

Laghi Alpini

Indagini sui cambiamenti climatici

Laghi Alpini

Indagini sui cambiamenti climatici

AUTORI

Lucia Borasi, Alberto Maffiotti - Arpa Piemonte

GRUPPO DI LAVORO INTERNAZIONALE (WP4)

Alberto Maffiotti, Lucia Borasi - Arpa Piemonte

Gabriel Fink, Thomas Wolf, Bernd Wahl - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Maurizio Siligardi, Barbara Zennaro - Agenzia Regionale per la protezione Ambientale di Trento

Liselotte Schulz, Georg Santner, Roswitha Fresner - Regional Government of Carinthia, Department Environment

Till Harum, Albrecht Leis, Christian Reszler - Joanneum Research, Forschungsgesellschaft mbH, Institute of Water, Energy and Sustainability

Si ringraziano per la collaborazione: Damien Zanella (Syndicat Mixte du Lac d'Annecy), Pierluigi Fogliati e Francesca Vietti (Arpa Piemonte), Daniele Magni (Regione Lombardia), Tina Leskosek and Anton Brancelj (National Institute of Biology).

RIFERIMENTI PER IL MONITORAGGIO E LA MODELLISTICA APPLICATI AI LAGHI

Analisi delle serie storiche

Lucia Borasi, Alberto Maffiotti - Arpa Piemonte

Scenari climatici

Daniele Cane - Arpa Piemonte

Modello ecologico

Antonello Provenzale, Jost von Hardenberg - CNR - ISAC

Alberto Maffiotti, Lucia Borasi - Arpa Piemonte

Modello idrodinamico

Gabriel Fink, Thomas Wolf, Bernd Wahl - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Modello idrologico e analisi isotopiche

Liselotte Schulz - Regional Government of Carinthia, Department Environment, Till Harum, Albrecht Leis, Christian Reszler - Joanneum Research, Forschungsgesellschaft mbH, Institute of Water, Energy and Sustainability

Indagini sulle caratteristiche termiche e sulla circolazione dell'acqua

Liselotte Schulz, Georg Santner, Roswitha Fresner - Regional Government of Carinthia, Department Environment

ELABORAZIONI CARTOGRAFICHE

Rocco Pispico, Lucia Borasi - Arpa Piemonte

FOTO

Giuseppe Cadrobbi, Nicola Cuzer, Barbara Zennaro - Agenzia Regionale per la protezione Ambientale di Trento

Bernd Wahl - Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Julia Lorber, Gabriele Weiser - Kärntner Institut für Seenforschung

Annecy Tourisme

Gw.P./SILA

Kärntner Institut für Seenforschung

Passagers du Vent

Silmas pictures library

Archivio Arpa Piemonte

Aldo Blandino - Comune di Avigliana

COORDINAMENTO EDITORIALE

Roberta Meotto - Arpa Piemonte

IDEAZIONE E PROGETTO GRAFICO

Pomilio Blumm Srl, Pescara

Porteur d'image - Annecy Cedex

ISBN 978-88-7479-115-6



Copyright © 2012, Arpa Piemonte

Via Pio VII, 9 - 10135 Torino - Italia

www.arpa.piemonte.it



Introduzione



Gli ecosistemi lacustri sono estremamente sensibili agli impatti antropici e ai cambiamenti climatici (Skjelkvale and Wright, 1998) e sono influenzati dagli ef-

fetti provocati dal comportamento sinergico derivante da processi biologici, da impatti antropici esterni e da meccanismi idrodinamici, che possono subire modifiche a causa dei cambiamenti climatici, provocando talvolta effetti imprevisti (IPCC assessment report, 2001), quali ad esempio cambiamenti della qualità della risorsa idrica e della biodiversità, fino a portare ad un potenziale verificarsi di “cambiamenti catastrofici” a livello dell’ecosistema lacustre (Scheffer et al. 2001).

Un aumento della temperatura dell’aria (Mooij et al. 2005; Johnk et al. 2008) può ad esempio portare allo sviluppo di bloom algali a causa dell’aumento di stabilità della colonna d’acqua e dell’influenza del tasso di crescita algale sulla temperatura.

I **monitoraggi** e la **modellistica**, associati ad indagini sull’evoluzione lacustre (dal punto di vista chimico, fisico e biologico) sviluppati durante il progetto SILMAS nei laghi oggetto di indagine, hanno provveduto alla creazione di utili **strumenti decisionali**. In questa pubblicazione è possibile consultare una serie di diagrammi e tabelle riportanti i risultati di questi studi.

Questa pubblicazione offre un quadro completo dell’evoluzione dello stato dei laghi alpini, nel contesto dei cambiamenti climatici. È dedicata in particolar modo a coloro che desiderano conoscere meglio il processo di coinvolgimento dei cambiamenti climatici nelle aree interessate da laghi nello spazio alpino, al fine di aumentare le conoscenze in campo ambientale. Ma allo stesso tempo contiene anche informazioni tecniche dettagliate in grado di fornire sostegno agli scienziati e ai decisori politici.

Per maggiori informazioni e dettagli è possibile consultare il report finale del Work Package 4 del progetto SILMAS, disponibile sul sito internet di progetto (<http://www.silmas.eu>) o sul sito internet del programma Spazio Alpino (<http://www.alpine-space.eu>).

Indice

Il Progetto SILMAS: le attività del Work Package 4	4
I partners e i laghi	5
I laghi e I cambiamenti climatici: Impatti... ...e adattamenti	6 7
Guida alla consultazione delle schede lago	8
Lago Annecy	10
Lago Grande di Avigliana	14
Lago Sirio	18
Lago Viverone	22
Lago Constance	28
Lago Caldonazzo	32
Lago Levico	36
Lago Ossiacher See	40
Lago Wörthersee	46
Lago Klopeiner See	54
Conclusioni	62
Bibliografia	63



Il progetto SILMAS: le attività del Work Package 4

Il progetto denominato “Strumenti sostenibili per la gestione dei laghi nello Spazio Alpino” (SILMAS), co-finanziato dallo Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) nell’ambito del programma di cooperazione Spazio Alpino, coinvolge 14 partners di 5 stati europei (Italia, Francia, Austria, Slovenia and Germania), guidati dal Lead Partner Region Rhône-Alpes (Francia).

Nell’ambito del progetto SILMAS, il Work Package 4 “Alpine Lakes running changes” (WP4), guidato da ARPA Piemonte (Italia), si è dedicato all’analisi degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi lacustri, attraverso la condivisione di metodi e quadri di riferimento, e testando alcuni modelli alle principali tipologie lacustri, al fine di identificare futuri scenari in cui i laghi potrebbero essere coinvolti.

Il gruppo di lavoro del WP4 ha lavorato all’interno di un laboratorio virtuale, producendo una visione dinamica di ogni situazione, al fine di identificare i trend generali e le necessità ambientali delle aree coinvolte.

Poiché i laghi sono sistemi dinamici complessi, che interagiscono con l’ambiente locale e sono connessi

al ciclo dell’acqua, il WP4 ha deciso di seguire due strade parallele per evidenziare i fattori di evoluzione lacustre, influenzata dalle attività umane e dalla variabilità climatica: l’approccio biologico e un approccio di tipo fisico-chimico, specificando i corpi idrici e i loro trend mediante ricerca e integrazione di indici ecosistemici, correlati con la variabilità climatica, e evidenziando gli impatti idrologici dei cambiamenti climatici sui laghi e sui loro bacini imbriferi, applicando modelli idrologici, termodinamici e analisi isotopiche.

L’approccio biologico consiste nella raccolta di dati storici chimici, fisici e biologici al fine di analizzare le serie storiche e i loro trend, gli eventi ecologici significativi e gli effetti ecologici dei cambiamenti climatici sui laghi alpini. Per questo Arpa Piemonte ha collezionato il maggior numero possibile di dati sui cambiamenti climatici nello Spazio Alpino. Mediante questa analisi è stato possibile produrre appropriati strumenti pratici al fine di aiutare i decisori locali a gestire e controllare gli effetti dei cambiamenti climatici.

L’approccio di tipo chimico-fisico consiste nella determinazione dei cambiamenti climatici sui laghi e i loro bacini imbriferi dal punto di vista degli aspetti idrologici e termodinamici, tempi di rimescolamento e di ritenzione. Applicando da una parte modelli idrologici e termodinamici e dall’altra l’analisi isotopica è stato possibile valutare trend del passato e creare scenari di future condizioni idrologiche e di rimescolamento.

In conclusione attraverso l’integrazione di dati biologici e idrologici e la creazione di scenari in relazione con i principali tipi di laghi è stato possibile descrivere i potenziali scenari provocati in futuro dai cambiamenti climatici. Sono state infine sottolineate per gli stakeholders le possibili strategie di adattamento, in accordo con le sfide che ogni realtà lacustre deve affrontare, in termini di gestione delle risorse idriche e protezione e salvaguardia dell’ambiente.



I partners e i laghi

Le autorità direttamente coinvolte nel WP4 sono le seguenti: per la Francia, Regione Rhône Alpes (lead partner del progetto); per l’Italia, l’Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Piemonte (WP4 lead partner) e l’Agenzia provinciale per la protezione dell’ambiente di Trento. Per la Germania, l’Institute of Lake Research, State Institute for Environment, Measurements and nature Conservation Baden-Württemberg; per l’Austria, il Regional

Government of Carinthia, Department Environment and il Joanneum Research, Forschungsgesellschaft mbH, Institute of Water Resource Management.

Syndicat Mixte du Lac d’Annecy/INRA (FR), Regione Lombardia (IT) e National Institute of Biology (SL) hanno contribuito mediante la fornitura di dati ambientali storici.

All’interno dei propri territori, ogni partner ha selezionato una serie di laghi e per ognuno di essi ha ricercato serie storiche di dati relativi alla qualità delle acque (dati chimici, fisici e biologici): questi dati hanno permesso di effettuare un’analisi statistica volta a scoprire le tendenze nel tempo. In particolare, i laghi oggetto di indagine sono indicati nella tabella successiva e nella mappa è possibile osservare la loro posizione geografica.

Regione/Provincia (Stato)	Nome del lago
Rhône-Alpes (Francia)	1 Lago Annecy
Piedmont (Italia)	2 Lago Avigliana Grande
	3 Lago Sirio
	4 Lago Viverone
	5 Lago Constance
Baden-Württemberg (Germania)	6 Lago Caldonazzo
Trento (Italia)	7 Lago Levico
	8 Lago Ossiacher See
Carinthia (Austria)	9 Lago Wörthersee
	10 Lago Klopeiner See

I laghi e i cambiamenti climatici

Impatti...

I cambiamenti climatici modificheranno le condizioni idro-morfologiche dei laghi; tuttavia la portata del cambiamento indotto dai cambiamenti climatici è relativamente ancora poco significativa paragonata all'impatto provocato dalle attività antropiche, ma, in futuro, i cambiamenti climatici potranno causare importanti cambiamenti a livello dell'idrologia lacustre e, allo stesso tempo, imporre modifiche in termini di uso del suolo all'interno del bacino imbrifero. Nei laghi, i cambiamenti idrologici sono espressi in termini di fluttuazioni più dinamiche come pure in cambiamenti significativi nel livello dell'acqua e nell'eutrofizzazione (Kernan et al., 2010).

Il riscaldamento globale ha causato modificazioni del regime termico dei laghi nel corso dei fenomeni di glaciazione nell'emisfero Nord (Magnuson et al., 2000), includendo tra l'altro:

- Anticipo del riscaldamento delle acque in primavera (Gronskaya et al., 2001)
- Aumento della temperatura sia in superficie sia negli strati più profondi dei corpi idrici lacustri (Endoh et al., 1999)
- Aumento del periodo in cui i laghi hanno una temperatura superiore a 10°C, in estate (Jarvet, 2000);
- Diminuzione dello spessore e della presenza di ghiaccio nel tempo (Todd and Mackay, 2003)



Una importante indagine sui fiumi e sui laghi localizzati nell'emisfero Nord dal 1846 al 1995 effettuata da Magnuson et al. (2000), ha rilevato significativi trends relativi ad un anticipo di rottura del ghiaccio e ad un ritardo della sua formazione, fornendo importanti informazioni circa lo sviluppo dei cambiamenti climatici negli ultimi 150 anni. I tempi di rottura del ghiaccio del lago sono di significativa importanza dal punto di vista ecologico in quanto la scomparsa della copertura di ghiaccio influisce sulla produzione e sulla composizione della comunità fitoplanctonica e sul verificarsi della mortalità a livello ittico (Weyhenmeyer, 2006).

Anche il ciclo di nutrienti nei sistemi acquatici sarà modificato dalla temperatura più mite, come pure il periodo di fioritura algale, che nei grandi laghi svedesi, si verifica 1 mese prima rispetto agli anni '70 (Weyhenmeyer, 2001).

Gli impatti dei cambiamenti climatici sui laghi causerà, a sua volta, un significativo impatto sulle attività umane, come la pesca, la domanda idrica, il turismo, l'energia idroelettrica, la navigazione.

Temperature dell'acqua più elevate porteranno alla progressiva riduzione degli habitat termici per i pesci, che si sposteranno verso habitat più adatti. Una riduzione delle precipitazioni potrà portare a stress idrici, e di conseguenza causare problematiche legate alla fornitura di acqua per l'agricoltura, la navigazione e la gestione dei porti.

In aggiunta, gli eventi meteorologici straordinari potranno causare danni in termini di erosione del suolo, portando carichi di nutrienti e sedimenti nei laghi, danneggiandoli a livello qualitativo. Un improvviso evento meteorologico potrebbe anche causare danni alla silvicoltura sulle rive dei laghi, in particolare nei parchi o in altre aree di grande valore naturalistico. I laghi alpini sono particolarmente utilizzati dal punto di vista turistico / ricreativo: da una parte estati più lunghe porteranno ad un maggiore utilizzo delle strutture turistiche, dall'altra parte si dovrà prestare maggiore attenzione alla qualità delle acque e alla diffusione di specie invasive.

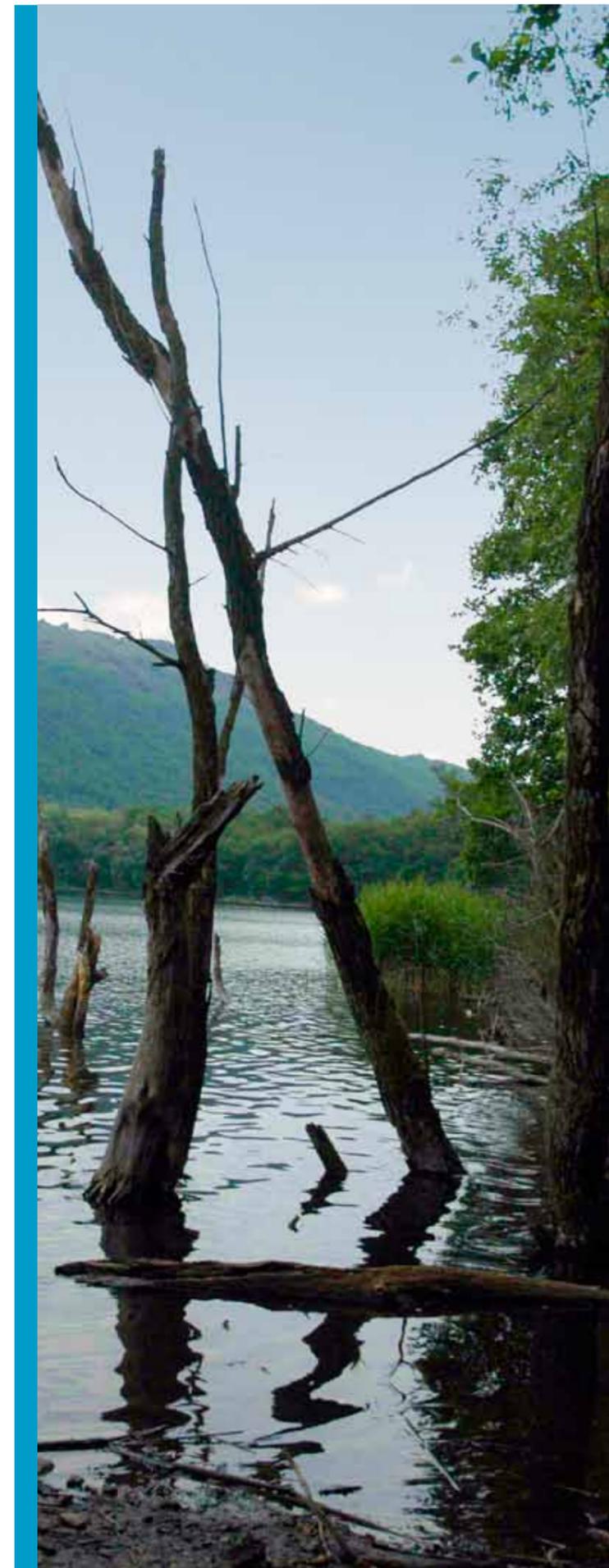
...e adattamenti

Il processo di adattamento ai cambiamenti climatici, complementare al processo di mitigazione, riduce le conseguenze del riscaldamento globale (IPCC, 2007). Molti impatti del cambiamento climatico sull'ecosistema lacustre possono infatti essere efficacemente affrontati attuando strategie di adattamento, che in particolar modo contrastano gli effetti a breve termine, mentre aumentando la portata dell'impatto del cambiamento climatico le opzioni per un adattamento efficace si rendono complesse e richiedono elevati costi. L'applicazione di strategie di adattamento richiede know-how tecnico, finanziamenti, coordinamento tra le azioni dei singoli operatori (per esempio, agricoltori) e le politiche di gestione (ad esempio, gestione delle risorse idriche), e richiede volontà politica e presenza di adeguate strutture istituzionali (ad esempio, operanti nella gestione del rischio).

Il processo di adattamento ai cambiamenti climatici per l'ecosistema periacquale può essere di tipo naturale (resilienza) o strutturale. Quest'ultimo si differenzia a sua volta in due tipologie: adattamento di tipo infrastrutturale e tecnologico, caratterizzato da tempi lunghi e maggiori investimenti, e quello denominato "soft", cioè un sistema di tipo non strutturale basato sulla ottimizzazione della gestione delle risorse e sulla prevenzione dei rischi. Ad esempio, le opzioni di adattamento per la fornitura di acqua da un lato potrebbero comportare il riutilizzo della risorsa stessa, il trasporto, la costruzione di dighe e lo stoccaggio dell'acqua (tipo infrastrutturale), e dall'altro l'ottimizzazione in termini di gestione della domanda e delle regole operative per lo sviluppo delle infrastrutture (soft).

In generale, l'adattamento può essere efficace per ridurre (alcuni) impatti dei cambiamenti climatici.

Ma l'adattamento non è un compito facile: in diversi settori economici, il cambiamento climatico dovrebbe essere già incluso nel quadro di un processo decisionale, soprattutto nella fase preparatoria. A causa della variabilità e dell'incertezza ancora esistente nell'ambito dei cambiamenti climatici, una strategia di adattamento inadeguato potrebbe talvolta peggiorare la situazione; si dovrebbero quindi proporre strategie innovative di adattamento al fine di prevenire e preservare gli ecosistemi oggetto dei cambiamenti climatici. Le strategie di adattamento "soft" risultano essere migliori rispetto a quelle di tipo "infrastrutturale e tecnologico", poiché in grado di gestire al meglio l'incertezza. In realtà, le strategie di adattamento di tipo "soft" dovrebbe essere considerate molto seriamente ed essere argomento di ulteriori approfondimenti, in quanto, rispondendo alle esigenze di enti locali, comportano benefici ambientali, anche su larga scala, e la creazione di importanti sinergie con le politiche di sostenibilità ambientale. Queste forme di adattamento, se da un lato sono più facilmente realizzabili, richiedono la formazione di un contesto sociale e culturale attivo, insieme con la capacità di creare strumenti di governance.



Guida alla consultazione delle schede lago

Nelle schede lago è possibile trovare una serie di informazioni sul lago, sulla sua evoluzione e sugli scenari climatici per l'area di interesse. Le informazioni aggregate sono il risultato della analisi statistica applicata ai dati raccolti. Quindi, per ulteriori informazioni, fare riferimento alle altre pubblicazioni dettagliate o alle pubblicazioni specifiche pubblicate dalle autorità competenti.

I laghi sono inseriti secondo un ordine geografico, da ovest a est.

Ogni foglio contiene le seguenti sezioni:

Il lago

Questa sezione contiene una breve descrizione del lago, i principali dati morfometrici e idrologici che lo caratterizzano (Carta d'identità) e il suo bacino idrografico.

Bacino imbrifero: bacino del lago espresso in km².

Area del lago: superficie del lago espressa in km².

Massima profondità: profondità massima del lago espressa in m.

Profondità media: profondità media del lago espressa in m e calcolata come il volume del lago diviso per la sua superficie.

Volume: volume del lago espresso in milioni di metri cubi.

Altitudine media: altezza media del lago espressa in metri sopra il livello del mare.



Tempo di residenza: il tempo medio di ritenzione di acqua nel lago.

Tempo di riempimento: il tempo necessario per riempire il bacino lacustre svuotato.

Stato trofico del lago: il grado di fertilità di un lago.

Le immagini mostrano la posizione del lago nell'intero spazio alpino e la posizione del punto di monitoraggio del lago e della stazione meteorologica, entrambe utilizzate per l'analisi dei cambiamenti climatici nella zona dei laghi.

Scenari "Climate Driven"

Scenari di precipitazione e temperatura riferiti al periodo 2001-2050 nella zona interessata dal lago, calcolati utilizzando il dataset E-OBS e la Tecnica Multimodel SuperEnsemble (per gli scenari di temperatura dell'aria) e la probabilistica Multimodel Dressing SuperEnsemble (per gli scenari di precipitazione).

Evoluzione lacustre

Informazioni sulle principali tendenze dei "climate driven" (temperatura dell'aria e precipitazioni) e sulle principali tendenze della temperatura dell'acqua, attraverso l'analisi di regressione lineare calcolata in inverno (media dei mesi di dicembre, gennaio e febbraio) e in estate (media dei mesi di giugno, luglio e agosto), fatta eccezione per l'analisi della temperatura dell'acqua per i laghi del Trentino e per i laghi austriaci, per i quali tale analisi è stata possibile utilizzando i dati mensili.

Modello ecologico

Le risposte delle comunità di fitoplancton e zooplancton alle pressioni antropiche spesso forniscono l'indicazione più visibile di un cambiamento a lungo termine della qualità dell'acqua. La comunità di plancton reagisce ottimamente alle fluttuazioni improvvise di temperatura, ma può essere sensibile ai cambiamenti stagionali su lungo periodo. Al fine di comprendere meglio la sensibilità del fitoplancton

ai cambiamenti climatici, sono stati applicati due modelli: uno omogeneo e un modello a due strati. I modelli sono stati applicati ai seguenti laghi: lago di Annecy, lago di Viverone, lago Sirio, lago di Avigliana Grande, lago di Caldonazzo, Lago Levico e lago Wörthersee.

Modello idrodinamico

per una migliore comprensione dei cambiamenti indotti sulle proprietà fisiche dai cambiamenti climatici in un lago alpino è stata applicata ai laghi alpini un modello idrodinamico, uno-dimensionale e verticale. In primo luogo, il modello è stato calibrato attraverso dati meteorologici reali e le rispettive misure di temperatura dell'acqua. Questo ha garantito di attenersi alla realtà matematica lacustre ed è stata la condizione necessaria a condizione necessaria per proiezioni fisiche future. In una seconda fase, il modello è stato forzato da scenari climatici diversi. I parametri temperatura dell'aria, umidità, velocità del vento, e copertura



di nuvole sono stati modificati per avere un'idea della sensibilità lacustre a un cambiamento climatico. I risultati mostrano una elevata sensibilità dei modelli di circolazione nei laghi. Questo modello è stato applicato al Lago di Viverone, al Lago di Costanza e al lago Wörthersee.

Modellistica idrologica e analisi degli isotopi

il bilancio idrico dei laghi e il tempo di permanenza delle acque nel lago sono molto sensibili alle variazioni della temperatura dell'aria e delle precipitazioni.

Modelli semi-distribuiti rainfall-runoff sono stati applicati a 3 laghi della Carinzia con l'obiettivo di simulare i cambiamenti del passato e sviluppare scenari per il rinnovo

del volume del lago a seconda dell'uso del territorio, delle condizioni climatiche e l'evaporazione del lago.

L'applicazione di isotopi ambientali dà la possibilità unica di ottenere conoscenze dirette nella dinamica dell'acqua e il comportamento di circolazione dei laghi. Gli isotopi ambientali stabili ossigeno-18 e deuterio sono stati utilizzati per fornire informazioni circa l'origine dell'acqua, dei processi di evaporazione e rimescolamento mediante l'individuazione di perdite dai laghi alle sorgenti o di afflussi di acque sotterranee.

L'isotopo radioattivo Trizio come residuo delle precipitazioni dai test atmosferici bomba utilizzato negli anni '60 e '70 del secolo scorso in combinazione con il suo decadimento di elio, è stato utilizzato per determinare il tempo medio di residenza delle acque del lago nelle parti più profonde. I risultati hanno dato un tempo medio di residenza di 9,5 anni per Wörthersee, 1,5 anni per la Ossiacher See e 6,8 anni per Klopeiner See (laghi a cui questa indagine è stata applicata).

Il modello idrologico in combinazione con le indagini isoto-

piche rappresenta uno strumento molto utile per valutare i cambiamenti del rinnovamento e del tempo di riempimento delle acque del lago come conseguenza di modifiche ambientali (clima, uso del suolo) e per comprendere meglio il comportamento di circolazione in laghi.

Indagine sulla temperatura e la circolazione dell'acqua

Indagine sulla temperatura dell'acqua e la circolazione dell'acqua: un'indagine dettagliata sulla temperatura delle acque superficiali e sull'evoluzione della stratificazione termica è stata applicata ai laghi austriaci (Wörthersee, Klopeinersee, Ossiachersee).



Lago di Annecy

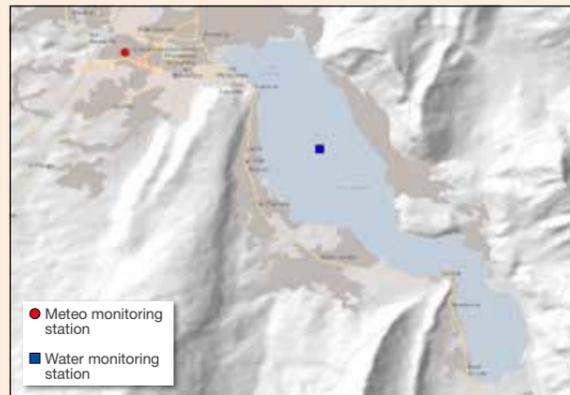
Il lago

Il Lago di Annecy (Alta Savoia, 74) è il secondo lago naturale francese per dimensione. Alla fine degli anni '50, a causa del costante aumento di pressioni antropiche, il Lago di Annecy, insieme con altri due laghi subalpini, mostrò i primi segni di eutrofizzazione. Tuttavia, nel 1962, rappresentanti locali decisero di iniziare la costruzione di una ampia rete di drenaggio per allontanare le acque reflue dal bacino del lago. Per un certo limitato periodo le acque inquinate erano trattate e scaricate nel

lago. Il periodo ad alto contenuto di nutrienti è stato quindi relativamente breve e il lago è attualmente considerato oligotrofico. Le sue acque sono molto chiare, contengono un buon livello di ossigeno e c'è un'alta biodiversità a livello di gruppi biologici presenti (fitoplancton, zooplancton, pesci). Infatti, la qualità dell'acqua è talmente buona che può essere usata come acqua potabile per la maggior parte delle città del circondario (30000 m³ vengono prelevati ogni giorno).

