

La modellistica matematica  
delle acque sotterranee  
a supporto della pianificazione e  
gestione della risorsa idrica.  
Esempi applicativi in Emilia-Romagna

**Ing. Andrea Chahoud**

Direzione Tecnica ARPAE Emilia-Romagna  
Centro Tematico Regionale Sistemi Idrici  
Unità Pianificazione Risorsa Idrica

Bologna, 25 novembre 2019



# La modellistica matematica delle acque sotterranee a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica. Esempi applicativi in Emilia-Romagna

## *PARTE 3*

*Esame di specifici casi applicativi a scale diverse e per  
obiettivi diversi: il modello regionale ed i modelli locali*

## *CASO 3*

*Supporto della modellistica matematica delle acque  
sotterranee all'interno del progetto di ricarica in condizioni  
controllate nella conoide del Fiume Marecchia (RN)*

**Ing. Andrea Chahoud**

Direzione Tecnica ARPAE Emilia-Romagna  
Centro Tematico Regionale Sistemi Idrici  
Unità Pianificazione Risorsa Idrica

**Bologna, 25 novembre 2019**

**arpae**  
agenzia  
prevenzione  
ambiente energia  
emilia-romagna

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE DEL PROGETTO PER LA  
REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI RICARICA IN CONDIZIONI  
CONTROLLATE NELLA CONOIDE ALLUVIONALE DEL FIUME  
MARECCHIA (DGR 1649 del 30/10/2017)

**PROTOCOLLO DI INTESA (marzo 2018)**

**TRA:**

Regione Emilia-Romagna,  
Comune di Rimini,  
Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità della Romagna,  
Arpae

<b>IL RUOLO DI ARPAE</b>	<b>PRESCRIZIONE VIA</b>	<b>QUADRO DI RIFERIMENTO</b>
Misure piezometriche ed analisi chimiche di laboratorio	Attuazione del sistema di monitoraggio per le acque superficiali e sotterranee in accordo col DM n. 100/2016	Ambientale (3C)
Modellistica matematica di flusso e trasporto	Realizzare un modello matematico di flusso e di trasporto delle acque sotterranee per la quantificazione dell'efficienza della ricarica sulla conoide	Progettuale (2C)

# Modellistica matematica, ... un percorso già avviato

---

**1** **2006** nasce all'interno dello *"Studio della conoide alluvionale del fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della gestione sostenibile della risorsa idrica"*

**2** **2007** primo aggiornamento e "attualizzazione" del modello (collaborazione con Hera Rimini). Supporto alla gestione operativa dei campi pozzi Hera durante il periodo di scarsità idrica dell'estate di quello stesso anno.

**3** **2008/2011/2017** aggiornamento continuo a supporto della previsione e gestione delle emergenze idriche per il territorio della Romagna (Gruppo di lavoro siccità)

**4** **2008** utilizzo per la valutazione degli effetti sulle acque sotterranee di un possibile intervento di ricarica artificiale della falda.

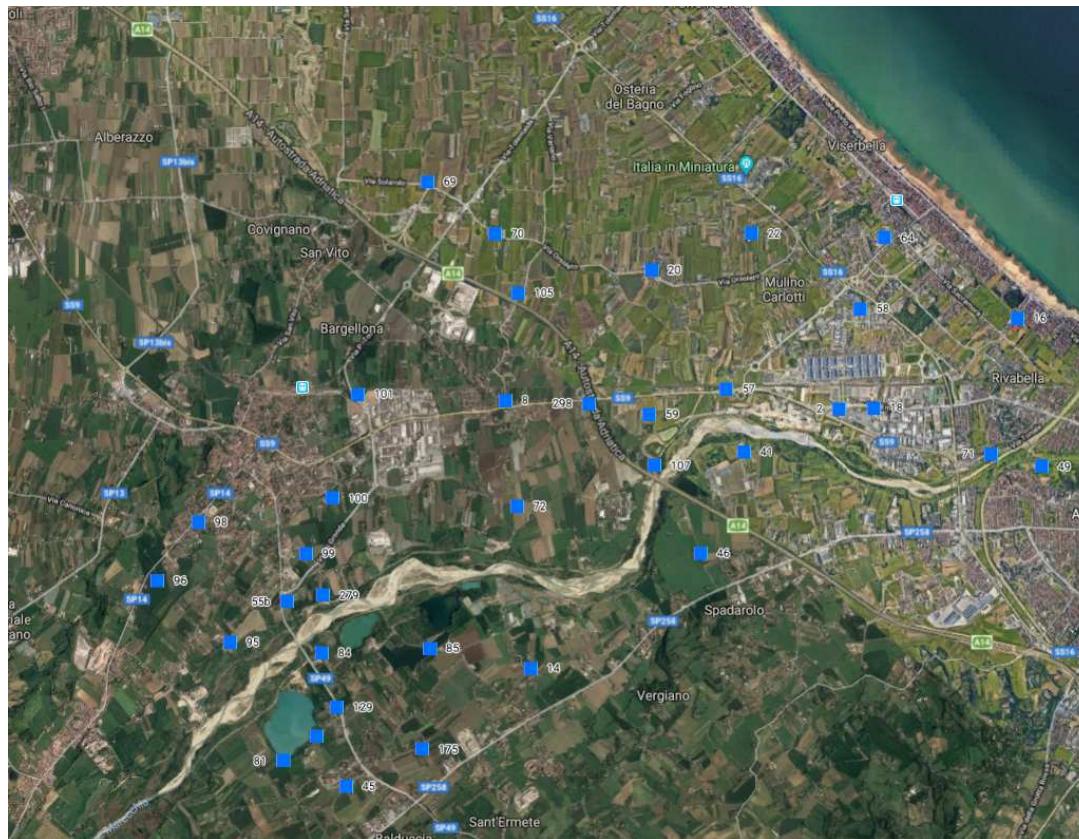
**Nel 2014** la Regione Emilia-Romagna (Servizio Geologico e Servizio Tutela e Risanamento risorsa acqua) ha avviato la fase di sperimentazione della ricarica artificiale della conoide del Marecchia dando così continuità al precedente studio di fattibilità.

