utile alle amministrazioni del territorio per la corretta gestione dell'ecosistema lacustre. Nel luglio del 2011 è stato compiuto un volo MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) che ha permesso di coprire l'intera area del Benàco e di acquisire immagini riguardanti la copertura macrofitica che circonda il lago fino ai primi 7 metri di profondità (Figura **30**).

Il progetto si è inserito all'interno di un filone di ricerca precedentemente sviluppato dal CRA di Sirmione e del Gruppo di Telerilevamento del CNR IREA di Milano (Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente) a partire dal 1997 (Bresciani et al., 2012).

Il telerilevamento ha permesso di ottenere una mappa che mostra, con una risoluzione di 5 m, la presenza-assenza di vegetazione macrofitica sulle sponde del Garda (Figura 30).

Figura 30. Presenza - assenza della copertura macrofitica sulle sponde del lago di Garda ottenuta dai dati raccolti nel luglio 2011 (fonte: CNR-IREA, 2012b).

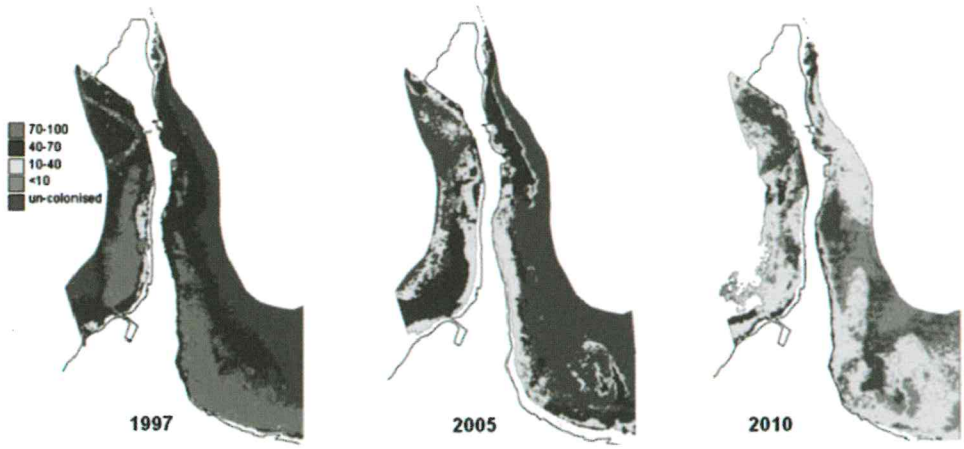


Nel 2011, 17 km^2 del substrato della zona costiera che include i primi 7 m di profondità, pari all'82% dell'area investigata, risultavano essere colonizzati da macrofite. In particolar modo la zona sud del lago, con rive meno scoscese e substrati ghiaiosi-argillosi, è risultata essere quella maggiormente popolata (Figura 30).
Tuttavia un'analisi più dettagliata, svolta tra il 1997 e il 2010 (Bresciani et al., 2012) riguardante la penisola di Sirmione (Figura 31), aveva dimostrato come negli anni ci fosse stato una sostanziale diminuzione dell'abbondanza di macrofite. Inoltre la comunità originale di macrofite sommerse, ben strutturata e ricca in specie, prevalentemente dominata da *Chara globularis* Thuillier, *Vallisneria spiralis* L., *Myriophyllum spicatum* L. e *Potamogeton perfoliatus* L., risultava essere stata progressivamente sostituita da una comunità più semplice e dispersa (Figura 32).

Figura 31. La penisola di Sirmione (foto: BAMSphoto Rodella).

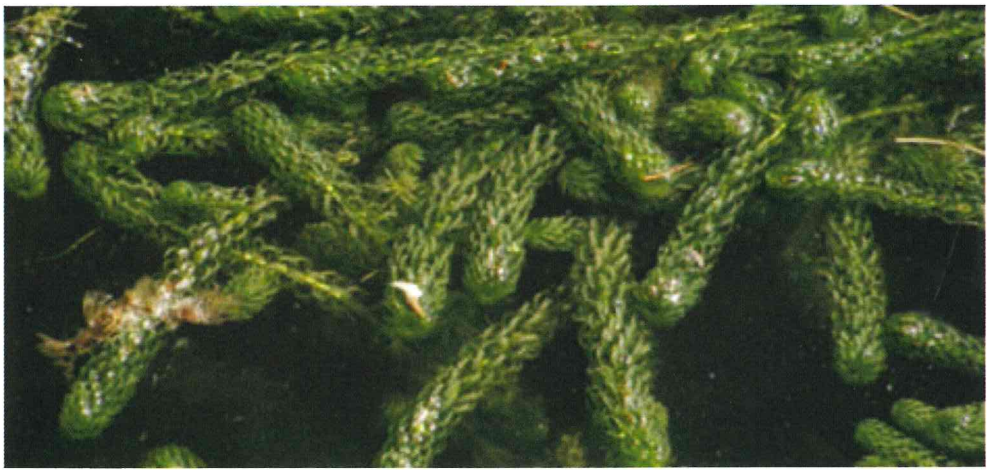


Figura 32. Mappe ottenute da dati raccolti in voli MVIS effettuati nel 1997, 2005 e 2010 che tengono in considerazione 5 classi in funzione della percentuale di copertura a macrofite dei substrati: substrato non colonizzato (sabbia), copertura rada (0-10% copertura), moderata (10–40%), densa (40-70%) and estesa (>70%) (modificata da: Bresciani et al., 2012).



La riduzione dello sviluppo di fanerogame e carofite è stato associato ad eventi di disturbo quali l'aumento di uccelli e di nutrienti, l'impatto sempre maggiore della navigazione e i bloom algali. Questi fattori non solo hanno ridotto la densità delle specie già esistenti ma hanno anche favorito la crescita incontrollata di piante galleggianti come *Lagarosiphon major* (Ridl.) (Figura 33) e di alghe epifitiche (es., *Spirogyra* sp., *Zygnema* sp.e *Mougeotia* sp.) capaci di adattarsi a condizioni di disturbo e cambiamenti di stato trofico (Bornette & Puijalon, 2011)

Figura 33. Immagine di *Lagarosiphon major* (foto: Rossano Bolpagni).



7. Il canneto come ambiente di transizione

La parte meridionale del lago di Garda, grazie alla presenza di rive dalle pendenze ridotte e con substrati ghiaiosi-sabbiosi, è caratterizzato dalla presenza di canneti (Figura 34), zone umide di transizione localizzate tra un ecosistema permanentemente asciutto come l'entroterra ed un ambiente acquatico permanente e profondo, come il lago.
Questi ambienti rivestono un'importanza fondamentale negli equilibri idrologici del territorio e il mantenimento della biodiversità (Figura 35) poiché controllano l'erosione della costa, contengono le piene e svolgono una funzione di fitodepurazione fungendo da area di decantazione. L'abbondante copertura vegetale permette inoltre un'intensa attività fotosintetica, rendendo questi ambienti estremamente produttivi (Schmieder, 2004).

Figura 34. Canneti sul lago di Garda (foto: Rossano Bolpagni).



Figura 35. "Frequentatori" del canneto (foto: Rossano Bolpagni).



I canneti sono essenzialmente formati da Cannuccia di palude (*Phragmites australis*) (Figura 36), una delle specie più importanti nei processi di colonizzazione e strutturazione delle comunità vegetale delle aree litoranee e costiere di laghi e pozze, insieme con altre forme idro-igrofile, in particolar modo le elofite come ad esempio *Typha* sp. pl. e *Carex* sp. pl.

Figura 36. Esemplari di *Phragmites australis*.



I canneti nella parte sud del lago hanno reso fertile i terreni, facilitando l'insediamento umano. Purtroppo questi ecosistemi sono stati notevolmente ridotti a partire dagli anni '60 del secolo scorso, quando questa zona è stata interessata da uno sviluppo urbanistico incontrollato.

Per contrastare la perdita di vegetazione e quindi delle funzioni ecologiche e ambientali ad essa connesse, negli anni '70 la Regione Lombardia approvò la legge no. 33/1977 "Provvedimenti in materia di tutela ambientale ed ecologica". Tuttavia, a dispetto della legge e delle sue successive, più stringenti modifiche, le dimensioni della fascia di canneto nella zona meridionale del lago di Garda sono andate via via riducendosi a causa di incedi, tagli illegali ed estirpazioni (Bresciani et al., 2011).

Una gestione poco efficiente ha inoltre determinato un accumulo di detrito e di rifiuti portati naturalmente dalla corrente e accumulatisi a causa dell'incuria umana che ha peggiorato lo stato di salute degli ecosistemi e quindi la qualità dell'acqua e la biodiversità faunistica presente (Bresciani et al., 2009).
Sebbene sia necessario tener presente che un ulteriore fattore di stress, oltre all'eccessivo accumulo organico, è probabilmente rappresentato dall'interazione con il moto ondoso e dalle fluttuazioni di livello dell'acqua, è senz'altro evidente che una corretta gestione del canneto, attraverso potature controllate e rimozione dello sfalcio, favorirebbe la crescita della cannuccia di palude e il mantenimento delle sue funzioni ecologiche (Bresciani et al., 2011).

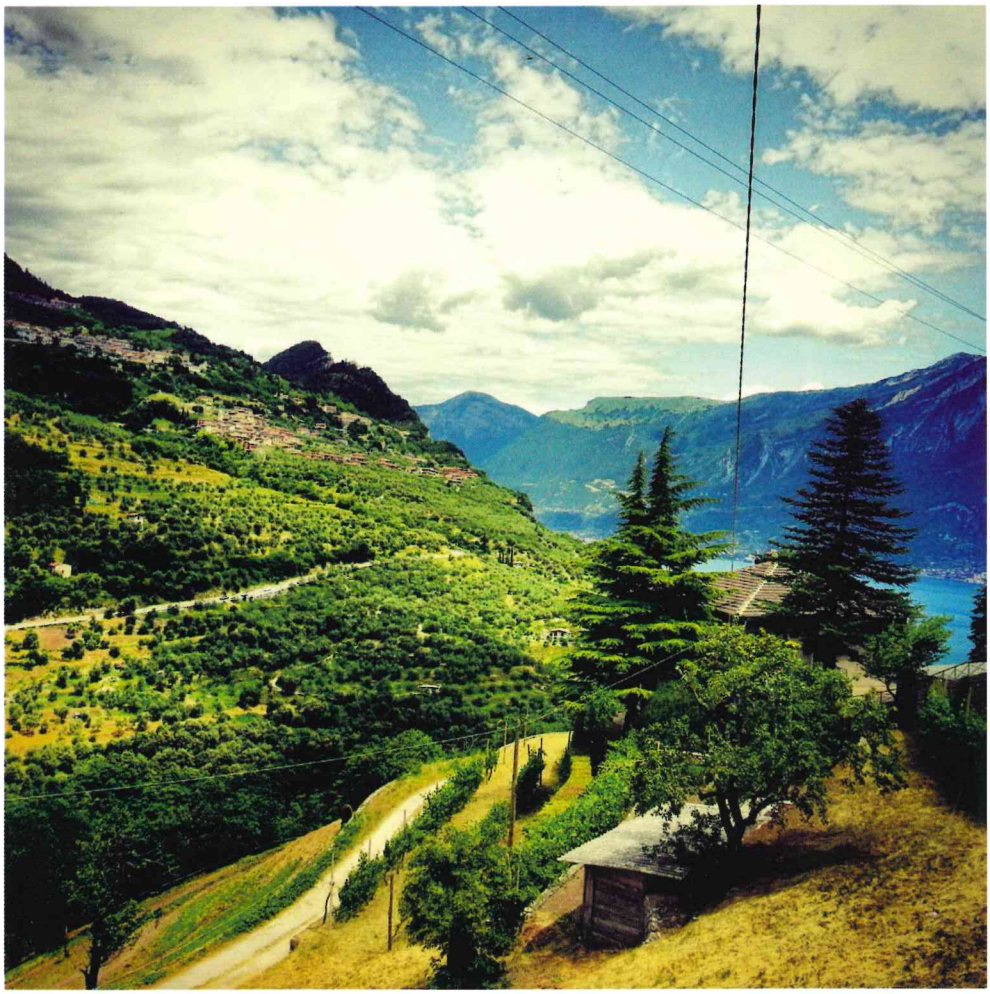


Roverella presso la Rocca di Manerba (foto: Claudio Cotogno).

8. L'ambiente terrestre

Oltre il limite tra acqua e terraferma segnato dai canneti, salendo verso l'alto si incontra un'enorme varietà di ambienti lungo un gradiente vegetazionale che dalle colline si sviluppa lungo i boschi e i prati dei bassi e medi versanti, le rocce a sbalzo, superando il limite del bosco per arrivare alle praterie d'alta quota e alle vette dei monti circostanti, innevate per gran parte dell'anno (Figura 37).

Figura 37. Gradiente vegetazionale sulle sponde del lago di Garda (foto: Ignazio Marchetti).



