



FREEWAT
Free and Open Source Software Tools for Water Resource Management
EU HORIZON 2020 Project



Horizon 2020
European Union funding
for Research & Innovation

 **ict4water.eu**

OAT & Lake package: FREEWAT ed il caso di studio del lago di Lugano

A FREEWAT Case Study

Massimiliano Cannata¹, Jakob Neumann¹, Sebastian Pera¹, Mauro Veronesi²

¹ Institute of Earth Sciences, University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, Cannobio, Switzerland

² Ufficio Della Protezione delle Acque e dell'Approvvigionamento Idrico



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



TEASISTEMI
ENERGY AND ENVIRONMENT TECHNOLOGIES



Scuola Superiore
Sant'Anna



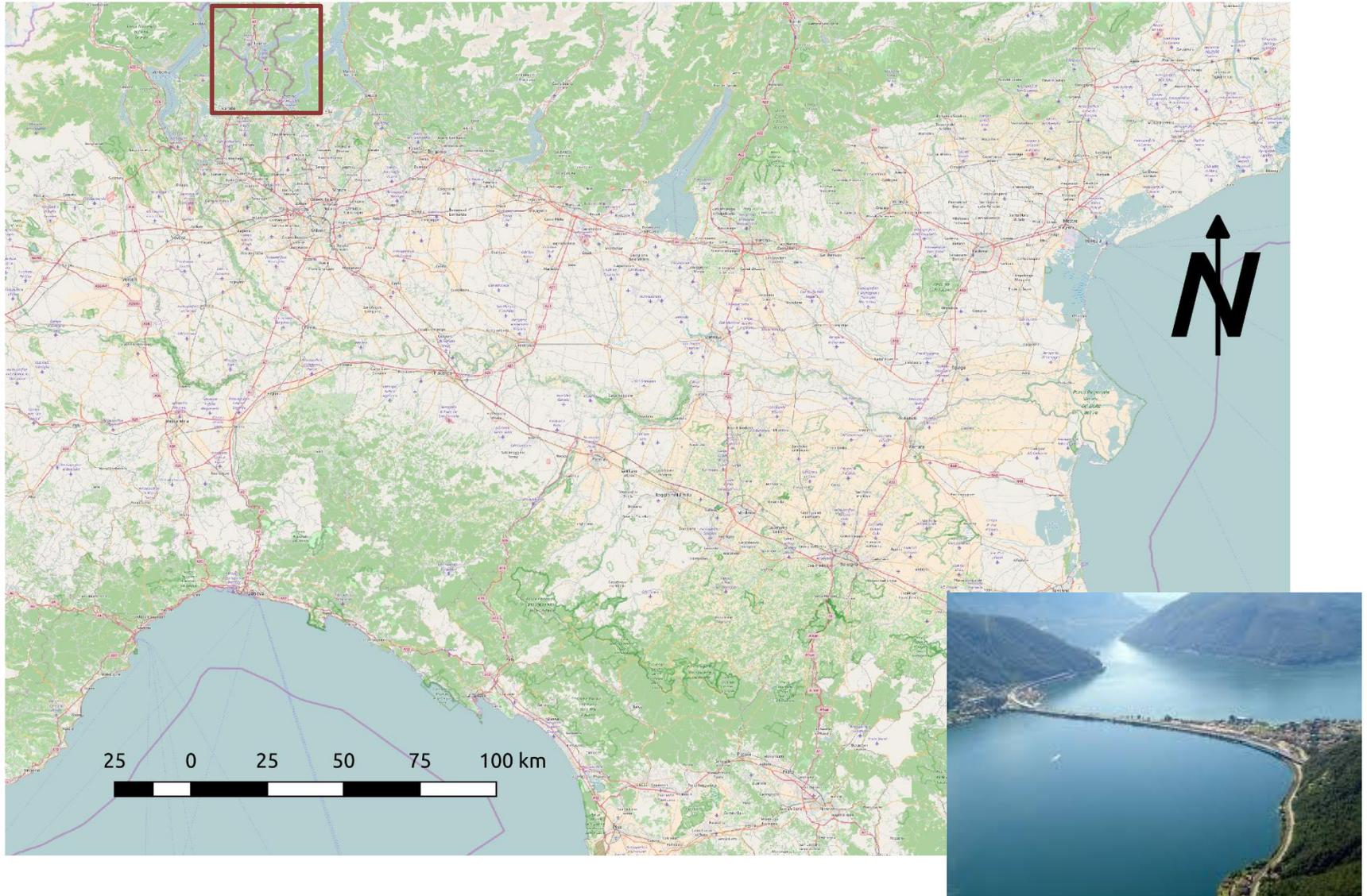
University of Applied Sciences and Arts
of Southern Switzerland

SUPSI



Caso di studio e contesto generale

Il bacino del Lago di Lugano



Il bacino del Lago di Lugano

Il lago è il risultato di un'erosione fluviale di un canyon del periodo terziario che ha subito una forte modifica morfologica durante il Pleistocene le glaciazioni alpine. Il lago è suddiviso in tre sottobacini di cui i due maggiori sono posti lungo un fronte morenico sul quale è stata costruita una diga artificiale. L'unico punto di uscita del bacino è a est con il fiume Tresa.

Quota: 271 m.s.l.m.

Superficie: 48.9 km²

Volume: 5.86 km³

Profondità massima: 288 m

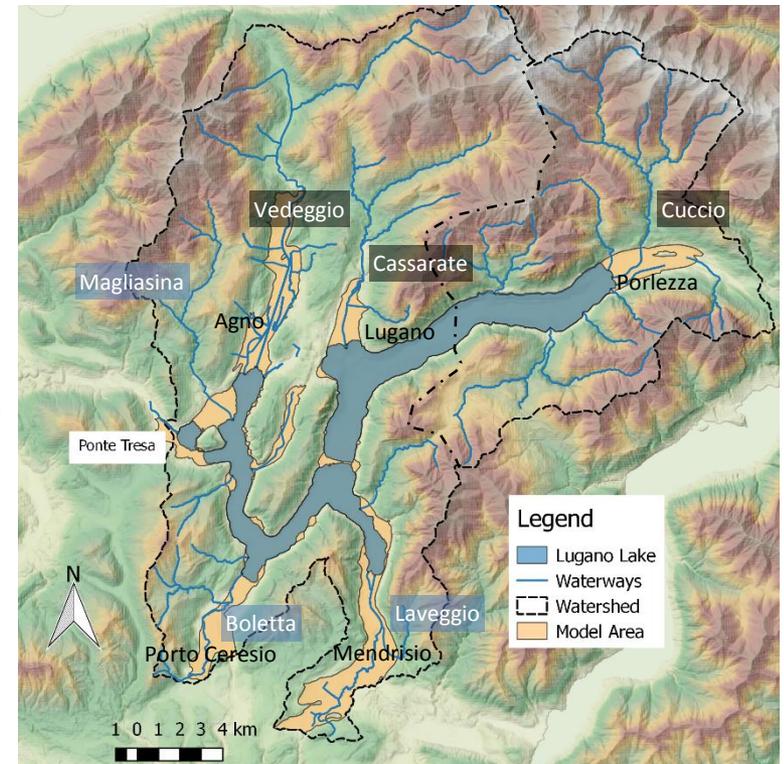
Popolazione del bacino: 266'059 ab.

Geologia: rocce calcaree, gneiss e porfido

Acquiferi principali: Porto Ceresio (IT), Porlezza (IT), Lugano (CH), Agno (CH), Mendrisio (CH).

Tributari principali: Veduggio (3.74 m³/s, 6.8 km²)
Cassarate (2.33 m³/s, 72 km²)
Cuccio (2.2m³/s, 53,8 km²)

Emissario: Tresa (21.35 m³/s)



Approccio partecipato : Local Focus Group

La qualità della risorsa idrica è la tematica di interesse.