**5** **dal 2015** supporto modellistico alla sperimentazione in atto. Approfondimenti specifici per migliorare la modellazione della dinamica di interazione falda-fiume-lago di ricarica.

**6** **2018/19 REALIZZAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO E TRASPORTO DELLE ACQUE SOTTERRANEE PER LA QUANTIFICAZIONE DELL'EFFICIENZA DELLA RICARICA CONTROLLATA SULLA CONOIDE.**

# Misure piezometriche rete conoide Marecchia

1. 36 punti di misura di livello piezometrico. Misure dal 2000 come Rete della Provincia di Rimini, dal 2015 a cura di Arpa e SGSS
2. 3 centraline in continuo (2 SGSS, 1 RRM)
3. 4 campagne di misura all'anno. Aumento della frequenza in condizioni particolari (es. siccità 2017)
4. 16 pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio di cui 3 centraline in continuo



Pozzi



Piezometri con centralina



# Quantificazione dell'efficienza della ricarica controllata sulla conoide. Perché?

Le acque sotterranee hanno una loro propria dinamica di flusso. L'intervento di ricarica controllata incide su tale dinamica, ma in quale misura?

L'acqua ricaricata artificialmente rimane effettivamente a disposizione all'interno dell'immagazzinamento del sistema?

Situazioni idrogeologiche particolarmente complesse possono incidere sull'efficienza dell'intervento di ricarica controllata.

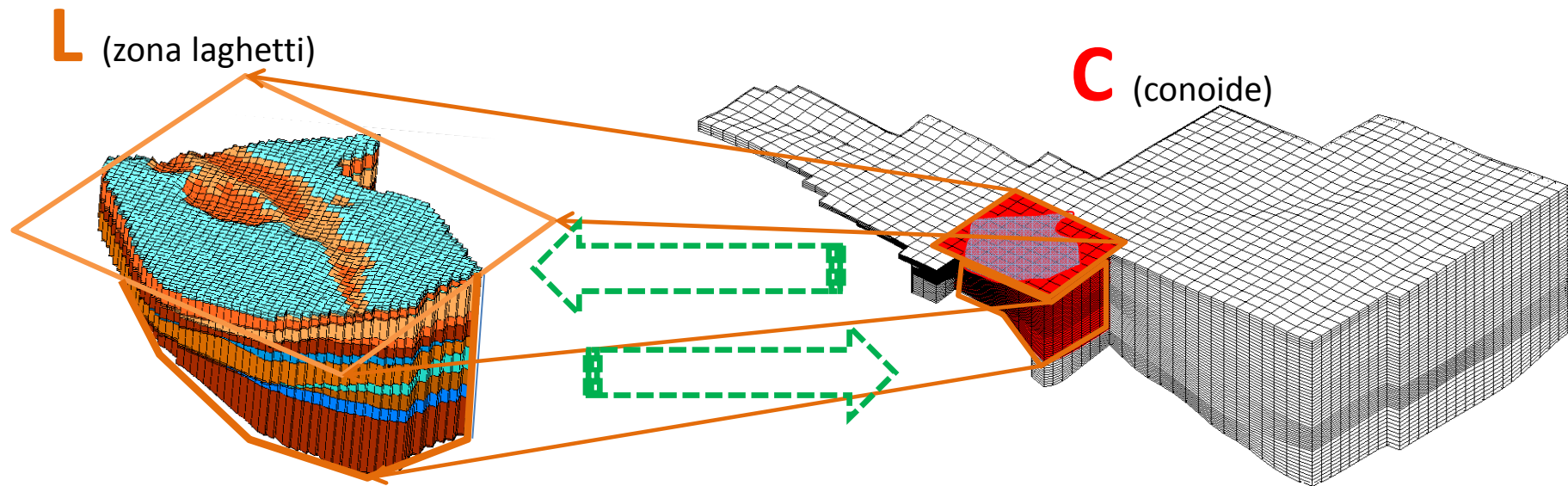
Nel nostro caso l'interazione falda/lago/fiume può assumere un ruolo rilevante.