La presenza di un ambiente così ricco e variegato trova nel clima gardesano il fattore determinante: nel bacino del Garda si ritrovano aree dalle condizioni climatiche diverse, che lungo le coste ed i versanti prospicienti il lago sono di impronta mediterranea (caratteristica unica a questa latitudine) e, non appena la linea di cresta piega verso l'entroterra, assumono rapidamente connotati alpini, con temperature più rigide e severe, causate dalla mancanza dell'azione mitigatrice del lago.
In un contesto climatico di questo tipo, habitat molto diversi, che in altre circostanze crescerebbero a parecchie miglia di distanza l'uno dall'altro, sono qui conviventi e hanno dato vita ad un vero e proprio mosaico ambientale che fa da cornice al Lago di Garda, una cornice la cui vegetazione è certamente tra le più ricche d'Europa.
Procedendo dalle coste verso la pianura mantovana, veronese e bresciana incontriamo le colline moreniche, piccoli rilievi, dolci e dal profilo sinuoso, con altitudine tra i 65 ai 200 metri s.l.m., che sorgono come elemento diversificante del paesaggio, altrimenti banale, del piano basale e abbracciano la riviera meridionale gardesana. La flora delle colline moreniche è caratterizzata dall'abbondante presenza di vegetazione dei climi mediterranei come ad esempio *Erica arborea* e *Orchis papilionacea*, orchidea al limite settentrionale del proprio areale. Tuttavia, i suoli fortemente drenati, mediamente profondi, calcarei e ricchi di scheletro sono ideali per le coltivazioni agricole, caratterizzate per lo più da vigneti a Groppello, Chiaretto e Lugana. Lo sfruttamento agricolo ha reso quest'area, insieme a quella costiera, tra le più antropizzate del bacino, a discapito della vegetazione originaria. Solo in alcune zone è possibile notare le formazioni tipiche del piano basale, caratterizzate da querceto planiziale a rovere (*Quercus petraea*) e roverella (*Quercus pubescens).* Si trovano esemplari di carpino bianco (*Carpinus betulus*), acero campestre (*Acer campestre*) e ciliegio (*Prunus avium*), che è possibile rinvenire sporadicamente anche in altri territori del bacino gardesano. Di *Ostrya carpinifolia* e *Fraxinus ornus* resistono qui alcuni boschi di limitata estensione così come pregiate formazioni di cerro (*Quercus cerris*). Tra i cordoni morenici, nelle vallecole collinari, si trovano inoltre zone umide, risorgive e piccoli ambienti acquatici sulle cui rive la vegetazione igrofila, rappresentata da pioppi (*Populus nigra, P. alba, P. canescens*), salici (*Salix spp.*) e olmo (*Ulmus minor*), ha trovato condizioni ideali al suo sviluppo.
Se invece ci si allontana dal territorio morenico, come già riportato in precedenza, la costa settentrionale del lago di Garda presenta aspetti geomorfologici molto diversi, con le acque che dal bacino poco profondo ed ampio a meridione, s'incuneano in un canale profondo e stretto cinto ad ovest dai monti del Parco Alto Garda e ad est dalla catena del Monte Baldo. Nel piano basale, che in questo tratto si estende dalle rive benacensi ai 400-600 metri di quota, il paesaggio partendo dalla costa sale con pendenze medie alle sommità dei monti gardesani. Sulla sponda occidentale si

notano pareti verticali strapiombanti nel lago, di matrice calcarea. In questo orizzonte altitudinale, nei dislivelli inferiori, a ridosso delle coste, il clima mediterraneo garantito dall'azione mitigatrice delle acque ha consentito la coltivazione di piante tipiche delle regioni del sud Italia, tanto che le due riviere sono meglio conosciute come "dei limoni" (ovest) e "degli ulivi" (est), ricordando quelle due piante simbolo del territorio che testimoniano l'esistenza di un clima dolce seppur a latitudini settentrionali. La coltivazione dell'olivo (*Olea europaea*) e degli agrumi (*Citrus limon, Citrus arantium, Citrus medica*) è proprio l'elemento caratterizzante il paesaggio del piano basale dell'Alto Garda, che in questo tratto si estende dalle rive fino ai 400-600 metri di quota. Tutt'attorno la vegetazione, che cresce su suoli anch'essi in gran parte calcarei, è caratterizzata da formazioni di orno-ostrieto (*Fraxinus ornus,* o orniello; *Ostria carpinifolia,* o carpino nero), formazione eliofila diffusasi fino al piano montano inferiore (800-1200 m. s.l.m.) e utilizzata storicamente dall'uomo come legna da ardere. E' un bosco ecologicamente equivalente alla roverella (Sartori, 1996), ovvero adatto a climi piuttosto caldi e poco piovosi.

Il clima insubrico gardesano, d'impronta mediterranea, ha favorito la crescita di specie xerofile e mesofile differenziatesi in base all'esposizione dei versanti e alle condizioni microclimatiche: roverella *(Quercus pubescens*), e formazioni a rovere, cerro (*Quercus cerris*) e castagno (*Castanea sativa*). Sulle calde e soleggiate pareti rocciose, alte centinaia di metri, che dai monti sopra Limone, Campione e Tignale si tuffano nel Garda, troviamo un'altra specie classica dei climi mediterranei e qui diffusa in formazioni rupestri, il leccio (*Quercus ilex*), che sul Lago di Garda trova il proprio limite settentrionale ed occidentale del suo areale prealpino. Questa specie è spesso accompagnata da bagolaro (*Celtis australis*), carpino nero, frassino orniello, alloro (*Laurus nobilis*) e da arbusti termofili (*Cotinus coggygria,* o *Rhus continus,* o scotano, *Pistacia terebintus,* o terebinto, *Coronilla emerus,* o coronilla). Le forre presenti in questo tratto lungo la sponda occidentale presentano le escursioni termiche in assoluto più basse del Lago di Garda (Guarino & Sgorbati, 2002) e ospitano esemplari di Tasso (*Taxus baccata*) e Dafne laurella (*Daphne laureola*).

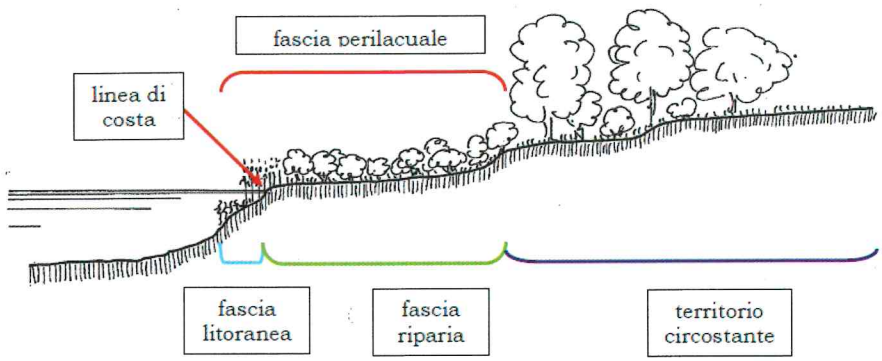
Salendo con lo sguardo dalla fascia collinare alla fascia sub-montana la vegetazione cambia veste, lasciando le specie più termofile degli ambienti mediterranei e assumendo caratteristiche più tipiche di ambienti prealpini, con clima umido e fresco; in questa fascia più interna i suoli sono costituiti per la maggior parte da dolomia principale. La vegetazione potenziale, qui rappresentata da rovere (*Quercus petraea*), nocciolo (*Corylus avellana*) e acero di monte (*Acer pseudoplantanus*) è spesso sostituita da castagneti (*Castanea sativa*) introdotti dall'uomo per l'utilizzazione del legname e dei frutti.

Negli orizzonti altitudinali del piano montano inferiore (800-1200 m. s.l.m.) si trovano formazioni a faggeta (*Fagus sylvatica)* come specie forestale dominante su entrambi i versanti, che possono arrivare a svilupparsi anche ad un'altitudine di 1600-1700 metri. Il faggio trova, nel contesto gardesano, le condizioni più ideali al suo sviluppo, proprio per il clima oceanico dell'entroterra, unito all'aria umida che risale dal lago (Nastasio, 1996). In esse è possibile ritrovare anche specie di sorbo (*Sorbus aria, S. aucuparia*), tiglio (*Tilia cordata*) e l'olmo montano (*Ulmus glabra*). Spingendosi al piano montano superiore, che dai 1200 m giunge ai 2000 m di quota, sono evidenti i boschi di abete rosso (*Picea abies*), raramente puri e spesso accompagnati in diversa percentuale da faggio, acero montano, frassino maggiore e talvolta larice. Nel Garda bresciano, in seguito alle azioni di rimboschimento attuate nei decenni passati, sono presenti estese pinete a *Pinus sylvestris*, accompagnate spesso da tappeti di *Erica carnea* nel sottobosco.
Al piano culminale, che arriva oltre i 2000 metri di quota, si trovano lembi di lariceto (*Larix decidua*), evidenti sia nel versante nord del monte Pizzoccolo (Parco Alto Garda) che nelle vallecole d'alta quota del monte Baldo, accompagnati da formazioni arbustive a pino mugo, ontano verde e rododendro. A queste altitudini, oltre il limite del bosco si trovano, soprattutto sulla catena baldense, le praterie d'alta quota con varie specie foraggere tra cui *Poa alpina* e *Nardus stricta* che accompagnano una ricchezza floristica molto ampia.
Nell'area gardesana si annoverano anche vari endemismi a simbolo dell'unicità e della alta valenza ambientale del territorio. Sono la *Saxifraga tombeanensis* e la *Daphne petraea*, specie rupicole che crescono su substrati dolomitici (la prima) e calcarei (entrambe) ad un'altitudine compresa tra i 700-1000 e i 1800-2000 metri di quota ed evidenti soprattutto nel territorio della sponda bresciana. Sul Monte Baldo tra le specie endemiche insubriche ricordiamo la *Carex baldensis* e la *Knautia baldensis* e tra le endemiche in senso stretto il *Callianthemum kerneranum*, o ranuncolo di Kerner, e la *Gypsophila papillosa*, che cresce in un areale molto ristretto nel territorio di Costermano e di Garda.
Posando infine lo sguardo sull'area più settentrionale del Lago, la sponda trentina, si nota la piana alluvionale del fiume Sarca, caratterizzata da vegetazione forestale tipica di ambienti igrofili come salici arbustivi (*Salix purpurea, S. fragilis, S. viminalis, S. cinerea*) e arborei (*Salix alba*), pioppi (*Popolus alba, P. nigra*), ontani (*Alnus glutinosa*) e olmi (*Ulmus spp.*) con infiltrazione di specie più mediterranee come il rosmarino (*Rosmarinus officinalis*) e l'oleandro (*Nerium oleander*), peraltro presenti lungo tutto il litorale gardesano.

9. L'Indice di Funzionalità Perilacuale (IFP)

Come riportato nei capitoli precedenti, le fasce riparie hanno un ruolo primario nella protezione del corpo d'acqua. In particolar modo quelle di tipo arbustivo/arboreo possiedono un'efficace capacità di intercettazione dei nutrienti provenienti dalle aree urbanizzate ed agricole adiacenti e rallentano il processo di erosione indotto dal moto ondoso.
La fascia perilacuale vegetata rappresenta inoltre l'habitat per molte specie di animali (es. anfibi, rettili, uccelli, ecc.) fornendo rifugio e fonti di cibo. Infine la zona riparia presenta una funzione ricreativa in quanto le zone costiere dei laghi possiedono una indubbia attrattiva turistica.
Dato l'intrinseco valore ecologico ed economico di queste zone, si è reso necessario definire un modello che permettesse di valutare l'efficacia delle fasce perilacuali partendo dall'esame di diversi descrittori presenti e al contempo facilmente rilevabili. Questa esigenza è stata inoltre rafforzata dalla Direttiva Quadro 2000/60/CE sulle acque che per la definizione dello stato di qualità ecologica dei corpi idrici richiede valutazioni riguardanti gli elementi biologici e idromorfologici dei sistemi in esame.
Per questo motivo nel 2004 nasce l'Indice di Funzionalità Perilacquale (IFP) (o *Shorezone Functionality Index,* SFI), anche a seguito del successo dell'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) (Siligardi et al., 2007), sviluppato in Italia dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (APAT, ora ISPRA) sotto il coordinamento della Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento.
Ai fini della applicazione dell'IFP, per fascia perilacuale si intende una fascia topograficamente sita attorno al lago, che comprende parte della zona litorale (fino a profondità massima di un metro) e si estende fino a 50 metri dalla linea di costa. Per linea di costa si intende quella porzione di costa lacustre di contatto tra acqua e terra, che può essere nuda, erbacea o costituita da elementi vegetali più o meno complessi (es. ceppi, tronchi, apparati radicali, canneti ecc.). Il termine fascia litoranea indica quella porzione di lago adiacente alla linea di costa, che corrisponde alla zona eufotica e in genere coincide con il limite di sviluppo delle macrofite sommerse (Siligardi et al., 2011) (Figura 38).

Figura 38. Schema delle diverse porzioni perilacuali (fonte: Siligardi et al., 2011).



I parametri ritenuti utili per la determinazione dell'IFP vanno raccolti in una scheda di campo, suddivisa in due parti. La prima, con i dati generali (topografici, morfologici, climatici, altri) (Tabella 4), viene compilata per l'intero lago; la seconda, con i dati ecologico/morfologici, viene compilata per ciascun tratto omogeneo, ovvero per ciascun tratto che presenta caratteristiche eco/funzionali simili e costanti nello spazio.

Tabella 4. Parte 1 della scheda IFP: dati generali (fonte: Siligardi et al., 2011).