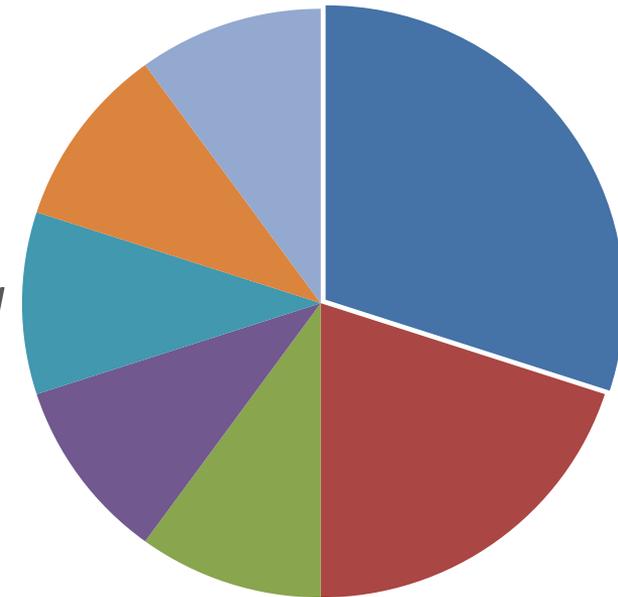
Carichi di fosforo al lago.

- *come gestire al meglio per ridurre i carichi?*
- *Quale l'interazione falde/lago?*
- *Esiste il rischio di apporto di fosforo dalla falda al lago?*

Possibili utilizzi di un modello nell'area:

- *facilitare lo studio della dispersione nella falda di diverse sostanze (fosforo, nitrogeno, pesticidi);*
- *poter comprendere e reagire in tempi brevi a emergenze dovute ad incidenti con dispersione di sostanze pericolose;*
- *delineare in modo accurato le zone di protezione delle acque.*

Lugano Focus Group



- SUPSI-IST
- Private engineering comp.
- Administration in Ticino
- Administration in Italy
- Water Utility
- Environmental protection org.
- Hydrological division

Il fosforo ed il Lago di Lugano

Il tema è estremamente rilevante in quanto nel passato, a seguito di una migrazione interna ed aumento della popolazione, il lago di Lugano diventò fortemente eutrofico. Negli anni 80 si registrarono concentrazioni di P che raggiunsero i 140 mg/m^3 e ad oggi, gli obiettivi di risanamento fissati non sono ancora pienamente raggiunti (www.cipais.org).

Siccome non esiste alcun modello idrogeologico che comprenda il lago ed i suoi bacini, l'applicazione di FREEWAT al caso di studio consente di gettare le basi per svilupparne uno che potrà così essere utilizzato per meglio comprendere le dinamiche (falda-lago) e per sviluppare politiche di gestione efficaci e mirate.

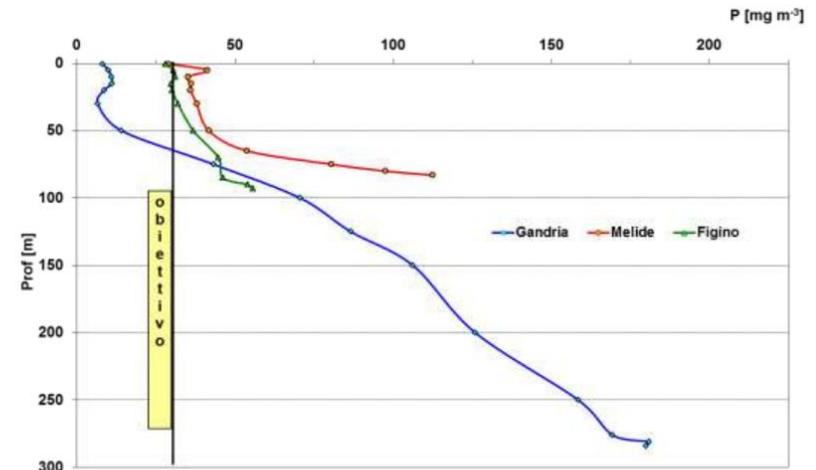


Figura 4 Lago di Lugano, marzo 2016: profili di fosforo totale dopo la circolazione invernale.



Stime degli impatti del cambiamento del clima nell'area sub-Alpina

Le condizioni attese nella regione sub-alpine sono disponibili con bassi livelli di confidenza, ciò nonostante si vede chiaramente un forte impatto sul ciclo idrologico:

- Temperature: **+ 1.8 °C (da +0.9 a +3.1) in inverno e +2.8 °C (da +1.5 a +4.9) in estate**
- Precipitazioni: **+11% (da +1 a +26) in inverno e -19% (da -6 a -36) in estate**

Studi idrologici hanno mostrato che questo avrà un forte impatto sulle acque nel sottosuolo (falde e sorgenti) e sulle portate dei fiumi con alcuni periodi dell'anno caratterizzati da disponibilità limitate della risorsa.

Piogge maggiori in inverno e minori in estate significa attendersi **piogge meno frequenti ma più intense**. Questo produrrà un **aumento delle portate** ed allo stesso tempo una **diminuzione dell'infiltrazione**, **riducendo l'apporto di ricarica alle falde**. Contemporaneamente, temperature più elevate da un lato produrranno un **minore accumulo nevoso** e quindi minor ricarica della falda e dall'altro una **maggiore evapotraspirazione** ed evaporazione **umentando le perdite d'acqua in atmosfera**.

Effetti del “climate change” in relazione al caso di studio

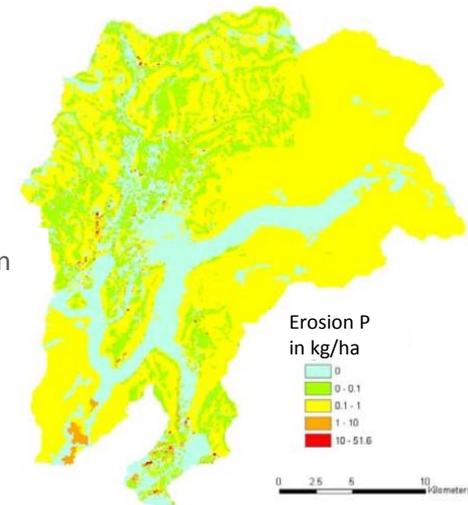
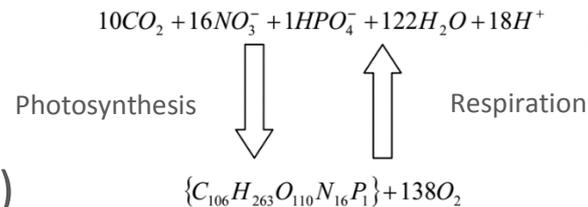
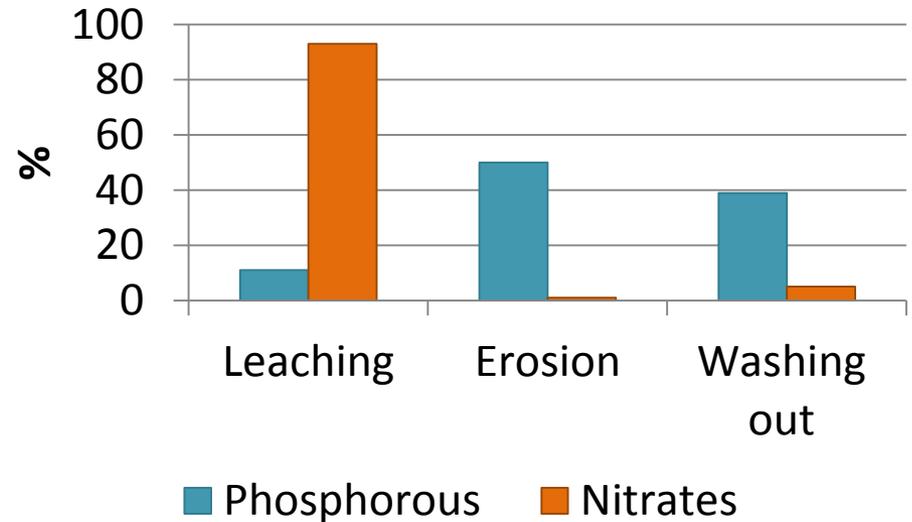
Le attenzioni sono rivolte ai processi che controllano l'eutrofizzazione del Lago di Lugano: il carico di fosforo.