Tutte le possibili valutazioni dipendono da:

Particolari situazioni idrogeologiche della falda

Periodi di disponibilità della risorsa idrica superficiale da poter utilizzare

# Quindi quale modello, o quali modelli?



**MODELLO LOCALE ZONA LAGHETTI**

**MODELLO CONOIDE DEL MARECCHIA**

5 km <sup>2</sup>	<b>Estensione</b>	130 km <sup>2</sup>
Definibile almeno < 25 m	<b>Discretizzazione spaziale</b>	350 m
dettaglio locale (SGSS, 2016)	<b>Struttura geo/idrogeologica</b>	intera conoide (2006)

## *IPOTESI DI LAVORO*

- 1: introdurre la struttura di dettaglio **L** nel modello più ampio **C**
- 2: implementare un nuovo modello solo su **L**
- 3: realizzare un percorso di tipo *Regional to Local* da **C** a **L** (mantenere i due modelli collegati tra loro - trasferimento delle condizioni al contorno)

# Utilizzo del modello a supporto del progetto di ricarica controllata della falda: **necessità specifiche**

---

## *OBIETTIVO*

Valutazione efficienza impianto di ricarica controllata delle falde

## *NECESSITÀ SPECIFICHE*

miglioramento delle performance del modello esistente e/o  
realizzazione di un modello locale dedicato

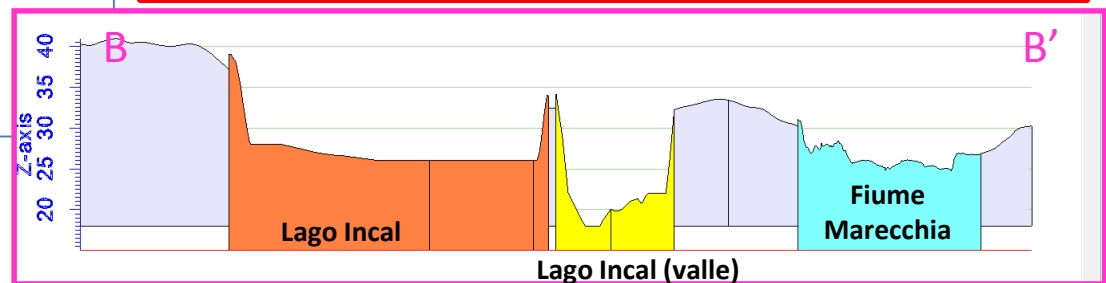
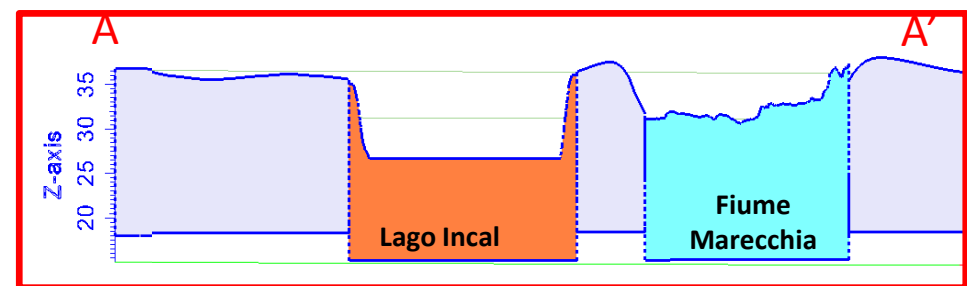
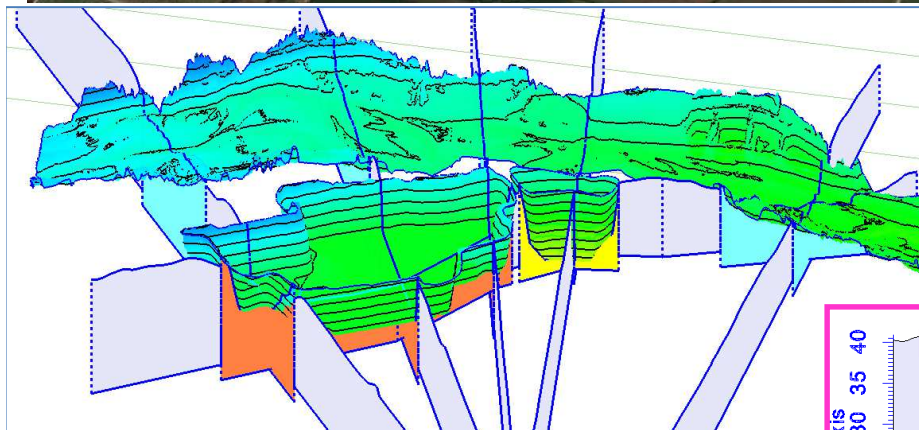
## *PERSEGUIBILE ATTRAVERSO*