	INDICATORE	espressione parametro	tipologia
TOPOGRAFICI	origine [1]	-	categoria
	tipo [2]	-	categoria
	locazione [3]	-	categoria
	latitudine	gradi, primi e secondi	numerico
	longitudine	gradi, primi e secondi	numerico
	quota lago	metri slm	numerico
	quota media bacino imbrifero	metri slm	numerico
MORFOLOGICI	area bacino imbrifero (SB)	km^2	numerico
	pendenza rive	gradi o percentuale	numerico
	sviluppo linea di costa	-	numerico
	area lago (SL)	km^2	numerico
	volume	km^3	numerico
	profondità massima	metri	numerico
	profondità media	metri	numerico
	tempo medio di residenza	anni	numerico
	portata immissari/emissari	m^3/secondo	numerico
	rapporto SB/SL	-	numerico
	sbalzi di livello	-	presenza/assenza
CLIMATICI	piovosità	mm/anno	numerico
	temperatura max media di gennaio	gradi centigradi	numerico
	temperatura max media di luglio	gradi centigradi	numerico
	tipologia substrato geologico prevalente	-	categoria
DIVERSI	ciclo termico	-	categoria
	trasparenza estiva (disco Secchi)	metri	numerico
	classificazione trofica usando i principali indicatori	-	categoria

[1] = tettonico, vulcanico, glaciale, lanca, di frana, endorreico, costiero, stagionale, altro
[2] = artificiale, naturale aperto, naturale largo, naturale chiuso, naturale regolato, altro
[3] = alpino (montano), prealpino (mezza montagna), planiziale
[4] = calcareo, magmatico, metamorfico, sedimentario, altro
[5] = olomittico, monomittico, dimittico, polimittico, meromittico, amittico, altro
[6] = ultraoligotrofico, oligotrofico, mesotrofico, eutrofico, ipertrofico

Tabella 5. Livelli di funzionalità e relativo giudizio e colore di riferimento.

Giudizio di funzionalità	Livello di funzionalità	Colore
Eccellente	I	Blu
Buono	II	Verde
Moderato	III	Giallo
Povero	IV	Arancio
Pessimo	V	Rosso

Dopo un'analisi dei dati la valutazione finale viene tradotta in 5 livelli di funzionalità, ai quali corrispondono i relativi giudizi di funzionalità (Tabella 5). Ad ogni livello di funzionalità viene convenzionalmente associato un colore per la rappresentazione cartografica.

9.1. L'applicazione dell'IFP sul Garda

All'interno di Eulakes, l'indice IFP è stato applicato sul Garda nell'ottobre del 2010 e nel luglio del 2011 con lo scopo di descrivere lo stato ecologico e la funzionalità delle coste, e per fornire successivamente indicazioni utili per una corretta pianificazione territoriale (Zennaro et al., 2011).
Complessivamente, lungo tutto il perimetro del Garda sono stati identificati 76 tratti omogenei. Il 67% della linea di costa (110,7 km) è risultato avere un giudizio di funzionalità pessimo (IFP = 5) (Figura 39, Tabella 6). Ciò è dovuto al fatto che le coste sono le aree più fortemente urbanizzate, con la costruzione di strade, porti, zone cementate di sostegno spondale (Figura 40a). Pur essendo aree ovviamente importanti per la popolazione, è importante ricordare che non offrono nessuna azione di filtro alle acque che arrivano a lago dal territorio circostante, in particolar modo in periodi di pioggia intensa.
Oltretutto coste così fortemente cementificate non offrono alcuna area rifugio per le specie animali e vegetali e non contribuiscono all'incremento della biodiversità locale.

Figura 39. Mappa di funzionalità perilacuale del Garda (fonte: Zennaro et al., 2011).

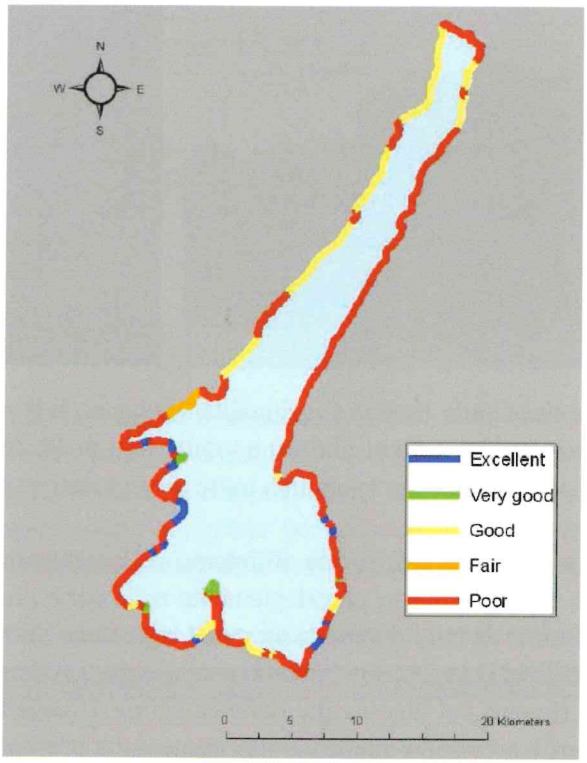


Tabella 6. Risultati dell'IFP del Garda (fonte: Zennaro et al., 2011).

IFP	N° tratti omogenei	Km totali	Percentuale
1 Eccellente	11	8,780	5%
2 Buono	4	4,215	3%
3 Moderato	14	37,901	23%
4 Povero	1	3,483	2%
5 Pessimo	46	110,687	67%
TOTALE	**76**	**165,072**	**100%**

Figura 40. Esempi di costa con IFP pari a 1 (a), 3 (b) e 5 (c).

Figura (a)



Figura (b)



Il 2% della costa del Garda ha una funzionalità scadente (IFP = 4). Questo tratto ridotto è rappresentato dai 3,5 km che vanno dalla fine di Maderno fino alla baia successiva, dove persiste qualche sporadico tratto di vegetazione funzionale (Figura 39, Tabella 6).

Il 23% delle coste (circa 38 km) ricade all'interno della categoria 3, a funzionalità moderata. Queste zone si trovano prevalentemente nella parte nord del lago e sono generalmente costituite da tratti di costa a picco sul lago, dove l'urbanizzazione non è stata possibile, ma dove la vegetazione è comunque riuscita a svilupparsi (Figura 40b). Solo l'8% del perimetro del lago ricade nelle categorie 1 (eccellente) e 2 (buono) (Figura 40c). Queste aree sono quelle caratterizzate dalla presenza di canneti nella parte sud del lago, per le quali è evidentemente necessaria una indispensabile opera di protezione.

Figura (c)



10. *Pilot action*: Cianobatteri e qualità dell'acqua

All'interno del progetto Eulakes sono stati investigati in maniera specifica attraverso azioni pilota alcuni aspetti ambientali intrinsecamente connessi ai cambiamenti climatici e all'impatto sull'uomo.
Come riportato in precedenza, sul lago di Garda negli ultimi 40 anni c'è stato un massiccio aumento della concentrazioni di fosforo ed un concomitante cambio nella composizione della comunità algale, con un aumento dei cianobatteri. Data la potenziale patogenicità di alcune forme di questo gruppo fitoplanctonico, si è deciso di investigare maggiormente la loro origine e il loro sviluppo dal 2009 al 2011 in modo da poter successivamente stilare delle linee guida riguardanti la gestione di eventi potenzialmente pericolosi per la salute umana e l'ambiente lacustre.

10.1. La produzione di cianotossine

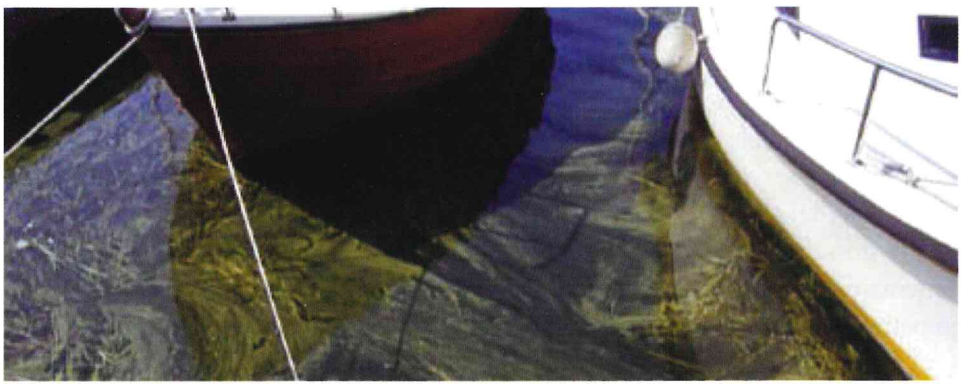
I cianobatteri (o alghe-azzurre) sono tra i più antichi organismi esistenti. Sono batteri gram negativi con facoltà fotosintetizzanti. Sono normalmente presenti in molti ecosistemi terrestri e acquatici, e generalmente non apportano alcun danno. Date le dimensioni microscopiche sono invisibili a occhio nudo, ma in acqua possono generare aggregati visibili (bloom algali) che possono durare per giorni o settimane e la cui intensità e frequenza sembrano essere aumentate negli ultimi decenni.
Alcuni cianobatteri sono in grado di produrre cianotossine, metaboliti secondari la cui funzione naturale non è ancora del tutto chiarita, che sono però tossici per uomini e altri organismi viventi. In particolare le cianotossine, causa della loro origine acquatica, risultano molto più dannose per gli animali terrestri che per quelli acquatici. L'intossicazione, che in alcuni casi può dare origine anche a fenomeni tumorali o alla morte, avviene mediante ingestione di acqua contaminata, tramite contatto o inalazione di aerosol.
La legislazione italiana comunque non obbliga la normale ricerca di cianotossine in acque balneabili, a meno che non siano visibili delle schiume prodotte da cianobatteri o quando l'abbondanza algale superi le 20,000 cell ml^{-1}.
In generale si osserva una maggiore produzione di tossine durante la fase di crescita esponenziale del fitoplancton verso lo stadio finale della fioritura, ma lo sviluppo di ceppi tossici di cianobatteri è comunque un fenomeno complesso, dovuto all'interazione di vari fattori abiotici (fisici, idrodinamici, trofici e climatici) e biotici (competizione, predazione) (Reynolds 1987). In particolar modo i cambiamenti

climatici, e quindi il riscaldamento globale, sono considerati fattori influenzati le fioriture algali e lo sviluppo di ceppi patogeni (Paul, 2008).
Esistono diverse tipologie di tossine, con tossicità acuta differente. Nel 50-75% dei casi la tossicità dei cianobatteri è dovuta alla presenza contemporanea di diverse tossine la cui percentuale relativa e distribuzione spaziale può subire variazioni, determinando differenze di tossicità della fioritura.
Le Microcistine (MCs) sono le tossine più diffuse e vengono prodotte dalla maggior parte delle specie di *Microcystis* (ordine: Chroococcales) da alcune specie di *Anabaena* (Nostocales) e da *Planktothrix agardhii–rubescens* (Oscillatoriales). Sono molecole molto stabili e possono permanere in acqua per lungo tempo e una prolungata esposizione degli esseri umani alle microcistine è in grado di produrre effetti anche gravi.
Altre tossine, in generale alcaloidi (sassitossine, anatossine, cilindrospermopsine), pur avendo una tossicità acuta maggiore vengono invece rapidamente inattivate in acqua.

10.2 Cianobatteri potenzialmente tossici nel lago di Garda

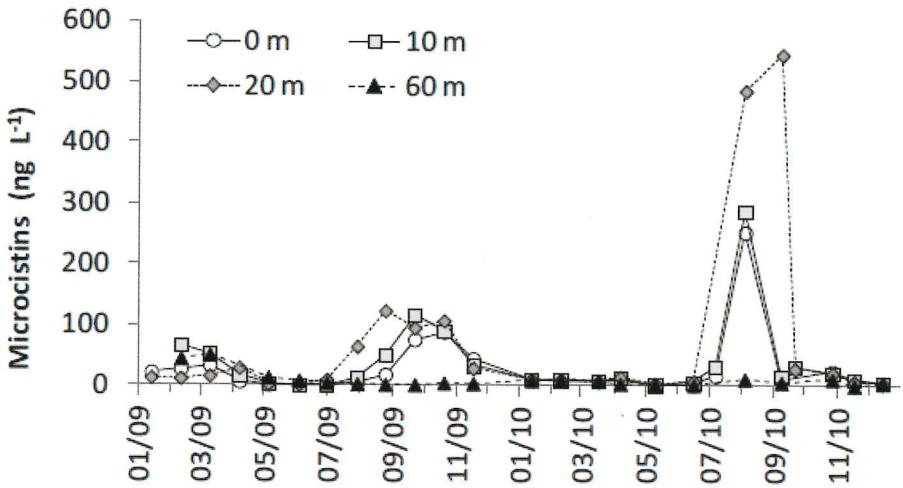
Le due specie di cianobatteri, potenzialmente tossiche rinvenute nel lago di Garda, sono *Anabaena lemmermanni* e *Planktothrix agardhii–rubescens* (Cerasino & Salmaso, 2013). La prima produce anatossine e microcistine, la seconda dà generalmente origine a microcistine, mentre la produzione di anatossine è stata documentata sporadicamente.
Le due specie hanno caratteristiche ecologiche diverse: *Anabaena* ha la tendenza a formare schiume verdi sulla superficie dell'acqua (Figura 41), mentre *Planktothrix* si accumula a livello del termoclino e migra occasionalmente in superficie dando all'acqua un colore rossastro.

Figura 41. Bloom di *A. lemmermanni* sul lago di Garda (fonte: Cerasino e Salmaso, 2013).



All'interno del progetto Eulakes è stata avviata nel 2010 una campagna mensile di raccolta di campioni per l'analisi di ceppi tossici nella zona pelagica vicino alla stazione di Brenzone.
Considerando i tre maggiori ordini di cianobatteri presenti nel Garda, Oscillatoriales, Chroococcales e Nostocales (sensu Komárek & Anagnostidis, 2005), le microcistine sono risultate essere positivamente correlate solo con le Oscillatoriales ($r=0.60$, $p<0.01$).
L'analisi ha evidenziato che il contenuto di microcistine nel lago non è mai stato superiore a 1 $\mu g\ l^{-1}$ (Figura 42), limite soglia proposto dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per quanto riguarda la concentrazione accettabile di microcistine in acque potabili. Tuttavia questo valore è previsionale almeno finché non verranno portati a termine studi sulla carcinogenicità delle microcistine (Chorus & Bartram 1999). I valori maggiori sono stati misurati in estate (circa 0.35 $\mu g\ l^{-1}$, agosto 2010) (Figura 42).