Questo stato può portare ad:

- **acque anossiche,**
- **pericolose fioriture di alghe tossiche,**
- **diminuzione della biodiversità**

Il carico esterno stimato nel 2014:

- Bacino nord = 21 t (obiettivo = 18)
- Bacino sud = 34 t (obiettivo = 22)



Uso dell'acqua nel bacino parte CH

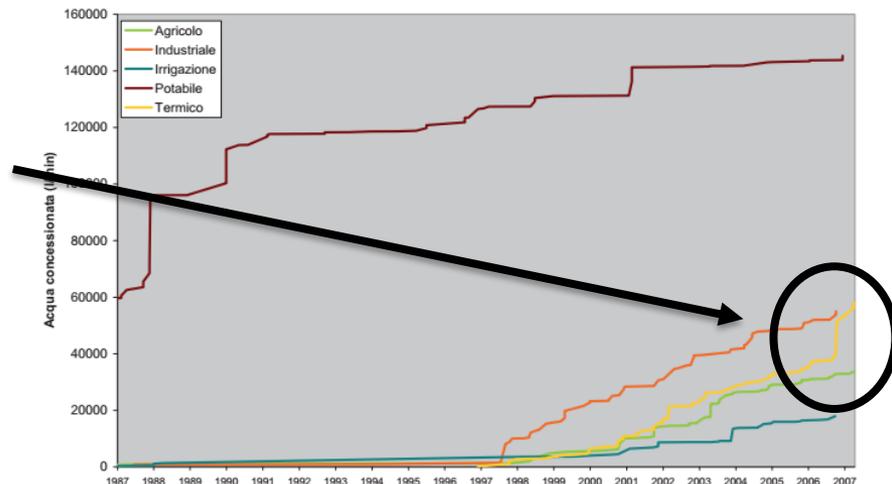
Attualmente si registra un approvvigionamento della risorsa idrica così suddivisa:

41% da falda, 40% da sorgenti e 19% da acque superficiali.

Uso pro-capite (PE) è cresciuto fino agli anni 70, per poi rimanere costante nei successive 15 anni ed infine diminuire lievemente ma costantemente sino ad oggi. Le ragioni individuate per questa diminuzione sono:

- Rinnovamento strutturale del comparto industriale con sistemi di riciclo interni
- Installazione di contatori di uso dell'acqua
- Campagne di sensibilizzazione sull'uso parsimonioso della risorsa
- Rinnovamento dell'infrastrutture e diminuzione delle perdite

Una tendenza molto interessante è il costante **aumento delle richieste e concessioni ad uso geotermico**. Anche se questo non influisce sul bilancio idrologico, questo potrebbe avere dei forti impatti sulla qualità delle acque **umentando l'esposizione dell'acquifero**.



Obiettivi del caso di studio

1. **Sviluppare un modello di acque sotterranee che possa essere usato per calcolare il bilancio idrico, le interazioni acqua-falda, eventuali scenari legati alla dispersione di soluti.**
2. **Studiare le possibili dinamiche esistenti tra acqua superficiale e profonda.**

Il caso di studio ha avuto inoltre lo scopo di dimostrare l'utilizzo due moduli di FREEWAT:

- **Observation Analysis Tool (OAT)**, usato per integrare diverse stazioni di monitoraggio già esistenti nell'area del lago di Lugano mentre
- **Lake package (LAK)**, usato per simulare l'interazione tra gli acquiferi ed il lago.

OAT

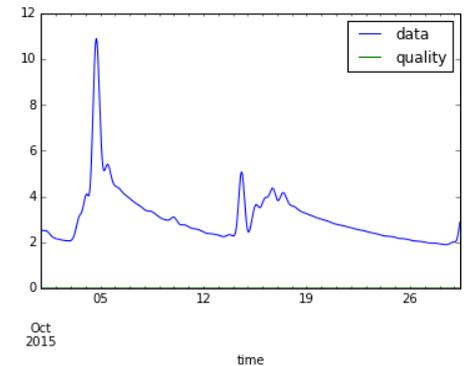


OAT è una libreria in Python con un'interfaccia in FREEWAT

Le serie temporali sono un aspetto importante nella modellazione ambientale, e lo stanno diventando sempre di più grazie alla larga diffusione di reti di monitoraggio diffuse ed in tempo reale.

Usando OAT si può caricare, esplorare, analizzare ed ottenere il massimo dalle proprie osservazioni.

```
#Lowpass filter
CUC4.process(
    method.DigitalFilter(
        1, 0.01, order=6, btype='lowpass')
).plot(quality=True)
```

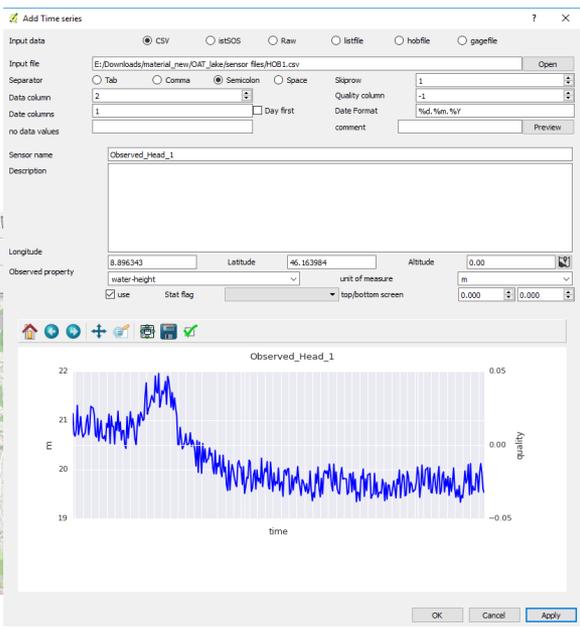
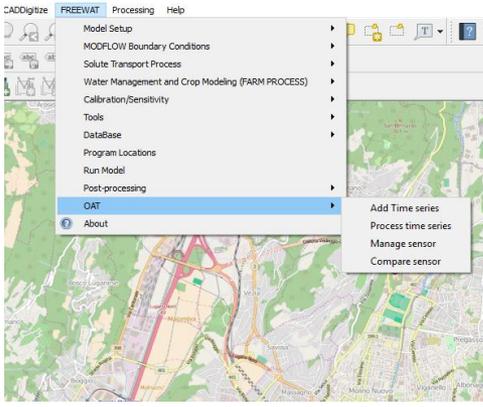
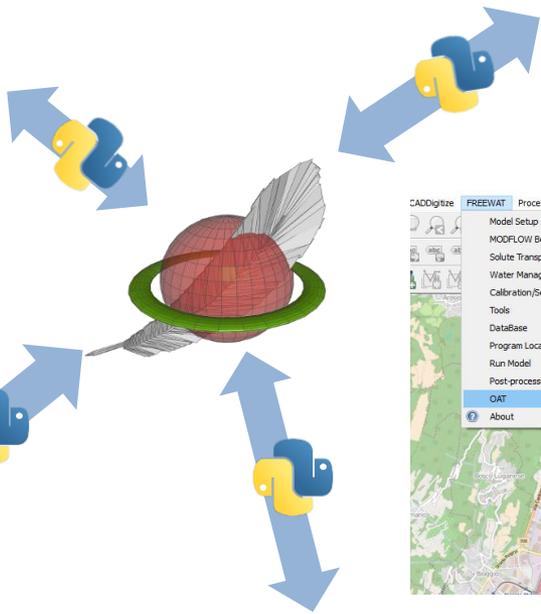