1. Il continuo aggiornamento dati del modello di flusso delle acque sotterranee;
2. la verifica di dettaglio del comportamento del modello di flusso nella zona dei laghi attraverso le nuove disponibilità di dati del monitoraggio dedicato;
3. **l'utilizzo di un nuovo modulo dedicato per la simulazione specifica della interazione falda-fiume;**
4. **l'utilizzo di un nuovo modulo dedicato per la simulazione specifica della interazione falda-lago;**
5. l'utilizzo del modello attraverso simulazioni di scenario dedicate

**ESEMPI.....**

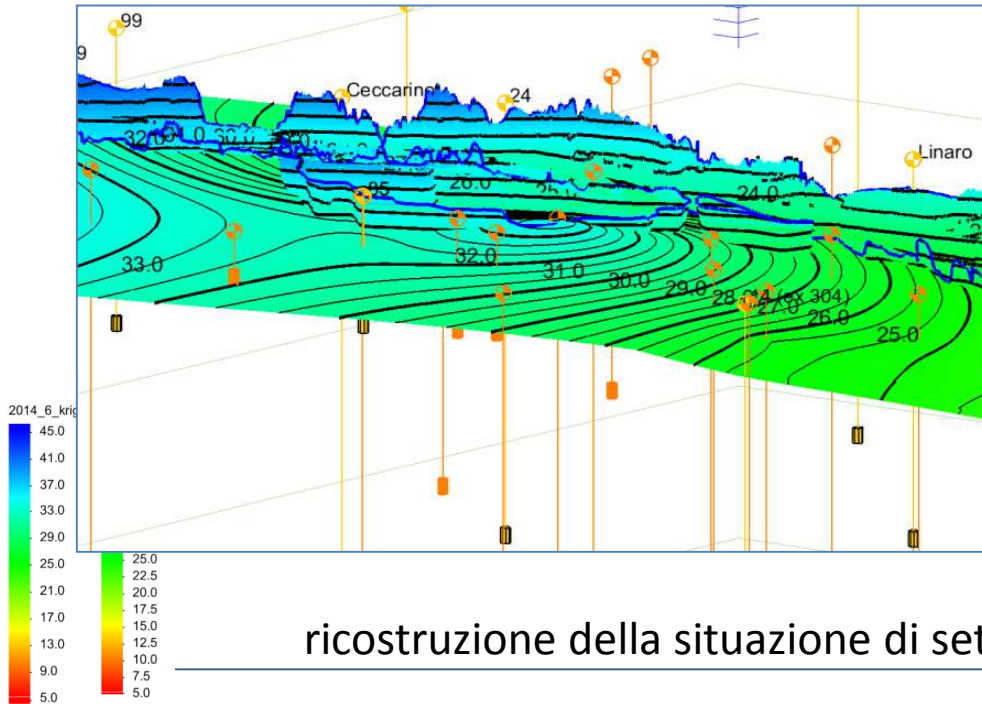


# ESEMPIO: Interazione falda-lago-fiume

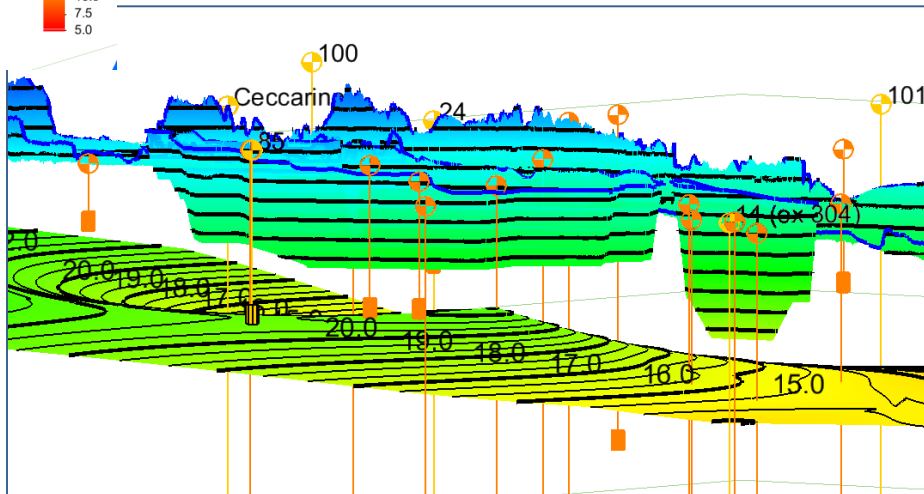


# Interazione falda-lago-fiume

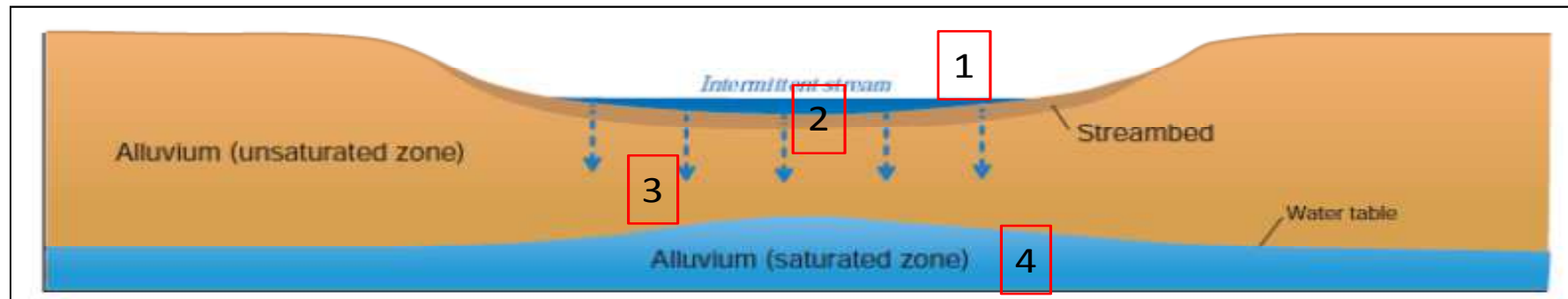
ricostruzione della situazione di giugno 2014 – alto piezometrico



ricostruzione della situazione di settembre 2017 – basso piezometrico



Il solo modulo RCH di modflow non basta più..... occorre una  
MODELLAZIONE SPECIFICA  
DELLA INTERAZIONE FALDA-FIUME

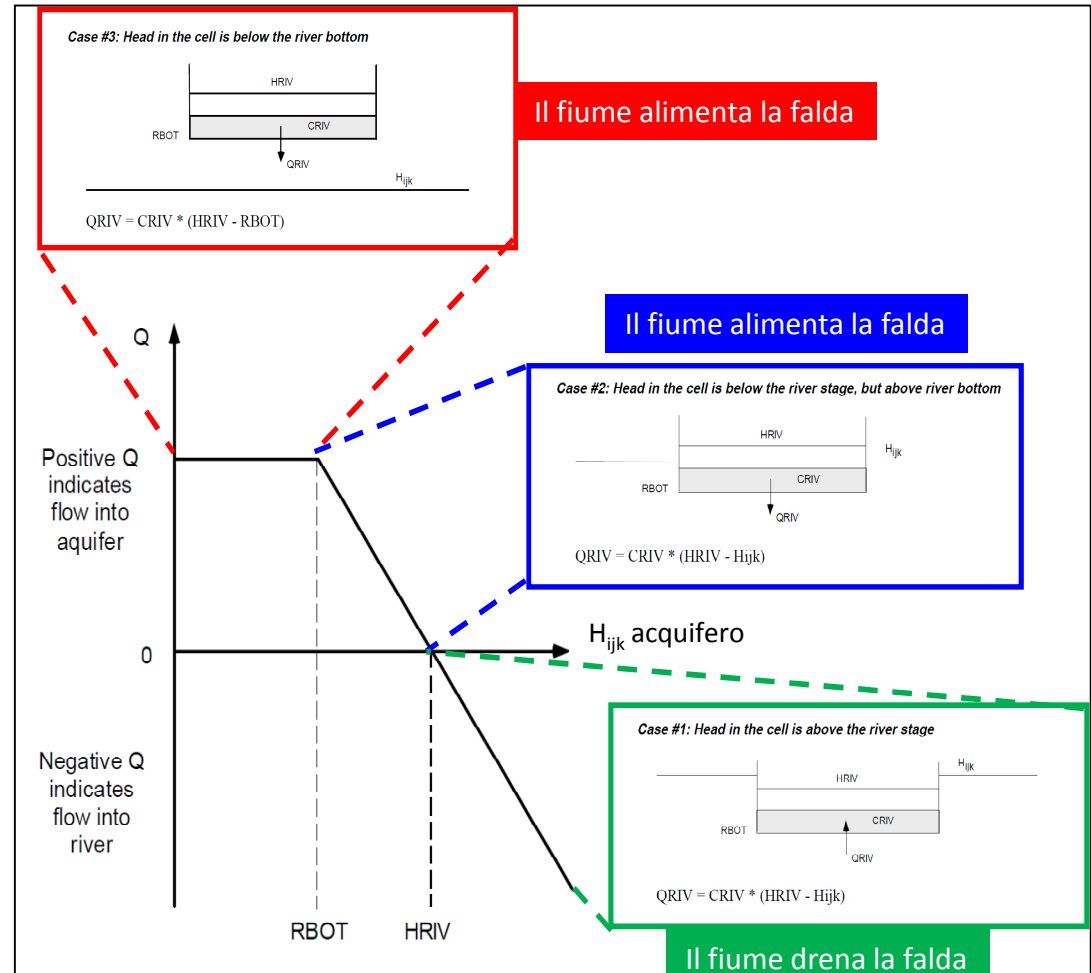
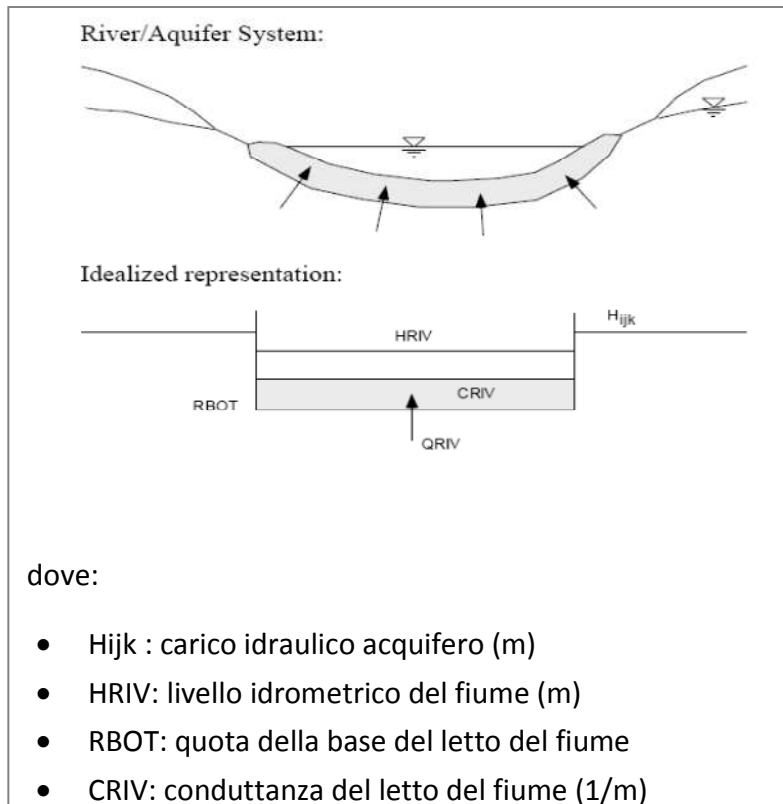