Figura 42. Andamento temporale delle microcistine nel lago di Garda tra il 2009 e il 2011 (fonte: FEM; 2012).



Nel complesso sono stati trovati 5 tipi di micro cistine (dmRR, RR, LR, dmLR e YR). La più abbondante microcistina -dmRR - è quella meno tossica tra quelle riscontrate e ha rappresentato più del 90% del totale (Tabella 7) (Cerasino & Salmaso, 2013).
È stato interessante notare che nessuna microcistina è stata comunque rinvenuta nella carne di esemplari di *Coregonus lavaretus* pescati per misurare la presenza di tossine nel pesce più consumato sul lago di Garda.

Tabella 7. Diversità delle MCs nel lago di Garda come percentuale del totale. Sono riportati i valori medi per ogni profondità alla quale sono stati effettuati i campionamenti. "Altre" si riferisce alle varianti RR, LR, dmLR e YR.

Profondità (m)	dmRR %	Altri %
0	91.8	8.2
10	92.8	7.2
20	93.1	6.9
60	95.5	4.5



Lago di Garda: vista sulla costa orientale (foto: Giovanna Gatti).

11. Analisi paleolimnologiche

I sedimenti depositatesi nel corso dei secoli in un lago sono degli "archivi storici" nei quali è racchiusa la storia e l'evoluzione delle caratteristiche ambientali della conca lacustre e del clima della regione dove si trova il corpo idrico. Attraverso lo studio dei sedimenti è possibile ricostruire le modificazioni che le biocenosi acquatiche hanno subito nel tempo per individuare i fattori ambientali che sono stati la causa di questi cambiamenti. La paleolimnologia è quindi quella branca della limnologia che studia le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche degli ambienti lacustri nel passato, partendo dal presupposto che le leggi ecologiche che regolano i processi siano rimaste immutate nel tempo.

Le ricerche paleolimnologiche in un lago hanno come obiettivo principale lo studio dell'evoluzione temporale delle caratteristiche ecologiche e ambientali del sistema mediante lo studio di carote di sedimento. Per far ciò si utilizzano degli indicatori indiretti, denominati *proxy-records o proxies*, rappresentati da composti chimici, elementi e resti di organismi viventi (es. diatomee, zooplancton, insetti chironomidi) che possono rimanere per lungo tempo nei sedimenti e la cui presenza è collegabile a precise condizioni ambientali.

A partire dal secolo scorso l'uomo ha fortemente impattato gli ecosistemi naturali. L'incremento dell'attività industriale e agricola ha determinato un'accelerazione del processo naturale di eutrofizzazione dei sistemi acquatici. Inoltre,come più volte sottolineato precedentemente, le dinamiche interne dei laghi risultano anche essere fortemente influenzate dai cambiamenti climatici globali.

Le analisi paleolimnologiche hanno quindi due scopi principali: da un lato capire se in passato ci siano stati episodi di eutrofizzazione analoghi a quelli dovuti all'impatto antropico, dall'altro capire se il recente riscaldamento globale sia un fenomeno eccezionale o si collochi entro la variabilità naturale del sistema climatico (Guillizzoni & Gerli, 2008).

Infine le analisi paleolimnologiche permettono di raccogliere informazioni riguardanti le condizioni di riferimento di un lago, cioè le sue condizioni naturali prima della Rivoluzione Industriale del XIX secolo o comunque prima del pesante impatto antropico del XX secolo. La raccolta di questi dati è fondamentale per l'applicazione della Direttiva Quadro sulle Acque (Dir. 2000/60/CE) la quale prevede la raccolta di informazioni di dettaglio sulle condizioni di riferimento dei corpi idrici da recuperare e da salvaguardare. Dopo avere identificato un livello trofico di base, cioè quello prima dell'impatto antropico, per ciascun ambiente sarà possibile

considerarlo come soglia alla quale fare poi riferimento per una corretta gestione del lago stesso (Guillizzoni & Gerli, 2008; Battarbee & Bennion, 2012).

11.1. Evoluzione ambientale del lago di Garda

All'interno del progetto Eulakes, le analisi paleolimnologiche sono state utilizzate per lo studio dell'evoluzione su lungo periodo dei quattro laghi in esame (Garda, Balaton, Neusiedl, Charzykowskie) per capire quali fossero stati nei secoli i fattori maggiormente influenzati la loro struttura e lo stato trofico. Inoltre nel caso specifico del Garda lo studio dei sedimenti ha anche permesso di estendere nel passato le conoscenze sulla limnologia del lago, visto che gli studi significativi più recenti risalgono comunque alla seconda metà del secolo scorso
Il lavoro svolto all'interno del filone di ricerca "EuLakes WP3.1. Lake ecological history characterization" ha riguardato la datazione dei sedimenti bastata sugli isotopi radioattivi (210Pb, 137Cs, 226Ra, and 241Am) e l'analisi di una serie di proxies geochimici (e.g. particelle carboniose sferoidali, contenuto d'acqua e sostanza organica) e biologici (i.e. pigmenti algali, diatomee) (Tabella 8).

Tabella 8. Principali proxies geochimici e biologici analizzati nel progetto Eulakes.

Proxy	**Funzione**
Concentrazione di radionuclidi (210Pb, 137Cs, 226Ra, 241Am)	Per determinare l'età del campione e il tasso di sedimentazione dei sedimenti del lago
Contenuto d'acqua, LOI	Per quantificare il contenuto di materiali organici ed inorganici accumulatesi nei sedimenti
Particelle carboniose sferoidali	Per validare la datazione radiometrica e stimare l'inquinamento atmosferico
Pigmenti algali sub-fossili (clorofilla e derivati, carotenoidi)	Per capire le variazioni di stato trofico del lago e la struttura delle comunità algali passate
Diatomee sub-fossili	Per capire le variazioni di stato trofico e la termica del lago
Cisti di cianobatteri (achineti)	Per capire com'è avvenuta la colonizzazione del lago da parte dei cianobatteri

Per quanto riguarda il lago di Garda, le analisi hanno evidenziato un cambiamento nella densità dei sedimenti risalenti ai primi decenni del XX secolo (Figura 43) (Tolotti, 2012), in concomitanza con la bacinizzazione del Sarca e la sua diversione per scopi idroelettrici (Azzolini et al., 1983). Una volta costruiti, i bacini presenti lungo il corso del Sarca e nel suo reticolo idrografico sono stati infatti in grado trattenere e far sedimentare un grosso quantitativo di materiale inorganico che prima di allora veniva trasportato a lago, cambiando di fatto la composizione dei

sedimenti del Garda dopo quel periodo. Anche i risultati ottenuti dalle analisi delle diatomee sub fossili mostrano un cambio della comunità con un incremento di forme planctoniche e un decremento di forme bentoniche nei sedimenti che risalgono agli anni '40, sempre in concomitanza alle estreme modifiche apportate sul corso del Sarca (Figura 44).

Figura 43. Densità umida e zeaxantina nei sedimenti raccolti a nel punto più profondo del lago di Garda (Brenzone, 350 m) nell'ottobre 2009 (modificata da: Tolotti, 2012).

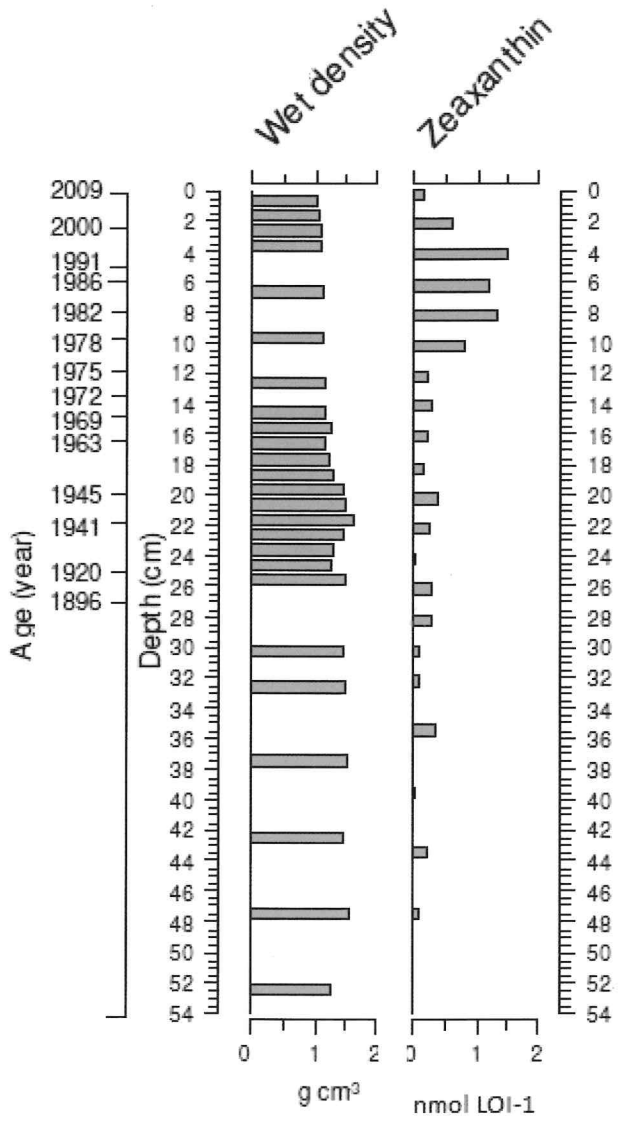
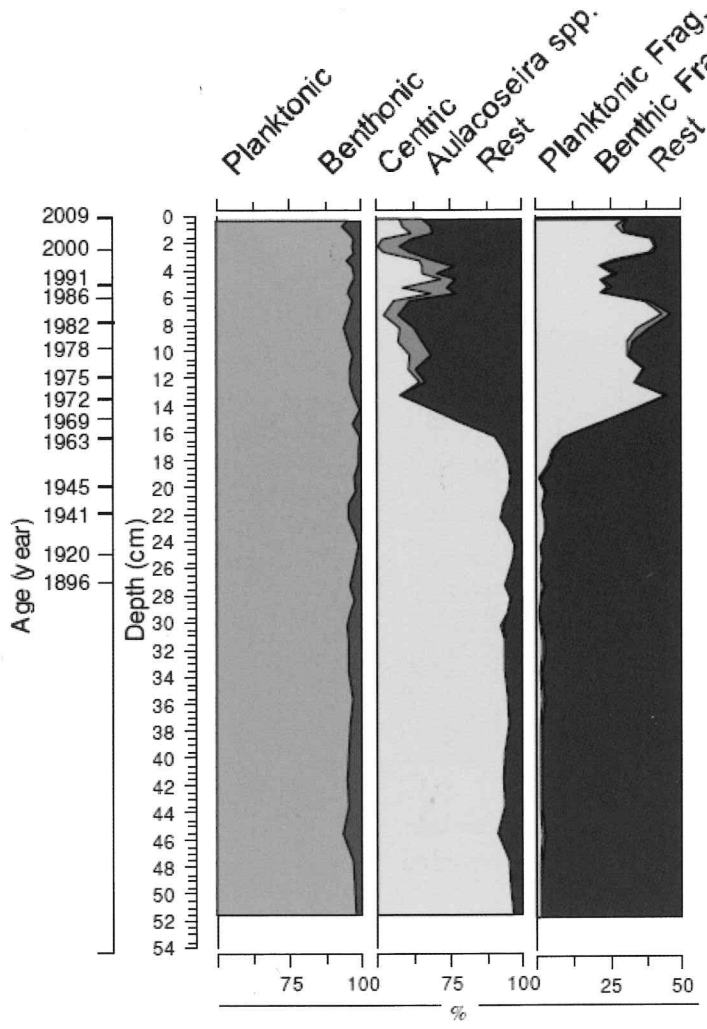


Figura 44. Classificazione delle diatomee presenti nei sedimenti raccolti a nel punto più profondo del lago di Garda (Brenzone, 350 m) nell'ottobre 2009 (modificata da: Tolotti, 2012).



I pigmenti algali, e in particolare la zeaxantina, un proxy per i cianobatteri formanti colonia, presentano abbondanze maggiori nei sedimenti risalenti agli anni '70 rispetto a quelli degli anni precedenti, raggiungendo un picco nel 1991 ± 4 (Figura 43), quando per la prima volta sono stati misurati nel Garda bloom di cianobatteri (Salmaso, 2000).

Grazie all'analisi dei sedimenti è stato provato lo sviluppo della diatomea *Asterionella formosa*, fenomeno riscontrato negli ultimi decenni anche in altri laghi

temperati dell'emisfero boreale (Saros et al., 2003; 2005). L'abbondanza di questa specie e di *Fragilaria croteonensis* nei laghi stratificati è considerata correlata non solo all'aumento di nutrienti ma anche a cambiamenti climatici (Tolotti et al., 2012). Nel complesso, l'analisi delle caratteristiche chimiche e biologiche dei sedimenti del Garda portata avanti nel progetto Eulakes ha inoltre dimostrato che il lago ha stabilmente mantenuto per secoli condizioni oligo-mesotrofiche e che a differenza di quanto si ipotizzava dai risultati ottenuti dalle precedenti indagini limnologiche, l'aumento di nutrienti è iniziato già alla fine del 1940.
In conclusione, le analisi paleolimnologiche hanno confermato l'aumento di strato trofico degli ultimi decenni e pur dimostrando la sensibilità del bacino agli apporti di fosforo, hanno anche evidenziato come le sue grosse dimensioni e il volume considerevole siano comunque in grado di limitare fenomeni di eutrofizzazione dovuti a carichi di nutrienti anche consistenti come quelli immessi a lago nel periodo 1970-90 (Tolotti, 2012).