In particolare, nella modellazione queste sono importanti per:

- Comprendere il Sistema che si vuole simulare e quindi supportare la **preparazione dei dati di input,**
- Verificare le simulazioni e **calibrare il modello**



OAT & FREEWAT



AkvaGIS

OAT
Observation Analysis Tool

JSON, WaterML,

CSV

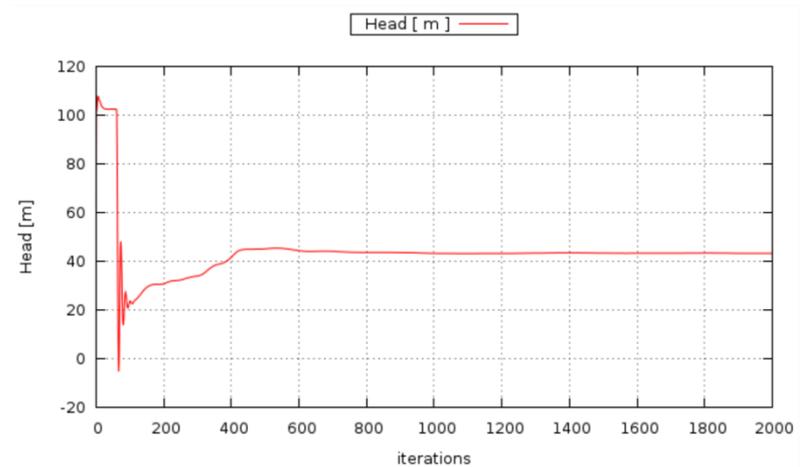


Modflow OBS

Capire OAT

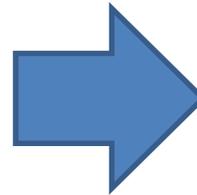
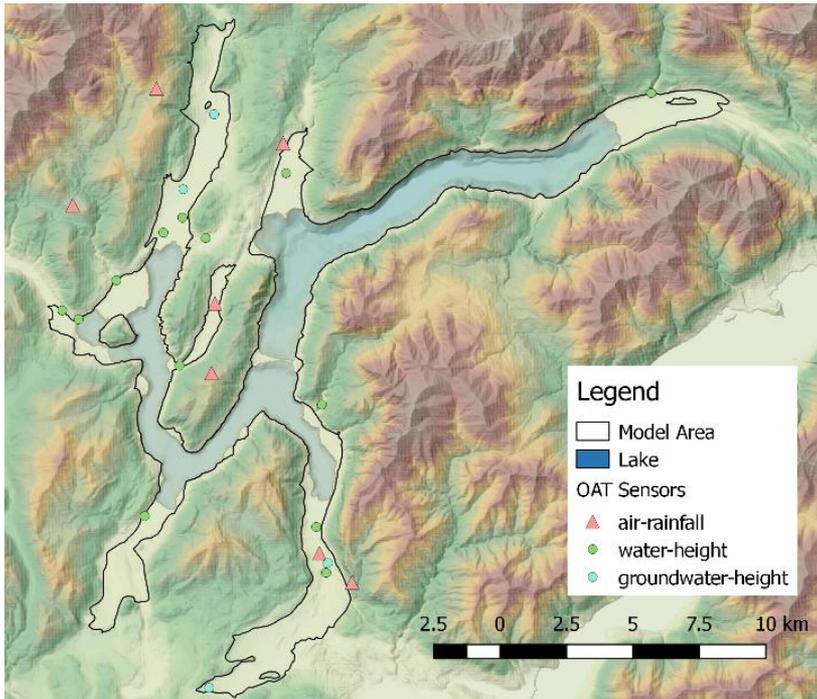
L'idea di base

Ci sono dei "sensori" che fanno delle osservazioni



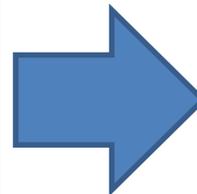
...e poi ci sono tutta una serie di altre informazioni collegate.....

Capire OAT



Metadati del sensore:

- Name
- Description
- Location (lat,lon,elev)
- Unit of measure
- Observed property
- Coordinate system
- Timezone
- Frequency (if regular time series)
- Weight statistic
- Data availability (time interval)



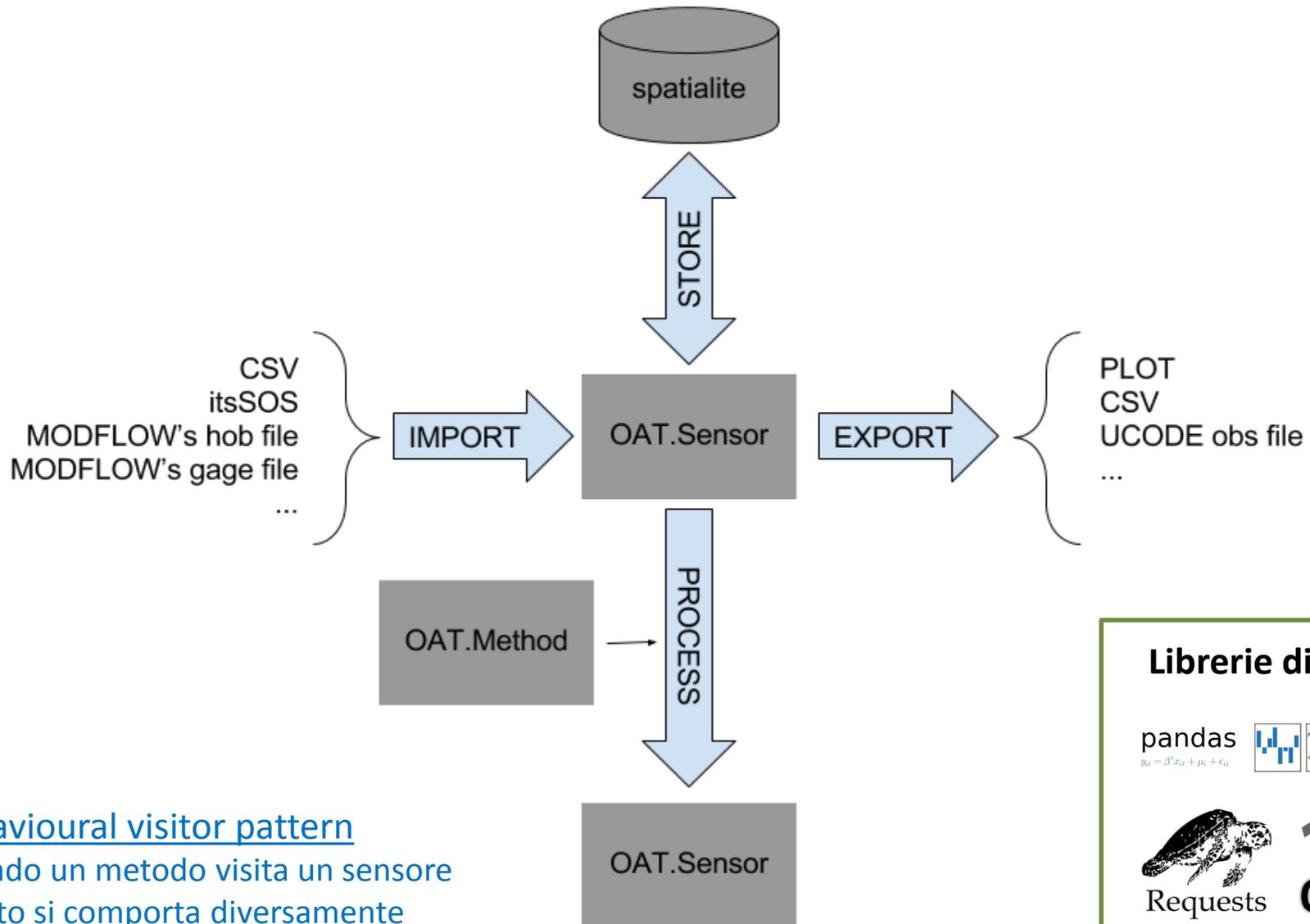
2015-06-12 09:40:00	100	0.237	OBS1	True
2015-06-12 09:50:00	100	0.234	OBS2	True
2015-06-12 10:00:00	100	0.237	OBS3	True
2015-06-12 10:10:00	100	0.236	OBS4	True
2015-06-12 10:20:00	100	0.234	OBS5	True
2015-06-12 10:30:00	100	0.237	OBS6	False
2015-06-12 10:40:00	200	0.936	OBS7	True
2015-06-12 10:50:00	200	0.932	OBS8	True