Dipende da:

1. l'andamento nel tempo del livello idrometrico del fiume
2. l'infiltrazione dalla base del letto del fiume
3. il flusso all'interno della zona insatura compresa tra la base del letto del fiume e la superficie freatica sottostante
4. flusso dell'acqua all'interno della zona saturata dell'acquifero

# MODULO RIVER di MODFLOW

$$QRIV = CRIV(HRIV - H_{ijk})$$



# MODULO RIVER - VANTAGGI

La conduttanza CRIV permette di tener conto nella valutazione della portata di scambio falda-fiume dei seguenti elementi:

- conducibilità idraulica del letto del fiume che nel caso può assumere valori diversi (generalmente più bassi) rispetto alla conducibilità idraulica dell'acquifero;
- lo spessore del letto del fiume che di fatto costituisce la resistenza rispetto al flusso di scambio;
- alcune caratteristiche dimensionali del fiume, la sua lunghezza ed ampiezza.

Inoltre:

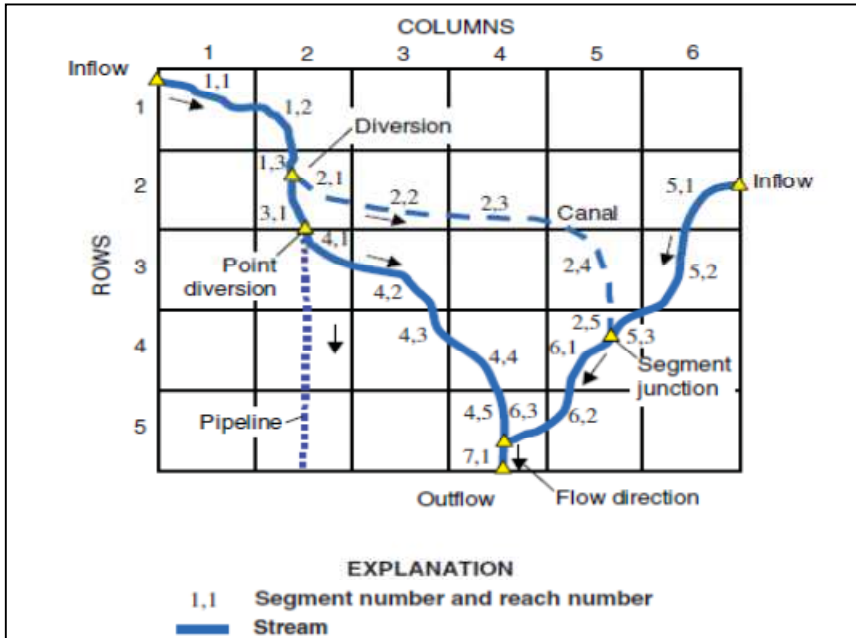
- in caso di scollegamento idraulico tra il fiume e la falda (la cui quota risulta al di sotto di RBOT), la portata di alimentazione operata dal fiume verso la falda viene limitata da una forza motrice pari al battente d'acqua presente nel fiume.