11.2. La colonizzazione del lago da parte dei cianobatteri

I cianobatteri possono essere suddivisi in 4 ordini, uno rappresentato da forme non filamentose, le Chroococcales, e tre da forme filamentose: Oscillatorials, Nostocales, Stigonematales. Caratteristica peculiare di questi ultimi due gruppi è quella di avere la capacità di generare due tipologie di cellule differenziate: gli eterocisti e gli acineti. Un eterociste è una cellula adibita alla fissazione dell'azoto atmosferico e alla conversione dello stesso in ammoniaca. Gli acineti invece sono cellule di resistenza prodotte in condizioni di stress (mancanza di nutrienti, luce ecc); grazie alla parete cellulare ispessita e alle sostanze di riserva che contengono essi permettono la sopravvivenza dell'organismo durante periodi avversi.
Poiché gli acineti possono rimanere inalterati per lunghi periodi nel sedimento, la loro analisi permette di capire come si sia evoluta la comunità fitoplanctonica nel tempo, anche durante decine e centinaia di anni. Considerando la risposta dei cianobatteri ai fenomeni di eutrofizzazione, il loro impatto sulle caratteristiche ambientali e qualitative di un lago e sulla salute umana, lo studio degli acineti può chiarire come avviene la dispersione di specie potenzialmente tossiche (come ad esempio *Anabaena lemmermannii* sul lago di Garda) dando informazioni su come sia possibile contenere questa diffusione.
All'interno del progetto Eulakes, una speciale linea di ricerca (WP 3.1 *Colonization history by harmful algae*) è stata sviluppata per definire la presenza di Nostocales nei sedimenti dei quattro laghi oggetti di studio, compreso il Garda (Salmaso et al., 2011) mediante l'analisi e la distribuzione verticale di diversi tipi di acineti. Poiché tuttavia è difficile fare una classificazione precisa di queste forme di resistenza con

tecniche di microscopia, i campioni di sedimento raccolti sono stati trattati in modo da far germinare gli acineti ed ottenere colture vive più facilmente identificabili.
Nel Garda le uniche forme germinate sono state *Anabaena lemmermannii* e pochi esemplari di *Nostoc* sp. Cellule di *A. lemmermannii* sono state trovate nel sedimenti fino ad 8 cm di profondità. Tecniche di radiodatazione hanno evidenziato che la profondità di 8 cm corrisponde ad un periodo attorno al 1980 (Salmaso et al., 2011), dimostrando come gli acineti possano rimanere quiescenti e vitali per un lungo lasso di tempo. Questi risultati sono coerenti con le osservazioni storiche fatte negli anni sul lago di Garda, che documentano la prima apparizione di questa specie, unica rappresentante del gruppo delle Nostocales, nelle acque del lago tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90 (Salmaso, 2002).

12. Specie invasive

Si parla di specie aliene per indicare quegli organismi che si trovano in ambienti che non sono il loro habitat naturale a causa di introduzioni accidentali o intenzionali.
L'introduzione accidentale è aumentata esponenzialmente negli anni a causa della globalizzazione che fa si che attraverso il movimento di merci e persone le specie possano essere portate da un posto all'altro. Ad esempio, il principale vettore di trasposto di alghe, invertebrati e piccoli pesci sono le acque di zavorra delle navi, e l'uomo è spesso portatore inconsapevole di batteri ed altri microorganismi. Molte piante vengono introdotte intenzionalmente per scopi agricoli o per la selvicoltura. Alcuni pesci vengono introdotti per la pesca sportiva, altri animali invece vengono importati come animali da compagnia o per l'attività venatoria (DAISIE, 2012).
Benché le specie aliene non siano necessariamente nocive, alcune di esse, classificate come specie aliene invasive, causano gravi danni alla biodiversità autoctona. Le specie invasive, il cui numero è in costante aumento, sono in grado di riprodursi al di fuori del loro habitat naturale dando origine a popolazioni ben strutturate che entrano in competizione con le specie originariamente presenti per il cibo e il territorio. Le specie invasive inoltre posso alterare l'ecosistema, predare le specie autoctone o creare con queste degli ibridi. Infine le specie invasive possono essere vettori di malattie e agenti patogeni.
A causa dei danni che le specie invasive possono provocare all'agricoltura, alla pesca e ad altre attività umane, questi organismi determinano anche un grave problema economico (Gherardi et al., 2008)
Il danno indotto da queste specie aumenta a causa degli altri fattori che incidono negativamente sulla salute degli ecosistemi naturali, quali l'inquinamento, la distruzione degli habitat e i cambiamenti climatici. Sebbene non sia del tutto chiaro il ruolo delle variazioni climatiche nella diffusione di nuovi taxa, è certo che la progressiva proliferazione di alcune specie tropicali in Europa sia legata al riscaldamento globale (Sighel, 2013b).

12.1. Taxa Acquatici

12.1.1. Macrofite

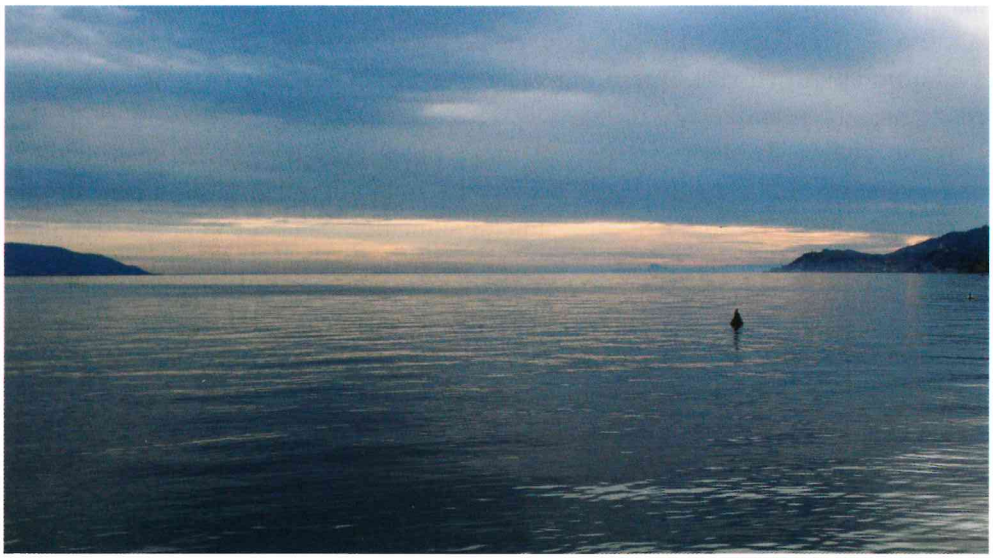
Tra le macrofite, 3 specie aliene invasive sono state rinvenute sul lago di Garda: *Lagarosiphon major*, *Elodea nuttallii* e *E. canadensis* (Ciutti et al. 2011).
L. major è originario del Sud Africa e è stato trovato per la prima volta in Italia negli

anni '70 (IRSA, 1974). Questa pianta è in grado di dare origine a grossi ammassi flottanti che impediscono alla luce di raggiungere gli stati più profondi del bacino, impedendo la crescita di altre specie vegetali e degli invertebrati acquatici. Si ritiene che *L. major* sia responsabile della scomparsa di *Ranunculus circinatus* nella zona a nord del lago dove il ranuncolo acquatico era presente fino al 1992 (Ministero dell'Ambiente, 2010).
E. nuttallii (Figura 45) è invece originario del nord America e è presente sul Garda dal 2001 (Zanini, 2001). Sebbene abbia una diffusione minore di *L. major,* dopo il suo primo ritrovamento lungo le rive nei pressi di Brenzone, si è ora diffusa anche nella zona nord del lago (Bertolli et al. 2009).

Anche *E. canadensis* è originaria del nord America ed è presente sul Garda dal 1974. Attualmente è considerata una delle 100 specie maggiormente invasive in Europa (DAISIE, 2012).



Figura 45. Esemplari di *E. nuttalii* rinvenuti sul lago di Garda (foto: Rossano Bolpagni).



Lago di Garda: scorcio (foto: Elisabetta Bonzanini).

12.1.2. Invertebrati

I primi invertebrati acquatici alloctoni sono stati rinvenuti sul Garda già a fine '800 (Tabella 9).

Tabella 9. Pesci, invertebrati e macrofite non autoctoni rinvenuti sul Garda dal 1975. Taxa inclusi nella lista delle 100 specie più invasive (D) per l'Europa e (I) per il mondo. ** presenti nel torrente Varone (fonte: Ciutti et al., 2011).

Phylum (Division)/Class	Family	Species	D	I	Year	Reference	Presence
Fish							
Chordata/Osteichthyes	Centrarchidae	*Micropterus salmoides* Lacépède, 1802		x	1920	Malfer 1927	present
Chordata/Osteichthyes	Centrarchidae	*Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758)			1917	Malfer 1927	present
Chordata/Osteichthyes	Claridae	*Clarias anguillaris* (Linnaeus, 1758)			1992	Confortini 1997	occasional
Chordata/Osteichthyes	Cyprinidae	*Ctenopharyngodon idellus* (Valenciennes, 1844)			1993	Confortini 1997	occasional
Chordata/Osteichthyes	Cyprinidae	*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758)			1950s	Malesani 1973	present
Chordata/Osteichthyes	Cyprinidae	*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758		x	1725	Marsili 1725	present
Chordata/Osteichthyes	Cyprinidae	*Rhodeus sericeus* (Pallas, 1776)			2000	Personal unpublished data	present
Chordata/Osteichthyes	Cyprinidae	*Pseudorasbora parva* (Schlegel, 1842)	x		1996	Confortini 1997	present
Chordata/Osteichthyes	Cyprinidae	*Rutilus rutilus* (Pallas, 1776)			2005	Personal unpublished data	occasional
Chordata/Osteichthyes	Ictaluridae	*Ictalurus melas* (Rafinesque, 1820)			1930	Malesani 1973	present
Chordata/Osteichthyes	Percidae	*Stizostedion lucioperca* (Linnaeus, 1758)			1970s	Confortini 1997	occasional
Chordata/Osteichthyes	Percidae	*Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758)			1995	Confortini 1997	occasional
Chordata/Osteichthyes	Poeciliidae	*Gambusia holbrooki* Girard, 1859			1965	Malesani 1973	occasional
Chordata/Osteichthyes	Salmonidae	*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)			1891	Tomasi 1963	now disappeared
Chordata/Osteichthyes	Salmonidae	*Oncorhynchus kisutch* (Walbaum, 1792)			1975	Oppi 1988	now disappeared
Chordata/Osteichthyes	Salmonidae	*Salmo (trutta) trutta* Linnaeus, 1758*			1970s	Oppi 1974	abundant
Chordata/Osteichthyes	Salmonidae	*Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758)			1918	Malfer 1927	abundant/invasive
Chordata/Osteichthyes	Salmonidae	*Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814)	x		1950s	Oppi 1988	now disappeared
Chordata/Osteichthyes	Siluridae	*Silurus glanis* Linnaeus, 1758			1988	Confortini 1997	present
Invertebrates							
Cnidaria	Olindiidae	*Craspedacusta sowerbyi* Lankester, 1880			2008	Personal unpublished data	present
Platyhelminthes/Turbellaria	Dugesiidae	*Dugesia tigrina* (Girard, 1985)			1971	Bonomi 1974	present
Nematoda/Secernentea	Anguillicolae	*Anguillicola crassus* Kuwahara, Niimi & Itagaki, 1794	x		1995	Confortini 1997	present
Anellida/Oligochaeta	Tubificidae	*Branchitura sowerbyi* Bebbard, 1892			1970	Bonomi 1974	present
Anellida/Hirudinea	Piscicolidae	*Piscicola geometra* (Linnaeus, 1758)			1894	Garbini 1895	present
Mollusca/Gastropoda	Ancylidae	*Ferrissia wautieri* (Mirrolli, 1960)			2007	Cianfanelli *et al.* 2007	present
Mollusca/Gastropoda	Hydrobiidae	*Potamopyrgus antipodarum* (J.E. Gray, 1843)**			1990	Ferrieri 2000	present
Mollusca/Gastropoda	Physidae	*Haitia acuta* Draparnaud, 1805			2002	Nardi and Braccia 2004	abundant
Mollusca/Bivalvia	Dreissenidae	*Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771)	x	x	1970	Giusti and Oppi 1972	present
Mollusca/Bivalvia	Unionidae	*Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834)			2009	Cappelletti *et al.* 2009	abundant/invasive
Mollusca/Bivalvia	Corbiculidae	*Corbicula fluminea* (O. F. Müller, 1774)	x		2002	Nardi and Braccia 2004	present
Mollusca/Bivalvia	Corbiculidae	*Corbicula fluminalis* (O. F. Müller, 1774)			2008	Ciutti and Cappelletti 2009	abundant/invasive
Arthropoda/Crustacea/Amphipoda	Gammaridae	*Dikerogammarus villosus* (Sowinsky, 1894)	x		2003	Casellato *et al.* 2006	abundant/invasive
Arthropoda/Crustacea/Decapoda	Cambaridae	*Orconectes limosus* Rafinesque 1817			1998	Zanini 1999	abundant/invasive
Arthropoda/Crustacea/Decapoda	Cambaridae	*Procambarus clarkii* (Girard, 1852)	x		2003	Zanini unpublished data	present
Macrophytes							
Magnoliophyta/Liliopsida	Hydrocharitaceae	*Elodea canadensis* Michx.	x		1892	Pignatti 1982	unknown
Magnoliophyta/Liliopsida	Hydrocharitaceae	*Elodea nuttallii* (Planch.) H.St. John			2001	Zanini 2001	present
Magnoliophyta/Liliopsida	Hydrocharitaceae	*Lagarosiphon major* (Ridley) Moss			1969-71	Bianchini *et al.* 1974	abundant

Il bivalve sessile *Dreissena polymorpha* (Figura 46) è una delle specie maggiormente invasive a livello mondiale. Questo organismo è originario del mar Caspio e del Mar Nero, ed è probabilmente stato importata in Italia negli anni '60 dalle barche dei turisti tedeschi. Il lago di Garda è stato il primo lago italiano nel quale *D. polymorpha* è stata trovata nel 1970. Sei anni dopo il primo ritrovamento, questo bivalve aveva già raggiunto la densità di 756 ind m^{-2} a Sirmione e di 24756 ind m^{-2} a Bardolino (Mariani et al., 1980).