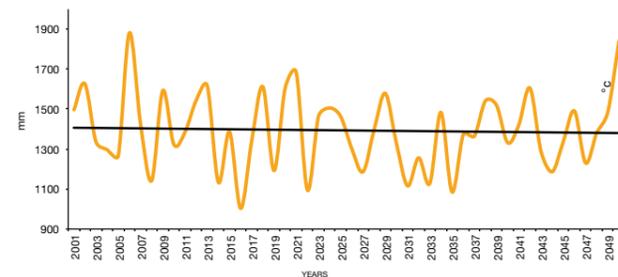
Carta d'identità

Bacino Imbrifero	270	km ²
Area del Lago	27	km ²
Profondità Massima	65	m
Profondità Media	41	m
Volume	1124,5	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	447	m s.l.m.
Tempo di residenza	3,8	anni
Immissari	-	m ³ /a
Emissari	8	m ³ /a
Stato trofico del lago	Oligotrofico	

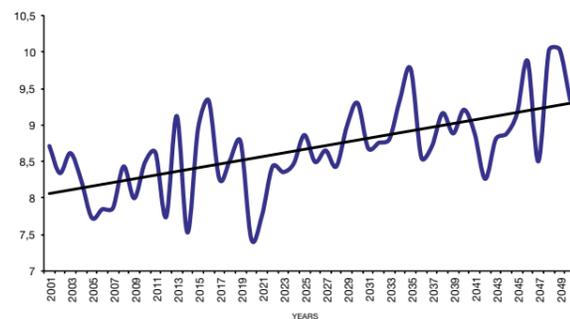


"Climate driven" scenario 2001 - 2050

Precipitazione



Temperatura

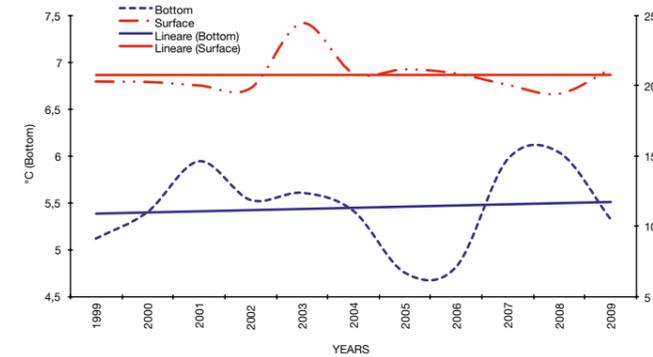


	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	- 116	- 73,2	- 118	- 27
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,14	+ 0,51	+ 0,92	+ 1,25

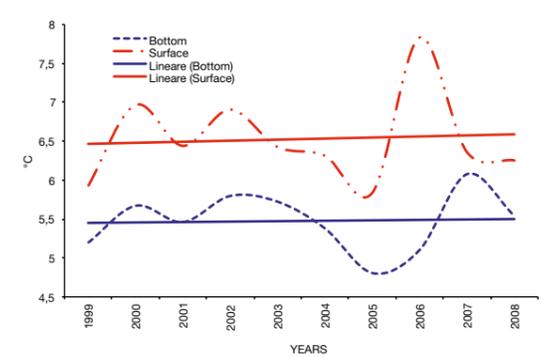
Trend storici

Temperatura dell'acqua

Estate (JJA)



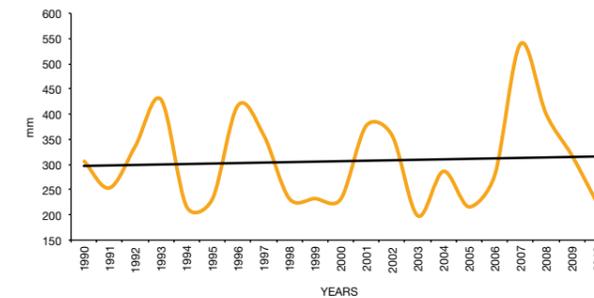
Inverno (DJF)



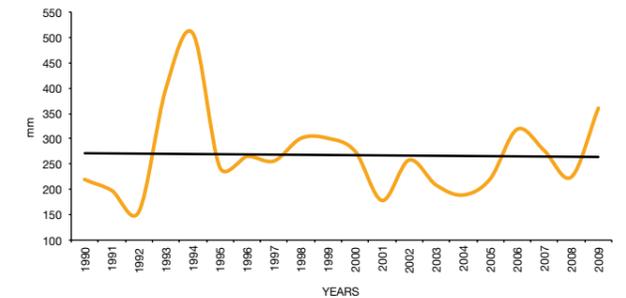
Periodo: 1999 - 2010		
Tasso: °C per decade		
	JJA	DJF
Superficie	+ 0.009	+ 0,13
Fondo	+ 0,12	+ 0,05

Precipitazione

Estate (JJA)



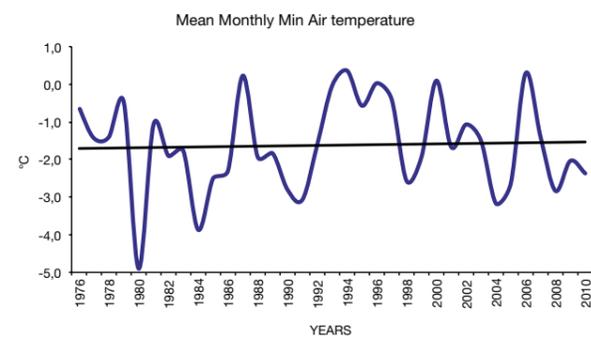
Inverno (DJF)



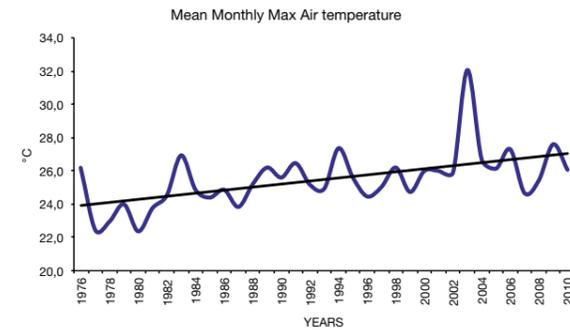
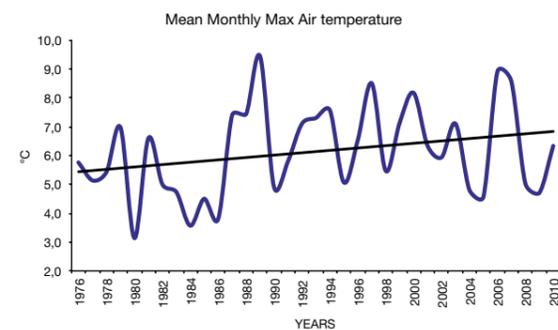
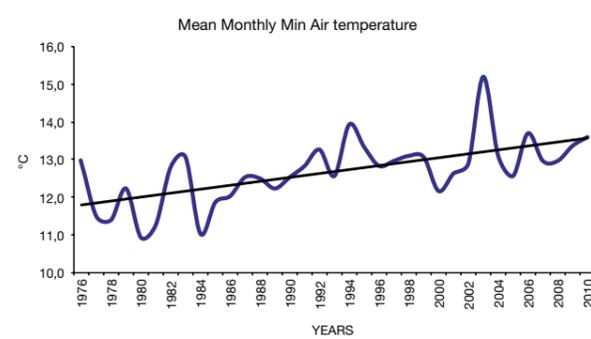
Periodo: 1999 - 2010		
Stazione Cran - Gevrier		
Tasso: mm per decade		
	JJA	DJF
	+ 9,4	- 3,80

Temperatura dell'aria

Estate (JJA)

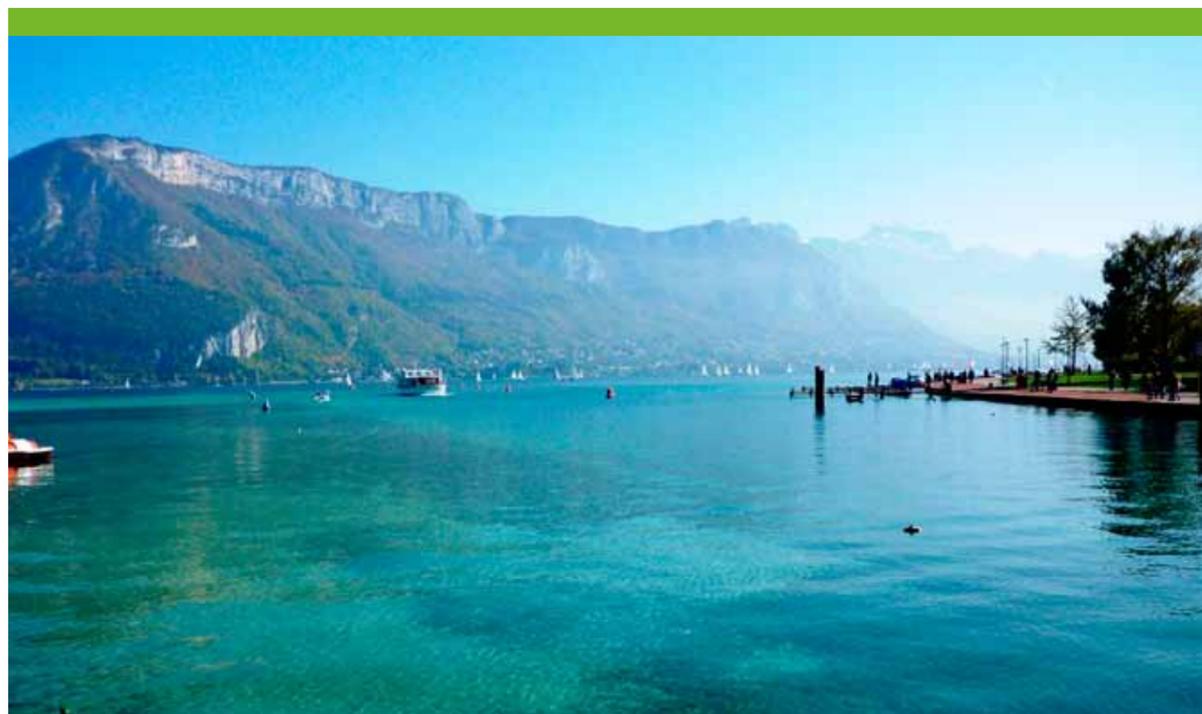


Inverno (DJF)



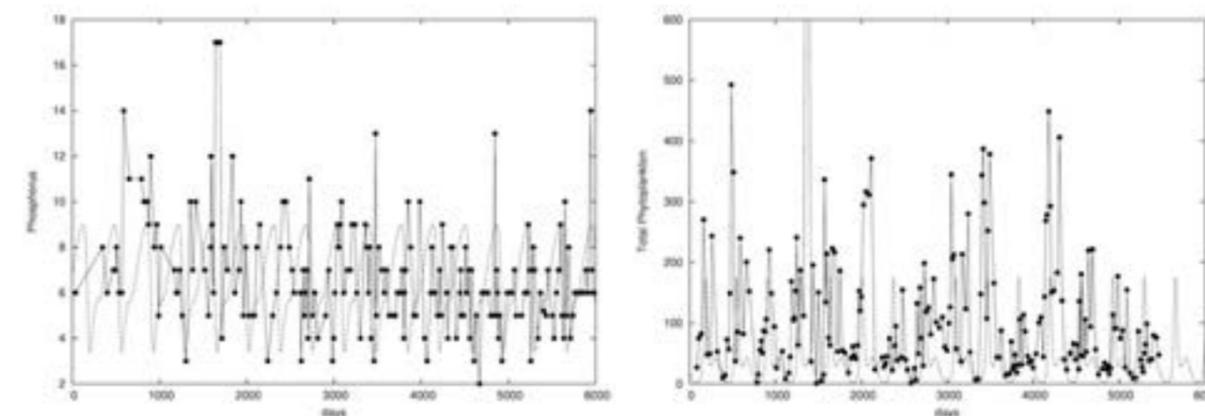
Periodo: 1976 - 2010		
Stazione Cran - Gevrier		
Tasso: °C per decade		
	JJA	DJF
Media Mensile Temperatura Min dell'aria (°C)	+ 0,5	+ 0,05
Media Mensile Temperatura Max dell'aria (°C)	+ 0,9	+ 0,40

Fonte dei dati:
SILA INRA, for lake monitoring data
Meteo-France - SILA, for meteorological data

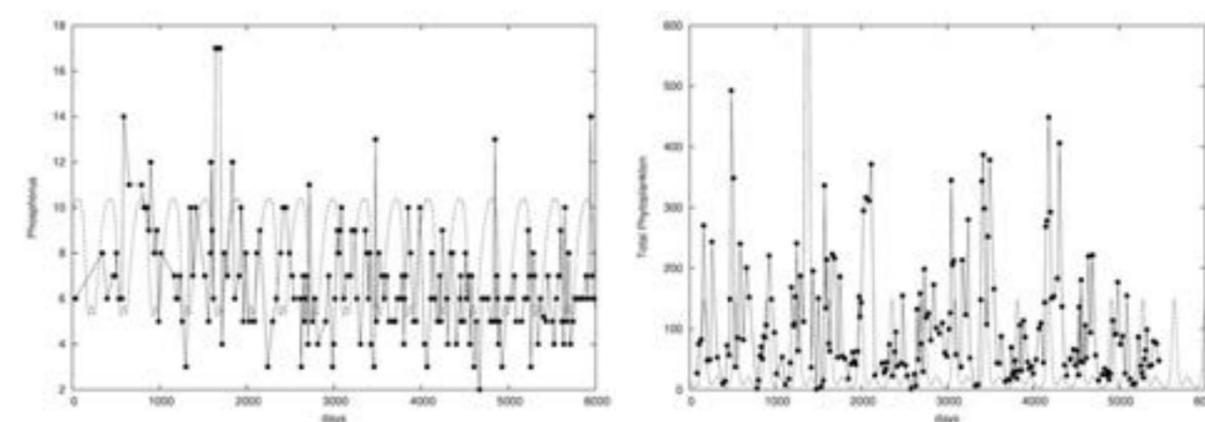


Modello Ecologico

Modello omogeneo



Modello a due strati



Concentrazione di fosforo totale in μg - P/L dalle misurazioni effettuate ad una profondità di 10 m (punti e linee di connessione) e dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata).

Concentrazione del fitoplancton totale misurato (punti e linee di connessione) e concentrazione di fitoplancton generata dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in μg - P/L, assumendo un rapporto carbonio/biomassa di $R=0.2$.

Effetti della temperatura e cambiamenti ambientali

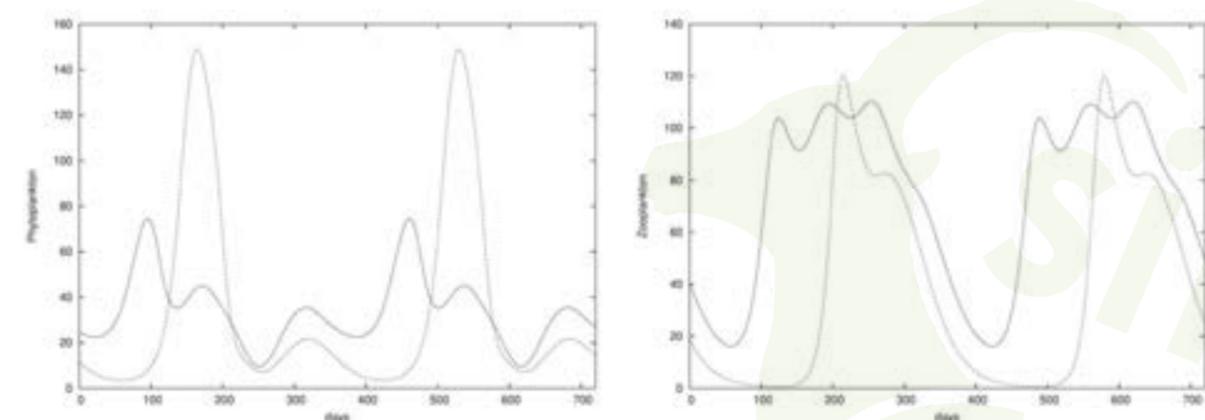


Immagine di sinistra: confronto tra la concentrazione di fitoplancton derivata dal modello a due strati nello strato superiore derivante da turbolenti scambi invernali più veloci tra i due strati, $\mu=0.2 \text{ day}^{-1}$, e temperature estive più calde (+ 3°C) (linea solida) e condizioni attuali (linea tratteggiata). Immagine di destra: lo stesso per la concentrazione di zooplankton. Le concentrazioni sono in μg - P/L.
Temperature maggiori e uno scambio tra i due strati più intenso portano a una diminuzione della concentrazione massima di fitoplancton durante il bloom e a concentrazioni più alte nel periodo tra un bloom e il successivo, mentre la concentrazione di zooplankton non è quasi influenzata nei picchi ed è in aumento nei periodi temporali tra i due bloom. Inoltre, si segnala un significativo aumento del compartimento dei pesci.



Lago Grande di Avigliana

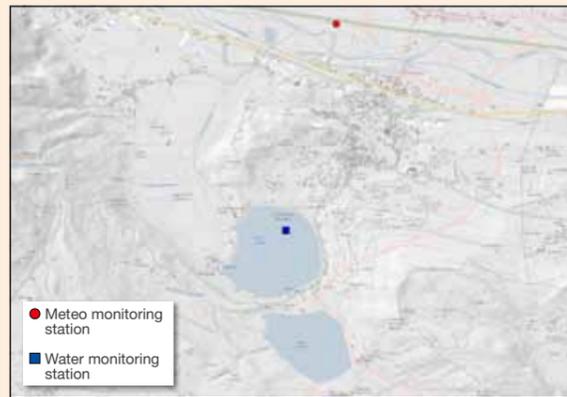
Il lago

Il Lago Grande di Avigliana è localizzato all'interno del Parco Naturale Laghi di Avigliana. Il turismo si è significativamente sviluppato all'interno dell'area intorno ai laghi negli ultimi anni.

L'area è di notevole pregio per ragioni storiche e naturalistiche: a Nord-Ovest del lago è presente la Palude dei Mareschi, la zona umida italiana posta più a Ovest.

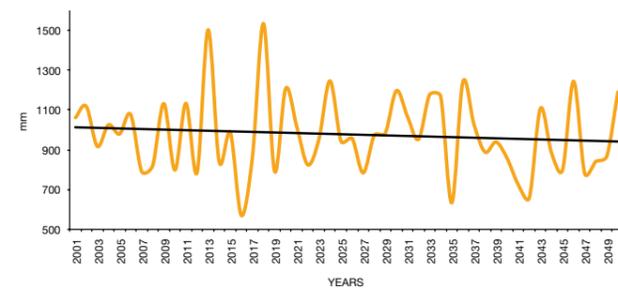
Carta d'identità

Bacino Imbrifero	11,5	km ²
Area del Lago	0,89	km ²
Profondità Massima	26	m
Profondità Media	19,5	m
Volume	17,2	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	346	m s.l.m.
Tempo di residenza	2,3	anni
Immissari	-	m ³ /a
Emissari	-	m ³ /a
Stato trofico del lago	Eutrofico	

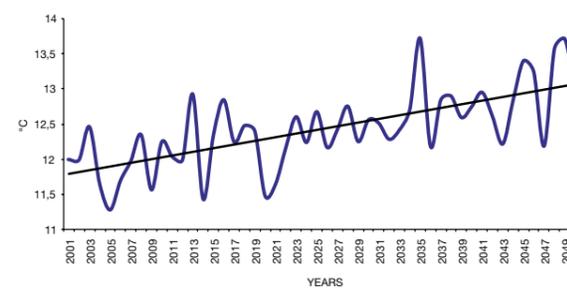


"Climate driven" scenario 2001 - 2050

Precipitazione



Temperatura

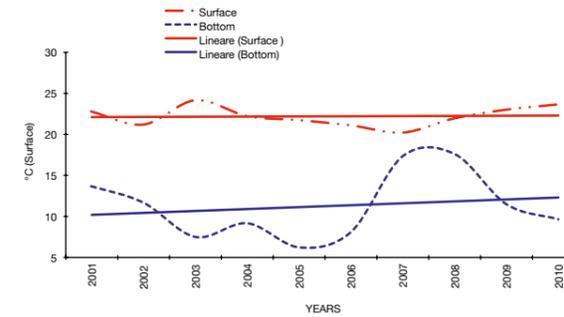


	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	+ 31,6	+ 11,7	- 4	- 70
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,42	+ 0,6	+ 0,96	+ 1,3

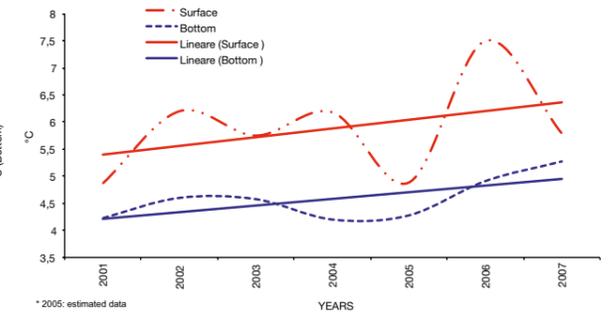
Trend storici

Temperatura dell'acqua

Estate (JJA)



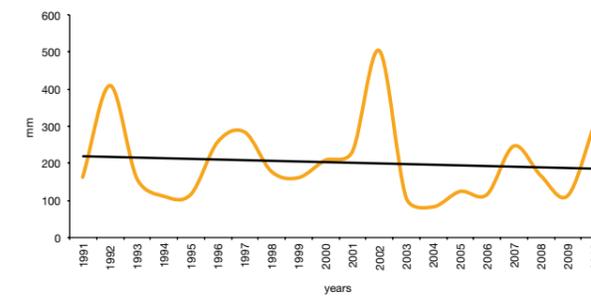
Inverno (DJF)



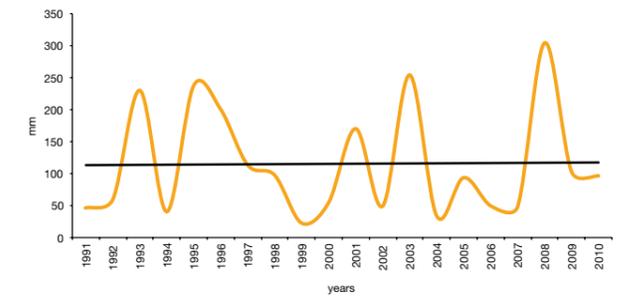
	Periodo: 2001 - 2010	
	Tasso: °C per anno	
	JJA	DJF
Superficie	+ 0,02	+ 0,16
Fondo	+ 0,03	+ 0,12

Precipitazione

Estate (JJA)



Inverno (DJF)

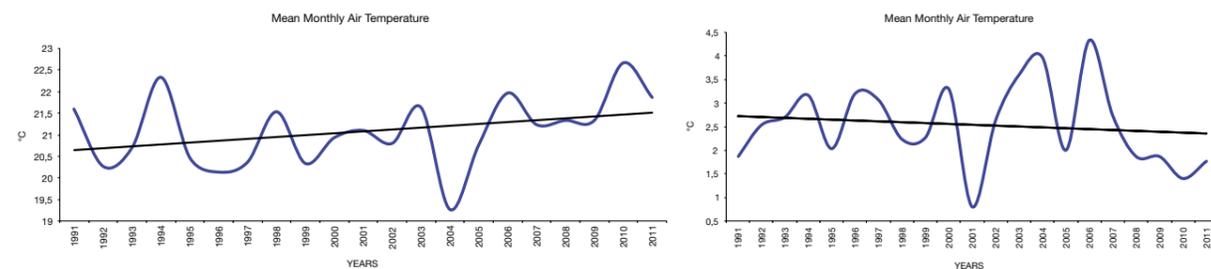


	Periodo: 1991 - 2011	
	Stazione Avigliana	
	Tasso: °C per decade	
	JJA	DJF
	+ 17,64	- 2,18

Temperatura dell'aria

Estate (JJA)

Inverno (DJF)



Periodo: 1991 - 2011

Stazione Avigliana

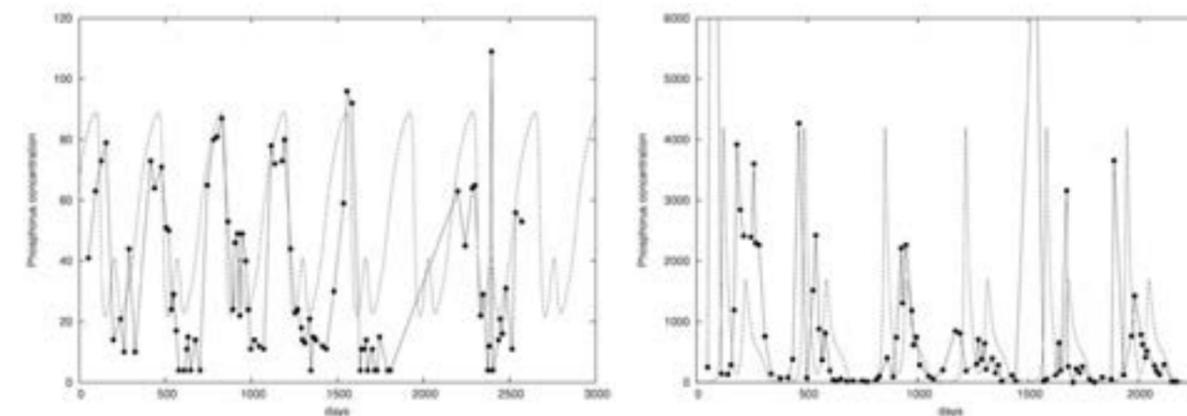
Tasso: °C per decade

JJA	DJF
- 0,18	+ 0,43

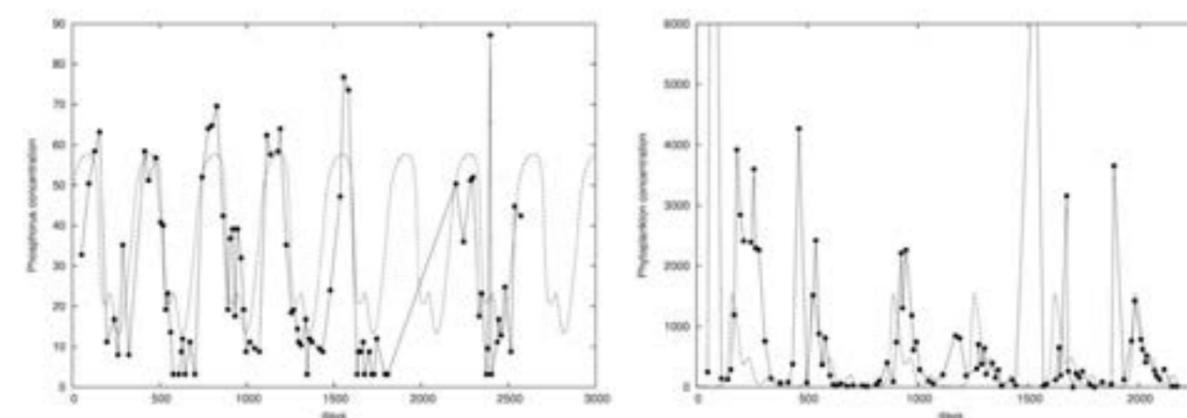


Modello Ecologico

Modello omogeneo



Modello a due strati



Concentrazione di fosforo totale in $\mu\text{g} - \text{P/L}$ dalle misurazioni effettuate ad una profondità di 10 m (punti e linee di connessione) e dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata).

Concentrazioni di *chlorophyceae* misurate (punti e linee di connessione) e concentrazione di fitoplancton generata dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in $\mu\text{g} - \text{P/L}$, assumendo un rapporto carbonio/biomassa di $R=0.2$, assumendo un raggio cellulare equivalente a $10 \mu\text{m}$.

Effetti della temperatura e cambiamenti ambientali

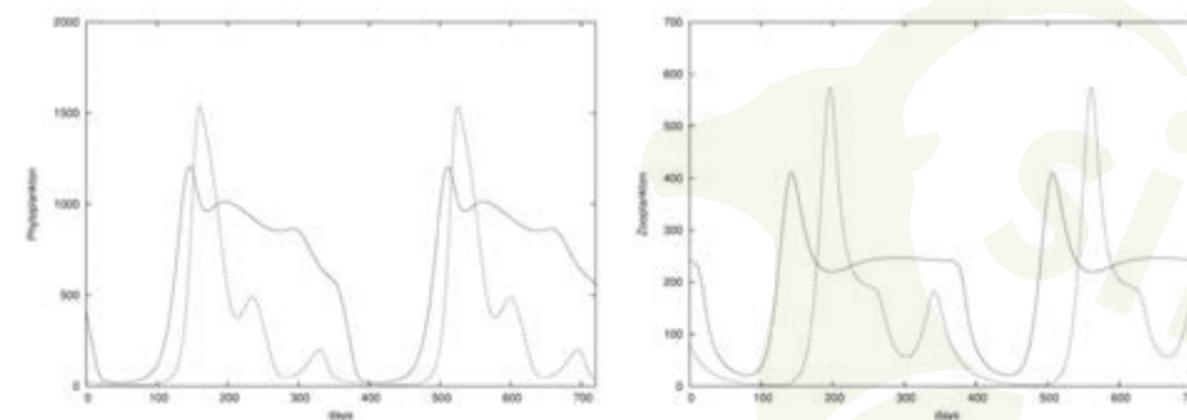


Immagine di sinistra: confronto tra la concentrazione di fitoplancton derivata dal modello a due strati nello strato superiore influenzata da scambi invernali più veloci tra i due strati, $\mu=0.2 \text{ day}^{-1}$, e temperature estive più calde ($+3^\circ\text{C}$) (linea solida) e condizioni attuali (linea tratteggiata). Immagine di destra: lo stesso per la concentrazione di zooplancton. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g} - \text{P/L}$. Temperature maggiori e uno scambio tra i due strati più intenso porta ad un lieve anticipo temporale del bloom di fitoplancton e zooplancton, con un lieve aumento della concentrazione massima e un significativo aumento del periodo con in cui è presente alta concentrazione di fitoplancton.



Lago Sirio

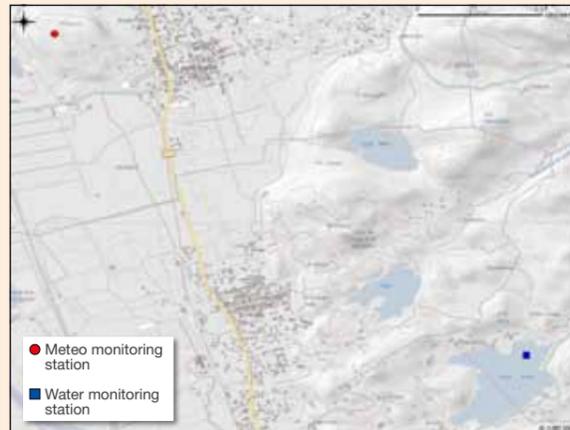
Il lago

Il Lago Sirio è localizzato all'interno del SIC (Sito di Importanza Comunitaria) "Laghi di Ivrea", nella regione biogeografica alpina vicino alle città di Chiaverano e Ivrea, nella parte settentrionale dell'anfiteatro morenico di Ivrea, sulla riva sinistra del

bacino del fiume Baltea. La bellezza del luogo è la principale particolarità del lago: è infatti collocato sul fianco di una collina modellata nel Pleistocene dal ghiacciaio Balteo.