# MODULO RIVER - LIMITAZIONI

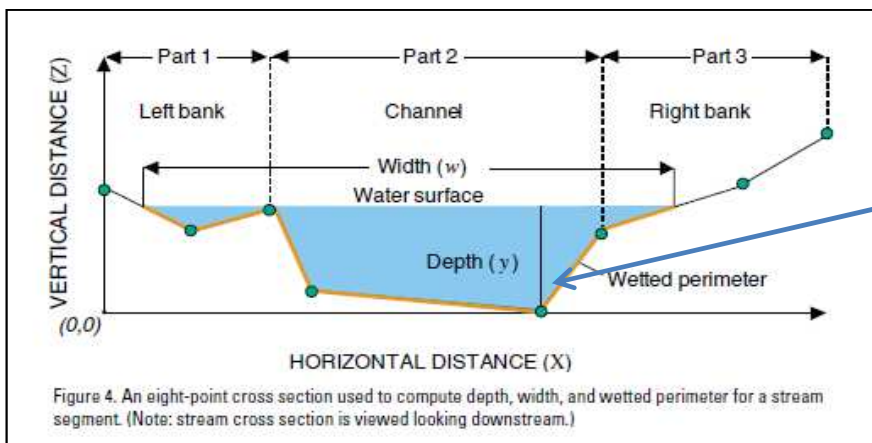
Le approssimazioni assunte dalla schematizzazione del pacchetto River non consentono ancora di tener conto dei seguenti elementi:

- Effettiva portata fluente in alveo: non sono assunte limitazioni rispetto alle possibilità di ricarica del fiume rispetto all'acquifero che possono anche eccedere la reale disponibilità di risorsa fluente nel corpo idrico superficiale;
- Perimetro bagnato: la schematizzazione geometrica del letto del fiume non tiene conto della variazione della superficie effettivamente utile ai fini dello scambio falda-fiume. In funzione della morfologia dell'alveo a portate maggiori possono infatti corrispondere areali utili per la ricarica maggiori;
- La simulazione di ciò che avviene nello strato insaturo, nel caso in cui questa venga significativamente coinvolto, non viene considerata.

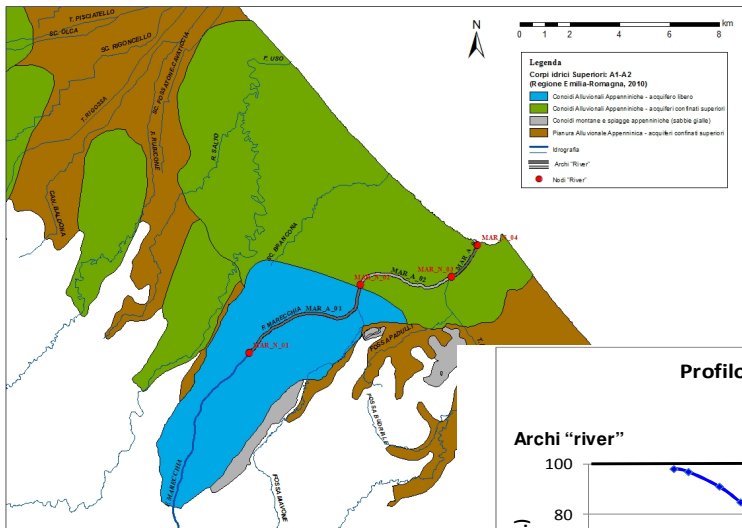
# MODULO SFR1/2



- Il corpo idrico superficiale viene schematizzato all'interno del reticolo idrografico di appartenenza tenendo conto della direzione del flusso e degli eventuali apporti (confluenze di diversi tratti) e diversioni (split di portata tra due o più tratti).
- Il processo di quantificazione della portata di scambio tra la falda ed il fiume tiene conto della circolazione idrica superficiale e quindi della reale portata fluente in alveo che a sua volta dipende dalle dinamiche di scambio che avvengono nel tratto del fiume posto più a monte.