Dal lago di Garda si è poi diffuso in tutte le zone acquatiche adiacenti; le forme giovanili sono state pompate nel lago di Ledro e nella diga di Valvestino, e sono passate nel Mincio e nei laghi e nelle zone umide ad esso collegate. Quasi contemporaneamente è stato trovato nel corso del Po e si è diffuso in tutto il suo bacino (Quaglia et al., 2008).

Poiché è un bivalve filtratore, la scomparsa di fitoplancton dovuta a popolazioni molto sviluppate di questa specie rende le acque più trasparenti ma impedisce lo sviluppo dello zooplancton e della fauna ittica. L'aumento della penetrazione luminosa favorisce la crescita di piante acquatiche che fungono da zona rifugio per pesci di piccole dimensioni, ma ciò rende impossibile ai pesci predatori di raggiungere le loro prede. Le piante a loro volta possono essere di disturbo per la navigazione e per i bagnanti, i quali possono ferirsi a causa dei gusci appuntiti e taglienti dei molluschi.

Figura 46. Esemplari di *D. polymorpha* rinvenuti sul Garda.



Un altro bivalve non indigeno è la vongola asiatica *Corbicula fluminea* (Müller, 1774) (Figura 47). Fu rinvenuto per la prima volta su una porzione limitata (200 m) di una spiaggia a Manerba dove era presente con densità di 50 ind m^{-2} (Nardi & Braccia, 2004), e da allora si è diffuso in altri siti.

Invasivo è anche il bivalve *Corbicula fluminalis* (Müller, 1774) trovato per la prima volta nel 2008 a Castelnuovo del Garda e a Lazise. In quella circostanza a Castelnuovo del Garda vennero osservati due gruppi distinti di conchiglie: uno più ampio distribuito sull'area tra 1m e 4m da riva composto da *C. fluminea*, e uno più vicino alla terraferma dove *C. fluminea* era assieme a *C. fluminalis*. A Lazise invece *C. fluminalis* era dominante a riva benchè *C. fluminea* fosse comunque presente (Ciutti & Cappelletti, 2009).

Un'altra specie di bivalve introdotta sul Garda recentemente (2009) è *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) che a partire dal 1996 si è rapidamente diffusa in tutt'Italia. Sebbene non esistano studi specifici a riguardo, il ritrovamento sul Garda di organismi di varie classi dimensionali fa pensare che questa specie sia ormai presente con popolazioni stabili e bene strutturate (Cappelletti et al. 2009).

Figura 47. Esemplari di *Corbicula fulminea* (Müller, 1774) raccolti immediatamente a nord della località Punta del Rio, frazione Pieve Vecchia, comune di Manerba del Garda, provincia di Brescia, nel febbraio 2002 (fonte: Nardi & Braccia, 2004).



Tra i crostacei, il gambero *Dikerogammarus villosus* (Figura 48) è presente dal 2003 sul lago, pur essendo originario del mar Caspio. La specie si è diffusa velocemente dalle zone meridionali a tutto il resto del lago, eliminando quasi completamente la specie autoctona *Echinogammarus stammeri*, una delle 4 specie indigene del Benaco, con la quale condivide lo stesso habitat. Per evitare la competizione *E. stammeri* si è spostato a vivere a profondità maggiori, tuttavia negli ultimi anni è emerso che anche *D. villosus* ha iniziato a colonizzare aree più profonde (Casellato et al., 2008).
Anche altri due crostacei decapodi nativi del nord America, *Orconectes limosus* (Figura 48) e *Procambarus clarkii*, sono stati ritrovati sul Benaco a partire dalla fine degli anni '90 (Ciutti et al., 2011).

Figura 48. *Dikerogammarus villosus* (sinistra) e *Orconectes limosus* (destra) (fonte: IASMA, 2009).



12.1.3. Pesci

Complessivamente nel lago di Garda sono presenti 34 specie di pesci, 16 delle quali non indigene (Tabella 9) (Ciutti et al. 2011). Tre specie, *Oncorhynchus mikyss*, *O. kisutch* e *Salvelinus fontinalis* introdotte a partire dagli anni '70 non sono riuscite a sopravvivere e si sono estinte.
Coregonus lavaretus (Figura 49) è stato introdotto nel 1918 e ora è ben stabilito con una popolazione abbondante che è continuamente sostenuta da programmi di reintroduzione. Tuttavia questa specie è uno dei maggiori competitori del carpione, la specie endemica *Salmo carpio*, che è stata inclusa nella lista rossa delle specie a rischio (IUCN, 2010).

Figura 49. *Coregonus lavaretus.*



121.4. Rettili

Tra i rettili, l'unica specie aliena invasiva rinvenuta sul Garda è la tartaruga *Trachemys scripta elegans* (Figura 50). Questa specie è stata ampiamente utilizzata come animale da compagnia in tutto il mondo, con più di 52 milioni di individui esportati dagli Stati Uniti a partire dal 1989. *T. scripta elegans* è inclusa nella lista delle 100 specie più invasive a livello mondiale; infatti la dieta onnivora e la capacità di adattarsi a vari habitat la rendono fortemente impattante in ogni tipo di ambiente.

Figura 50. *Trachemys scripta elegans.*



12.2. Taxa terrestri

12.2.1. Piante

La maggior parte delle specie vegetali aliene presenti nel bacino del Garda sono state importate attivamente dall'uomo, per motivi ornamentali o come piante da frutto, già a partire dal 1550. Tuttavia più recentemente si è notato uno spostamento di areale verso nord di piante che erano tipiche del sud Italia (es. *Barlia robertiana*, *Ranunculus velutinus*, *Brachypodium distachyon)*, probabilmente a causa del fenomeno di riscaldamento globale misurato negli ultimi anni (Bertolli, 2011).
Alcune di queste specie sono però considerate invasive, poichè recano numerosi danni alla flora locale, alle attività produttive agricole e agli insediamenti civili. *Artemisia verlotiorum* per esempio ha rizomi profondi difficilmente eradicabili. Alcune specie erbacee come *Solidago* sp. pl., *Helianthus tuberosus* and *Impatiens* sp. hanno invece alterato la biodiversità delle comunità vegetali originarie che caratterizzavano le foreste lungo i corsi d'acqua, soppiantando le specie autoctone (Ministero dell'Ambiente, 2010).

Alcune di queste specie alloctone sono inoltre direttamente nocive per l'uomo. *Ambrosia artemisiifolia* è presente sul Garda dal 1940 ed è distribuita ovunque fino ai 500 m s.l.m., in particolar modo nei campi non coltivati, lungo le strade, nelle zone abbandonata. È una pianta che ha il suo massimo sviluppo in estate quando gli esemplari maschili producono ingenti quantitativi di pollini che posso provocare riniti, asma e irritazioni nei soggetti più sensibili (ISSG, 2012).

12.2.2. Invertebrati

Gli invertebrati terrestri, specialmente gli insetti, rappresentano uno dei gruppi animali di origine non autoctona di maggiori dimensioni presenti sul lago di Garda (Tabella 9). In generale molti insetti vengono considerati invasivi poiché oltre a danneggiare gravemente o addirittura distruggere la vegetazione e le derrate alimentari, possono anche essere in grado di nuocere direttamente all'uomo e agli animali e indirettamente trasmettendo loro patogeni.
Le principali specie di invertebrati invasivi rinvenuti nel bacino del Garda sono:

- I ditteri *Aedes albopictus* e *Rhagoletis completa;*
- i coleotteri *Anoplophora chinensis, A. glabripennis, Harmonia axyridis* e *Rhynchophorus ferrugineus;*
- i lepidotteri *Cameraria ohridella, Cacyreus marshalli, Hyphantria cunea* e *Paysandisia archon*;
- le cocciniglie *Ceroplastes ceriferus* e *Quadraspidiotus perniciosus*;
- il tingide del platano *Corythuca ciliata*;
- gli imenotteri *Sceliphron caementarium* e *Dryocosmus kuriphilus*;
- la cimice *Leptoglossus occidentalis*;
- l'omottero *Metcalfa pruinosa*;
- la cicala *Scaphoideus titanus*.

Entrambi i coleotteri *A. chinensis* (tarlo del legno) e *A. glabripennis* sono originari dell'Asia orientale, dove producono seri danni alle foreste e alle coltivazioni, scavando tunnel nei tronchi e cibandosi del cambio. Sul territorio nazionale hanno prodotti enormi danneggiamenti sia alle piante ornamentali in vivaio che alle latifoglie che contraddistinguono la flora tipica del nord Italia. Poiché ad oggi sono più di 50 le specie vegetali colpite, prima la Regione Lombardia attraverso il decreto del direttore generale n. 731/2004 e successivamente lo stato italiano (D.Lgs. 19 agosto 2005 n. 214) hanno dichiarato lo stato di quarantena, ordinando l'abbattimento delle piante più colpite ed attuando il monitoraggio totale delle specie arboree a rischio in tutte le aree interessate, compreso quindi il bacino gardesano.
La licenide dei gerani *(Cacyreus marshalli)* è una piccola farfalla originaria dell'Africa meridionale che a causa dell'innalzamento della temperatura terrestre e

degli scambi commerciali si è spostata verso le latitudini settentrionali. Nell'agosto 2007 la città di Arco, sulle coste settentrionali del Garda, adornata da gerani in occasione di una festività fu vittima di un intenso attacco da parte di questi parassiti che in poche ore distrussero completamente le piante ornamentali (Sieghel, 2013b).
Nel 2009 il Comune di Riva del Garda varò un regolamento comunale per la per la tutela del verde urbano in cui si descriveva il disturbo prodotto all'uomo da esemplari dell'insetto *Corythucha ciliata*, nativo del nord America. Tuttavia la nocività di questa specie è principalmente dovuta al fatto che sia gli esemplari giovani che gli adulti succhiano la linfa dalle foglie principalmente di *Platanus occidentalis*e, in misura minore, anche di *Broussonetia papyrifera* e *Fraxinus* sp. (Regione Veneto, 2012). Ciò causa una tipica depigmentazione delle foglie colpite alla quale segue una scarsa attività fotosintetica ed una caduta prematura.
Sempre nella zona settentrionale del lago di Garda sono stati più volte segnalati esemplari di *Metcalfa pruinosa* e *Paysandisia archon* (Comune di Riva del Garda, 2009).
M. pruinosa è un insetto d'origine americana introdotto accidentalmente in Europa e rinvenuto per la prima volta in Italia nel 1979 in Veneto (Zangheri & Donadini, 1980). I danni provocati da questa specie sono causati dalla sottrazione della linfa (principalmente di viti, pomacee, drupacee) e dalla produzione di melata e cere di colore biancastro su cui si possono sviluppare abbondanti fumaggini che compromettono la capacità fotosintetica delle piante. Oltre che accidentalmente, si pensa che questa specie sia stata introdotta deliberatamente dagli apicoltori proprio per sfruttare la melata (Mihajlović, 2007).
La presenza sul Garda di *P. archon* è documentata dal 2003 (Sieghel, 2013b). Le larve di questa specie originaria dell'Uruguay e dell'Argentina creano dei tunnel all'interno dei tessuti della pianta ospite, che aumentano di diametro all'aumentare delle dimensioni della larva, fino a provocare la morte dell'ospite.
La processionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) (Figura 51) è un insetto tipico delle regioni mediterranee, comprese le foreste di conifere del bacino gardesano. Tuttavia l'aumento di temperatura ha permesso una maggiore sopravvivenza invernale degli adulti e ha velocizzato i cicli vitali di questa specie, aumentando il numero di organismi normalmente presenti. In particolare, le notti eccezionalmente calde dell'estate 2003 hanno permesso alle femmine gravide di volare più lontano, dando origine a colonie in aree nuove mai abitate in precedenza. La processionaria, che allo stadio larvale causa necrosi fogliare e dei rametti, è anche direttamente dannosa per le specie a sangue caldo, uomo compreso. Il contatto dei peli della larva con la cute e gli organi causano danni (eritemi, allergie) anche gravi.

Figura 51. *Thaumatophoea pityocampa* (fonte: Salvadori 2009).



12.2.3. Uccelli

Le specie aliene di uccelli presenti nel territorio del bacino del Garda sono 5: *Francolinus erckelli*, *Phasianus colchicus*, *Cygnus olor*, *Branta canadensis* e *Alopochen aegythiacus* (Andreotti et al., 2001). Benché alcune di questi taxa siano stati introdotti più di un secolo fa, e molte popolazioni non abbiano le caratteristiche di "nocività" tipiche delle specie invasive, bisogna ricordare che molte specie di uccelli sono vettori dell'influenza aviaria. É stato infatti evidenziato come proprio il fagiano comune, rilasciato negli anni '50 nel bacino del Garda per motivi venatori, sia tra i potenziali vettori della malattia (Pedrini et al., 2005).