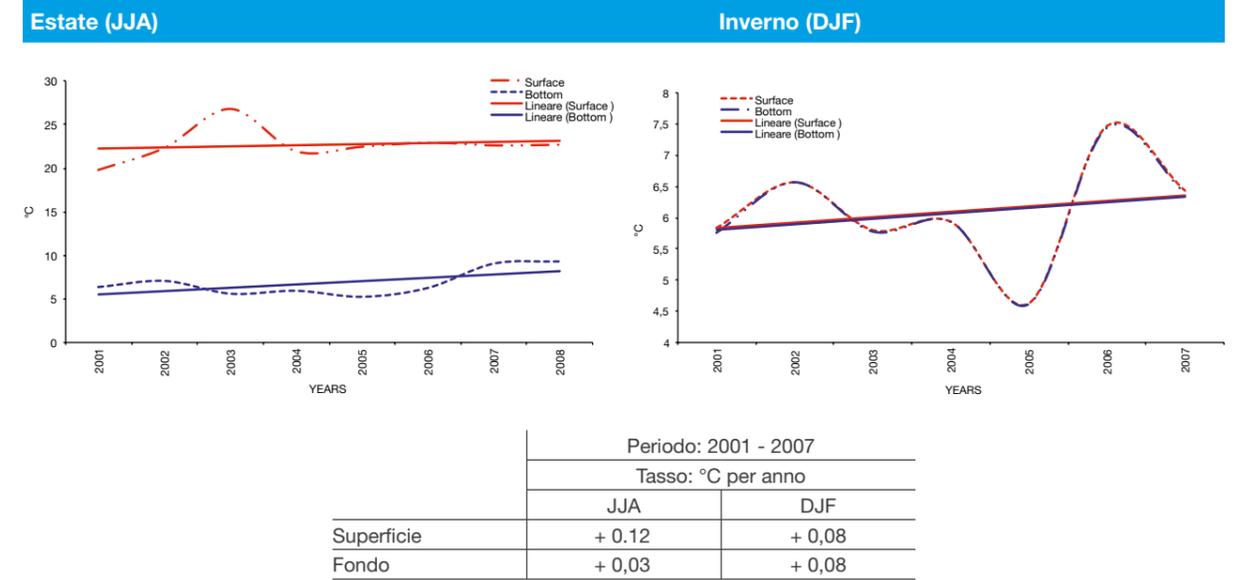
Carta d'identità

Bacino Imbrifero	1,4	km ²
Area del Lago	0,29	km ²
Profondità Massima	43,5	m
Profondità Media	18	m
Volume	5,24	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	266	m s.l.m.
Tempo di residenza	5,7	anni
Immissari	-	m ³ /a
Emissari	-	m ³ /a
Stato trofico del lago	meso-eutrofico	

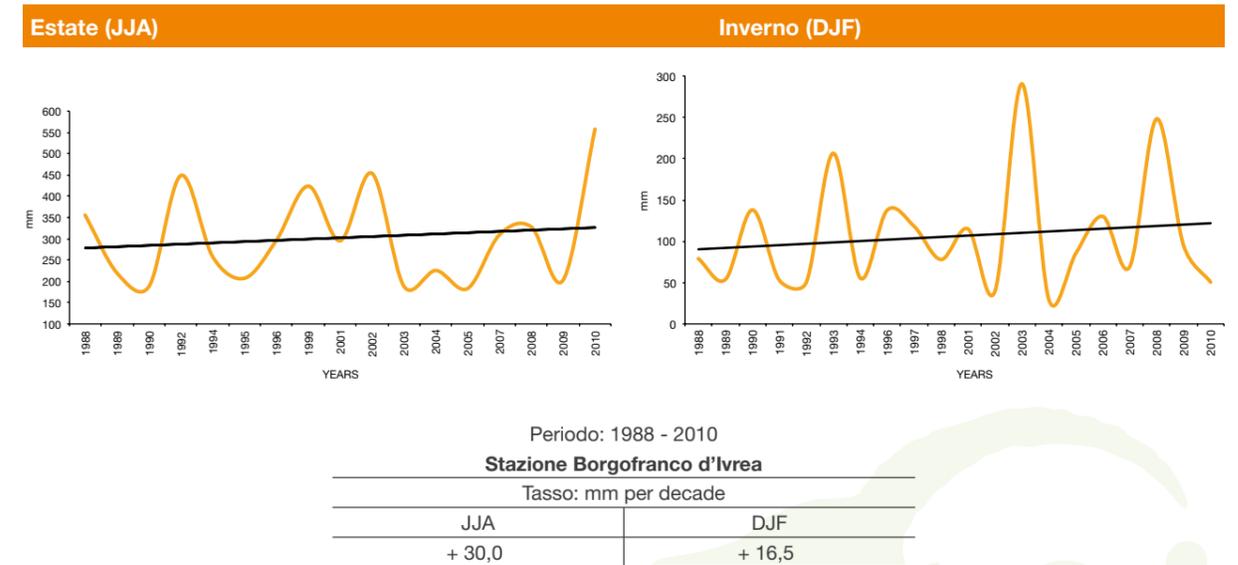


Trend storici

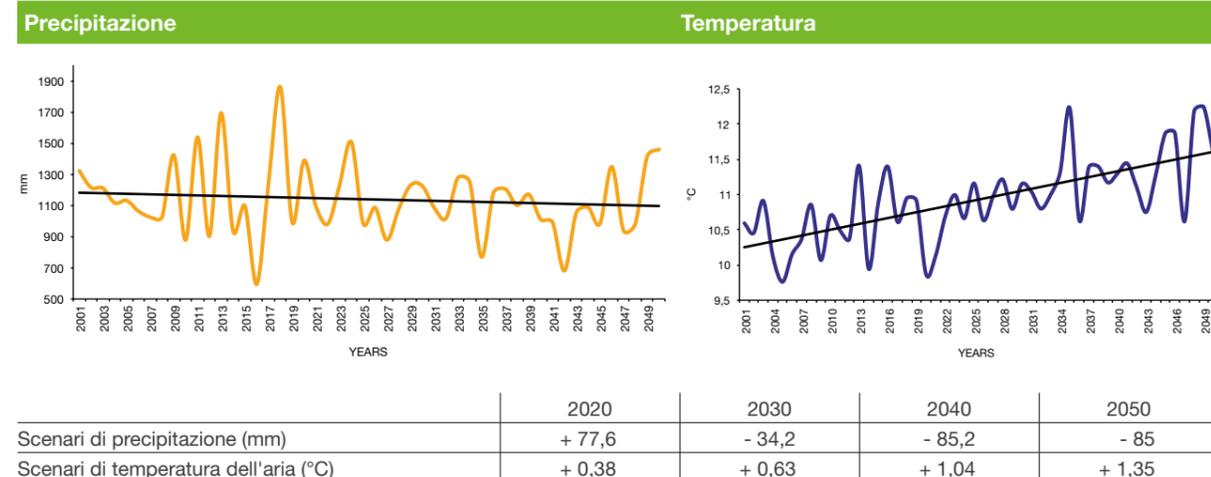
Temperatura dell'acqua



Precipitazione

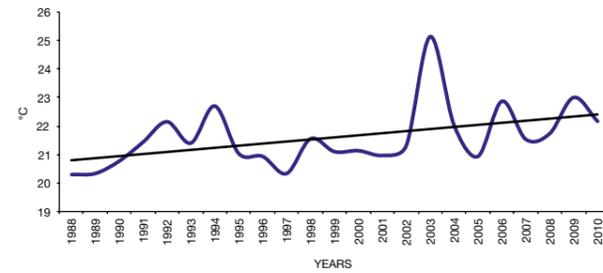


"Climate driven" scenario 2001 - 2050

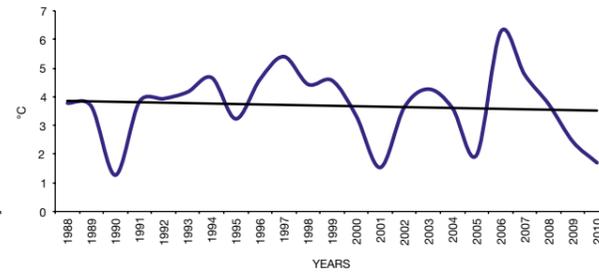


Temperatura dell'aria

Estate (JJA)



Inverno (DJF)

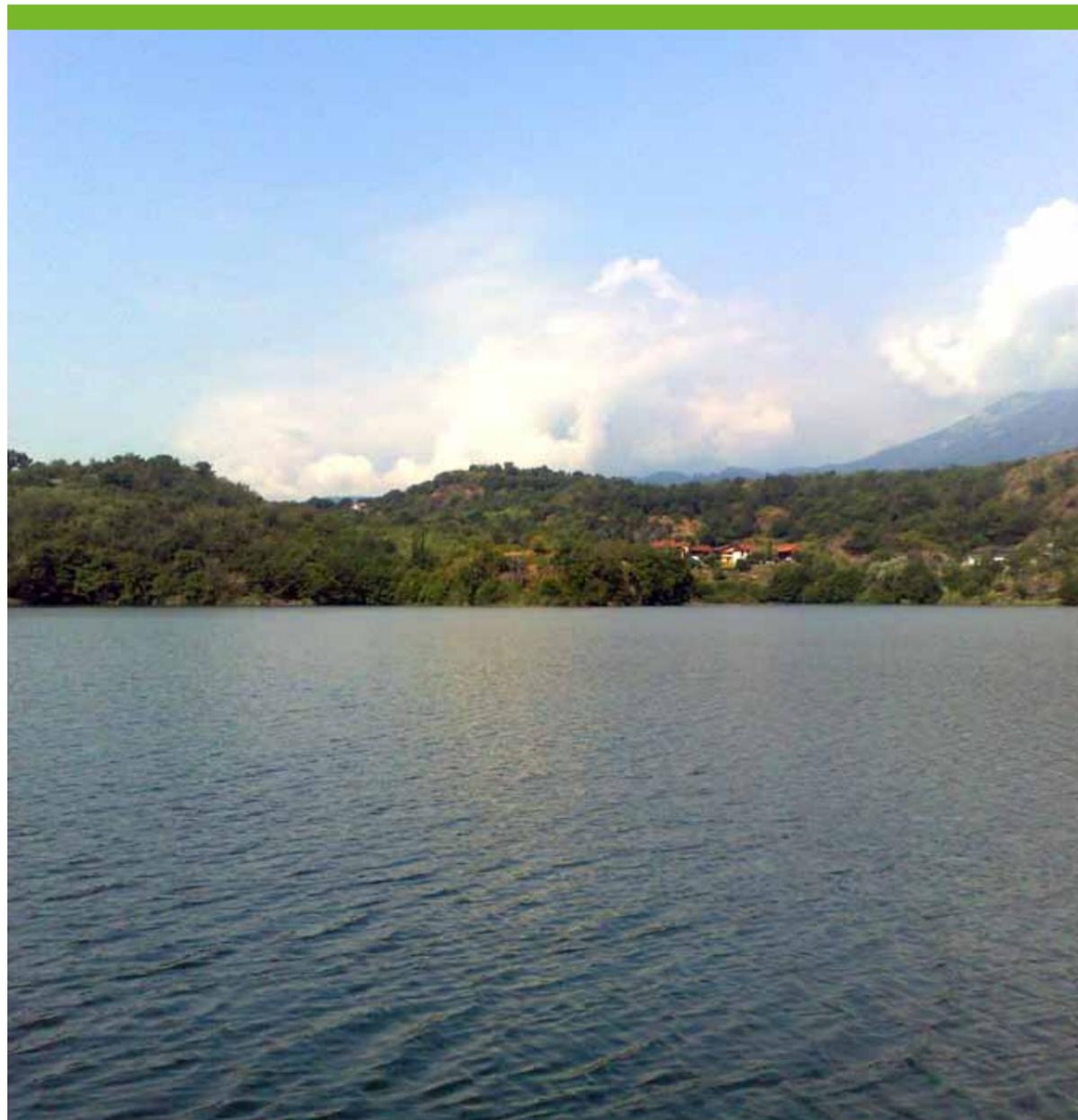


Periodo: 1991 - 2011

Stazione Borgofranco d'Ivrea

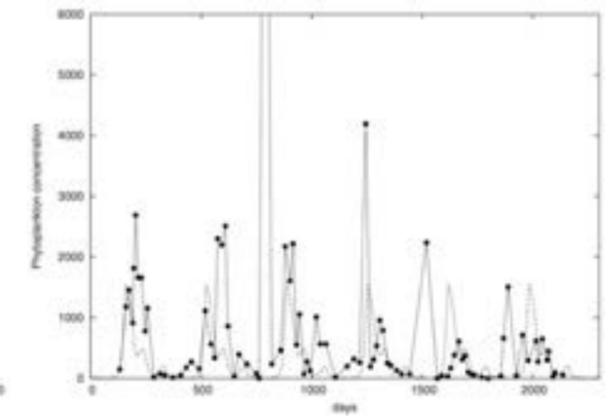
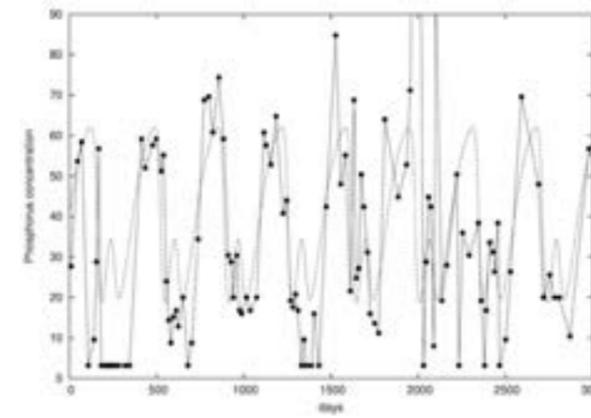
Tasso: °C per decade

JJA	DJF
+ 0,73	- 0,15

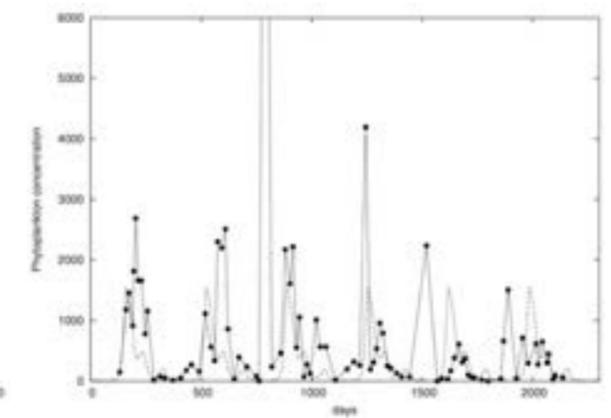
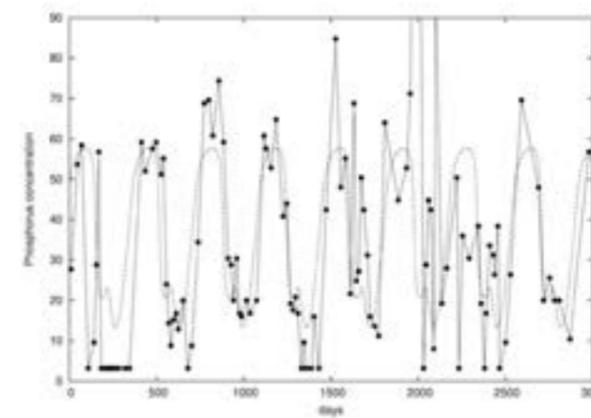


Modello Ecologico

Modello omogeneo



Modello a due strati



Concentrazione di fosforo totale in $\mu\text{g} - \text{P/L}$ dalle misurazioni effettuate ad una profondità di 10 m (punti e linee di connessione) e dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata).

Concentrazioni di *chlorophyceae* misurate (punti e linee di connessione) e concentrazione di fitoplancton generata dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in $\mu\text{g} - \text{P/L}$, assumendo un rapporto carbonio/biomassa $R=0.2$. La concentrazione è derivata dalla concentrazione di un numero di cellule assumendo un raggio equivalente di $10 \mu\text{m}$.

Effetti della temperatura e cambiamenti ambientali

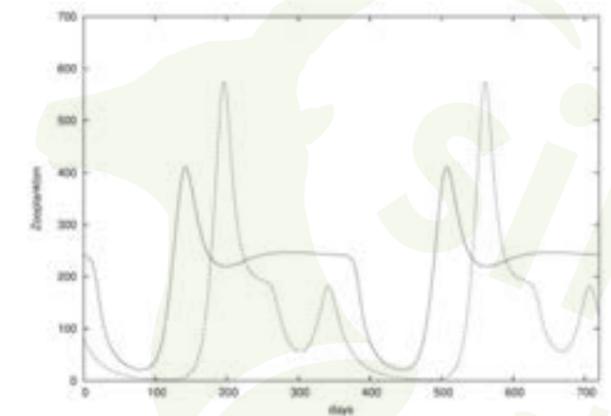
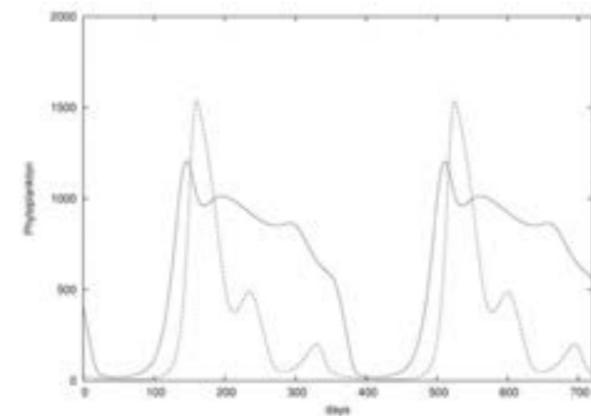


Immagine di sinistra: confronto tra la concentrazione di fitoplancton derivata dal modello a due strati nello strato superiore derivante da scambi invernali più veloci tra i due strati, $\mu=0.2 \text{ day}^{-1}$, e temperature estive più calde ($+3^\circ\text{C}$) (linea solida) e condizioni attuali (linea tratteggiata). Immagine di destra: lo stesso per la concentrazione di zooplancton. Le concentrazioni sono in $\mu\text{g} - \text{P/L}$. Temperature maggiori e uno scambio tra i due strati più intenso porta ad un lieve anticipo temporale dei bloom di fitoplancton e zooplancton, con un lieve aumento della concentrazione massima ma un significativo aumento del periodo con presenza di alta concentrazione di fitoplancton.



Lago di Viverone

Il lago

Il lago di Viverone (o d'Azeglio) è un lago di origine glaciale, situato tra le province piemontesi di Torino e Vercelli, in regione Piemonte (Italia), Sud-Est della

città di Ivrea. È il terzo lago per dimensioni a livello regionale.

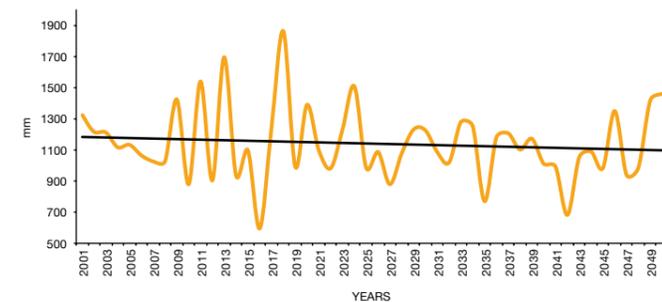
Carta d'identità

Bacino Imbrifero	49,3	km ²
Area del Lago	5,3	km ²
Profondità Massima	49	m
Profondità Media	27	m
Volume	149	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	449	m s.l.m.
Tempo di residenza	3,6	anni
Immissari	-	m ³ /a
Emissari	-	m ³ /a
Stato trofico del lago	Eutrofico	

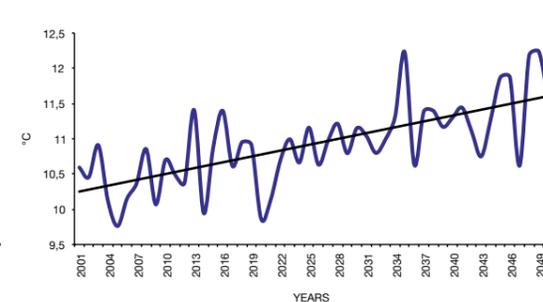


"Climate driven" scenario 2001 - 2050

Precipitazione



Temperatura

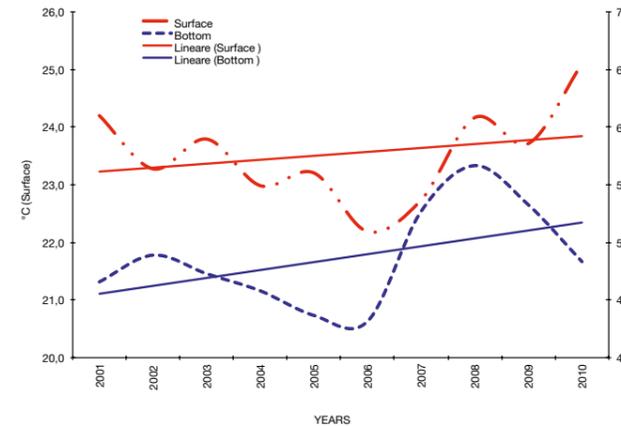


	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	+ 77,6	- 34,2	- 85,2	- 85
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,38	+ 0,63	+ 1,04	+ 1,35

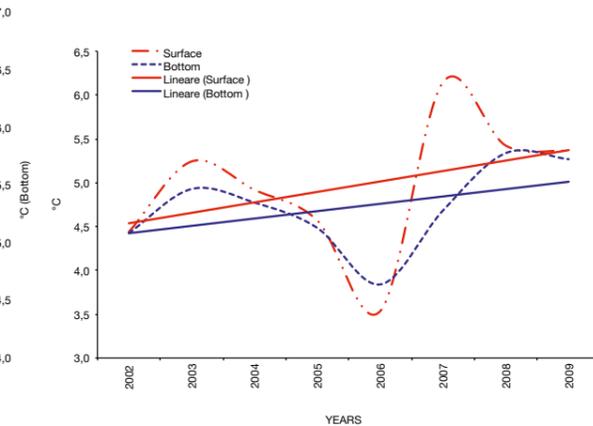
Trend storici

Temperatura dell'acqua

Estate (JJA)



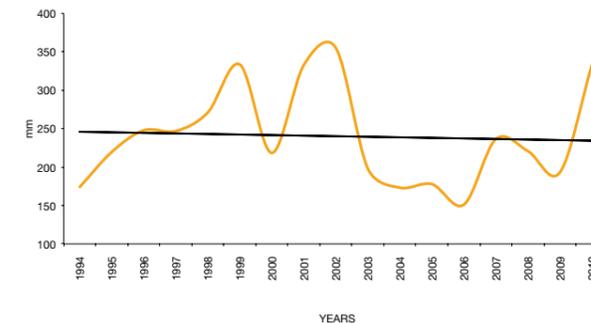
Inverno (DJF)



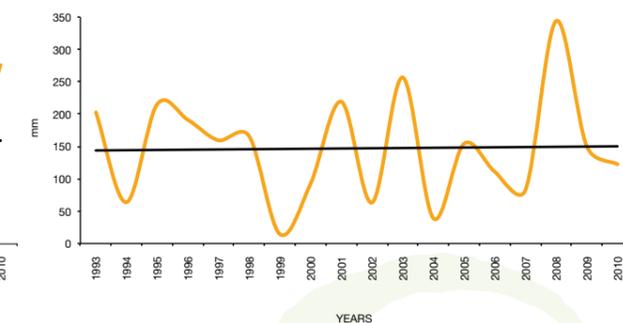
	Periodo: 2001 - 2007	
	Tasso: °C per anno	
	JJA	DJF
Superficie	+ 0,67	+ 0,68
Fondo	+ 0,11	+ 0,08

Precipitazione

Estate (JJA)



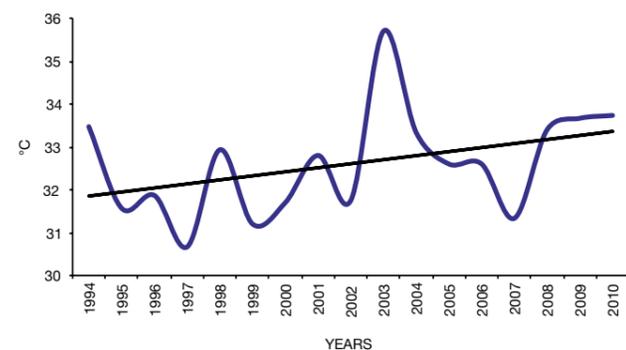
Inverno (DJF)



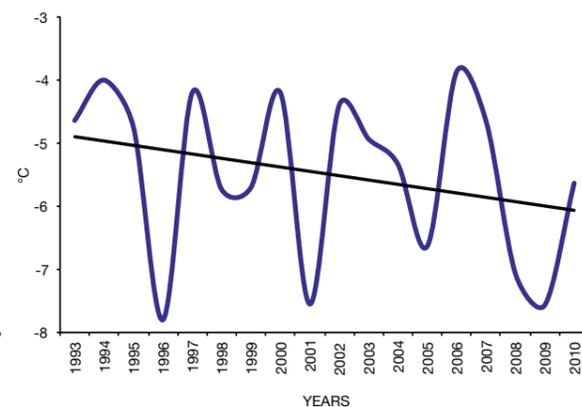
	Periodo: 1988 - 2010	
	Stazione Piverone	
	Tasso: mm per decade	
	JJA	DJF
	- 7,25	+ 3,74

Temperatura dell'aria

Estate (JJA)



Inverno (DJF)



Periodo: 1991 - 2011

Stazione Piverone

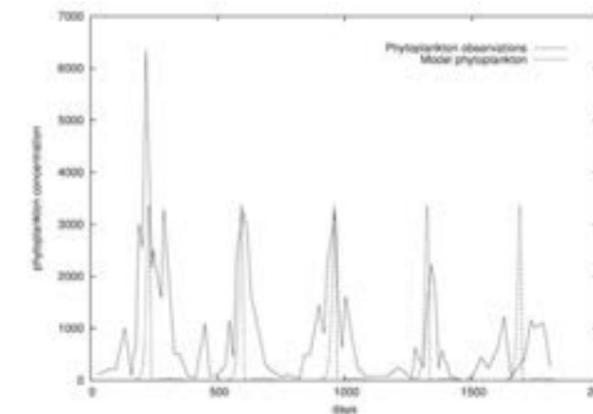
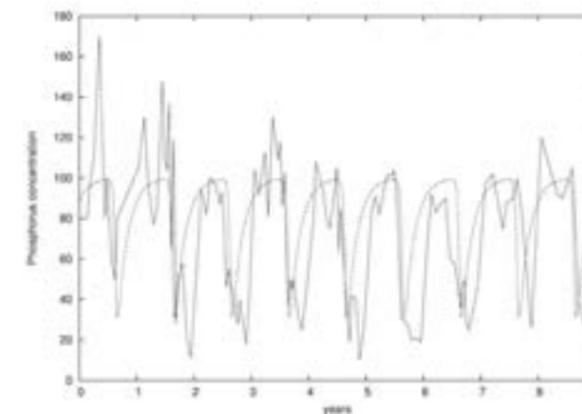
Tasso: °C per decade

JJA	DJF
+ 0,66	- 0,51

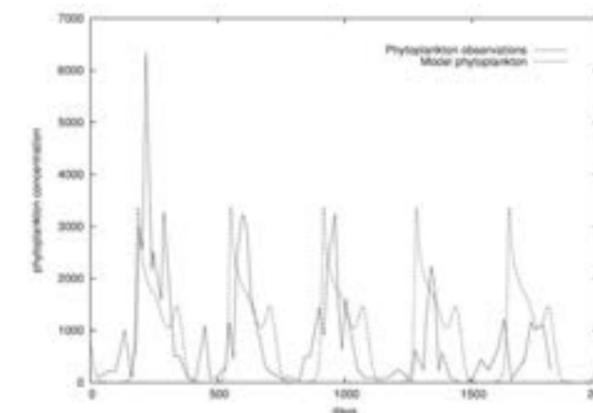
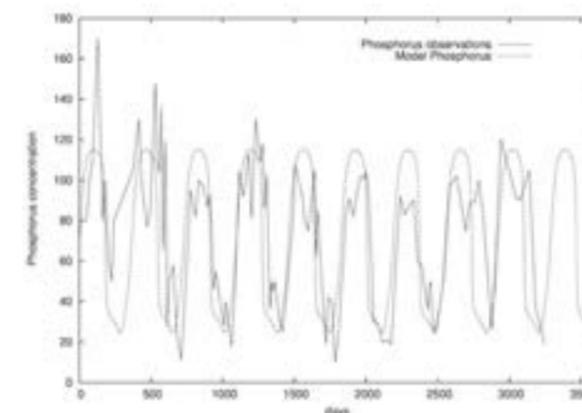


Modello Ecologico

Modello omogeneo



Modello a due strati



Concentrazione di fosforo totale in $\mu\text{g} - \text{P/L}$ dalle misurazioni effettuate ad una profondità di 10 m (punti e linee di connessione) e dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata).