Serie temporale di osservazioni:

- Time
- Quality*
- Values
- Obs. Index
- Use

*Quality could be an identifying index (e.g. 100 for raw data, 200 for statistically sound data) or a statistical index used to calculate the weight of each observation. See FREEWAT manual Vol. 5 & 6 for further information.

Architettura software di OAT



Behavioural visitor pattern

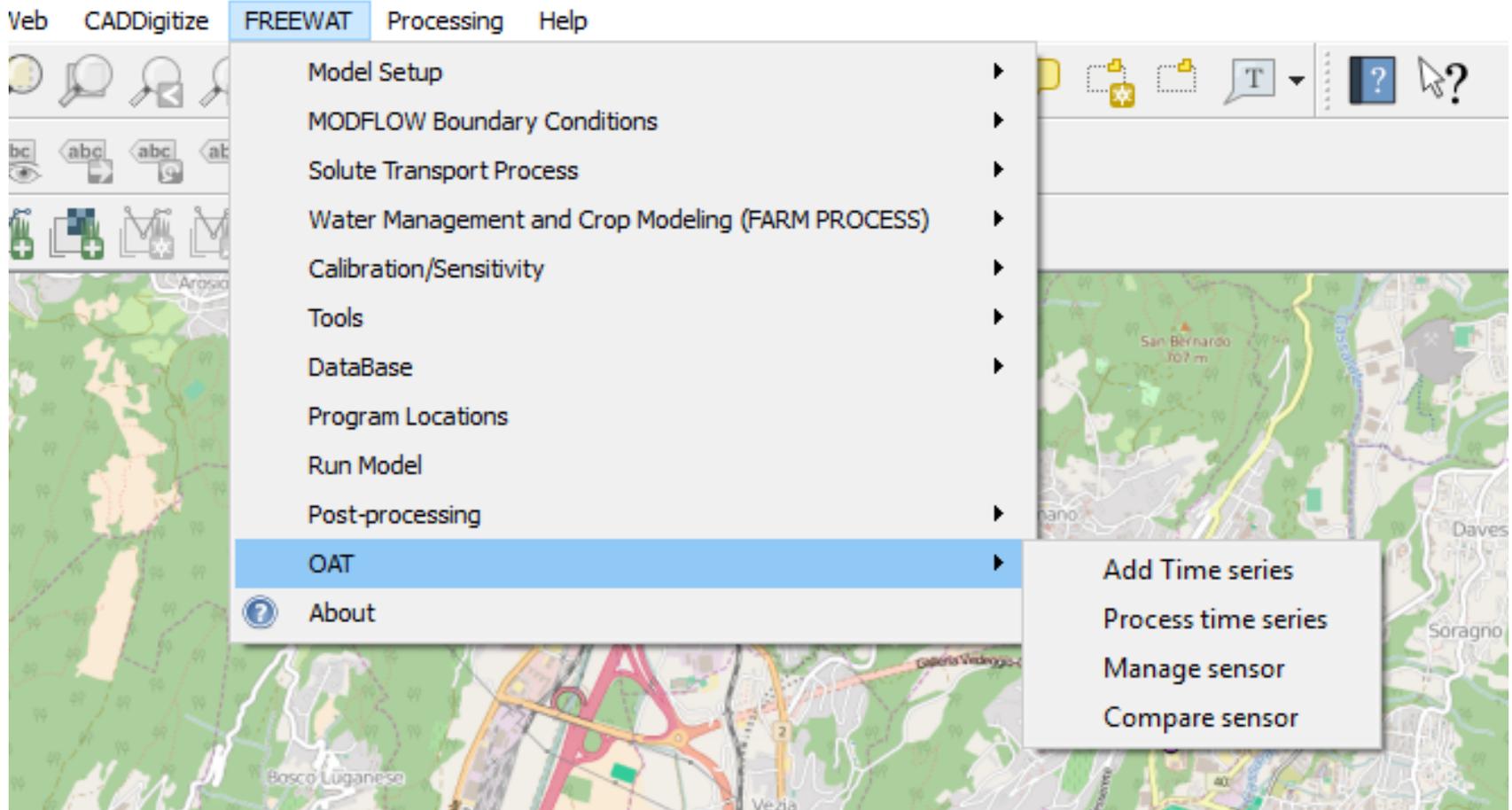
Quando un metodo visita un sensore questo si comporta diversamente a seconda del metodo e produce un risultato

Librerie di base

pandas 
 $y_{it} = \beta' x_{it} + \mu_i + \epsilon_{it}$

Funzionalità



Add Time series

Input data: CSV IstSOS Raw Iistfile hobfile gagefile

Input file:

Separator: Tab Comma Semicolon Space

Data column:

Date columns: Day first

Skiprow: Quality column: Date Format:

no data values:

Sensor name:

Description:

Longitude: Latitude: Altitude:

Observed property: unit of measure:

use Stat flag:

Create

Observed_Head_1

OK Cancel Apply

Manage sensors

Sensor:

Save as CSV Clone Update Delete

Sensor name: Description:

Longitude: Latitude: Altitude:

Observed property: Unit of measure: Timezone: Frequency:

Begin position: End position:

Top screen: Bottom screen: stat flag: Use

time	data	quality	use	obs_index
2014-05-11 12:4...	0	200	1	P_L_2_1141
2014-05-11 12:5...	0	200	1	P_L_2_1142
2014-05-11 13:0...	0.2	200	1	P_L_2_1143
2014-05-11 13:1...	0.4	200	1	P_L_2_1144
2014-05-11 13:2...	0.4	200	1	P_L_2_1145
2014-05-11 13:3...	0.4	200	1	P_L_2_1146
2014-05-11 13:4...	0	200	1	P_L_2_1147
2014-05-11 13:5...	0	200	1	P_L_2_1148
2014-05-11 14:0...	0	200	1	P_L_2_1149

Advanced Filter (Expression)

Gestire

P_LUGANO

Dialog

Sensor: Quality filter

Begin position: End position:

Remove Sensor:

Confrontare

Observed_Head_1

simulated_heads1

Sensor

Sensor:

hydro events Days prior to the peak: Days following the peak:

Min days between peak: Minimum value for a peak:

Name of time series:

time Begin: End:

Overwrite

Processare

P_LUGANO

LAKE PACKAGE

II “Lake Package”

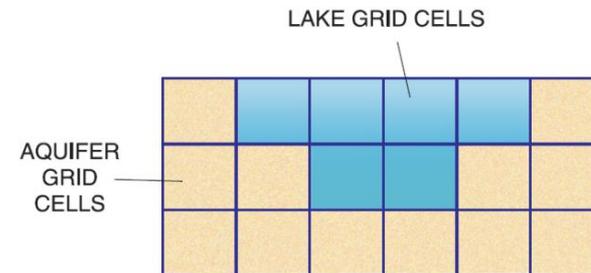
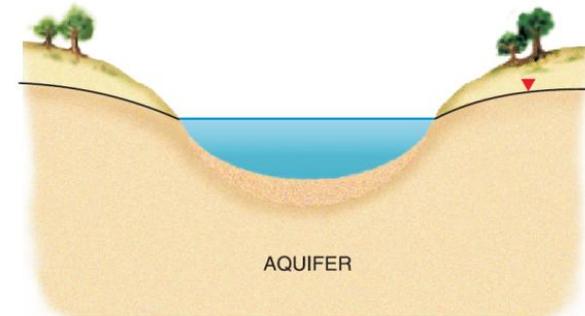
Una tecnica per simulare dinamicamente l’interazione idraulica tra un lago e gli acquiferi confinanti, così che si possa studiare l’effetto del cambiamento di stato di uno dei due corpi idrici sull’altro.