12.2.4. Mammiferi

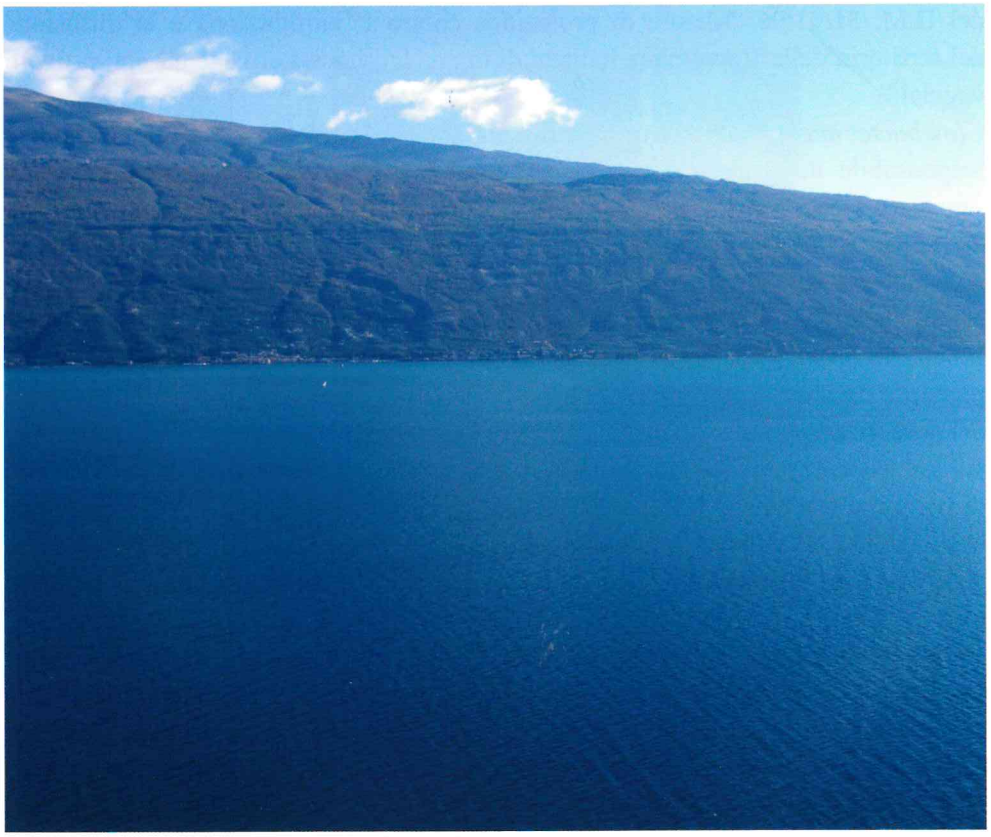
Anche sul Garda come su tutto il territorio italiano lo scoiattolo grigio *Sciurus carolinensis,* nativo delle foreste decidue americane sta causando l'estinzione dello scoiattolo autoctono rosso (*Sciurus vulgaris*) a causa della competizione alimentare (ISSG, 2012). Inoltre la presenza di un virus (*Squirrel poxvirus*) a cui lo scoiattolo grigio è resistente a differenza dello scoiattolo rosso, facilita e accelera tale processo. *S. carolinensis* è inoltre responsabile della distruzione della corteccia di molti alberi e delle aree di nidificazione di alcuni uccelli (DAISIE, 2012). Proprio per l'effetto disastroso che questa specie ha sulla biodiversità autoctona, la commissione della Convenzione di Berna, con risoluzione n.78 del 2 dicembre 1999, aveva raccomandato all'Italia di effettuarne la eradicazione a livello nazionale. A causa dell'opposizione di pochi attivisti, l'intervento fu bloccato e ora lo scoiattolo grigio è ampiamente diffuso sul territorio, dove si può solo cercare di controllarlo eliminandolo almeno da

zone sensibili dove lo scoiattolo rosso è ancora presente, come ad esempio la costa sud e quella occidentale del lago di Garda (Bresciani, CNR, commento personale).

12.2.5. Batteri, funghi e virus

Ciborinia camelliae è il fungo responsabile di una malattia che colpisce tutte le specie, le cultivars e gli ibridi di camelia, con diversi gradi di suscettibilità, provocando la marcescenza dei petali. È un patogeno soggetto a norme di quarantena ai sensi del D.M. 31/01/96 "Misure di protezione contro l' introduzione e la diffusione nel territorio della Repubblica italiana di organismi nocivi ai vegetali e ai prodotti vegetali".
Clavibacter michiganensis è un batterio originario del nord American principalmente responsabile del cancro batterico del pomodoro sebbene il patogeno sia stato segnalato anche su *Lycopersicon* spp. e su alcune solanacee spontanee quali *Solanum douglasii*, *S. nigrum* e *S. triflorum*. I semi infetti che possono dar luogo a piante apparentemente sane che manifesteranno i sintomi (avvizzimento delle foglie e caduta) nella fase di maturità.
Il batterio *Erwinia amylovora* è l'agente della malattia delle piante, principalmente pomacee da frutto, nota come "colpo di fuoco batterico". Originario dell'America del nord, *E. amylovora* si è diffuso alla fine degli anni '50 in GB e poi in tutt'Europa. La sua presenza nel bacino del Garda è deleteria soprattutto per le coltivazioni di pomacee trentine, visto che può distruggere un intero raccolto nell'arco di una stagione. Per la sua pericolosità il batterio è inserito nella lista europea dei patogeni da quarantena (2000/29/CE) e in Italia è soggetto alle misure di lotta obbligatoria stabilite dal D.M. n. 356/1999.
Un altro patogeno devastante per le piante da frutto (pruni, peschi, mandorli, ciliegi) è il Plum Pox Virus (PPV), che dà origine alla patologia virale conosciuta come "Sharka" che porta la pianta alla morte. Il principale vettore del virus sono gli afidi e attraverso il trasferimento commerciale di materiale infetto. Non esiste cura possibile per questa virosi e in Italia l'unico rimedio è l'abbattimento di tutti gli esemplari colpitii (D.M. del 29 novembre 1996).
La *Phytophthora ramorum* è un fungo responsabile della malattia conosciuta come "Morte improvvisa delle querce". E' stato isolato per la prima volta in California nel 1995, dove si è diffuso rapidamente, ed è arrivato in Italia nel 2002. La sintomatologia può variare a seconda degli ospiti, generalmente querce, faggi, frassini, castagni e ippocastani, e piante da vivaio come azalee e rododendri.
I cipressi del Garda sono invece il substrato ideale per il parassita fungino *Seiridium cardinale* agente patogeno del "Cancro della corteccia". I sintomi caratteristici di questa malattia sono la presenza di aree depresse e deformate sui rami e sul tronco,

dalle quali fuoriescono notevoli quantità di resina. Quando il cancro ha circondato l'asse di un rametto o di una branca la parte soprastante muore e si manifestano disseccamenti di chioma più o meno estesi.
La malattia può essere diffusa da alcuni insetti. I coleotteri Scolitidi, gli afidi della specie *Cinara cupressi* e le formiche che si nutrono della melata prodotta dagli afidi, contribuiscono diffusione del fungo.



Lago di Garda: scorcio (foto: Elisabetta Bonzanini).

13. Bibliografia

Ambrosetti W., Barbanti L., 1999. Deep water warming in lakes; an indicator of climatic change. Journal of Limnology, 58(1): 1-9.

Anderson N.J., Jeppesen E., Søndergaard M., 2005. Ecological effects of reduced nutrient loading (oligotrophication) on lakes: an introduction. Freshwater Biology, 50: 1589–1593.

Andreotti A., Baccetti A., Perfetti A., Besa M., Genovesi P., Guberti V., 2001. Mammiferi ed uccelli esotici in Italia: analisi del fenomeno, impatto sulla biodiversità e linee guida gestionali. Quaderni di Conservazione della Natura, 2. Ministero dell' Ambiente, Istituto nazionale della fauna selvatica.

APPA (De Francesco C., Pellegrini G), 2011. Caratteristiche e qualità del lago di Garda. Riva del Garda - 7 ottobre 2011.

Azzolini L., Coletti R., Landi M., 1983. Energia in Trentino: il lungo percorso dell'Autonomia. Trento, p 40.

Baldi E., 1949. Alcuni caratteri generali dei laghi marginali sudalpini. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie, 10: 50-69.

Barbato G., 1988. Indagine sul popolamento zooplanctonico del Golfo di Salò (Lago di Garda, Brescia). Natura Bresciana, 25: 173-186.

Battarbee R.W., Bennion H., 2012. Using palaeolimnological and limnological data to reconstruct the recent history of European lake ecosystems: introduction. Freshwater Biology, 57: 1979-1985.

Battisti A., Facceli M., 2009. Effetti dei cambiamenti climatici sulle popolazioni di insetti forestali. Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia, Anno LVII: 79-82.

Bertolli A., 2011. Cambiamenti climatici e flora: spunti dal Trentino e zone limitrofe, Trento. Museo Civico di Rovereto. (http://www.climatrentino.it/binary/pat_climatrentino//BERTOLLI.pdf).

Bianchini F., Caniglia G., Zanetti M., 2001. La cornice verde. In: Sauro U., Simoni C., Turri E., Varanini G.M. (eds): Il Lago di Garda. Cierre Eidzioni, Caselle di Sommacampagna, 496 pp.

Bornette G., Puijalon, S., 2011. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. Aquatic Science, 73: 1-14.

Bresciani M., Sotgia C., Fila G.L., Musanti M., Bolpagni R., 2011. Assessing common reed bed health and management strategies in Lake Garda (Italy) by means of Leaf Area Index measurements. Italian Journal Of Remote Sensing, 43 (2): 9-22

Bresciani M., Stroppiana D., Fila G., Montagna M., Giardino C., 2009. Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy. Italian Journal of Remote Sensing, 41 (2): 125-137.

Cappelletti C., Cianfanelli S., Beltrami M.E., Ciutti F., 2009. First record of Sinanodonta woodiana (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae) in Lake Garda (Italy), Aquatic Invasions, 4: 685-688.

Casellato S., Masiero L., La Piana G., Gigliotti F., 2008. The alien amphipod crustacean Dikerogammarus villosus in Lake Garda (N-Italy): the invasion continues, In: Rabitsch W., Essl F., F. Klingenstein (eds.): Biological Invasions – from Ecology to Conservation. Neobiota, 7: 115-122.

Cerasino L., Salmaso N., 2013. Protocol for rapid assessment of relevant cyanobacteria-related threats. Core output 5.3.1. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

Chorus I., Bartram J. (eds.), 1999. Toxic Cyanobacteria in Water. A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management. Published on behalf of the World Health Organization by E&FN Spon, London. 416pp.

Ciutti F., Cappelletti C., 2009. First record of Corbicula fluminalis (Müller, 1774) in Lake Garda (Italy), living in sympatry with Corbicula fluminea (Müller, 1774). Journal of Limnology, 68: 162-165.

Ciutti F., Beltrami M.E., Confrontini I., Cianfanelli S., Cappelletti C, 2011. Non-indigenous invertebrates, fish and macrophytes in Lake Garda (Italy). Journal of Limnology, 70(2): 315-320.

CNR-IREA (Bresciani M., Giardino C., Matta E.), 2012a. WP.3.3.2.: Developing remote sensing technique approach .Water quality of the CE lakes by remote sensing technique. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

CNR-IREA (Bresciani M., Giardino C., Matta E.), 2012b. WP.3.3.4.: Implementing monitoring systems using remote sensing techniques. Mapping macrophyte of Garda lake by remote sensing technique. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

Codd G.A., Lindsay J., Young F.M., Morrison L.F., Metcalf J.S., 2005. Harmful cyanobacteria: from mass mortalities to management measures. In: Huisman J., Matthijs H.C.P, Visser P.M. (eds): Harmful Cyanobacteria. Springer, Dordrecht, 1–23.

DAISIE, 2009. Handbook of Alien Species in Europe. Invading nature. Springer series in invasion ecology. Volume 3. Springer.

de Bernardi R., Calderoni A., Mosello R., 1996. Environmental problems in Italian lakes, and lakes Maggiore and Orta as successful examples of correct management leading to restoration. Verhandlungen Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie, 26: 123–138.

Dokulil M.T., Teubner K., 2000. Cyanobacterial dominance in lakes. Hydrobiologia, 438: 1-12.

FEM, 2012. WP 5 Cyanobacteria and water quality: the effects on tourism and water quality. Output 5.3.2: definition of threshold limits and procedures to minimise the risk due to cyanotoxins. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

Gallinaro N., Della Ferrera E., 2004. Terra tra due laghi. Consorzio Forestale della Valvestino.

Goldman C.R., Jassby A.D., Powell T., 1989. Interannual fluctuations in primary production: meteorological forcing at two subalpine lakes. Limnology and Oceanography, 34: 310–323.

Gherardi F., Bertolino S., Bodon M., Casellato S., Cianfanelli S., Ferraguti M., Lori E., Mura G., Nocita A., Riccardi N., Rossetti G., Rota E. Scalera R., Zerunian S., Tricarico E., 2008. Animal xenodiversity in Italian inland waters: distribution, modes of arrival, and pathways. Biological Invasions, 10: 435-454.

Guarino R., Sgorbati S., 2004. Guida Botanica al Parco Alto Garda Bresciano. Comunità Montana del Parco Alto Garda Bresciano.