Concentrazioni di *chlorophyceae* misurate (linea solida), assumendo cellule con un approssimato equivalente raggio di 15 e concentrazione di fitoplancton generata dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in $\mu\text{g} - \text{P/L}$, assumendo un rapporto carbonio/biomassa $R=0.2$.

Effetti della temperatura e cambiamenti ambientali

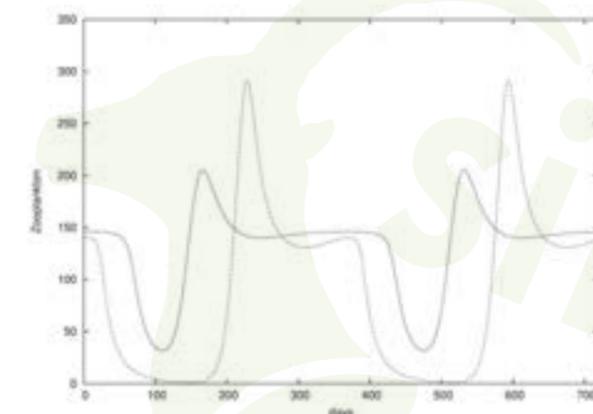
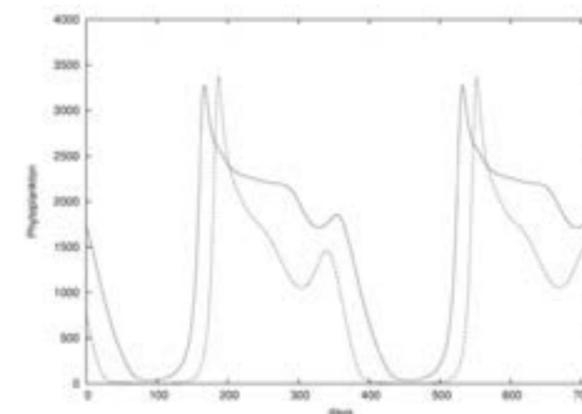
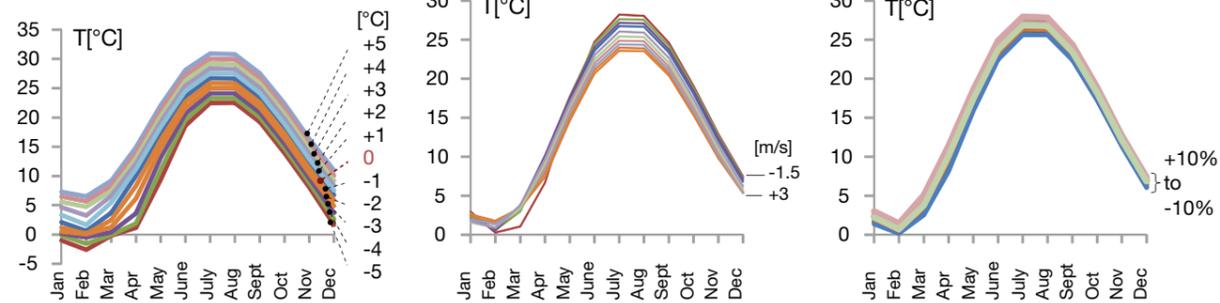


Immagine di sinistra: confronto tra la concentrazione di fitoplancton derivata dal modello a due strati simulando temperature maggiori (linea solida) e le dinamiche di modelli per le condizioni attuali (linea tratteggiata); immagine di destra: concentrazione di zooplankton. Tutte le concentrazioni sono espresse in $\mu\text{g} - \text{P/L}$. Temperature maggiori portano ad un anticipo temporale dei bloom di fitoplancton e zooplankton, e ad un netto aumento delle biomassa fitoplanctonica. È interessante notare che un simile aumento si ottiene anche quando si aumenta solo la temperatura invernale o solo la temperatura estiva.

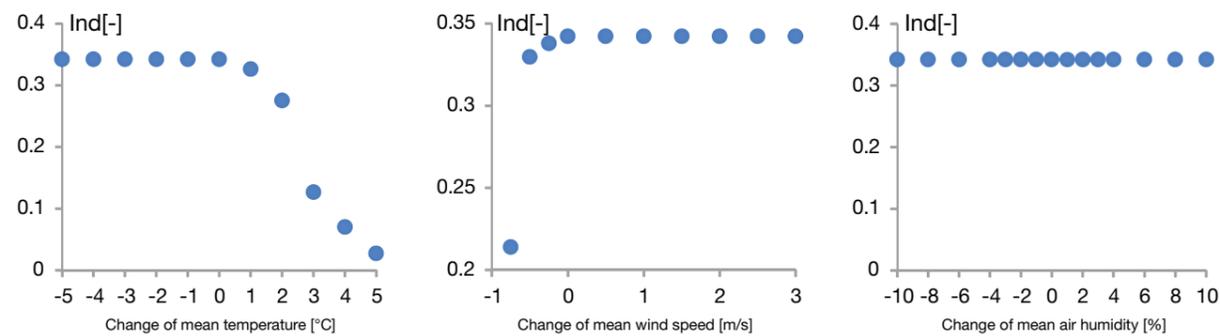
Modello termodinamico

Scenari di temperatura dell'aria			Scenari del regime del vento			Scenari dell'umidità dell'aria			
Cambiamento della temperatura media dell'aria in [°C]:			Cambiamenti della velocità media del vento (m/s):			Cambiamenti del valore medio di umidità in % di rF:			
0	4	-3	-0.75	0.5	2.5	-10	-3	1	6
1	5	-4	-0.5	1	3	-8	-2	2	8
2	-1	-5	-0.25	1.5	3.5	-6	-1	3	10
3	-2		0	2		-4	0	4	

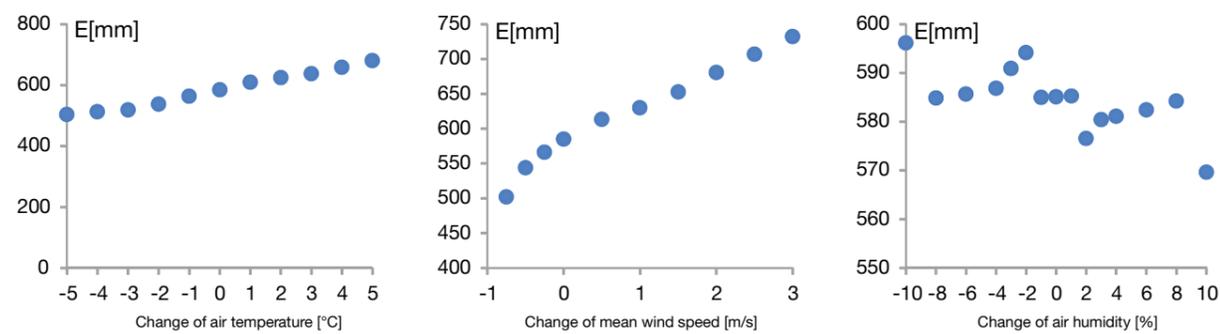
Temperatura dell'acqua superficiale



Indice medio di rimescolamento⁽¹⁾



Evaporazione



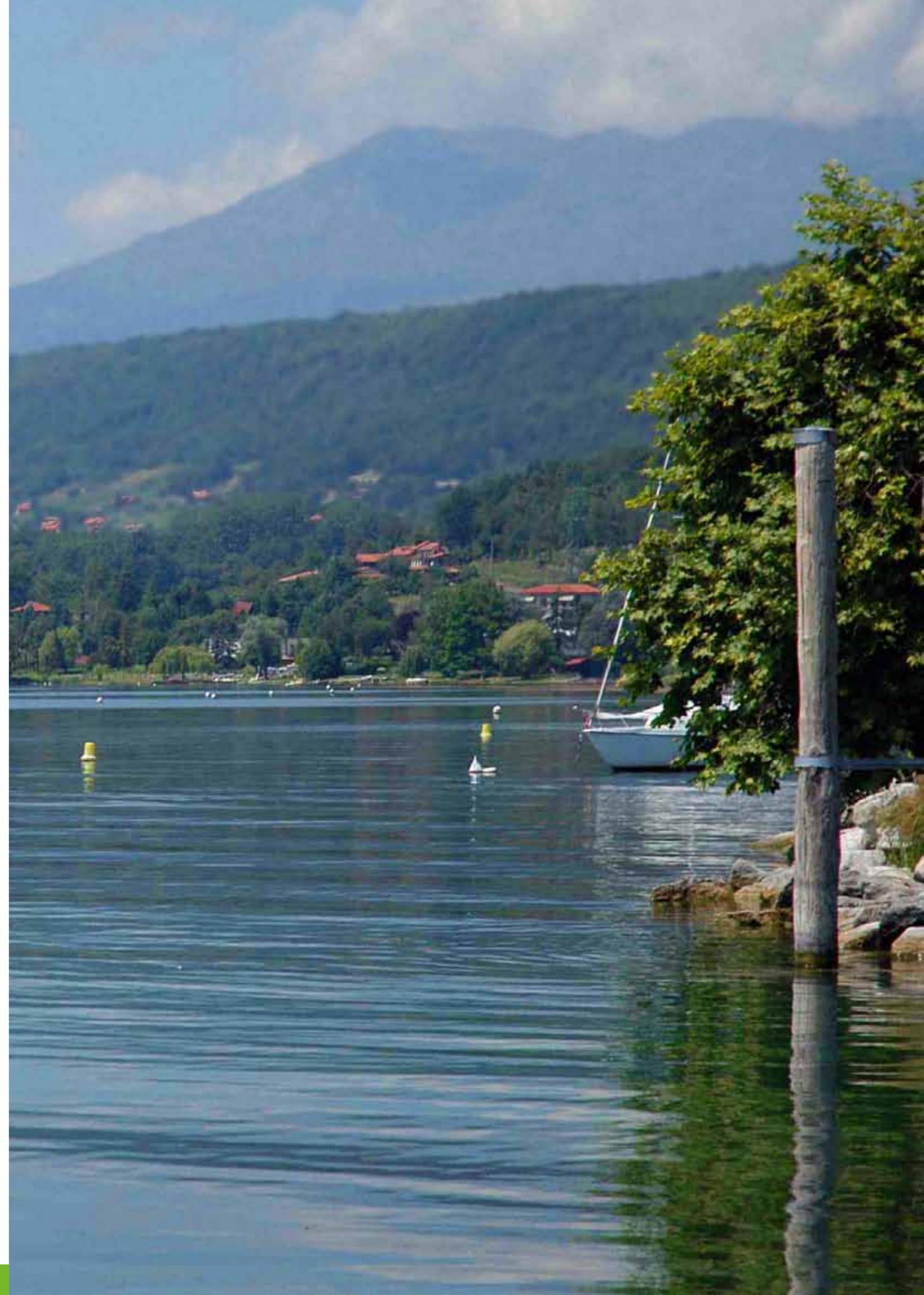
Se la temperatura media dell'aria aumenta, la temperatura media dell'acqua cresce approssimativamente con la stessa percentuale.

Un aumento della temperatura porta ad una diminuzione dell'intensità del rimescolamento. Basse temperature dell'aria non hanno effetti sul rimescolamento.

Ma un declino della velocità media del vento porta ad un rimescolamento di minor intensità. Maggiore è la velocità del vento maggiore è il tasso di evaporazione.

Un cambiamento dell'umidità media dell'aria provoca effetti non significativi sull'evaporazione dalla superficie del lago.

(1) L'indice medio di rimescolamento descrive la circolazione verticale e l'intensità di rimescolamento in inverno/primavera. Maggiore è il valore dell'indice, più intensa sarà l'intensità del rimescolamento. Un valore pari a 0 indica l'assenza di scambi tra la superficie e il fondo del lago. Il valore massimo per Lago di Viverone: 0.34.





Lago di Costanza

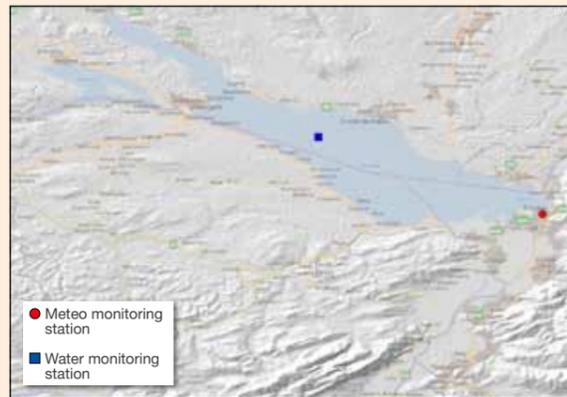
Il lago

Il Lago di Costanza è un tipico lago perialpino oligotrofico di origine glaciale. Esso è formato da due bacini separati. Gli emissari derivanti dal bacino maggiore posto a Nord genera laghi poco profondi e più piccoli. La maggior parte dell'area idrologica sottesa al bacino imbrifero del lago di

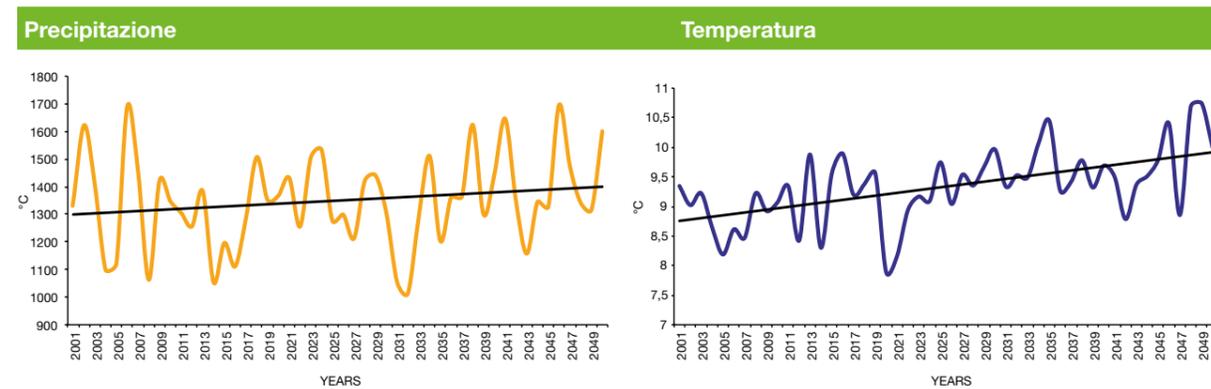
Costanza è situata nella regione alpina, e questo provoca alti livelli dell'acqua in estate (a causa dello scioglimento del ghiaccio) e bassi livelli dell'acqua in inverno. Il lago di Costanza fornisce acqua potabile a più di 4 milioni di persone ed è molto affascinante dal punto di vista turistico.

Carta d'identità

Bacino Imbrifero	11487	km ²
Area del Lago	535	km ²
Profondità Massima	254	m
Profondità Media	90	m
Volume	48,4	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	395	m s.l.m.
Tempo di residenza	4,5	anni
Immissari	-	m ³ /a
Emissari	-	m ³ /a
Stato trofico del lago	Oligotrofico	



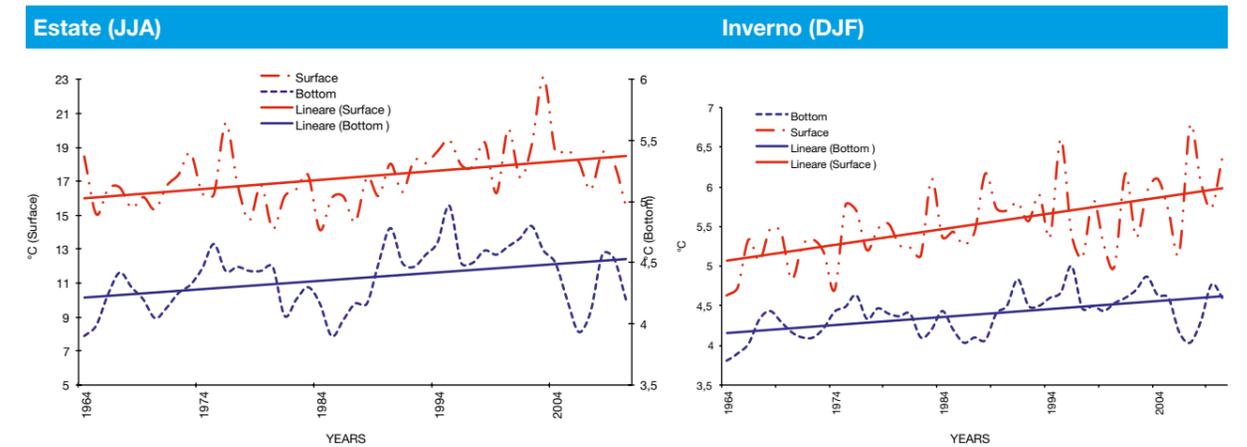
"Climate driven" scenario 2001 - 2050



	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	- 94,4	+ 15,3	+ 13,2	+ 102
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,28	+ 0,6	+ 0,96	+ 1,15

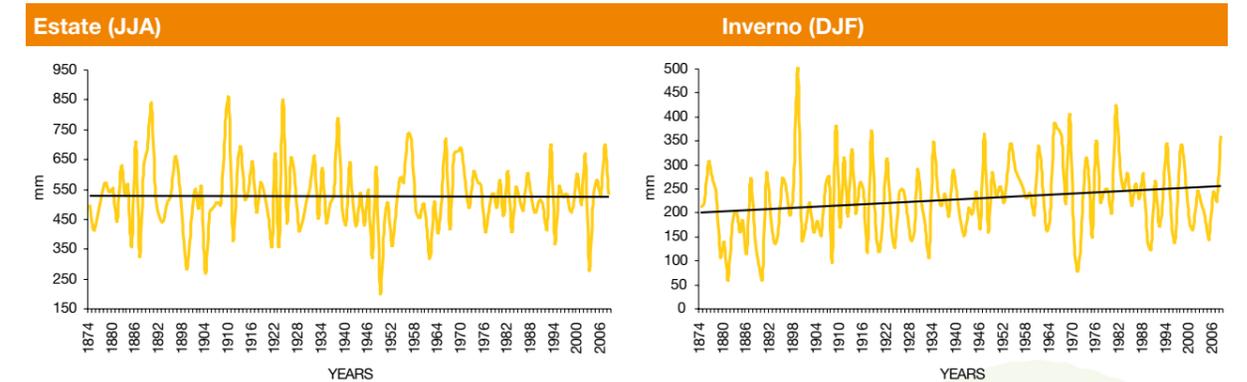
Trend storici

Temperatura dell'acqua



	Periodo: 2001 - 2007	
	Tasso: °C per anno	
	JJA	DJF
Superficie	+ 0,54	+ 0,19
Fondo	+ 0,06	+ 0,10

Precipitazione

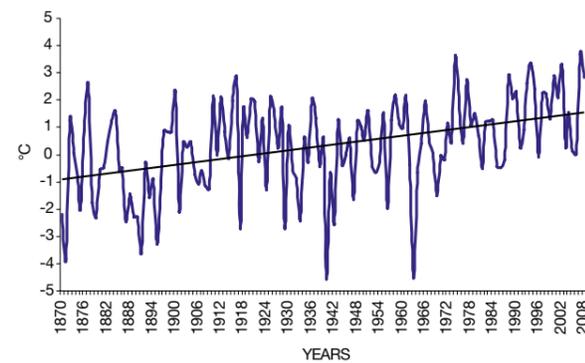
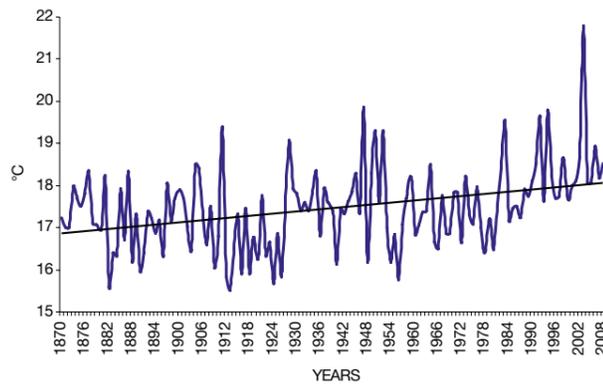


	Periodo: 1874 - 2008	
	Progetto Histalp - Stazione Bregenz	
	Tasso: mm per decade	
	JJA	DJF
	- 0,15	+ 4,20

Temperatura dell'aria

Estate (JJA)

Inverno (DJF)



Periodo: 1870 - 2008
Progetto Histalp - Stazione Bregenz
 Tasso: °C per decade

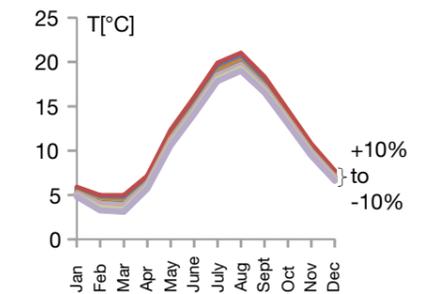
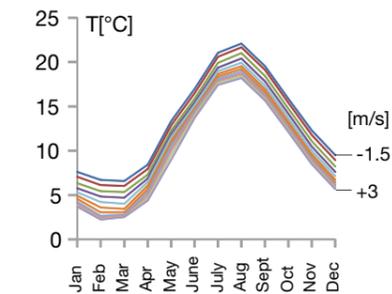
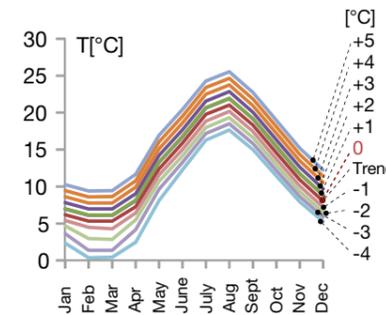
JJA	DJF
+ 0,08	- 0,18



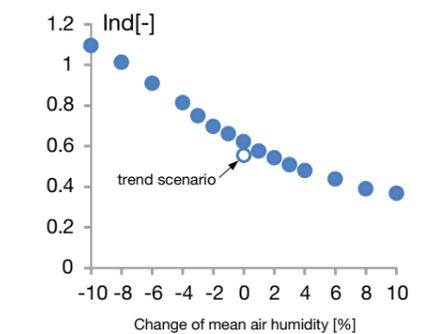
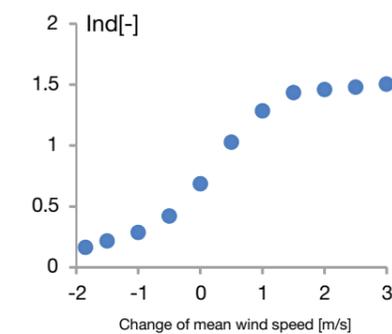
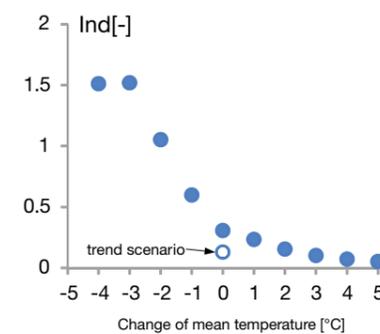
Modello termodinamico

Scenari di temperatura dell'aria			Scenari del regime del vento			Scenari dell'umidità dell'aria			
Cambiamento della temperatura media dell'aria in [°C]:			Cambiamenti della velocità media del vento (m/s):			Cambiamenti del valore medio di umidità in % di rF:			
Trend ⁽¹⁾	3	-2	-1.5	0.5	2.5	-10	-3	1	6
0	4	-3	-1.0	1.0	3.0	-8	-2	2	8
1	5	-4	-0.5	1.5		-6	-1	3	10
2	-1		0	2.0		-4	0	4	Trend ⁽²⁾

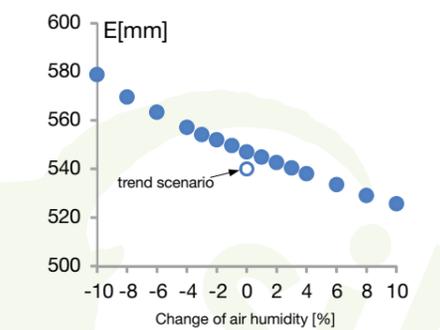
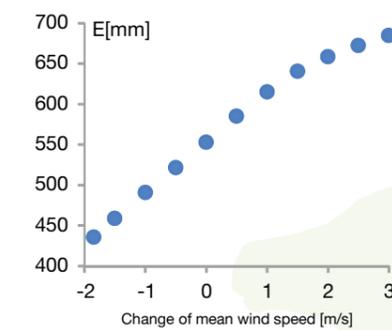
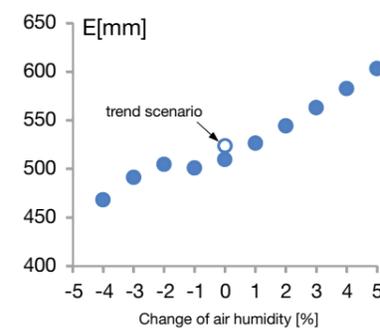
Temperatura dell'acqua superficiale



Indice medio di rimescolamento⁽³⁾



Evaporazione



Se la temperatura media dell'aria aumenta, la temperatura media dell'acqua cresce approssimativamente con la stessa percentuale.

Un aumento della temperatura porta ad una diminuzione dell'intensità del rimescolamento. Basse temperature

dell'aria e/o minori velocità del vento provocano una diminuzione dell'intensità di rimescolamento. Basse temperature dell'aria aumentano l'intensità del rimescolamento.

Maggiore è la velocità del vento e/o la secchezza dell'aria, maggiore è il tasso di evaporazione.

(1) Lo scenario del trend per la temperatura dell'aria è la continuazione lineare del trend osservato nelle ultime decadi.

(2) Lo scenario per l'umidità dell'aria è la continuazione dell'aumento riscontrato nel periodo invernale/estivo.

(3) L'indice medio di rimescolamento descrive la circolazione verticale e l'intensità di rimescolamento in inverno/primavera. Maggiore è il valore dell'indice, più intensa sarà l'intensità del rimescolamento. Un valore pari a 0 indica l'assenza di scambi tra la superficie e il fondo del lago. Il valore massimo per il Lago di Costanza: 1,54.



Lago Caldonazzo

Il lago

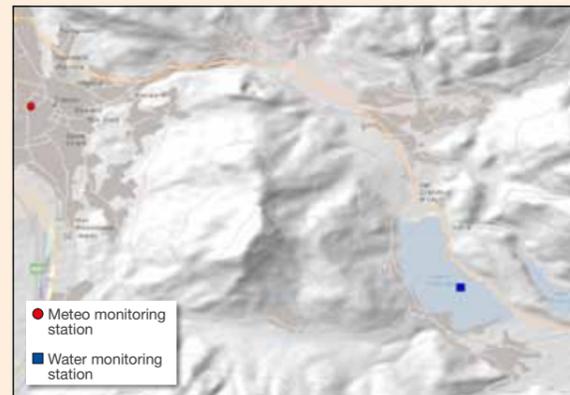
Il Lago di Caldonazzo è il lago di maggior dimensioni situato all'interno della provincia di Trento. Il lago costituisce un'attrazione turistica con le sue varie spiagge (Caldonazzo, Calceranica, S. Cristoforo...) e il suo piacevole paesaggio: dal lago è ad esempio possibile ammirare le cime delle Dolomiti del Brenta. Situato in Valsugana, lontano solo 15 km da Trento, è quasi interamente circondato dalle montagne; il Monte Tenna lo separa dal vicino lago di Levico. Il Lago di Caldonazzo si è originato da uno sbarramento. Gli immissari principali del lago sono il Rio



Mandola, due o tre ruscelli che nascono dal Monte Marzola e altri di minor flusso dal monte Tenna. Una grande sorgente è presente a Nord Est del lago, a un'altitudine di 463 m; essa può essere considerata come la sorgente principale del lago. Sono inoltre presenti alcuni immissari artificiali. Uno di questi getta nel lago a San Cristoforo, un altro arriva da Ferina, e il ruscello Merdar, deviato dall'uomo. Nella parte Est del lago c'è solo un emissario che da origine al fiume Brenta insieme con l'emissario del lago Levico.