Le celle dei due corpi attive nella simulazione scambiano acqua con una portata Q determinate da:

- Quote idraulica relativa
- Conduttività idraulica degli acquiferi
- area dei laghi

La leakance (percolazione) dipende dai sedimenti del lago e dalle proprietà degli acquiferi

- Si può considerare:
 - Tasso di ricarica atmosferica del lago
 - Evaporazione,
 - Deflusso superficiale
 - Tasso di estrazione da qualsiasi prelievo



$$Q = qA = \frac{KA}{\Delta l} (h_l - h_a) = c(h_l - h_a)$$

leakance \swarrow

$$c = \frac{A}{\frac{b}{K_b} + \frac{\Delta l}{K_a}}$$

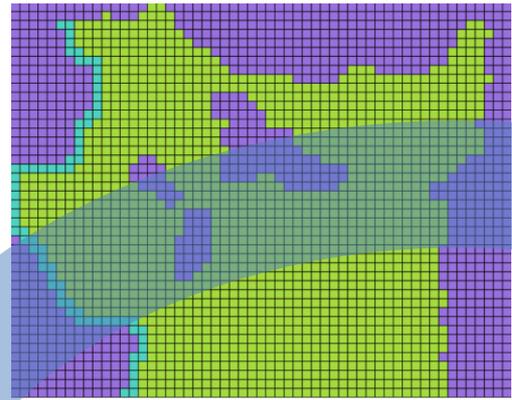
\swarrow

Conductances of the lakebed and aquifer as if they were in series

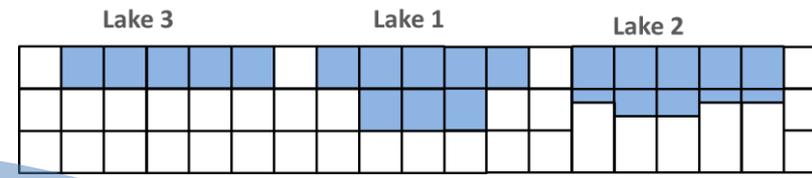
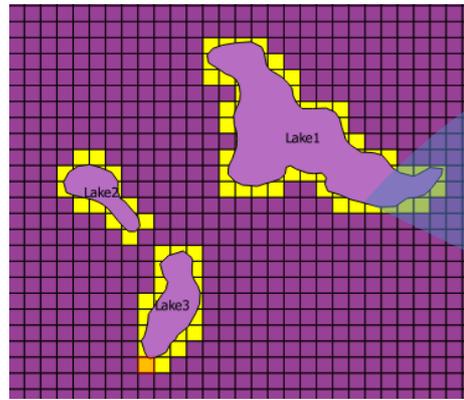
(McDonald and Harbaugh, 1988)

II "Lake Package"

disattivare celle



importare



modificare i layers

Dialog

Model name: Create LAK layers

THETA: NSSITR: SSCNCR:

SURFDEP: STAGES: SSMN:

SSMX: PRCLPK: EVAPLK:

RNF: WTHDRW: leakance:

Add Delete selected

LAKE_ID	SURFDEP	STAGES	SSMN	SSMX	PRCLPK	EVAPLK	
1	0.2	200.0	180.0	300.0	0.0	0.0	0.0
2	0.2	200.0	170.0	300.0	0.0	0.0	0.0
3	0.2	200.0	180.0	300.0	0.0	0.0	0.0

lak_layer_group_fw_t6

lak_fw_t6

L1_lak

L2_lak

L3_lak

Copy fields from vector to vector

FROM: TO:

Origin fields Target fields

LakeID LAKE

OK Cancel

HYDROLOGIC BUDGET SUMMARIES FOR SIMULATED LAKES
(ALL FLUID FLUXES ARE VOLUMES ADDED TO THE LAKE DURING PRESENT TIME STEP)

LAKE	STAGE	VOLUME	VOL. CHANGE	PRECIP	EVAPORATION	RUNOFF
1	2.157897E+02	9.094961E+08	6.983424E+06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
2	2.021624E+02	1.272331E+08	5.552721E+05	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
3	2.050654E+02	1.629277E+08	1.090766E+06	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00

LAKE	GROUND WATER	SURFACE WATER	WATER
	INFLOW	OUTFLOW	USE
1	3.46112E+07	2.9129E+07	0.0000E+00
2	4.64932E+06	4.0939E+06	0.0000E+00
3	5.3429E+06	4.2522E+06	0.0000E+00

LAKE	CONNECTED LAKE	TIME-STEP	STAGE-CHANGE	PERCENT
				DISCREPANCY
1	0.0000E+00	2.1500E+07	3.2481E-01	1.5790E+01
2	0.0000E+00	4.5000E+06	1.2339E-01	2.1624E+00
3	0.0000E+00	6.5000E+06	1.6781E-01	5.0654E+00

associare i laghi

CUMULATIVE HYDROLOGIC BUDGET SUMMARIES FOR SIMULATED LAKES
(ALL FLUID FLUXES ARE SUMS OF VOLUMES ADDED TO THE LAKE SINCE INITIAL TIME)

LAKE	PRECIP	EVAP	RUNOFF
1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
2	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
3	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00

LAKE	GROUND WATER	SURFACE WATER
	INFLOW	OUTFLOW
1	5.04932E+08	1.6484E+08
2	4.3200E+07	3.9469E+07
3	6.1873E+07	2.8947E+07

LAKE	WATER	CONNECTED LAKE	CHANGE	PERCENT
	USE	INFLUX	IN VOL.	DISCREPANCY
1	0.0000E+00	0.0000E+00	3.3948E+08	0.000
2	0.0000E+00	0.0000E+00	9.7310E+06	0.000
3	0.0000E+00	0.0000E+00	3.2926E+07	-0.000

simulare

creare i laghi in MODFLOW

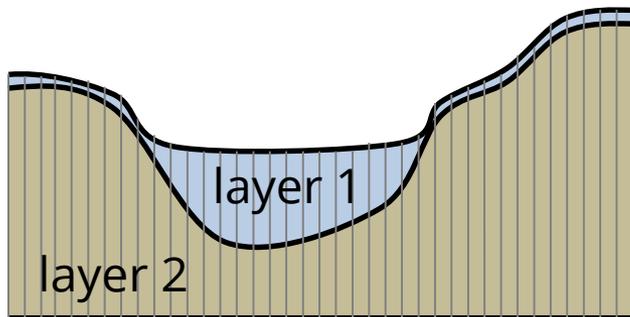
IL MODELLO

Discretizzazione

Risoluzione spaziale piana: 150 m

Discretizzazione verticale: 2 layers
(layer 1 dedicato al lago e layer 2 al suolo)

Risoluzione temporale: settimanale



173 righe x 171 colonne
(29'583 celle):