Guilizzoni P, Gerli S., 2008. La paleolimnologia: una scienza al confine tra geologia e paleontologia Biologia Ambientale, 22 (2): 55.

IASMA (Salmaso N., Boscaini A., Cappelletti C., Ciutti F.), 2009. Le condizioni di salute del Lago di Garda: aggiornamento dello stato delle conoscenze sui carichi di nutrienti algali e sulle componenti biologiche della zona pelagica e litorale. In: Problematiche ambientali del Lago di Garda: approfondimenti e proposte di risanamento. Torri del Benaco, 13 marzo 2009 (a cura di F. Bertin, A. Bortoli), Libro degli atti: 49-88.

ISSG, 2012. GISD, Global Invasive Species Database. http://www.issg.org/database. Accesso: 6 giugno 2012.

IRSA, 1974. Indagini sul Lago di Garda. IRSA Quaderni n. 18. Roma.

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2010. Celesti-Grapow L., Pretto F., Carli E., Biasi C. e altri autori. (Banfi E., Galasso G., Assini S., Brusa G., Garibaldi L. per la regione Lombardia Prosser F. per il Trentino Alto adige, Villani M.C., Bracco F., Carlin S., Marcucci R., Prosser F., Tornadore N. per il Veneto). Flora vascolare alloctona invasiva delle regioni d'Italia. http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/biblioteca/protezione_natura/dpn_invasioni_specie_vegetali_italia.pdf.

Jupp B.P., Spence D.H.N., 1977. Limitations of macrophytes in a eutrophic lake, Loch Leven. II. Wave action, sediments and waterfowl grazing. Journal of Ecology, 65: 431-446.

Komárek J., Anagnostidis K., 2005. Cyanoprokaryota -2. Teil/2nd Part: Oscillatoriales. In: Büdel B., Krienitz L., Gärtner G., Schagerl M. (eds): Süsswasserflora von Mitteleuropa, 19/2. Elsevier/ Spektrum, Heidelberg, 759 pp.

Livingstone D., Jaworski G.H.M., 1980. The viability of akinetes of blue-green algae recovered from the sediments of Rostherne Mere. European Journal of Phycology, 15: 357-364.

Mariani M., Girod A., Bianchi I., Annoni D., 1980. I molluschi del bacino meridionale del Lago di Garda con particolare riferimento a Theodoxus fluviatilis L.. Atti Acaddemia dei Fisiocritici Siena: 215-238.

Maugeri M., Brunetti M., Nanni T., 2006. Global warming, analisi delle serie storiche italiane. ARPA rivista, 3: 40-41.

Merlo S. Mozzi C., 1963. Ricerche limnologiche sul Lago di Garda. Archivio di Oceanografia e Limnologia, 13: 1-125.

Mihajlović l., 2007. Metcalfa pruinosa (Say) (Homoptera: Auchenorrhyncha) a new harmful species for entomofauna of Serbia. Glasnik Šumarskog fakulteta, 95: 127-134.

Mosello R. & Giussani G. (eds.), 1997. Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Recent evolution of water quality of deep southern Alpine lakes). Documenta Istituto Italiano di Idrobiologia, 61: 1-228.

Motta G., Simoni C., 1999. Parco Alto Garda Bresciano. Brescia: Ed. Grafo.

Nardi G., Braccia A., 2004. Prima segnalazione di Corbicula fluminea (O.F. Müller, 1774) per il Lago di Garda (provincia di Brescia) (Mollusca, Bivalvia,Corbiculidae). Bollettino Malacologico Roma, 39 (9-12): 181-184.

Nastasio P., 1996. La Foresta Demaniale Regionale "Gardesana Occidentale". In I boschi del lago. Itinerari nella Foresta Demaniale "Gardesana Occidentale". pp. 21-57. Brescia: Ed. Grafo.

Negri A., Pelaia S., 1990. Analisi dei risultati: lo zooplancton. In: Chiaudani G., Premazzi G. (eds.): Il Lago di Garda: evoluzione trofica e condizioni ambientali attuali. Commissione delle Comunità Europee, EUR 12925. Lussemburgo: 137-141.

OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development), 1982. Eutrophication of Waters, Monitoring, Assessment and Control. Paris.

Paerl H.W., Fulton R.S., 2006. Ecology of harmful cyanobacteria. In: Graneli E., Turner J. (eds.): Ecology of Harmful Marine Algae. Springer-Verlag, Berlin, 95–107.

Paul V.J., 2008. Global warming and cyanobacterial harmful algal blooms. In: Hudnell H.K. (Ed.):, Cyanobacterial Harmful Algal Blooms: State of the Science and Research Needs. Springer, New York, 239-257.

Pedrini P., Caldonazzi M., Zanghellini S. (a cura di), 2005. Atlante degli uccelli nidificanti e svernanti in provincia di Trento. Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento. Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica, 80 (2): 692 pp.

Pucciarelli S., Buonanno F., Pellegrini G., Pozzi S., Ballarini P., Miceli C., 2008. Biomonitoring of Lake Garda : Identification of ciliate species and symbiotic algae responsible for the "black-spot" bloom during the summer of 2004. Environmental Research, 107: 194-200

Quaglia F., Lattuada L., Mantecca P., Bacchetta R., 2008. Zebra mussels in Italy: where do they come from? Biological Invasions, 10: 555-560.

Regione Lombardia, 2007. Dossier Acque di Lombardia. Una ricchezza da proteggere, Lombardia Verde – Numero Speciale.

Regione Veneto, 2012. Schede fitosanitarie. http://www.regione.veneto.it/Economia/Agricoltura+e+Foreste/Servizi+Fitosanitari/Bollettini+fitosanitari/Schede+fitosanitarie/. Accesso, 6 giugno 2012.

Reynolds C.S., 2006. The ecology of phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge.

Reynolds C.S. 1987. Cyanobacterial water-blooms. Advances in Botanical Research, 13: 67-144.

Salmaso N., 2000. Factors affecting the seasonality and distribution of cyanobacteria and chlorophytes: a case study from the large lakes south of the Alps, with special reference to Lake Garda. Hydrobiologia, 438: 43-63.

Salmaso N., 2002. Ecological patterns of phytoplankton assemblages in Lake Garda: seasonal, spatial and historical features. Journal of Limnology, 61: 95-115.

Salmaso N., 2005. Effects of climatic fluctuations and vertical mixing on the interannual trophic variability of Lake Garda, Italy. Limnology and Oceanography, 50: 553-565.

Salmaso N., 2010. Long-term phytoplankton community changes in a deep subalpine lake: responses to nutrient availability and climatic fluctuations, Freshwater Biology, 55: 825-846.

Salmaso N., 2011. Interactions between nutrient availability and climatic fluctuations as determinants of the long term phytoplankton community changes in Lake Garda, Northern Italy. Hydrobiologia, 660: 59–68.

Salmaso N., Naselli-Flores L., 1999. Studies on the zooplankton of the deep subalpine Lake Garda. Journal of Limnology, 58 (1): 66-76.

Salmaso N., Cerasino L., 2010. Long-term trends and fine year-to-year tuning of phytoplankton in large lakes are ruled by eutrophication and atmospheric modes of variability. Hydrobiologia, 698(129): 17-28

Salmaso N., Boscaini A., Cappelletti C. & Ciutti F., 2009. Le condizioni di salute del Lago di Garda: aggiornamento dello stato delle conoscenze sui carichi di nutrienti algali e sulle componenti biologiche della zona pelagica e litorale. Atti della conferenza "Problematiche ambientali del Lago di Garda. Approfondimenti e proposte di risanamento". Torri del Benaco, 13 marzo 2009, 49-88.

Salmaso N., Buzzi F., Garibaldi L., Morabito G., Simona M., 2012. Effects of nutrient availability and temperature on phytoplankton development: a case study from large lakes south of the Alps. Aquatic Sciences, 74 (3): 555-570.

Salmaso N., Ranjan J., Boscaini A., Cerasino L., 2011. WP3.1.2. Colonization history by harmful algae. Study of resistance cells (akinetes) in the sediment of each lake and hatching experiments to infer long-term colonization dynamics by potential toxic cyanobacteria and to forecast future lake vulnerability. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

Salvadori C., 2009. La vita altalenante della processionaria del pino. Terra Trentina, Assessorato provinciale all'agricoltura, foreste, turismo e promozione, 3/2009.

Mehra S., Dubey J., Bhowmik D., 2009. Impact of natural toxins from cyanobacterial blooms in eutrophic lakes. American-Eurasian Journal of Toxicological Sciences, 1 (2): 57-68.

Saros J. E., Interlandi S. J., Wolfe A. P. & Engstrom D. R., 2003. Recent changes in diatom community structure of lakes in the Beartooth Mountain Range, U.S.A. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 35:18-23.

Saros J. E., Michel T.J., Interlandi S.J.,Wolfe A.P., 2005. Resource requirements of Asterionella formosa and Fragilaria crotonensis in oligotrophic alpine lakes: implications for recent phytoplankton community reorganizations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 62: 1681-1689.

Sartori F., 1996. I boschi della Lombardia. In I boschi del lago. Itinerari nella Foresta Demaniale "Gardesana Occidentale". pp. 7-19. Brescia: Ed. Grafo.

Sauro U., 2001. La macchina idraulica. In: Sauro U., Simoni C., Turri E., Varanini G.M. (eds): Il Lago di Garda. Cierre Eidzioni, Caselle di Sommacampagna, 496 pp.

Schmieder K., 2004. European lake shores in danger—concepts for a sustainable development. Limnologica, 34: 3–14.

Sieghel M-C., 2013a. WP4.2. Emerging Risks. Deliverable 4.2.1. Impacts on Lake Hydrology and Water Quality. Part D: Lake Garda. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

Sieghel M-C., 2013b. WP4.2. Emerging Risk.Deliverable 4.2.2. Analysis of New and Invasive Species. Part B: Lake Garda. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

Siligardi M., Avolio F., Baldaccini G., Bernabei S., Bucci MN.S., Cappelletti C., Ciutti F., Floris B., Franceschini A., Mancini L., Minciardi M.R.,Monauni C., Negri P., Pineschi G., Pozzi S., Rossi G.L., Spaggiari R.,Tamburro C., Zanetti M., 2007. IFF 2007 Indice di funzionalità fluviale. Manuale Apat, Roma.

Siligardi M., Bernabei S., Cappelletti C., Ciutti F., Dallafior V., Dalmiglio A., Fabiani C., Mancini L., Monauni C., Pozzi S., Scardi M., Tancioni L., Zennaro B., 2011 Indice di Funzionalità Perilacuale (IFP) Strumento di supporto alla definizione della qualità ecologica come indicato dalla Direttiva 2000/60/CE. Provincia TN, ISPRA e APPA.

Smart A.C., Harper D.M., Malaisse F., Schmitz S., Coley S., Gouder de Beauregard A.C., 2002. Feeding of the exotic Louisiana red swamp crayfish, Procambarus clarkii (Crustacea, Decapoda), in an African tropical lake: Lake Naivasha, Kenya. Hydrobiologia, 488 (Dev. Hydrobiol. 168): 129–142.

Tolotti M., 2012. WP3.1. Lake ecological history characterization. Transnational Output 3.1.4. Final transnational report on long term ecological evaluation of CE lakes. Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

Tolotti M., Thies H., Nickus U.,Psenner R., 2012. Temperature modulated effects of nutrients on phytoplankton changes in a mountain lake. Hydrobiologia, 698: 61-75.

Wilson S.D., Keddy P.A., 1991. Competition, survivorship and growth in macrophyte communities. Freshwater Biology, 25: 331-337.

ZAMG, 2007. HISTALP - Historical instrumental climatological surface time series of the greater alpine region. http://www.zamg.ac.at/histalp .

Zanfgheri S.; Donadini P., 1980. Comparsa nel Veneto di un Omottero neartico: Metcalfa pruinosa Say (Homoptera, Flatidae). Redia, 63: 301-305.

Zanini D., 2001. Elodea nuttallii St. John e Orconectes limosus Rafinesque, due nuove specie pescate nel Comune di Brenzone. El Gremal: 35-38.

Zennaro B., Siligardi M., Kinner P., Martinez D., Heiss G., Soja A-M., , Soja G., Toth F., Nowicka B., Nadolna A., 2011. WP3.3.3 and WP 4.2.3 The Shorezone Functionality Index in 4 CE lakes: Lake Garda (IT), Neusiedelsee (A), Lake Balaton (H), Lake Charzykowskie (PL). Project EULAKES Ref. Nr. 2CE243P3.

I Partner

Comunità del Garda [I]
Lead Partner
www.lagodigarda.it
Villa Mirabella, Via dei Colli 15
I-25083 Gardone Riviera (BS)

Agenzia provinciale di protezione dell'ambiente (ARPA) [I]
www.appa.provincia.tn.it

Fondazione Edmund Mach [I]
www.iasma.it

Istituto austriaco di tecnologia (AIT) [A]
www.ait.ac.at

Associazione per la conservazione della natura del Burgenland [A]
www.naturschutzbund-burgenland.at

Università di Pannonia [H]
www.uni-pannon.hu

Agenzia di coordinamento dello sviluppo del lago Balaton [H]
www.balatonregion.hu

Istituto Polacco di Meteorologia e gestione delle acque [PL]
www.imgw.pl

Consiglio Nazionale per la Ricerca
Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR - IREA) [I]
http://milano.irea.cnr.it/water/water.htm

Ediguida Dicembre 2013

Il progetto è sostenuto dal CENTRAL EUROPE Programme cofinanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR)
This project is implemented through the CENTRAL EUROPE Programme co-financed by the ERDF

CENTRAL EUROPE
COOPERATING FOR SUCCESS.

EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND

Ediguida