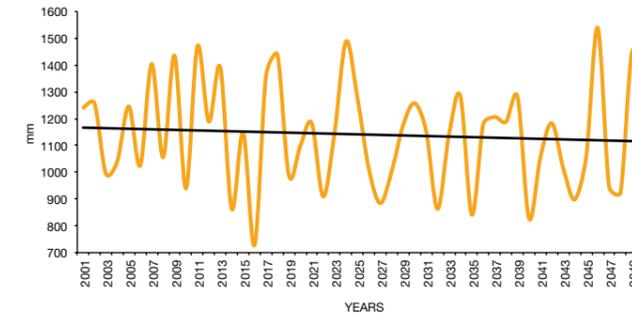
Carta d'identità

Bacino Imbrifero	49,3	km ²
Area del Lago	5,3	km ²
Profondità Massima	49	m
Profondità Media	27	m
Volume	149	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	449	m s.l.m.
Tempo di residenza	3,6	anni
Immissari	-	m ³ /a
Emissari	-	m ³ /a
Stato trofico del lago	mesotrofico	

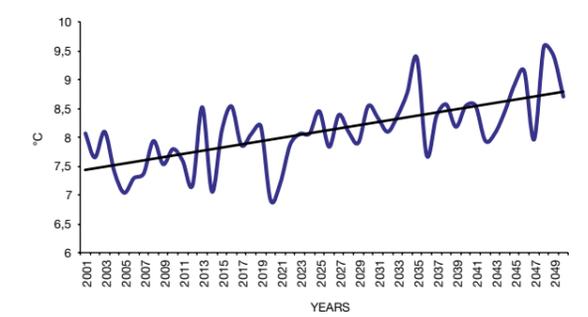


"Climate driven" scenario 2001 - 2050

Precipitazione



Temperatura

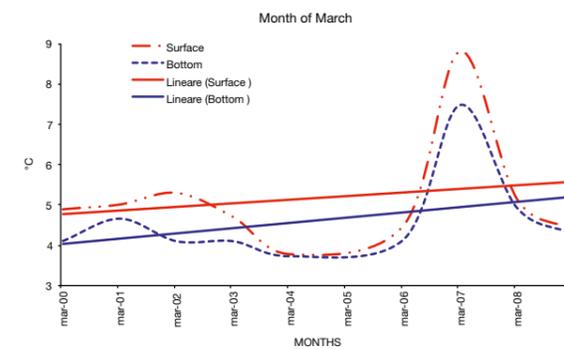


	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	- 51,6	- 66,6	- 102,4	- 52
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,24	+ 0,63	+ 1,04	+ 1,35

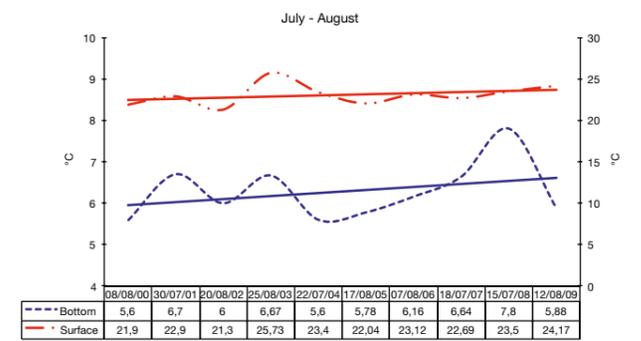
Trend storici

Temperatura dell'acqua

Mese di Marzo (media)



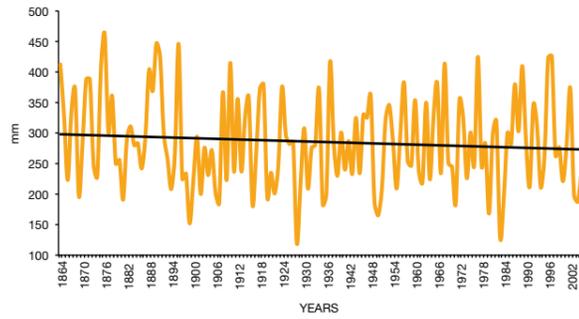
Luglio - Agosto



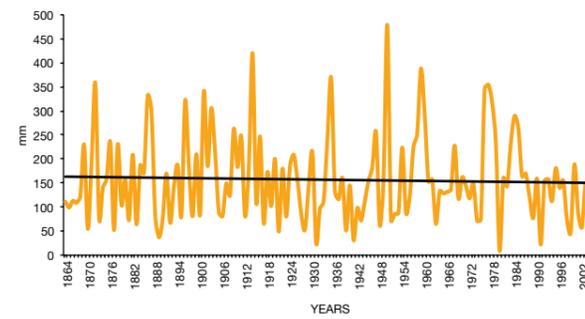
	Periodo: 2000 - 2009	
	Tasso: °C per mese	
	Mese di Marzo	Luglio - Agosto
Superficie	+ 0,007	+ 0,13
Fondo	+ 0,01	+ 0,07

Precipitazione

Estate (JJA)



Inverno (DJF)



Periodo: 1991 - 2011

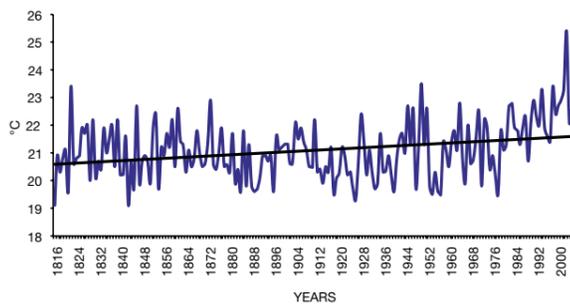
Progetto Histalp Stazione Trento

Tasso: mm per decade

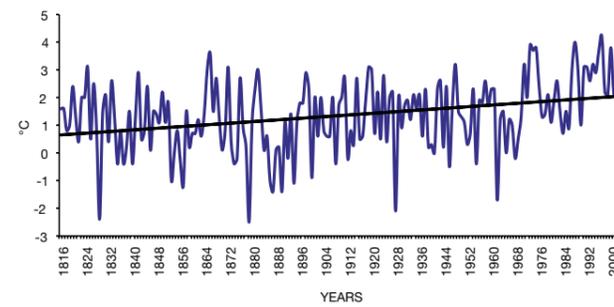
JJA	DJF
- 1,75	- 0,92

Temperatura dell'aria

Estate (JJA)



Inverno (DJF)



Periodo: 1870 - 2008

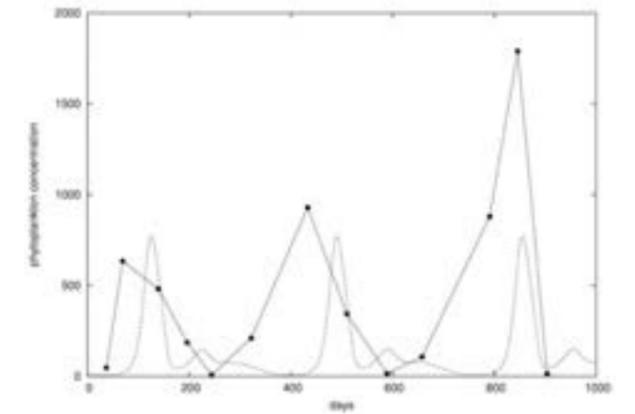
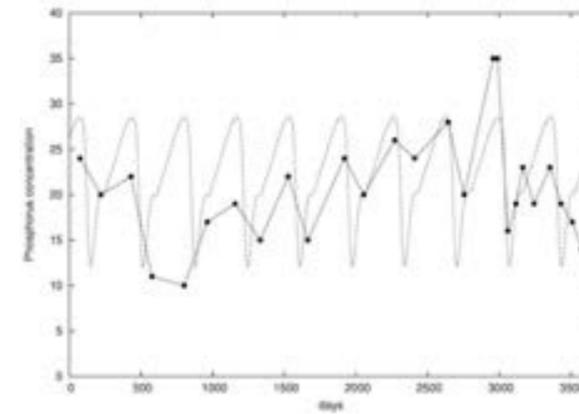
Progetto Histalp Stazione Trento

Tasso: °C per decade

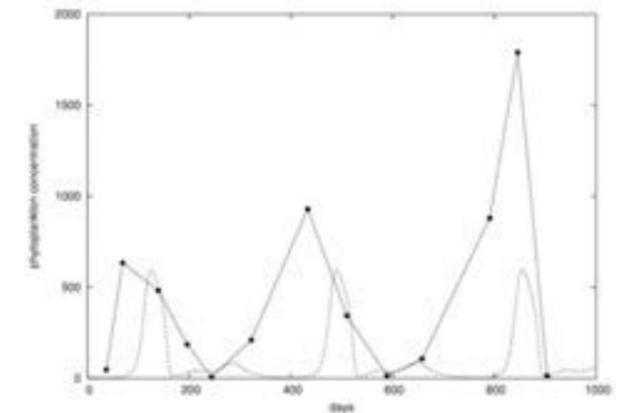
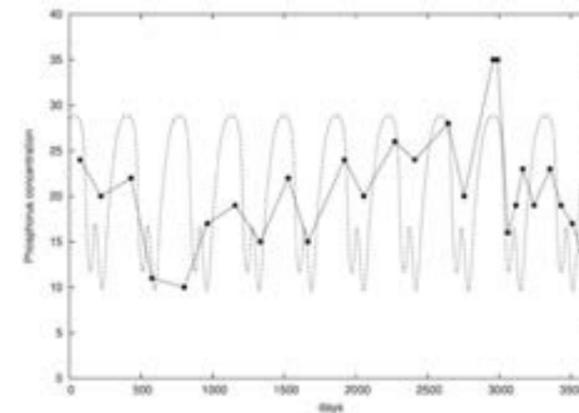
JJA	DJF
+ 0,05	+ 0,07

Modello Ecologico

Modello omogeneo



Modello a due strati



Concentrazione di fosforo totale in $\mu\text{g} - \text{P/L}$ dalle misurazioni effettuate ad una profondità di 10 m (punti e linee di connessione) e dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata).

Concentrazioni di *chlorophyceae* misurate (punti e linee di connessione) e concentrazione di fitoplancton generata dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in $\mu\text{g} - \text{P/L}$, assumendo un rapporto carbonio/biomassa di $R=0.2$.

Effetti della temperatura e cambiamenti ambientali

Poiché i parametri del modello sono gli stessi usati per il Lago Levico, anche per il Lago di Caldonazzo è stata trovata la stessa dipendenza delle dinamiche di

temperatura e modifiche dei parametri come discusso per il Lago Levico.



Lago Levico

Il lago

Il lago Levico, situato in Valsugana (20 km da Trento) è situato vicino al Lago di Caldonazzo e da lui separato dal monte Tenna.

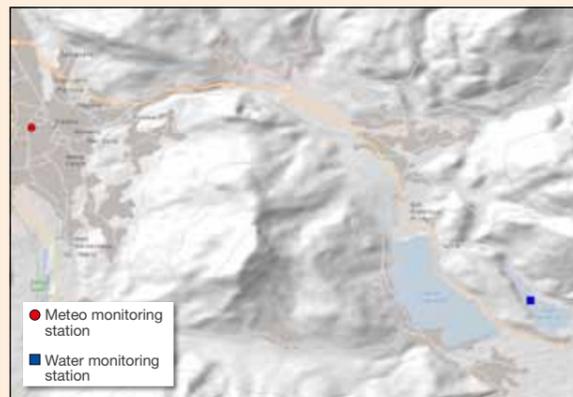
Il paesaggio intorno al lago è affascinante: è circondato dai boschi situati sulle montagne del circondario e le sue rive sono per la maggior parte naturali. Il lago presenta una forma a fiordo; i suoi immissari sono la "Roggia", che riceve le acque del Rio Vignola, e del Rio Maggiore. Le acque del Lago Levico sfociano, insieme a quelle del vicino Lago



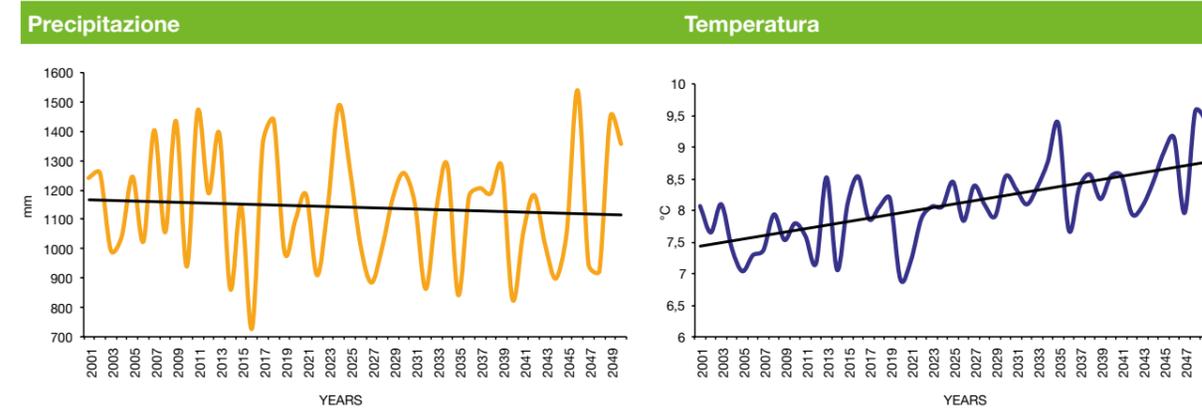
di Caldonazzo, nel fiume Brenta che sfocia nell'Adriatico vicino a Venezia. Il Lago di Lavico ha avuto origine dallo sbarramento della pianura alluvionale del Rio Maggire e del Rio Vignola, prima del 270 A.C. Questa data è fornita dalle informazioni ottenute dall'analisi a carbonio - 14. L'unica città vicino al lago è Levico Terme, famosa per il suo lago e per le sue acque termali ricche di sostanze benefiche e con poteri terapeutici. È un luogo di villeggiatura con una importante tradizione turistica.

Carta d'identità

Bacino Imbrifero	22	km ²
Area del Lago	1,1	km ²
Profondità Massima	38	m
Profondità Media	11	m
Volume	13	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	440	m s.l.m.
Tempo di residenza	1,1	anni
Immissari	-	m ³ /a
Emissari	-	m ³ /a
Stato trofico del lago	mesotrofico	



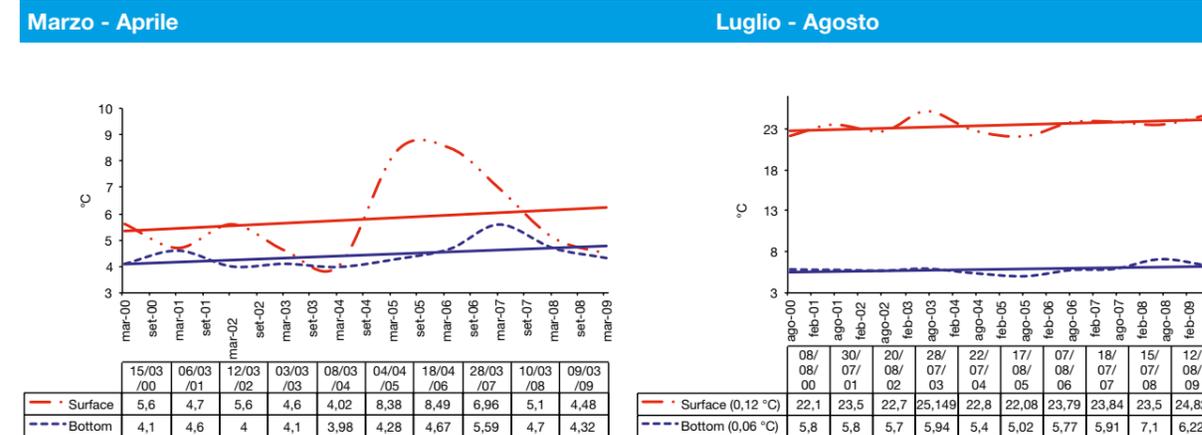
"Climate driven" scenario 2001 - 2050



	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	- 51,6	+ 66,6	- 102,4	- 52
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,24	+ 0,63	+ 1,04	+ 1,35

Trend storici

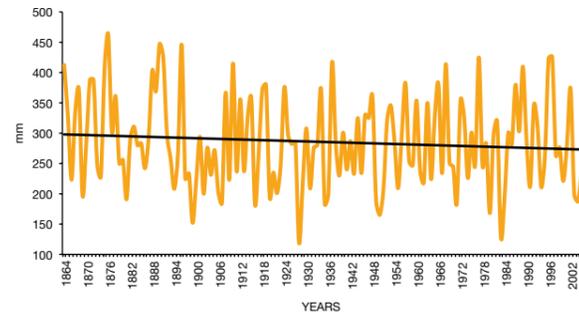
Temperatura dell'acqua



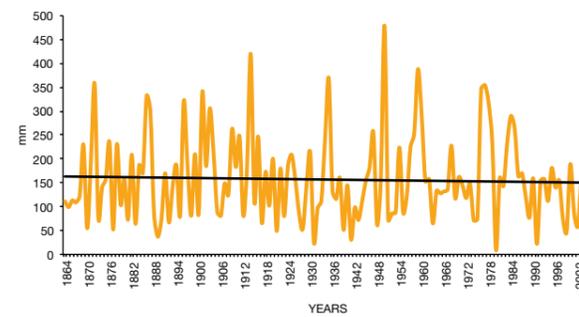
	Periodo: 2000 - 2009	
	Tasso: °C per mese	
	Marzo - Aprile	Luglio - Agosto
Superficie	+ 0,006	+ 0,008
Fondo	+ 0,012	+ 0,01

Precipitazione

Estate (JJA)



Inverno (DJF)



Periodo: 1991 - 2011

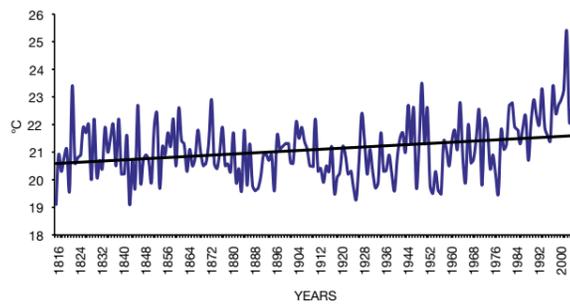
Progetto Histalp Stazione Trento

Tasso: mm per decade

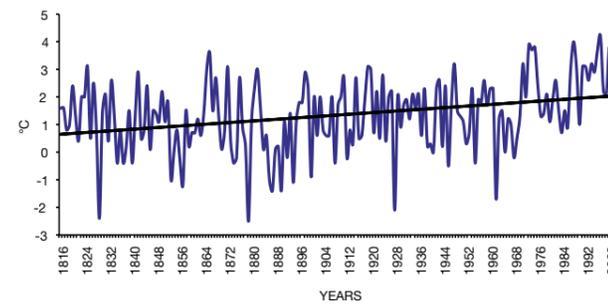
JJA	DJF
- 1,75	- 0,92

Temperatura dell'aria

Estate (JJA)



Inverno (DJF)



Periodo: 1816 - 2005

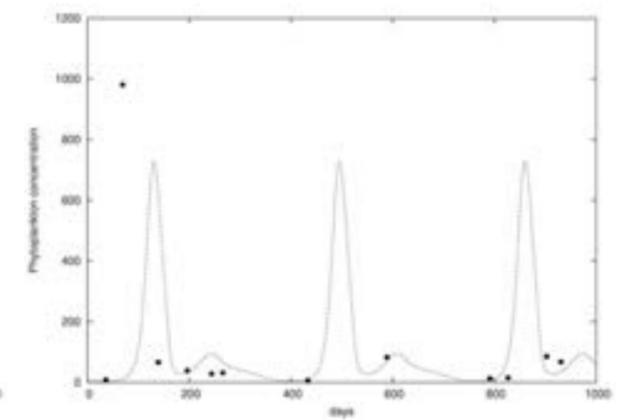
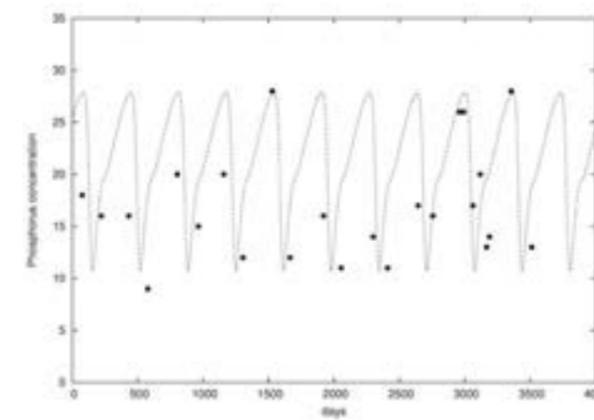
Progetto Histalp Stazione Trento

Tasso: °C per decade

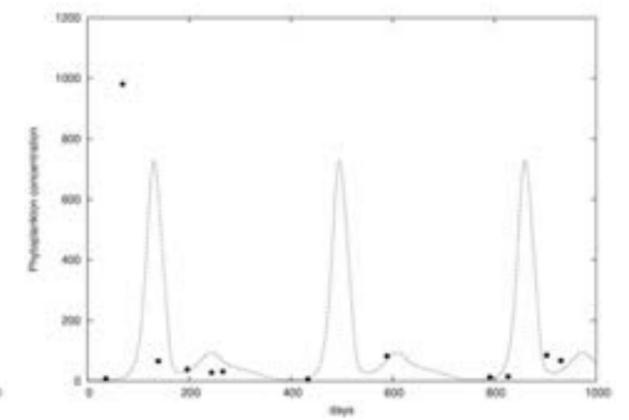
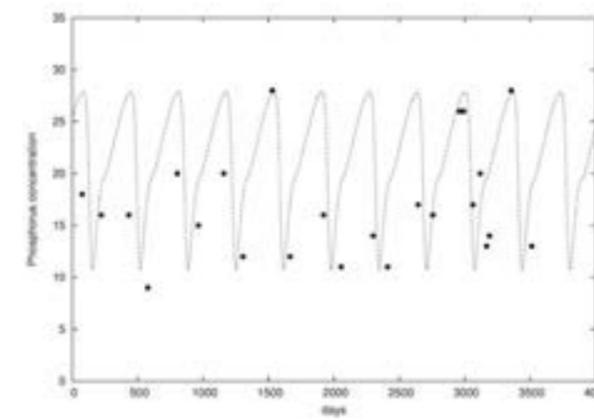
JJA	DJF
+ 0,05	+ 0,07

Modello Ecologico

Modello omogeneo



Modello a due strati



Concentrazione di fosforo totale in $\mu\text{g} - \text{P/L}$ dalle misurazioni effettuate ad una profondità di 10 m (punti e linee di connessione) e dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata).

Concentrazioni di *chlorophyceae* misurate (punti e linee di connessione) e concentrazione di fitoplancton generata dal modello omogeneo (figura in alto, linea tratteggiata) e dal modello a due strati (figura in basso, linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in $\mu\text{g} - \text{P/L}$, assumendo un rapporto carbonio/biomassa di $R=0.2$. La concentrazione è derivata dalla concentrazione di un numero di cellule assumendo un raggio equivalente di 10 μm .

Effetti della temperatura e cambiamenti ambientali

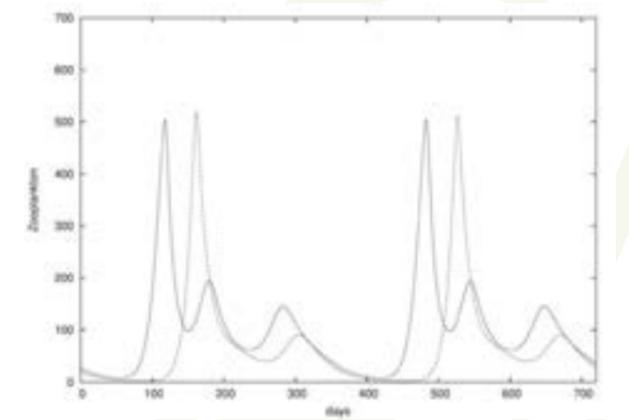
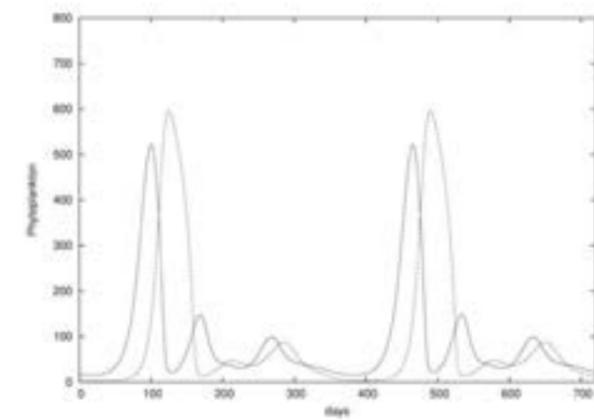
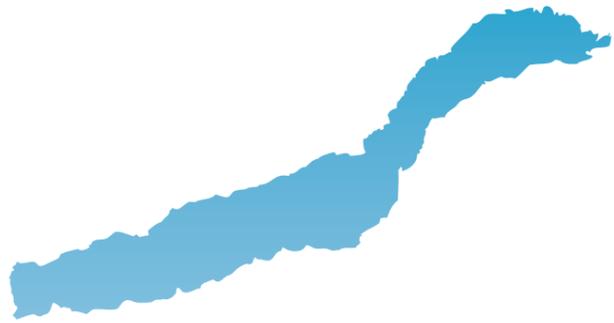


Immagine di sinistra: confronto tra la concentrazione di fitoplancton derivata dal modello a due strati nello strato superiore derivante da turbolenti scambi invernali più veloci tra i due strati, $\mu=0.2 \text{ day}^{-1}$, e temperature estive più calde (+ 3°C) (linea solida) e condizioni attuali (linea tratteggiata). Immagine di destra: lo staso per la concentrazione di zooplancton. Temperature maggiori e uno scambio tra i due strati più intenso porta ad un anticipo temporale dei bloom di fitoplancton e zooplancton, con un lieve aumento della concentrazione di fitoplancton.



Lago Ossiacher See

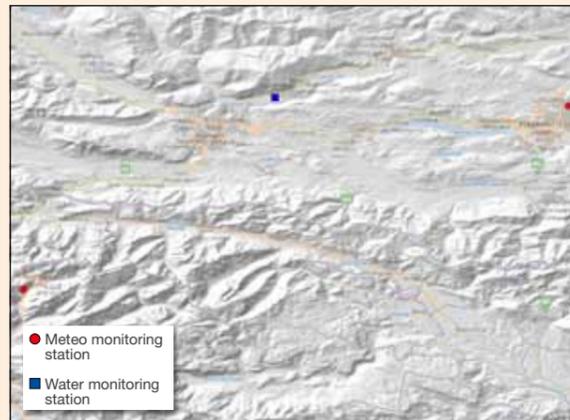
Il lago

Il Lago Ossiacher See è il terzo più grande lago situato in Corinzia. Il lago è diviso in due bacini: la profondità massima della parte più piccola situata a Est (3,9 km²) è 10 m e della parte più grande posta a Ovest è 52 m. Il principale immissario è il fiume Tiebel, che entra nel lago a Est e corre attraverso un'ampia area paludosa (6 km²) – Bleistatter Moor. In passato questa zona fu modificata a scopi agricoli. Lo sviluppo del turismo nel bacino imbrifero del Lago Ossiacher See ha mostrato un passaggio da un numero pari a 100 000 pernottamenti all'anno nel 1950 a 2 milioni negli ultimi anni.

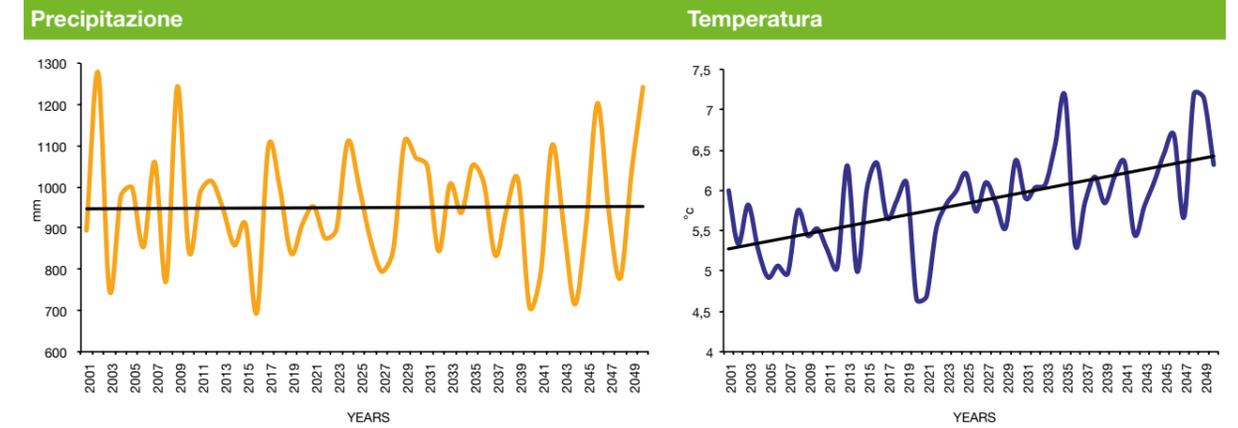
Questo ha provocato un aumento dei sistemi di trattamento delle acque e una conseguente eutrofizzazione delle acque del lago. I primi dati di monitoraggio risalgono al 1931. Dal 1970 esiste un programma di monitoraggio in continuo. Inoltre questo lago è stato oggetto del progetto "Lake Restoration" dal 1974 al 1978. Dopo aver investito notevoli risorse nei sistemi di trattamento delle acque, ha avuto inizio un processo di ri-oligotrofizzazione: ad oggi questo lago è classificato a metà tra oligo – e meso – trofico. Durante l'estate la temperatura del lago può superare i 25 °C.