- 4'980 "active" nel Layer 2
- tutte "inactive" nel layer 1
- 2'578 del layer 1 sono "lake"

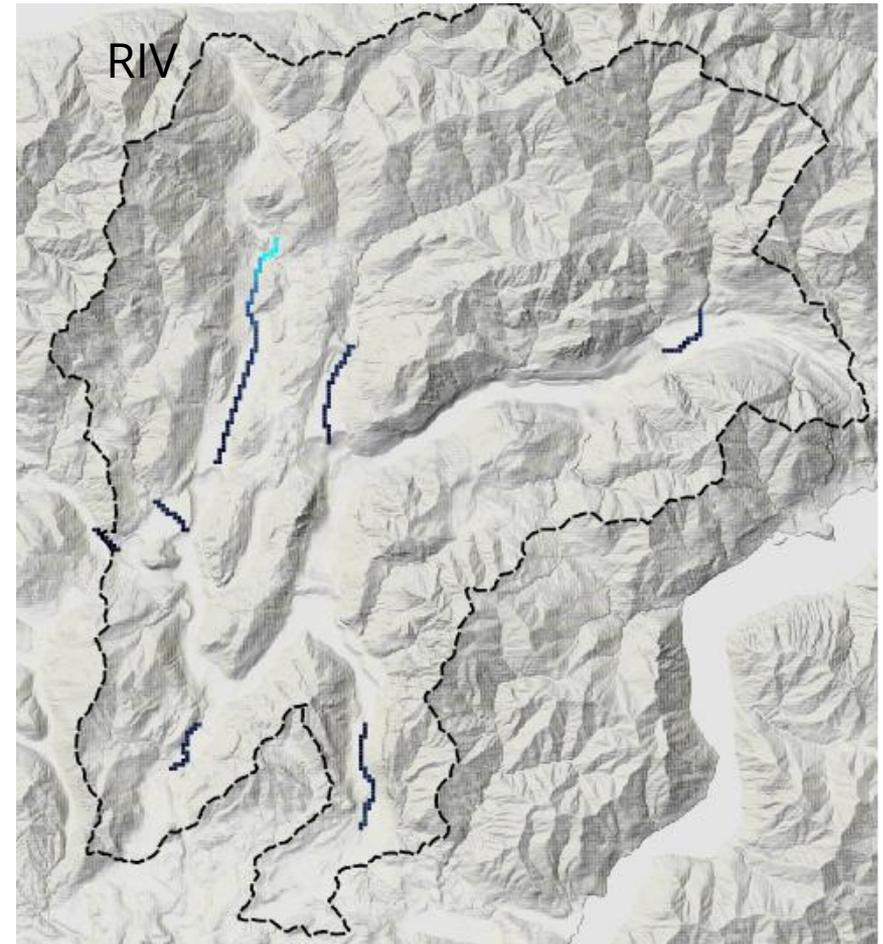
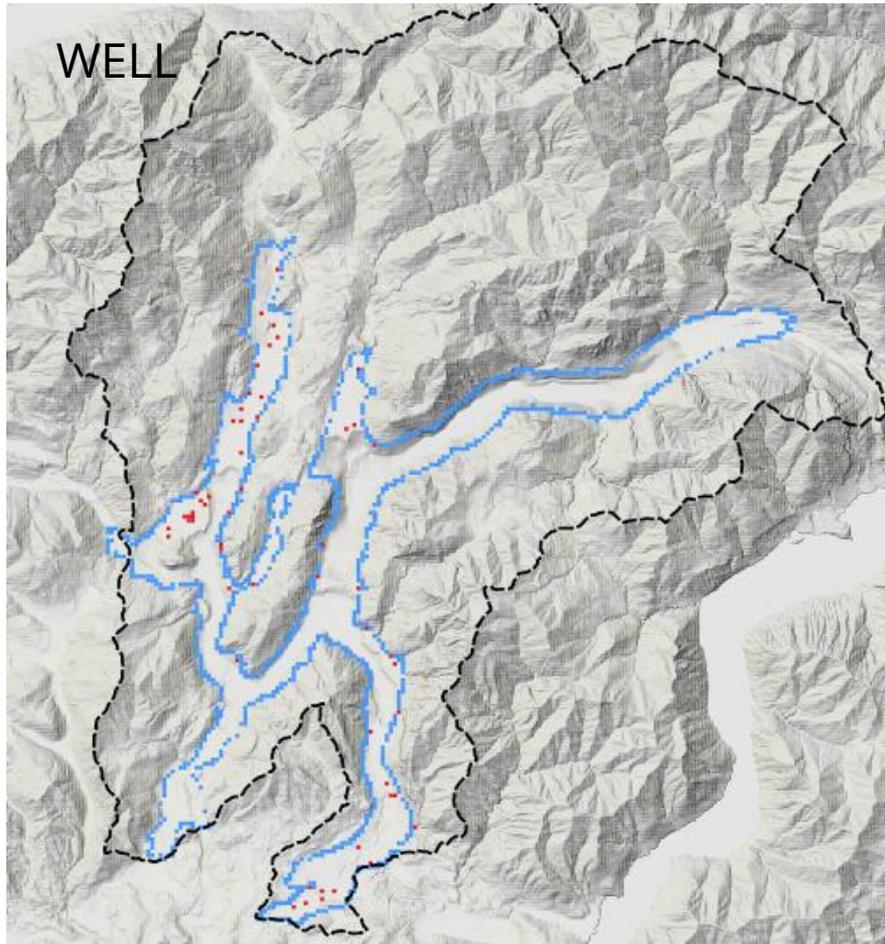


Condizioni al contorno

Ricarica e perdite: input da statistiche derivate da modelli matematici superficiali

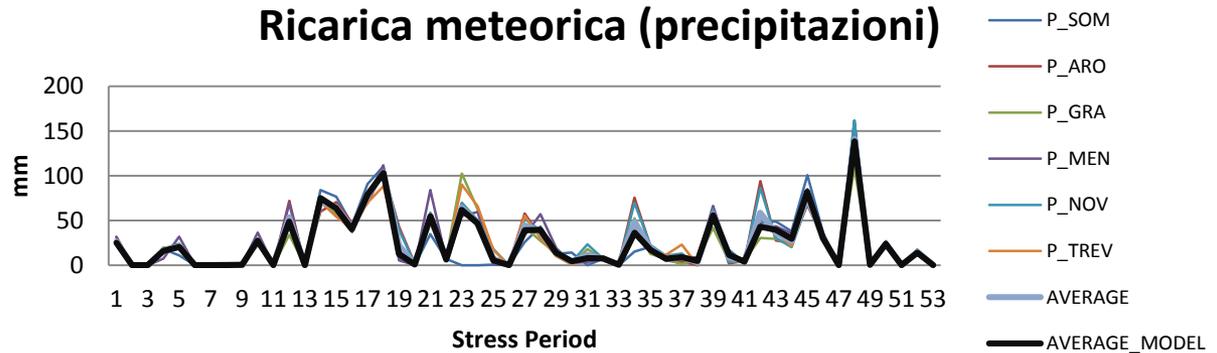
Livelli lungo i fiumi = DTM + deviazioni del

livello medio mensile calcolato da osservazioni ed interpolato sulle aste fluviali ponendo il livello del lago alla foce.