Carta d'identità

Bacino Imbrifero	154	km ²
Area del Lago	10,8	km ²
Profondità Massima	52,6	m
Profondità Media	19,9	m
Volume	203	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	501	m s.l.m.
Tempo di riempimento medio	2,2	anni
Tempo di residenza medio dello strato profondo	-	m ³ /a
Media annuale immissari 1971-2010	-	m ³ /a
Media annuale emissari 1971-2010	-	
Stato trofico del lago	lievemente mesotrofico	



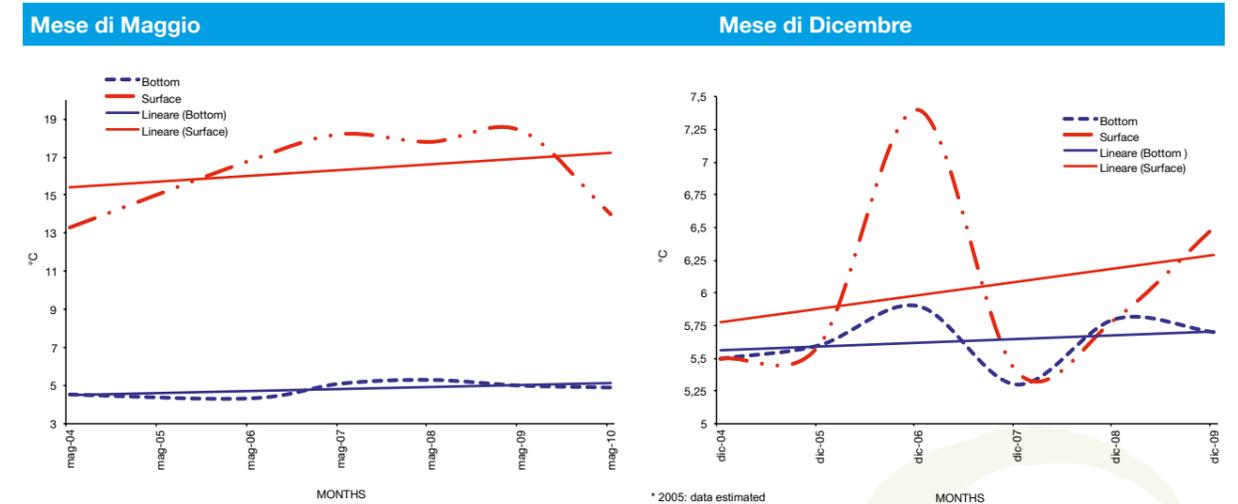
"Climate driven" scenario 2001 - 2050



	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	- 86,4	- 20,1	- 29,6	+ 5,5
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,46	+ 0,42	+ 0,76	+ 1,1

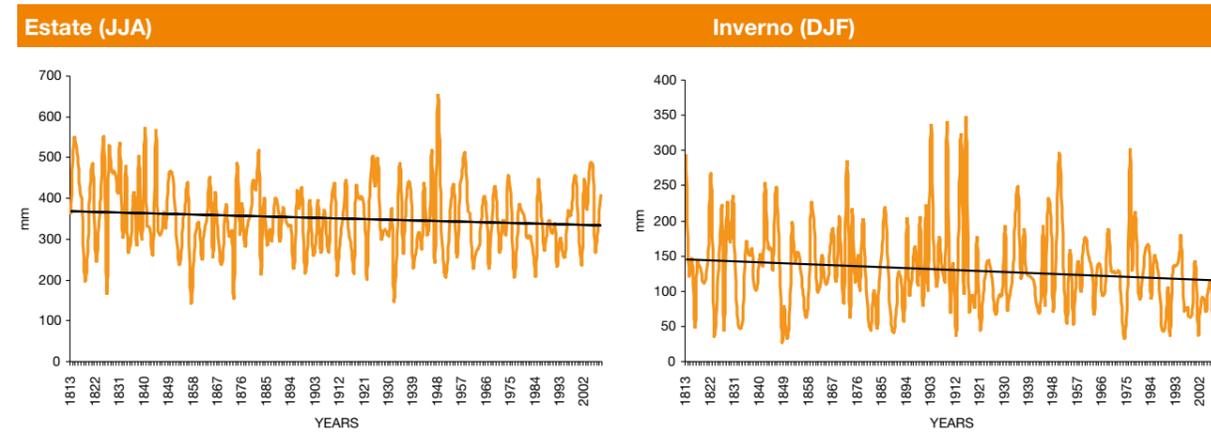
Trend storici

Temperatura dell'acqua



	Periodo: 2004 - 2009	
	Tasso: °C per mese	
	Mese di Maggio	Mese di Dicembre
Superficie	+ 0,008	+ 0,025
Fondo	+ 0,002	+ 0,008

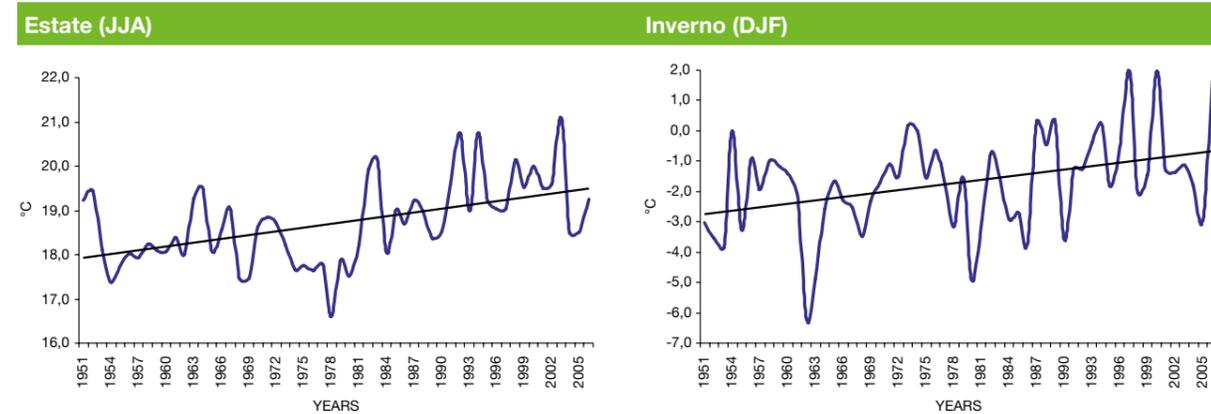
Precipitazione



Periodo: 1813 - 2011
Progetto Histalp – Stazione Klagenfurt – Flughafen
 Tasso: mm per decade

JJA	DJF
- 1,8	- 1,5

Temperatura dell'aria

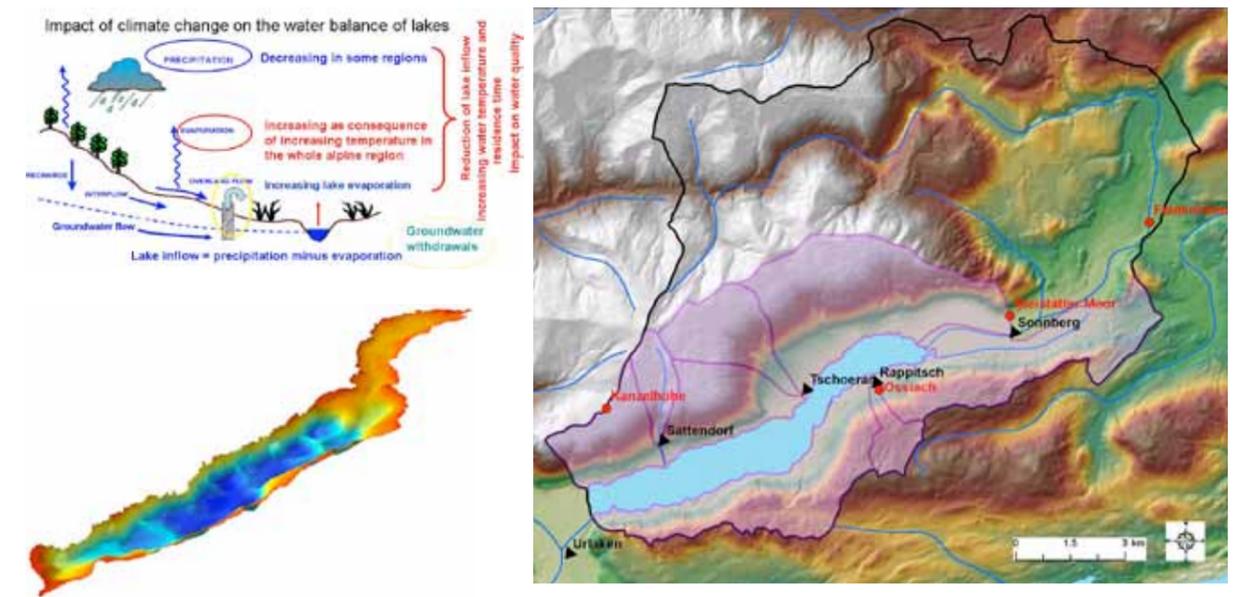


Periodo: 1951 - 2005
Stazione Ossiach
 Tasso: °C per decade

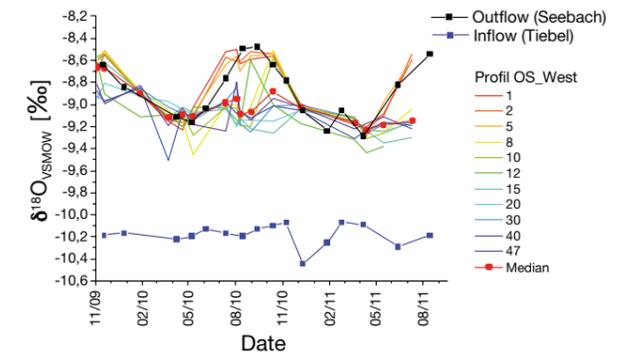
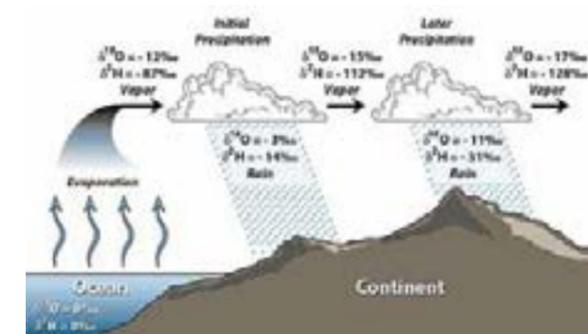
JJA	DJF
+ 0,28	+ 0,38



Modello idrologico e analisi isotopica

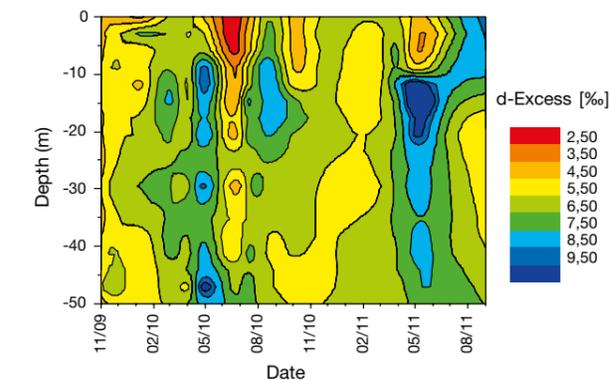


Indagine circa il regime di circolazione attuale e il processo di evaporazione usando gli isotopi ambientali



Tempo di residenza media nella parte più profonda: 1,5 anni

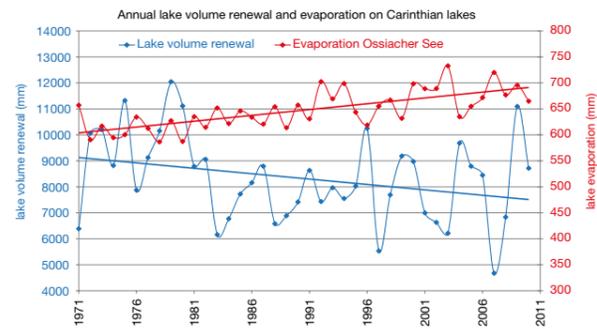
Composizione isotopica dell'acqua in ingresso e in uscita per l'indagine sui movimenti dell'acqua



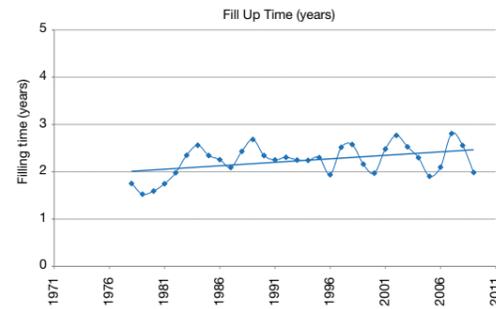
Attuale comportamento di circolazione (Deuterium excess)

Analisi storica dell'acqua e tendenze storiche

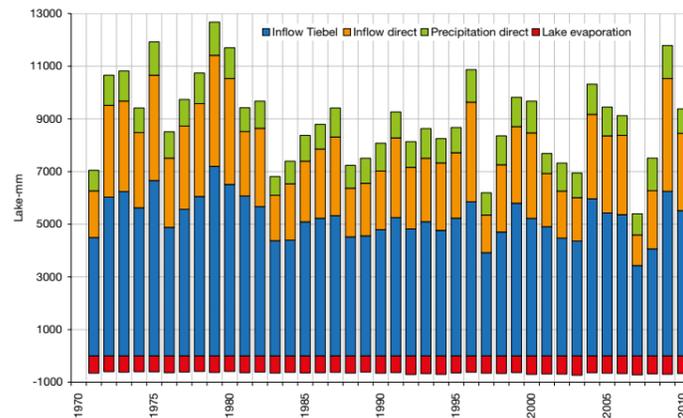
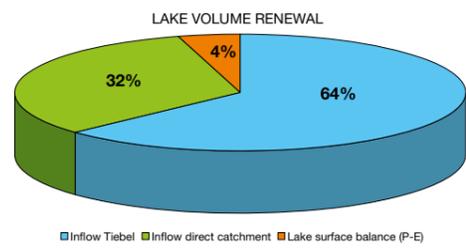
Tendenza del rinnovo delle acque ed dell'evaporazione



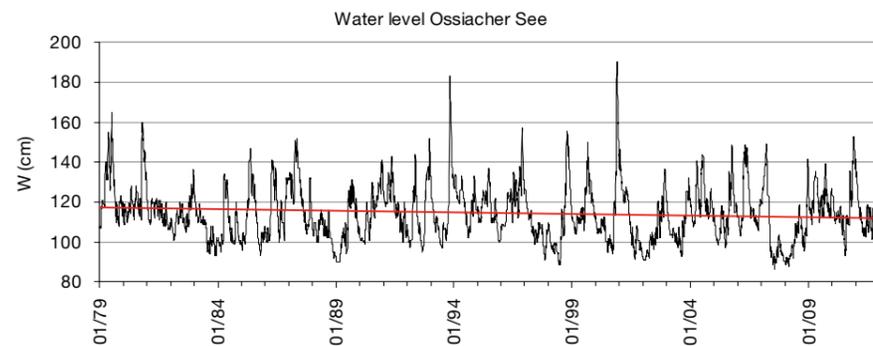
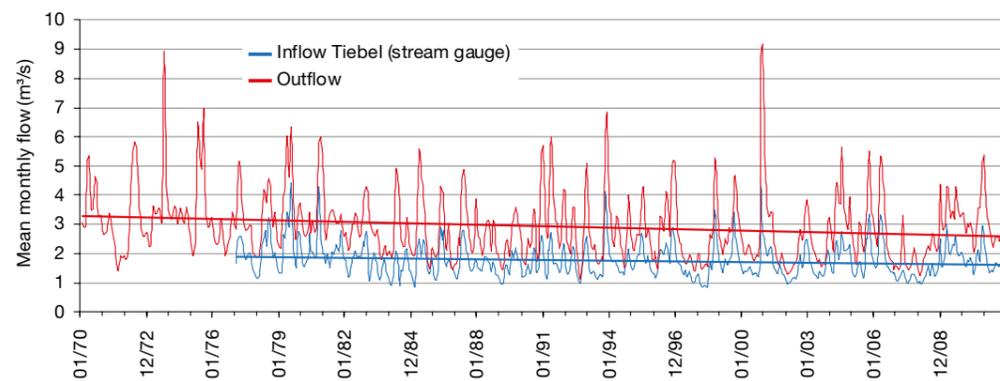
Tendenza del tempo di riempimento



Componenti del volume di acqua annuale



Tendenza storica degli immissari, emissari e livello dell'acqua



Che cosa accadrà in futuro?

A causa del non ben definito bacino imbrifero dei principali immissari una simulazione di scenari non è stata possibile

Sono previsti scenari simili a quelli descritti per Worthersee

Il lago è caratterizzato da una relativamente veloce circolazione delle acque, il bacino è prevalentemente dominato dal bilancio idrico del lago stesso. Un modello semi-distribuito rainfall-runoff è stato applicato con l'obiettivo di simulare i cambiamenti del passato e sviluppare scenari per il rinnovo del volume del lago a seconda dell'uso del territorio, delle condizioni climatiche e dell'evaporazione del lago. Le immagini mostrano significanti cambiamenti del bilancio idrico (diminuzione del tempo di rinnovo delle

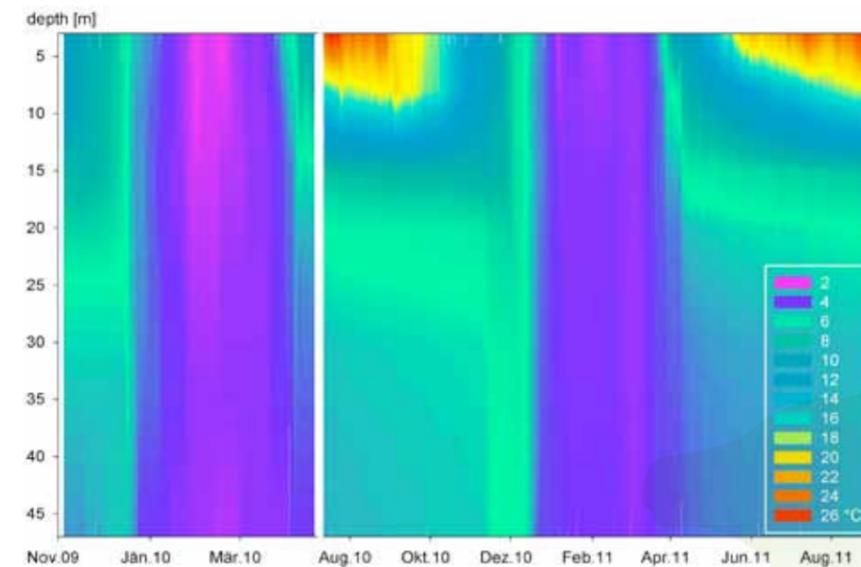
acque e dei livelli dell'acqua, aumento dell'evaporazione) e di conseguenza un aumento del tempo di riempimento. L'analisi storica mostra che il bilancio idrico lacustre è molto sensibile ai cambiamenti della temperatura dell'aria e delle precipitazioni. Quindi tali cambiamenti come quelli simulati per Worthersee possono essere attesi con una riduzione in percentuale del tempo di rinnovo delle acque dal 12 al 23%. Inoltre l'uso del suolo potrà avere significativi impatti.

Cambiamenti di temperatura dell'acqua e dei regimi di rimescolamento

Medium water temperature at surface

	January	April	August	November
Ossiacher See: 1990 - 2010	+ 0,4 °C	+ 1,6 °C	- 0,8 °C	+ 0,4 °C

Development of temperature stratification



C'è un chiaro aumento della temperatura dell'acqua in superficie nei mesi di Gennaio, Aprile e Novembre causato dai cambiamenti climatici - ritardo della stagione invernale e anticipo della stagione primaverile. In estate c'è una diminuzione della temperatura dell'acqua a causa del fenomeno di evaporazione. Il lago Ossiacher See è un lago

olomittico (cioè in grado di rimescolarsi completamente). La colonna d'acqua si rimescola fino al fondo del lago. L'immagine mostra che nel periodo di rimescolamento le acque fredde della superficie sono trasportate verso il fondo del lago: in questo modo la temperatura risulta inferiore ai 4 °C.



Lago Wörthersee

Il lago

Il lago è il più largo lago naturale e meromittico della parte meridionale dell'Austria, in Carinzia.

Un lago meromittico è caratterizzato dalla mancanza di ossigeno e da un alto numero di nutrienti nella profondità delle acque, che deve essere tenuto presente quando si valuta la qualità dell'acqua.

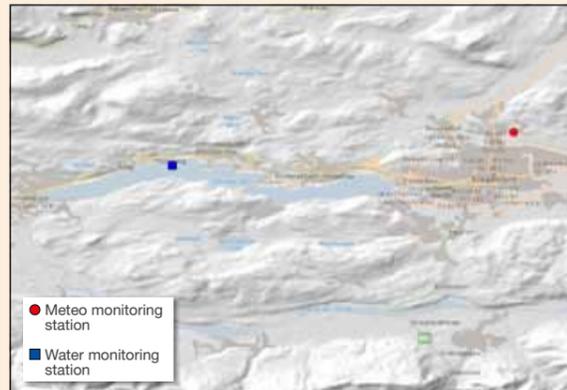
Tra la fine degli anni '50 e i primi del '60 l'aumento della pressione antropica ha causato lo sviluppo di bloom algali, un primo segnale di eutrofizzazione. Per questo le autorità locali si sono messe in funzione e nel 1963 è iniziato il

lavoro di costruzione di un sistema di depurazione delle acque. Nel 1968 tale sistema, che raccoglieva le acque del bacino imbrifero del lago, fu messo in funzione. Da questo momento in poi la qualità delle acque del lago Wörthersee è migliorata e ad oggi è considerato essere un lago a metà tra meso e oligotrofico.

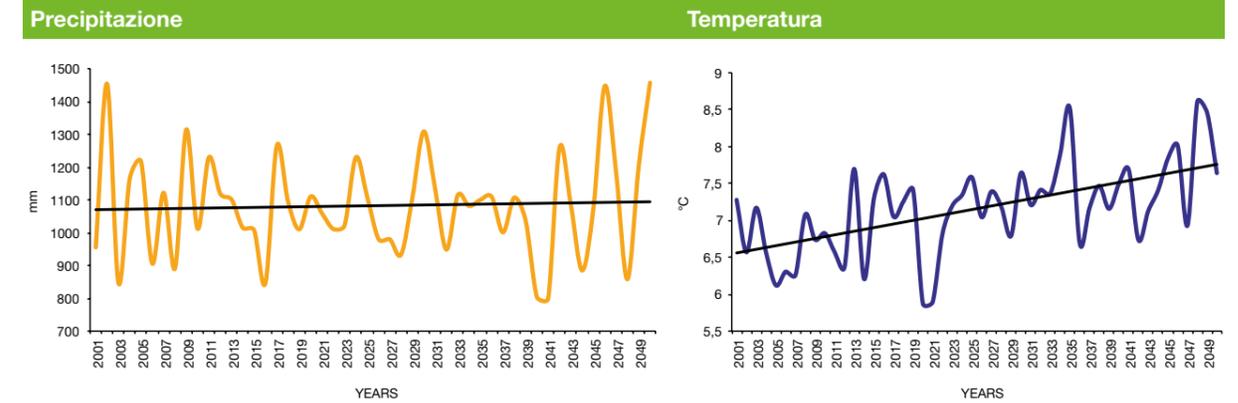
Adesso è un lago dalle acque chiare, con un buon contenuto di ossigeno, ricco di vari gruppi biologici (fitoplancton, zooplancton e pesci), le cui acque di balneazione invitano i bagnanti durante il periodo estivo.

Carta d'identità

Bacino Imbrifero	137	km ²
Area del Lago	19,4	km ²
Profondità Massima	85,2	m
Profondità Media	41,9	m
Volume	1001	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	439	m s.l.m.
Tempo di riempimento medio	15,0	anni
Tempo di residenza medio dello strato profondo	9,5	m ³ /a
Media annuale immissari 1971-2010	3108	m ³ /a
Media annuale emissari 1971-2010	3504	
Stato trofico del lago	tra meso e oligotrofico	



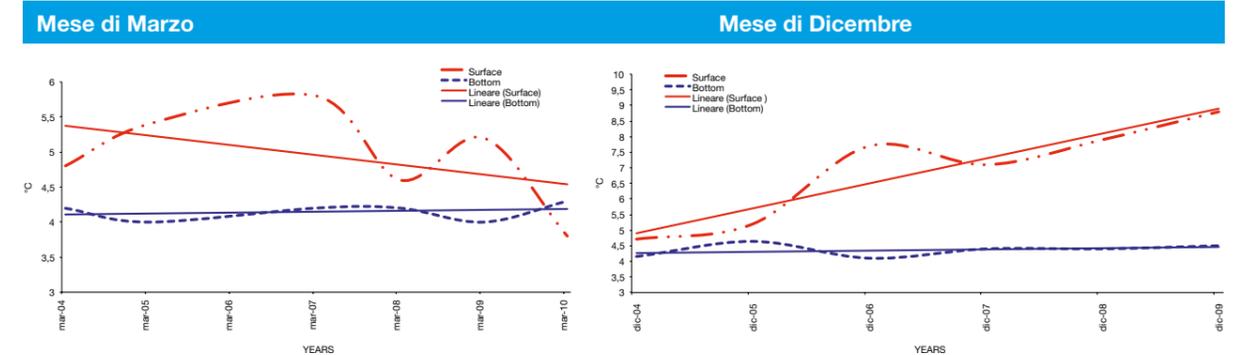
"Climate driven" scenario 2001 - 2050



	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	- 42,6	- 21,3	- 63,6	+ 24
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,32	+ 0,6	+ 0,92	+ 1,2

Trend storici

Temperatura dell'acqua

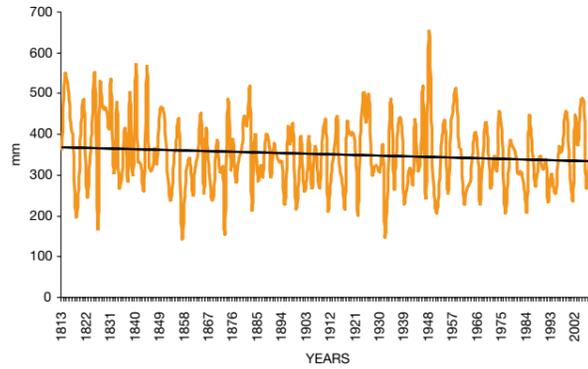


	Periodo: 2004 - 2009	
	Tasso: °C per mese	
	Mese di Marzo	Mese di Dicembre
Superficie	+ 0,01	+ 0,066
Fondo	+ 0,001	+ 0,003

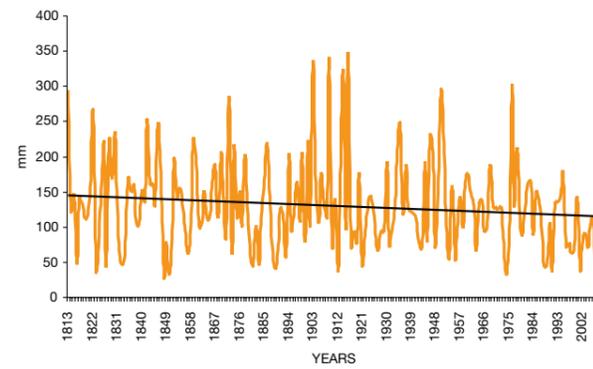


Precipitazione

Estate (JJA)



Inverno (DJF)



Periodo: 1813 - 2011

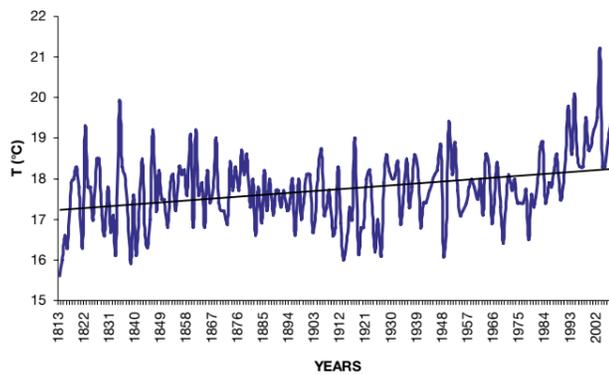
Progetto Histalp – Stazione Klaghenfurt – Flugafen

Tasso: mm per decade

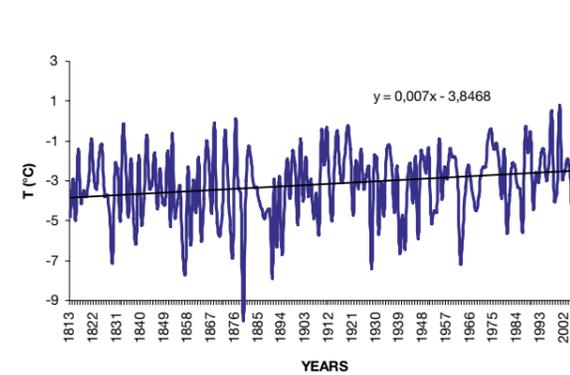
JJA	DJF
- 1,8	- 1,5

Temperatura dell'aria

Estate (JJA)



Inverno (DJF)



Periodo: 1813 – 2008

Progetto Histalp – Stazione Klaghenfurt – Flugafen

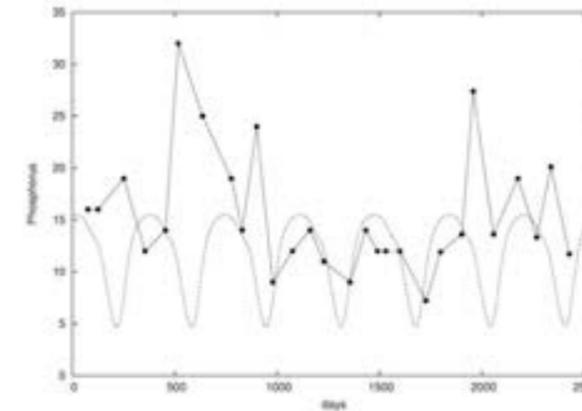
Tasso: °C per decade

JJA	DJF
+ 0,05	+ 0,07

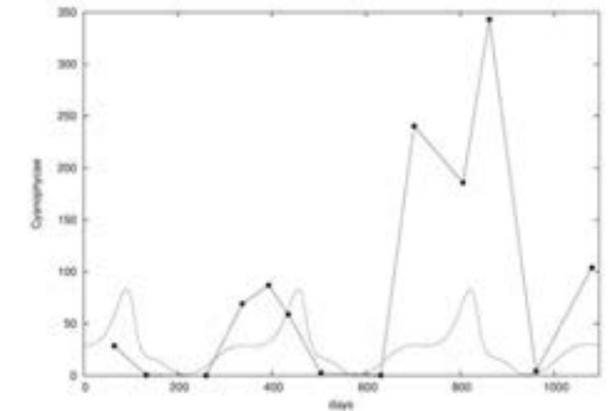
Modello Ecologico

Modello a due strati

Data l'importanza del rimescolamento verticale in questo lago, è necessario considerare solo il modello a due strati.



Concentrazione di fosforo totale in µg – P/L dalle misurazioni effettuate ad una profondità di 10 m (punti e linee di connessione) e dal modello a due strati (linea tratteggiata).



Confronto tra la concentrazione di *Cyanophyceae* totale misurata (punti e linee di connessione) e concentrazione di fitoplancton generata dal modello a due strati (linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in µg – P/L, assumendo un rapporto carbonio/biomassa R=0.2.

Effetti della temperatura e cambiamenti ambientali

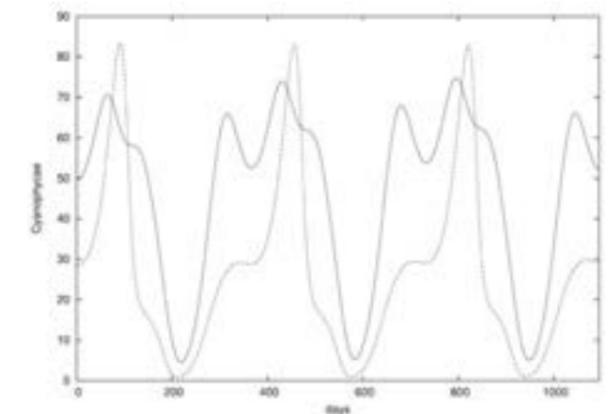
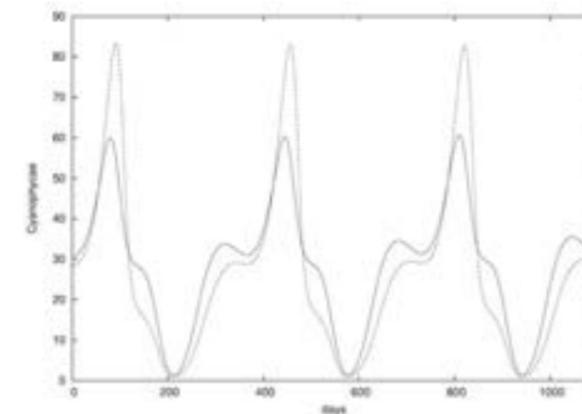


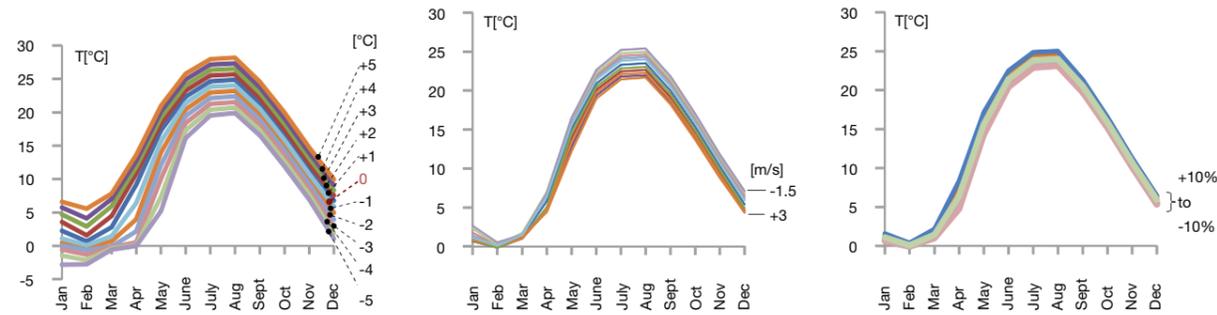
Immagine di sinistra: confronto tra la concentrazione di fitoplancton derivata dal modello a due strati nello strato superiore derivante da scambi invernali più veloci tra i due strati, $\mu=0.2 \text{ day}^{-1}$, e temperature estive più calde (+ 3°C) (linea solida) e condizioni attuali (linea tratteggiata). Immagine di destra: confronto tra la concentrazione di fitoplancton derivata dal modello a due strati presente nello strato superiore per bassi scambi di nutrienti, (linea solida) e le attuali condizioni (linea tratteggiata). Le concentrazioni sono in µg – P/L.

Dal momento che in questa versione del modello la crescita del fitoplancton non è influenzata significativamente solo dalla temperatura, un aumento della temperatura massima estiva porta ad avere quasi nessun cambiamento nel comportamento del modello. Un aumento di +3°C della temperatura invernale modificherà tale comportamento.

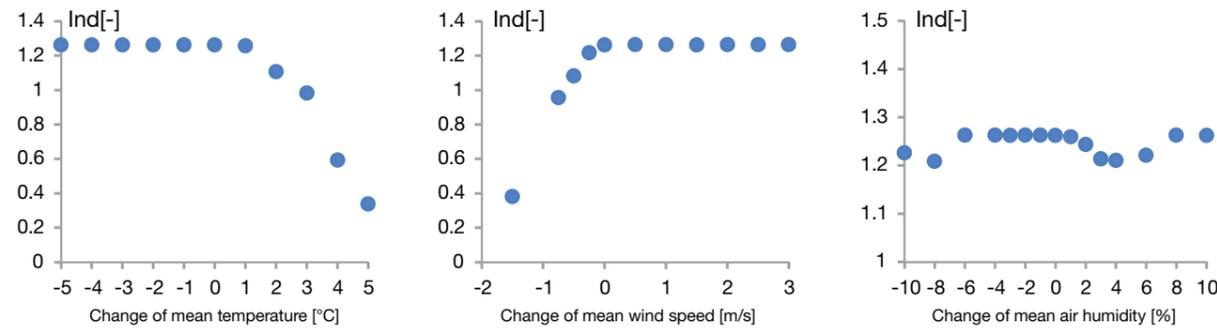
Modello termodinamico

Scenari di temperatura dell'aria			Scenari del regime del vento			Scenari dell'umidità dell'aria			
Cambiamento della temperatura media dell'aria in [°C]:			Cambiamenti della velocità media del vento (m/s):			Cambiamenti del valore medio di umidità in % di rF:			
0	4	-3	-1.5	0	2	-10	-3	1	6
1	5	-4	-0.75	0.5	2.5	-8	-2	2	8
2	-1	-5	-0.5	1	3	-6	-1	3	10
3	-2		-0.25	1.5		-4	0	4	

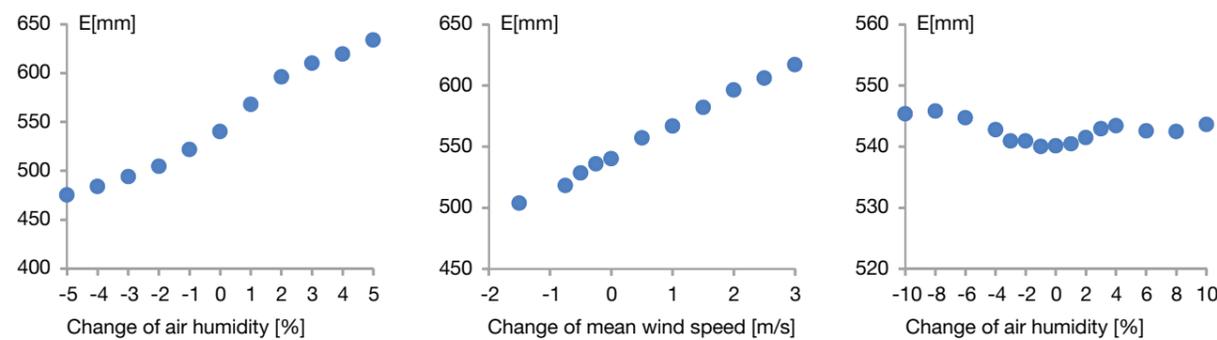
Temperatura dell'acqua superficiale



Indice medio di rimescolamento⁽³⁾



Evaporazione

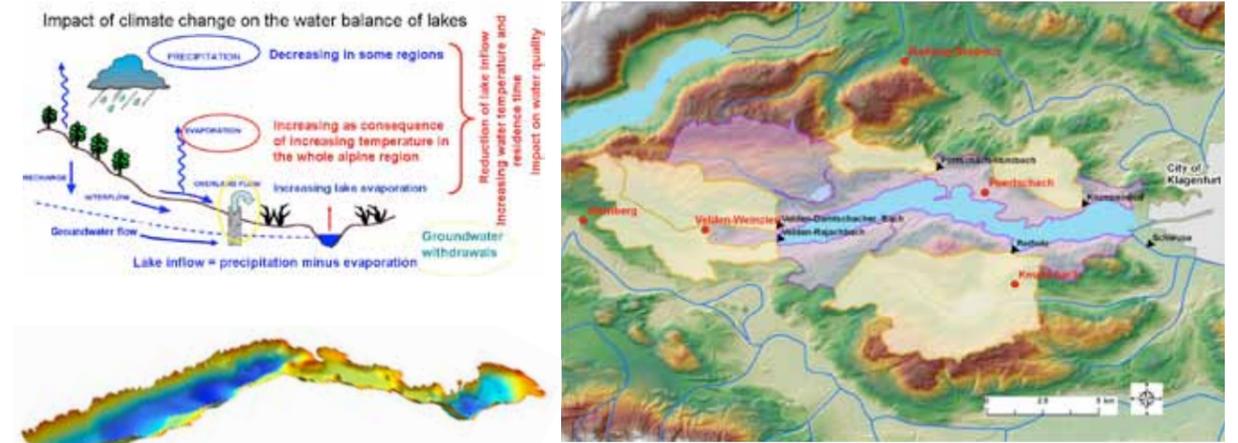


Se la temperatura media dell'aria aumenta la temperatura, media dell'acqua aumenta approssimativamente con la stessa percentuale. Un aumento della temperatura porta ad una diminuzione dell'intensità del rimescolamento. Basse temperature dell'aria non hanno effetti significativi sul rimescolamento.

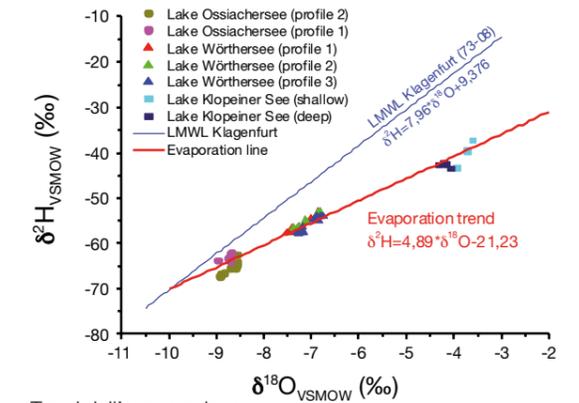
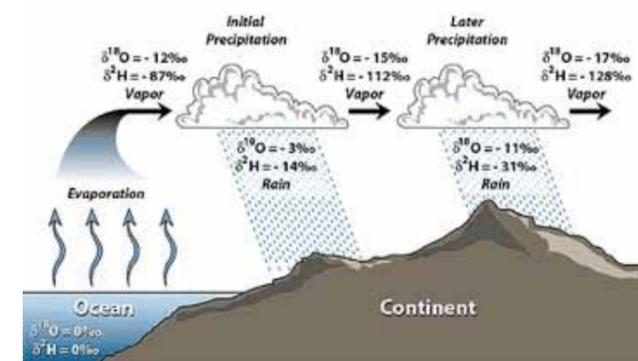
Ma un declino della velocità media del vento porta ad un rimescolamento di minor intensità. Maggiore è la velocità del vento maggiore è il tasso di evaporazione. Un cambiamento dell'umidità media dell'aria provoca effetti non significativi sull'evaporazione dalla superficie del lago.

(3) L'indice medio di rimescolamento descrive la circolazione verticale e l'intensità di rimescolamento in inverno/primavera. Maggiore è il valore dell'indice, più intensa sarà l'intensità del rimescolamento. Un valore pari a 0 indica l'assenza di scambi tra la superficie e il fondo del lago. Il valore massimo per Worthersee: 1.34.

Modello idrologico e analisi isotopica

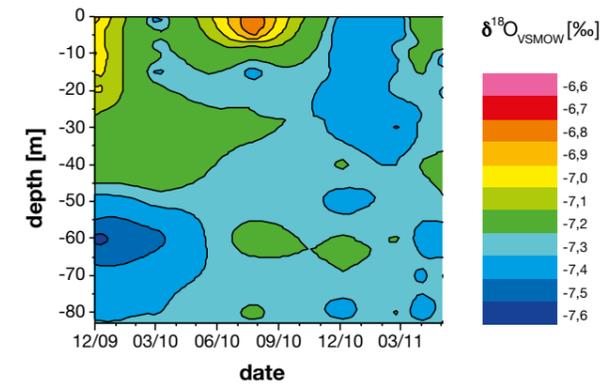


Indagine circa il regime di circolazione attuale e il processo di evaporazione usando gli isotopi ambientali



Tempo di residenza media nella parte più profonda: 9,5 anni

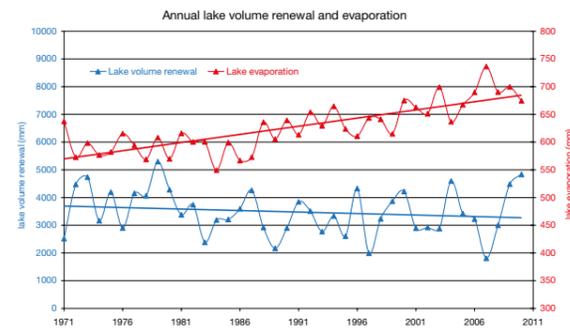
Trend dell'evaporazione



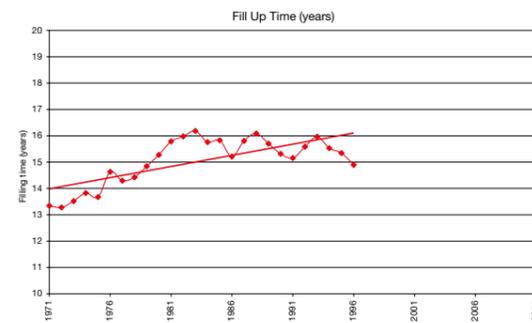
Attuale comportamento di circolazione (Oxygen – 18 contents)

Analisi storica dell'acqua e tendenze storiche

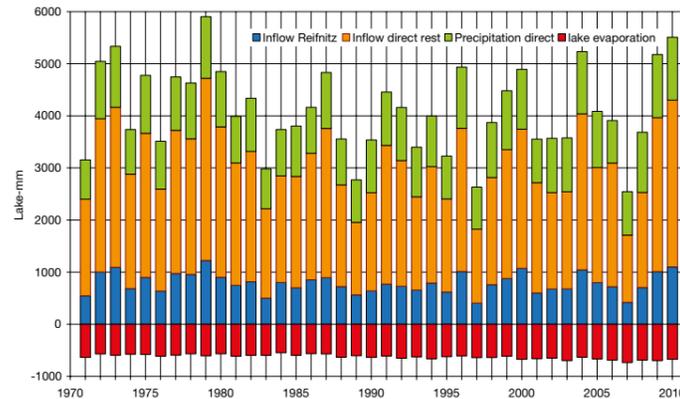
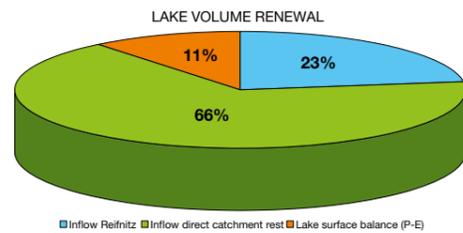
Tendenza del rinnovo delle acque ed dell'evaporazione



Tendenza del tempo di riempimento

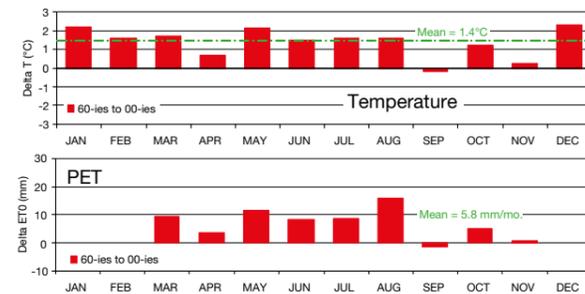


Componenti del volume di acqua annuale

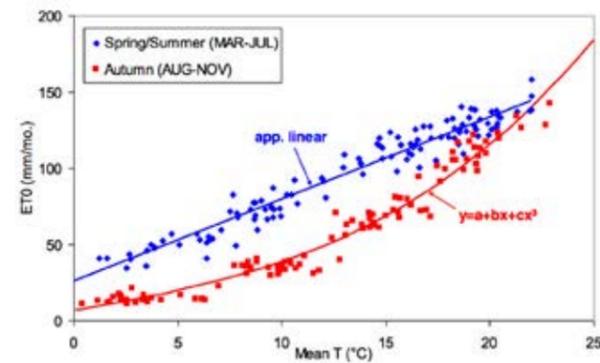


Che cosa accadrà in futuro?

Scenari meteorologici

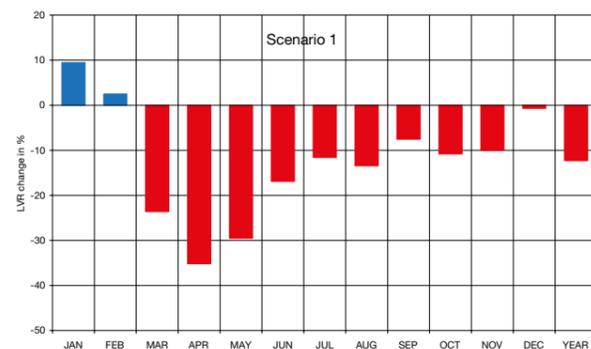
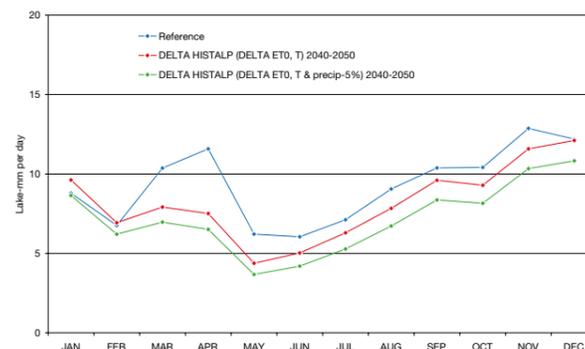


Scenario 1: Temperatura e potenziale evapotraspirazione dai trend estrapolati da Histalp (50 anni)



Scenario 2040 – 2050: distribuzione mensile del rinnovo delle acque

Scenario 2: Scenario 1 con una diminuzione delle precipitazioni del 5% ugualmente distribuita negli anni.



Il lago è caratterizzato da una circolazione relativamente ridotta, il bacino imbrifero è influenzato particolarmente dal bilancio idrico, come il lago stesso.

Un semi distribuito "concept rainfall-runoff model" è stato applicato con lo scopo di simulare i cambiamenti del passato e sviluppare scenari del ricambio delle acque del lago in funzione dell'utilizzo del suolo e delle condizioni climatiche e degli scenari dell'evaporazione del lago. Le immagini mostrano significativi cambiamenti del bilancio idrico (diminuzione del tempo di rinnovo delle acque e dei livelli dell'acqua, aumento dell'evaporazione) e di conseguenza un aumento del tempo di riempimento. L'analisi storica mostra che il bilancio lacustre è molto sensibi-

le ai cambiamenti della temperatura dell'aria. Un aumento della temperatura di 1.5 °C fino al decennio 2040-2050 in presenza di precipitazioni stabili produce una riduzione media del ricambio d'acqua del lago del 12%. Ad aprile e maggio la riduzione risulta anche maggiore al 30%. La sovrapposizione con una riduzione delle precipitazioni del 5% comporta una riduzione media del 23%, ad aprile maggio superiore persino al 40%. Inoltre i cambiamenti nell'uso di suolo nel bacino del lago possono avere ulteriori significativi effetti. Di conseguenza ci si può aspettare il protrarsi di un aumento dei tempi di riempimento e di residenza, parametri che hanno effetti sull'ecologia del lago.

Percentual change of the lake water renewal

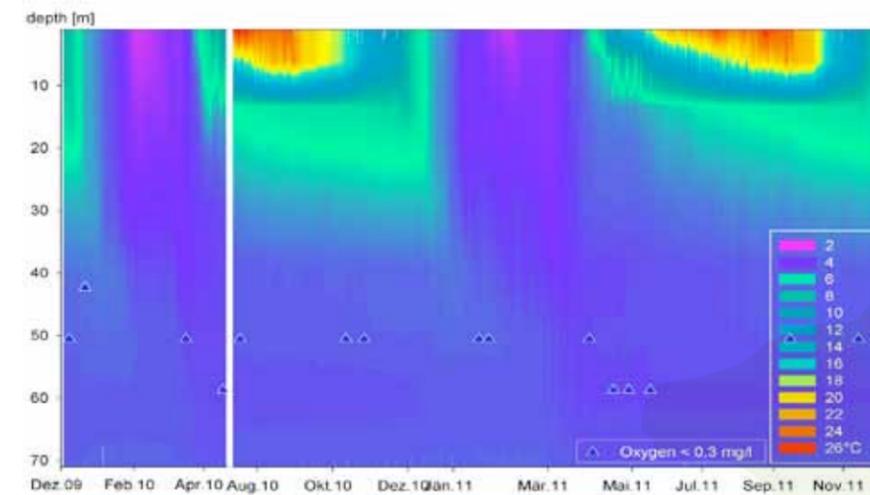
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Scenario 1	9	3	-24	-35	-30	-17	-12	-13	-8	-11	-10	-1	-12
Scenario 2	-2	-8	-33	-44	-41	-31	-26	-26	-19	-22	-20	-11	-23

Cambiamenti di temperatura dell'acqua e dei regimi di rimescolamento

Medium water temperature at surface

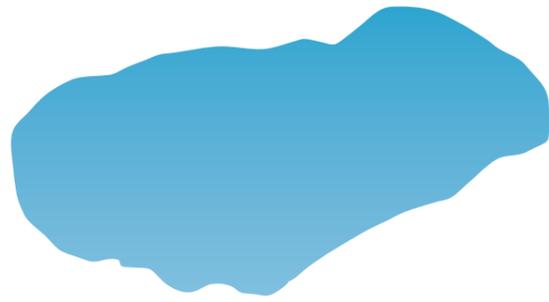
	January	April	August	November
Wörthersee: 1930 - 2010	+1,2 °C	+1,5 °C	+1,2 °C	+1,0 °C

Development of temperature stratification



C'è un chiaro aumento della temperatura dell'acqua in superficie nei mesi di Gennaio, Aprile e Agosto causato dai cambiamenti climatici – ritardo del periodo freddo in inverno e anticipo del periodo primaverile. Ad agosto l'impatto è minore rispetto ad aprile a causa dell'aumento del fenomeno di evaporazione (effetto di raffreddamento sulla superficie dell'acqua). Il lago Worthersee è un lago meromittico (caratterizzato da una circolazione parziale). La colonna d'acqua negli anni '30 aveva una circolazione fino a 50 m. Negli ultimi decenni si è verificata una circolazione che ha

raggiunto gli 80 m come rilevato dalla presenza della concentrazione di ossigeno in profondità. La situazione della temperatura e della concentrazione di ossigeno per il periodo da dicembre 2009 a novembre 2011 è mostrata nella figura sopra. La circolazione primaverile e invernale si spinge fino a 60 m. Una chiara indicazione di una circolazione più profonda e una riduzione della temperatura dell'acqua e un aumento della concentrazione di ossigeno nelle parti profonde del lago.



Lago Klopeiner See

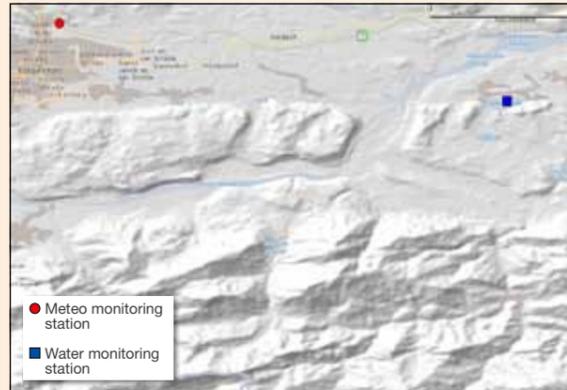
Il lago

È quanto rimane di un precedente lago post glaciale molto più grande. Il lago è stato progressivamente riempito dai detriti portati dal fiume post glaciale Vellach, fino a determinare gli attuali laghi Klopeiner e il vicino Kleinsee. La riva ha perso molto della sua originalità a causa degli insediamenti e delle infrastrutture turistiche. Il regime di rimescolamento del lago è caratterizzato dalla presenza di banchi di marne gessose sia nel bacino orientale che in quello occidentale. Non essendo presente un affluente degno di nota, il lago viene quindi alimentato da piccoli torrenti superficiali e da sorgenti di acqua freatica. L'emissario caratterizzato da una ridotta portata media di 35 l/sec è ubicato sulla sponda occidentale e sfocia nel fiume Drau. È il lago con il minor rinnovo d'acqua e conseguentemente il lago più caldo della Carinzia. Il lago

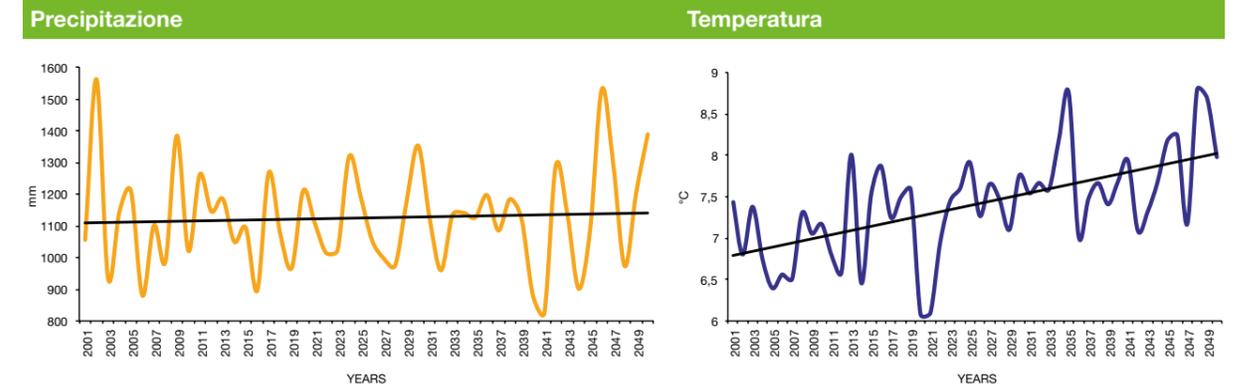
ha la forma simile ad un uovo, con una lunghezza di circa 1,8Km ed una larghezza di 0,8Km. Stante il lungo tempo di residenza dell'acqua il comune di St. Kanzian quale proprietario del lago stesso ha compiuto grandi sforzi per preservare la qualità dell'acqua. L'intero bacino idrico è stato dotato di un sistema fognario da quando il lago, nei primi anni 80, ha iniziato a dare segni di eutrofizzazione. Dal 1975 il lago viene trattato con un unico drenaggio delle acque in profondità al fine di ridurre il carico dei nutrienti. Il lago viene utilizzato per finalità prettamente turistiche. I primi visitatori arrivarono nel 1885. In quel tempo la località aveva 40 posti letto e la maggioranza dei visitatori arrivava per periodi di riabilitazione post malattie polmonari. Oggigiorno la località è arrivata a disporre di quasi un milione di pernottamenti l'anno.