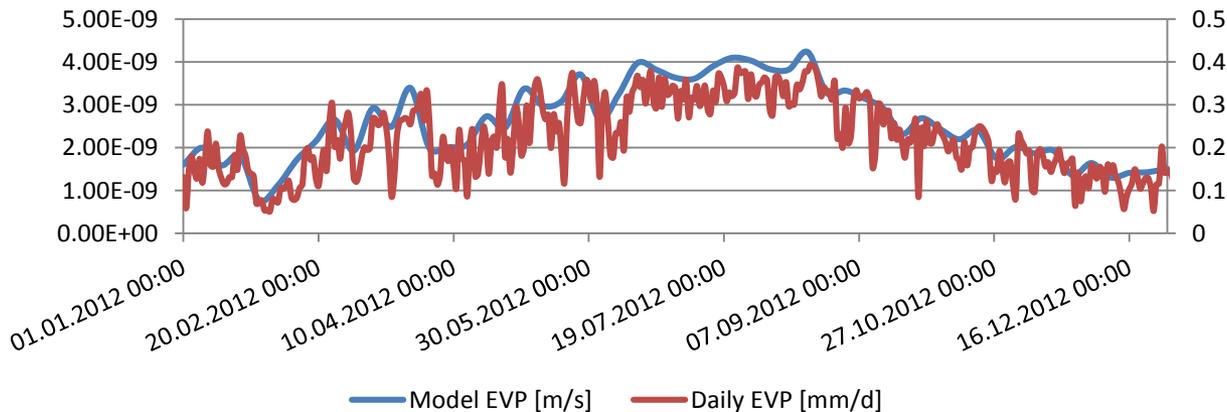
Condizioni al contorno usando OAT

Sensor Name	Description	Altitude
P_SOM	loc_Somazzo	527
P_ARO	loc_Arosio	860
P_GRA	loc_Grancia	310
P_MEN	loc_Mendrisio	289
P_NOV	loc_Novaggio	620
P_TRE	loc_Trevano	342



Usate nel RCH (infiltrazione), WELL (apporto da deflusso superficiale), LAK (precipitazione diretta).
 Importate e aggregate in OAT

Evaporazione dal lago



Usata nel LAK (evaporazione diretta) e calcolate con funzione **Hargreaves** in OAT



Risultati

Quelli presentati sono dei risultati qualitativi che necessitano di una calibrazione automatica (ora non ancora supportata in FREEWAT per i pacchetti RIV, LAK e WELL) per poter essere considerate definitive ed affidabili, e quindi da usare nello sviluppo di politiche per la gestione della risorsa !

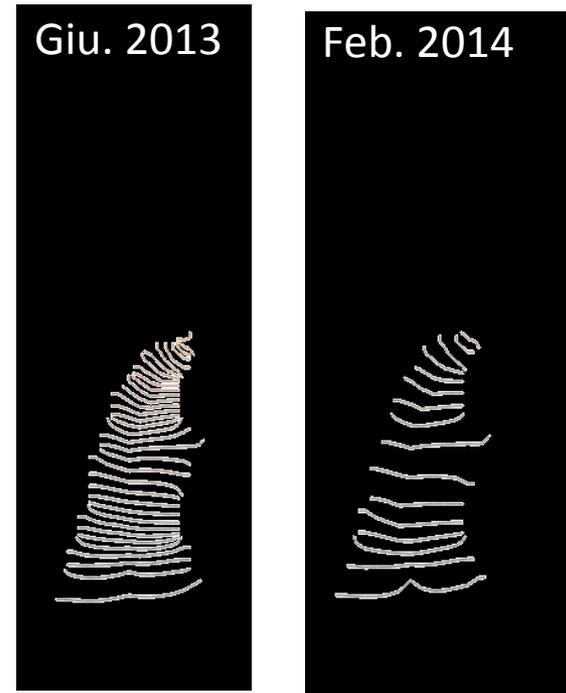
Ciò nonostante offrono interessanti contributi alla conoscenza delle dinamiche del sistema idrologico integrato falde / lago !

I bacini si comportano diversamente

Modello calibrato solo manualmente !



Veduggio



Casserate

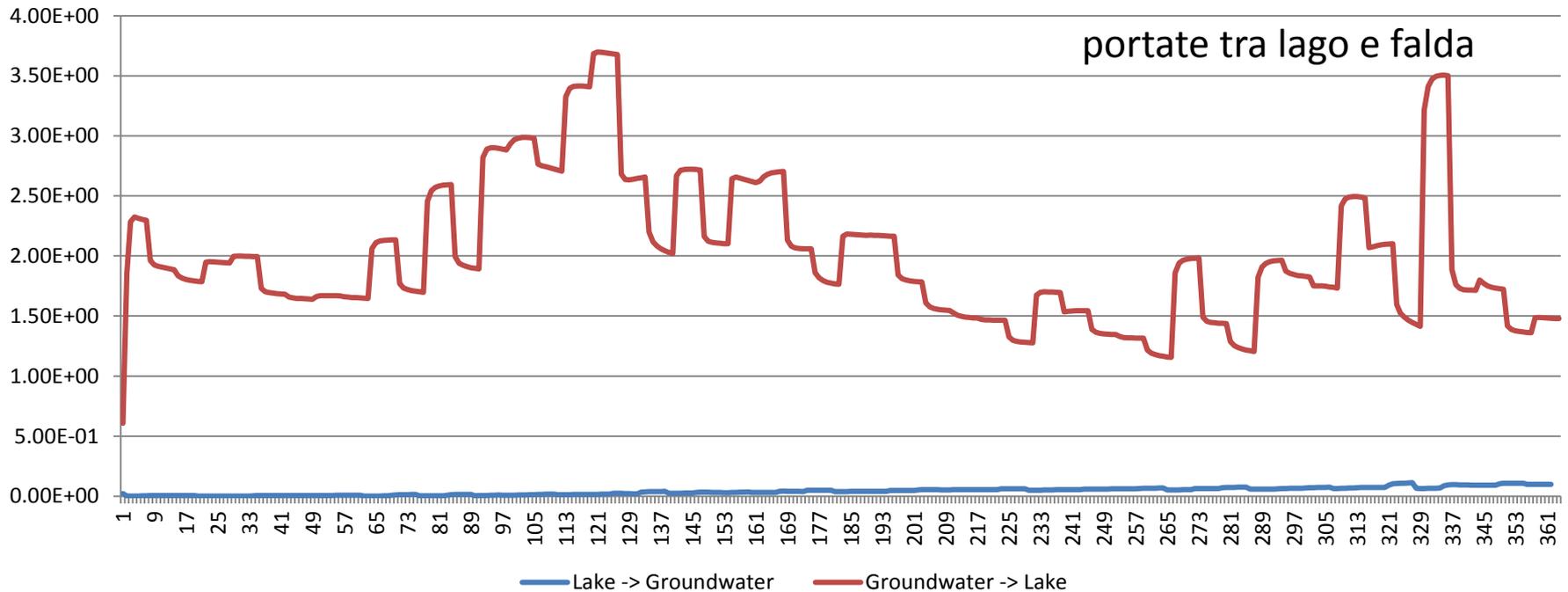
I flussi degli acquiferi sono tra loro diversi:

- Cassarate è alimentato dalla falda tutto l'anno (con intensità variabile)
- Veduggio alimenta la falda tutto l'anno (con intensità variabile)

Questo influenza notevolmente la dispersione d'inquinanti e di sostanze !

Gli scambi sono quantificati

Modello calibrato solo manualmente !



In generale le falde alimentano il lago, solo in minima parte esistono infiltrazioni del lago nella falda: **questo significa che le sostanze disciolte nel terreno possono confluire nel lago e contribuire alla qualità delle acque lacustri.**

Conclusioni e prossimi passi

- Per la prima volta è stato sviluppato un modello idrogeologico del bacino del lago di Lugano
- Le quote e le direzioni di flusso della falda sono ora note
- Il bilancio di massa tra lago e falda è ora definito
- Occorre calibrare automaticamente il modello per aumentare l'affidabilità e precision prima di un suo utilizzo operativo
- Una volta calibrato si potrà applicare il modulo di trasporto di fosforo e di sostanze pericolose

L'efficacia applicativa dei moduli sviluppati e di FREEWAT è stata dimostrata