Carta d'identità

Bacino Imbrifero	2.40	km ²
Area del Lago	1.14	km ²
Profondità Massima	48	m
Profondità Media	23	m
Volume	22.9	m ³ x 10 ⁶
Altitudine Media	446	m s.l.m.
Tempo di riempimento medio	20.6	anni
Tempo di residenza medio dello strato profondo	6.8	anni
Media annuale immissari 1971-2010 (principalmente dalle acque sotterranee)	23.8	l/s
Media annuale emissari 1971-2010 (inclusi i ruscelli)	34.0	l/s
Stato trofico del lago	oligotrofico	



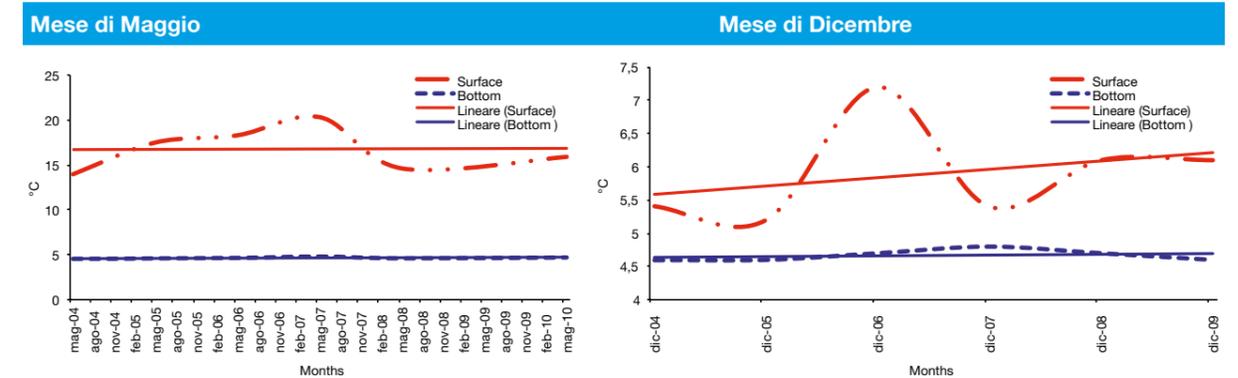
"Climate driven" scenario 2001 - 2050



	2020	2030	2040	2050
Scenari di precipitazione (mm)	- 72,8	- 19,2	- 43,2	+ 31,5
Scenari di temperatura dell'aria (°C)	+ 0,32	+ 0,6	+ 0,96	+ 1,25

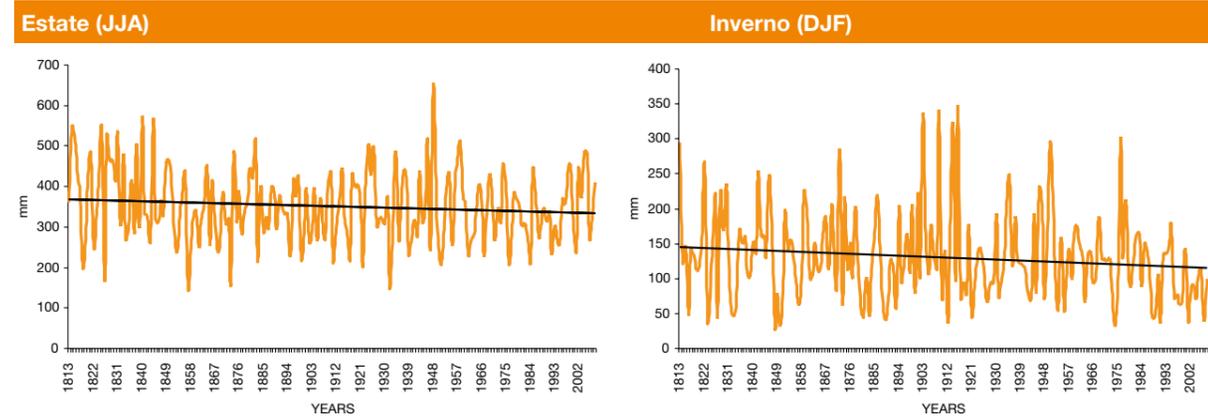
Trend storici

Temperatura dell'acqua



	Periodo: 2001 - 2010	
	Tasso: °C per mese	
	Mese di Maggio	Mese di Dicembre
Superficie	+ 0,02	+ 0,16
Fondo	+ 0,03	+ 0,12

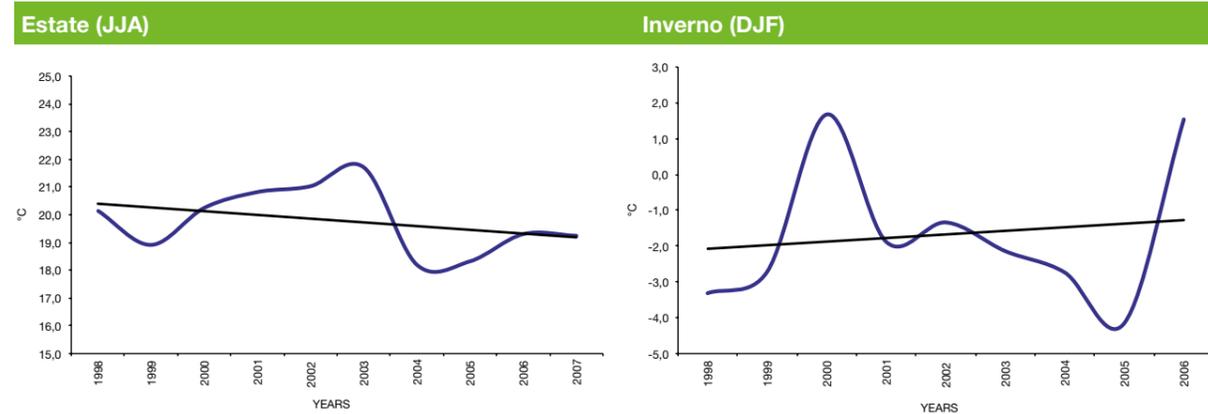
Precipitazione



Periodo: 1813 - 2011
Progetto Histalp – Stazione Klaghenfurt - Flugafen
 Tasso: mm per decade

JJA	DJF
- 1,8	- 1,5

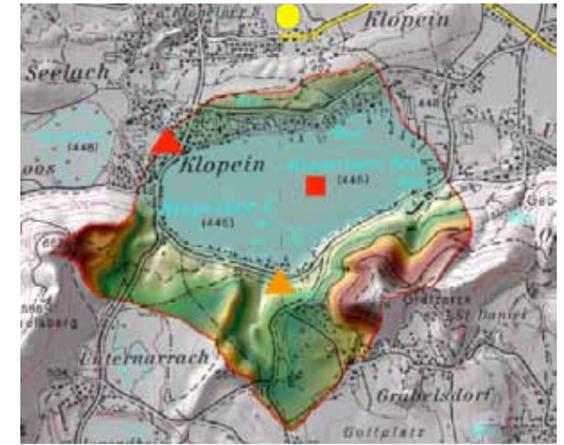
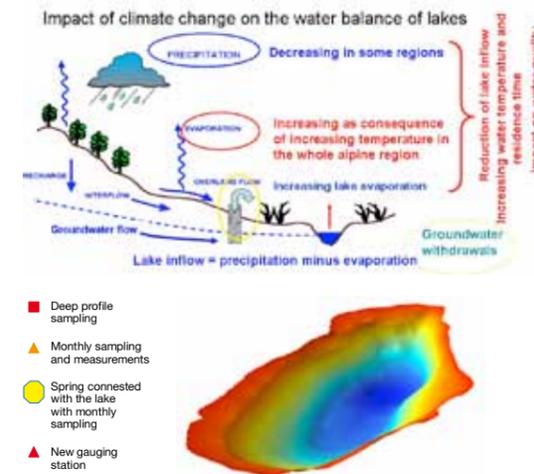
Temperatura dell'aria



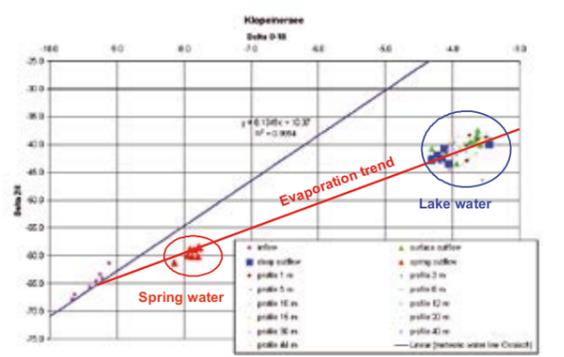
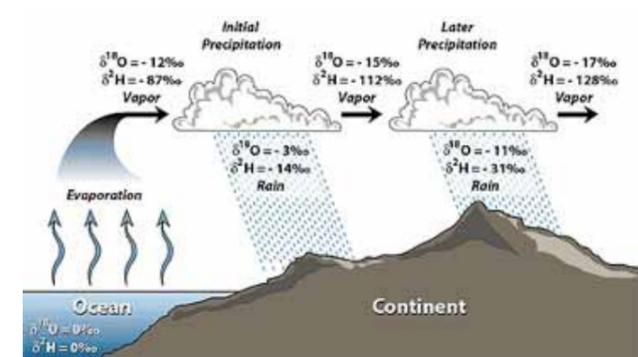
Periodo: 1813 – 2008
Stazione Klopein
 Tasso: °C per decade

JJA	DJF
- 0,13	+ 0,10

Modello idrologico e analisi isotopica

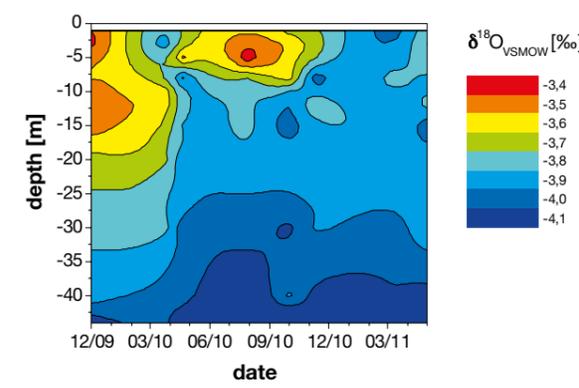


Indagine circa il regime di circolazione attuale e il processo di evaporazione usando gli isotopi ambientali

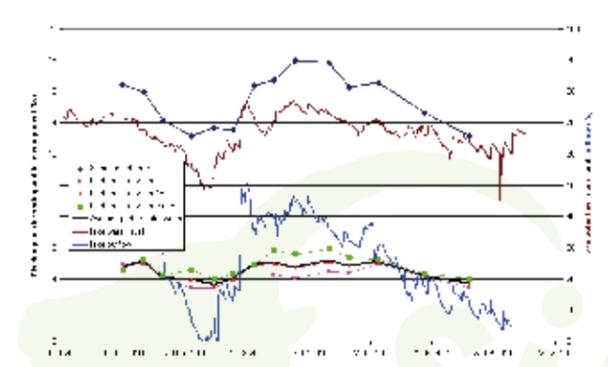


Tempo di residenza media nella parte più profonda: 6,8 anni

Trend dell'evaporazione



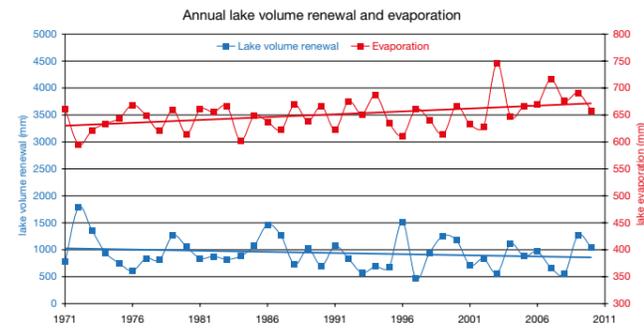
Attuale comportamento di circolazione (Oxygen – 18 contents)



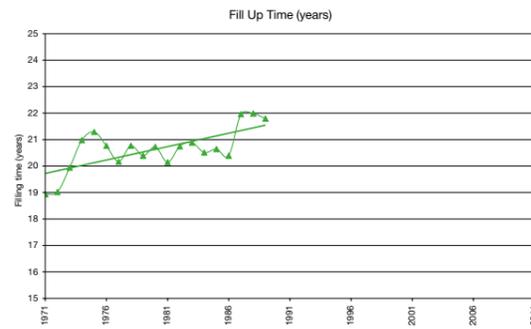
Quantificazione delle perdite del lago verso ruscelli

Analisi storica dell'acqua e tendenze storiche

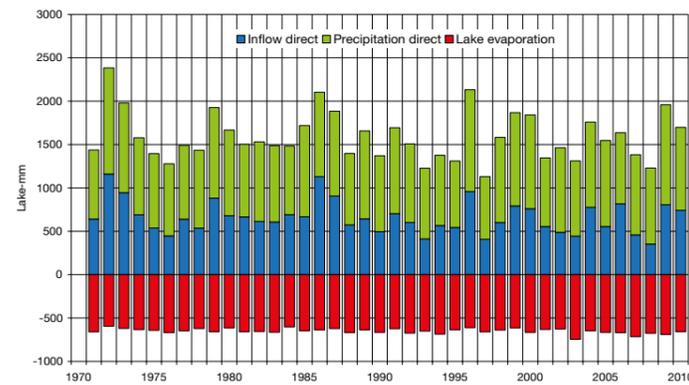
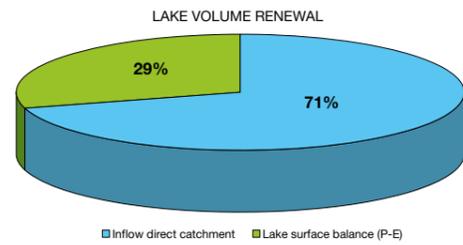
Tendenza del rinnovo delle acque ed dell'evaporazione



Tendenza del tempo di riempimento

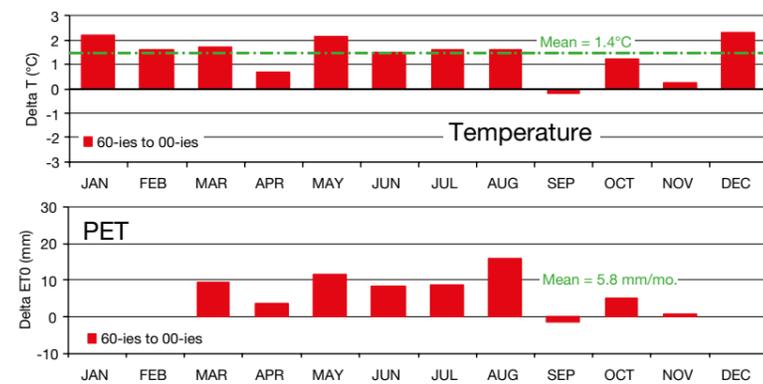


Componenti del volume di acqua annuale

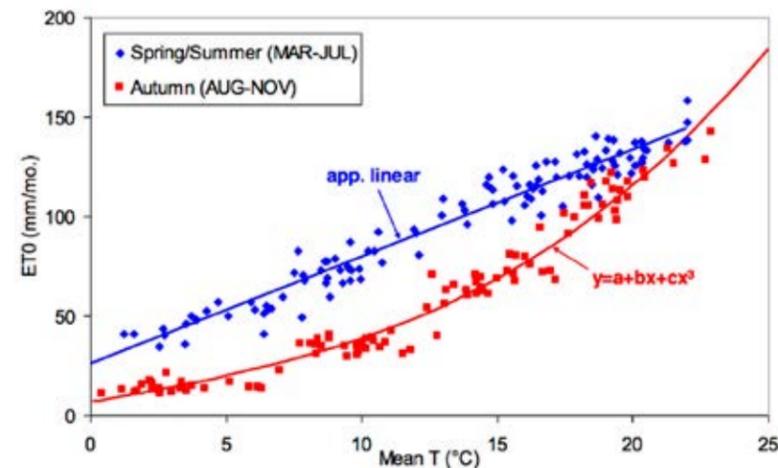


Che cosa accadrà in futuro?

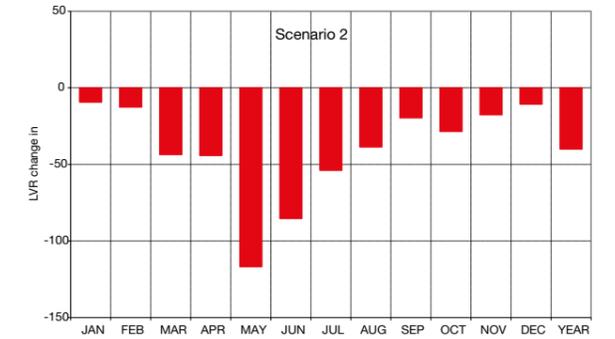
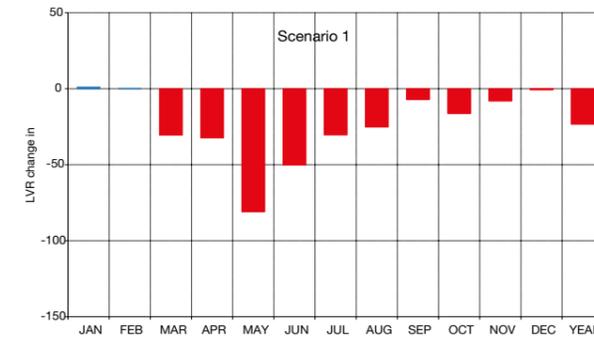
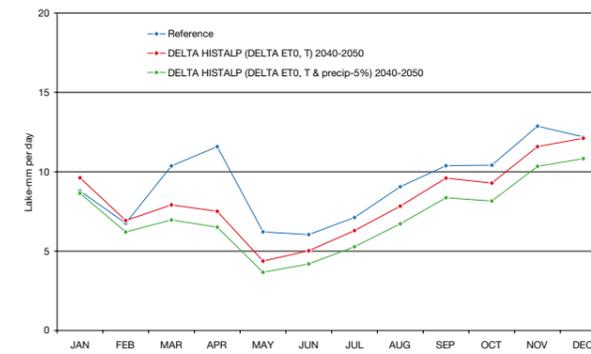
Scenari meteorologici



Scenario 1:
Temperatura e potenziale evapotraspirazione dai trend estrapolati da Histalp (50 anni)



Scenario 2040 – 2050:
distribuzione mensile del rinnovo delle acque



Il piccolo lago è caratterizzato da una circolazione relativamente lenta e i processi di evaporazione sulla superficie dell'acqua sono influenzati dal bilancio idrico. Il lago viene alimentato da piccole sorgenti di acqua freatica e cede acqua ad un ruscello. Le variazioni delle concentrazioni di isotopi perfino nelle maggiori profondità testimoniano insieme con la presenza di isotopi del vicino ruscello che esiste una bassa circolazione nel lago ed un rilascio di circa 5% di acqua dal lago al ruscello che è stata presa in considerazione nei calcoli del bilancio idrico. Un "lumped conceptual rainfall-runoff model" è stato applicato con lo scopo di simulare i cambiamenti del passato e sviluppare scenari del ricambio delle acque del lago in funzione dell'utilizzo del suolo e delle condizioni climatiche e degli scenari dell'evaporazione del lago. Le immagini evidenziano i cambiamenti significativi del bilancio idrico (riduzione del ricambio d'acqua, aumento dell'evaporazione del lago) e conseguentemente un incremento nei tempi

di riempimento. Gli sviluppi del passato e gli scenari simulati evidenziano che il bilancio idrico dei piccoli laghi con piccoli bacini sia strettamente sensibile ai cambiamenti della temperatura dell'aria. Un aumento della temperatura di 1,5°C fino al decennio 2040-2050 con precipitazioni stabili produce una riduzione media del ricambio dell'acqua del lago del 23%. Nei mesi da marzo a luglio la riduzione supera persino il 30% con un massimo del 81% nel mese di maggio. La sovrapposizione con la riduzione di un 5% delle precipitazioni comporta una riduzione media del 40% persino superiore al 50% nei mesi di maggio luglio, con un punta massima del 117% a maggio. Inoltre i cambiamenti nell'uso del suolo nel bacino idrico del lago possono avere ulteriori importanti effetti. Di conseguenza è lecito aspettarsi il protrarsi del trend di incremento del tempo di riempimento e di residenza, parametri che influenza l'ecologia lacustre.

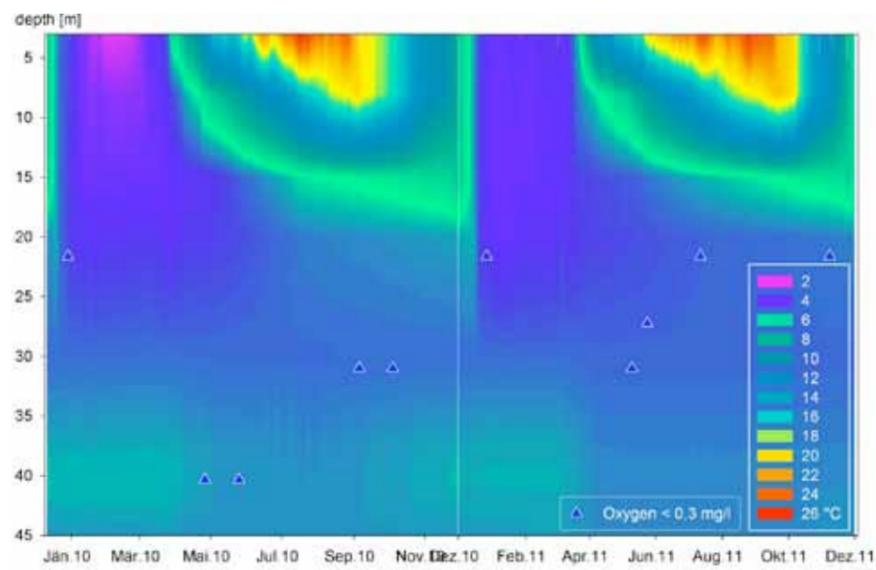
Percentual change of the lake water renewal

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Scenario 1	1	0	-31	-32	-81	-50	-30	-25	-7	-16	-8	-1	-23
Scenario 2	-9	-13	-44	-44	-117	-85	-54	-39	-20	-29	-18	-11	-40

Cambiamenti di temperatura dell'acqua e dei regimi di rimescolamento

Medium water temperature at surface				
	January	April	August	November
Wörthersee: 1930 - 2010	+ 0,2 °C	+ 1,1 °C	+ 0,2 °C	- 0,2 °C

Development of temperature stratification



Nel periodo dal 1990 al 2010 si è verificato un leggero aumento della temperatura superficiale dell'acqua nei mesi invernali, primaverili ed estivi. Sembra che non ci sia alcuna influenza del riscaldamento globale sulla temperatura dell'acqua del lago. Il lago è meromittico, cioè in primavera ed in autunno ha una circolazione verticale solamente parziale. Questo genera un ricambio di ossigeno solo fino a 30 metri di profondità come mostra il grafico sopra, le zone vicine al fondo rimangono perciò atossiche, prive di ossigeno. Il corpo idrico al di sotto del limite di circolazione si

trova in una fase di stagnazione. La situazione della temperatura e circolazione dell'ossigeno nelle profondità forniscono informazioni sul periodo di circolazione e sull'estensione della circolazione dell'acqua. Un chiaro indicatore della profondità di circolazione è la presenza di ossigeno. In generale il limite di ossigeno in questo lago è la profondità di 30 metri. A maggio 2010 la circolazione si è spostata più in profondità e si sono avute misurazioni di ossigeno sino a 40 metri.



Conclusioni

Prima degli anni 90 la maggioranza degli scienziati in campo ambientale ritenevano che il clima potesse esercitare un'influenza relativamente costante sugli ecosistemi d'acqua dolce. Negli ultimi anni al contrario si è appurato che i cambiamenti climatici sono responsabili di un ulteriore stress sulle superficie d'acqua e sviluppano importanti interazioni con altri fattori (quali l'eutrofizzazione, i cambiamenti idromorfologici, l'acidificazione).

Gli impatti principali del riscaldamento globale sugli ecosistemi lacustri sono provocati dai cambiamenti della temperatura dell'aria, delle precipitazioni e del regime del vento. La risposta dei laghi ai cambiamenti climatici dipende dalla combinazione delle loro caratteristiche, che, a loro volta sono influenzate dalla loro localizzazione, dall'ambientazione de paesaggio, e dalla loro dimensione e topografia.

Il riscaldamento globale sta già influenzando le condizioni fisiche, chimiche, biologiche e idromorfologiche degli ecosistemi perlacuali. La portata del cambiamento è ancora relativamente ridotta rispetto all'impatto generato dall'uso antropico del suolo e allo stesso tempo impone cambiamenti nello sfruttamento delle risorse nei bacini idrici.

I cambiamenti delle caratteristiche dell'ecosistema dei laghi nell'area alpina, come viene qui descritto, continueranno nel tempo e diventeranno sempre più evidenti con l'aumento delle emissioni dei gas responsabili dell'effetto serra.

Questi cambiamenti avranno conseguenze nello spazio alpino, cambiamenti quali eventi meteorologici estremi, con maggiori carichi di sedimenti; quali una riduzione delle precipitazioni, che in particolare nelle regioni occidentali potrebbe portare ad una riduzione del livello dell'acqua e di conseguenza potrebbe ridurre la regolarità della portata, in modo da condurre ad un cambiamento della localizzazione dell'ecosistema e delle aree riproduttive e di fecondazione, e da incrementare l'eutrofizzazione di laghi poco profondi; temperature più elevate porteranno ad esempio ad

una riduzione della fornitura di acqua, ad un cambiamento delle stagioni di fioritura e di crescita delle piante, ad un incremento dell'evaporazione, dell'evapotraspirazione, e di un probabile stato di siccità in tarda estate, con alterazioni nelle concentrazioni di ossigeno nella colonna di acqua e nella catena alimentare. Le autorità coinvolte nella gestione dei laghi nello spazio alpino devono agire adesso al fine di prepararsi a questi effetti. Ciò significa modificare il modo in cui vengono progettate le abitazioni e le infrastrutture, migliorare l'utilizzo dell'acqua, ripensare il modo in cui vengono sfruttate le delicate zone sabbiose, o di utilizzare coltivazioni con maggiore resistenza alla siccità.

Ai laghi alpini devono quindi essere applicate soluzioni ingegneristiche, miglioramenti nelle infrastrutture, proposte per nuove strutture e impianti. Da un lato alcune azioni di adattamento quali gli adattamenti comportamentali possono essere sviluppate a basso costo, mentre dall'altro gli interventi sulle infrastrutture richiedono investimenti significativi. Ma le decisioni prese oggi sulla gestione dei principali usi dei laghi (irrigazione, navigazione, turismo, balneazione, energia elettrica,...) avranno conseguenze durature per i nostri figli e le generazioni future, e ridurranno i costi futuri della gestione stessa. Tenere presente il clima del futuro nel prendere queste decisioni, metterà lo spazio alpino in una migliore posizione nell'affrontare gli inevitabili impatti dei cambiamenti climatici.

Al fine di definire nel miglior modo possibile la gestione dell'acqua e gli strumenti decisionali, sono essenziali una lunga serie di dati su parametri chimici, fisici, climatici e biologici. Attualmente attraverso il monitoraggio, la modellizzazione, e un sistema di analisi, il progetto SILMAS ha sviluppato un sistema di preallarme per il cambiamento climatico, fornendo un supporto per le decisioni a livello politico per assumere strategie di aggiustamento in termini di gestione della risorsa idrica e di salvaguardia o ripristino degli ecosistemi.

Bibliografia

- Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds); Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Endoh, S., Yamashita, S., Kawakami, M., AND Okumura, Y., 1999. Recent Warming of Lake Biwa Water, Jap. J. Limnol., 60, 223 – 228
- Gronskaya, T.P., George, D.G. & Arvola, L. 2001. The influence of long-term changes in the weather on the thermal characteristics of lakes in the UK, Finland and Russia. –9th International Conference on the Conservation and Management of Lakes. Session 5. Partnerships for Sustainable Life in Lake Environments: Making Global Freshwater Mandates Work. Shiga Prefectural Government, Japan, pp. 43-46.
- Jarvet, A., 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? Tree, 15, 56 – 61.
- Jöhnk K D ,Huisman J, Sharples J Sommeijer B ,Visser P M ,Stroom J M. Summer heat waves promote blooms of harmful Cyanobacteria. Glob Chang Biol 2008; 14: 495 – 512.
- Kernan M., Battarbee R., Moss B., 2010 climate change impacts on freshwater ecosystems, Blackwell Publishing
- Korhonen, J. (2005), "Suomen vesistöjen jääolot", Finnish Environment 751, Finnish Environment Institute, Helsinki.
- Magnuson, J. J., Robertson, D. M., Benson, B. J., Wynne, R. H., Livingstone, D. M., Arai, T., Assel, R. A., Barry, R. G., Card, V., Kuusisto, E., Granin, N., Prowse, T. D., Stewart, K. M. and Vuglinski, V. S. (2000), "Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere", Science 289(5485), 1743-1746.
- Mooij W M ,Hülsmann S ,De Senerpont Domis L N ,Nolet B A ,Bodelier P L E ,Boers P C M ,et al. The impact of climate change on lakes in the Netherlands: a review. Aquat Ecol 2005; 39: 381–400.
- Scheffer, M. et al. (2001) Catastrophic shifts in ecosystems. Nature 413, 591–596
- Skjelkvåle, B.L. and Wright, R.F. 1998. Mountain lakes; sensitivity to acid deposition and global climate change. AMBIO 27:280-286.
- Todd M.C., and Mackay A.W., 2003: Large-scale climate controls on the Lake Bajkal ice cover. J. Climate, 16 3186-3199.
- Weyhenmeyer, G. A. 2001. Warmer winters - are planktonic algal populations in Sweden's largest lakes affected? Ambio 30: 565-571.







silmas

alpine
lakes
network