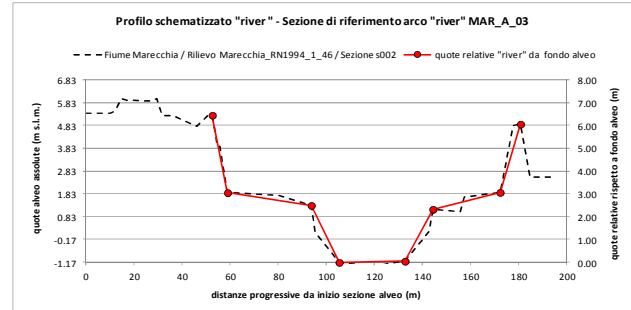
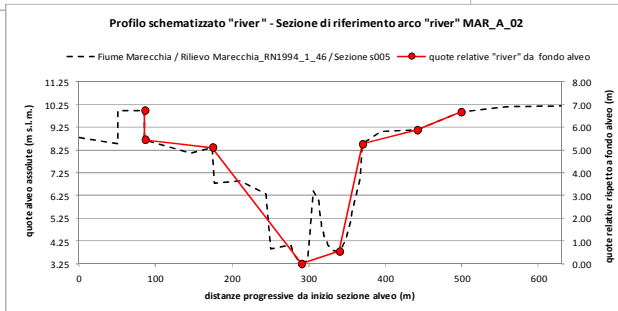
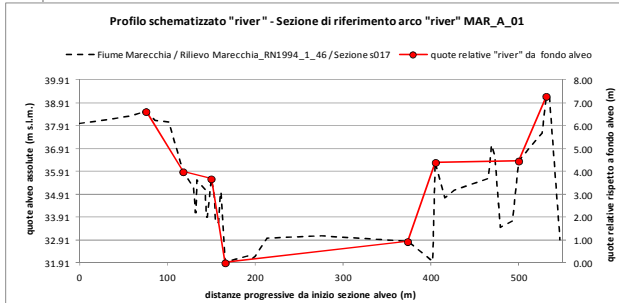
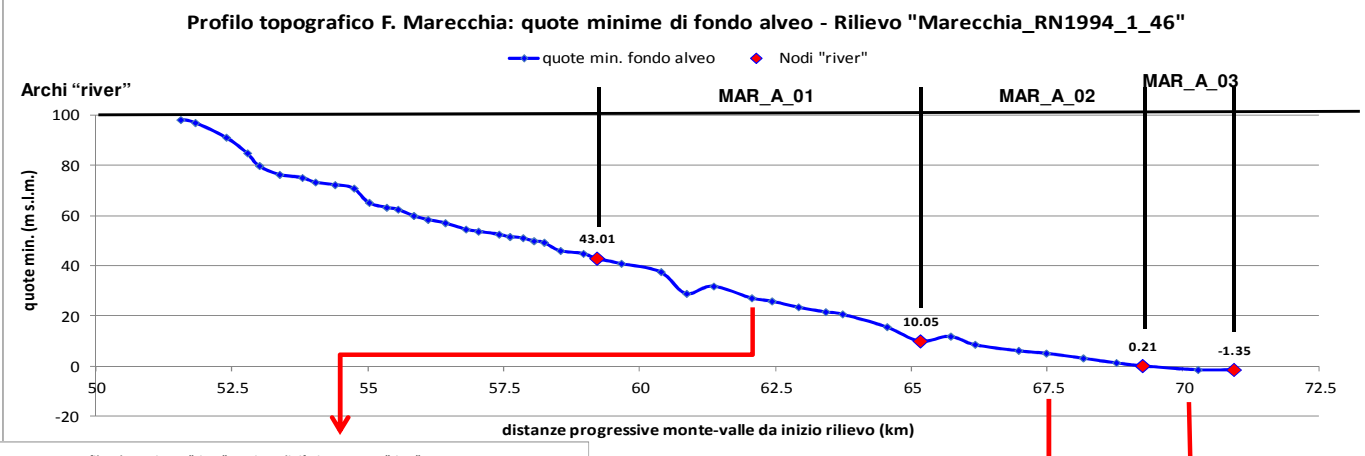


- Differenza fondamentale rispetto all'implementazione del pacchetto River consiste nel fatto che il tirante idraulico sul fiume (HRIV-HBOT,  $y$ ), è calcolato a partire dalla portata fluente in alveo e non costituisce direttamente un dato di input.
- SFR2 può tenere conto anche dell'insaturo (non applicato al momento)



# IMPLEMENTAZIONE MODULO SFR2 PER IL FIUME MARECCHIA ALL'INTERNO DEL MODELLO DEL MARECCHIA

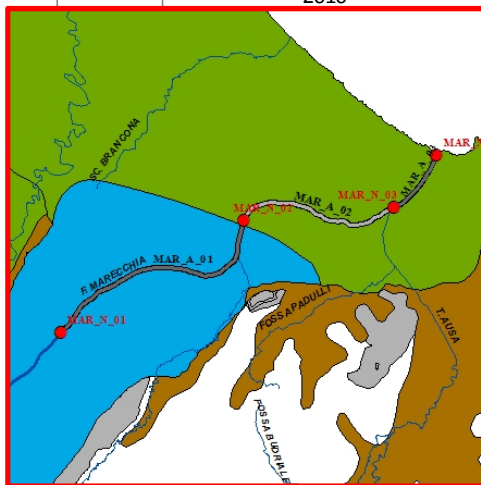
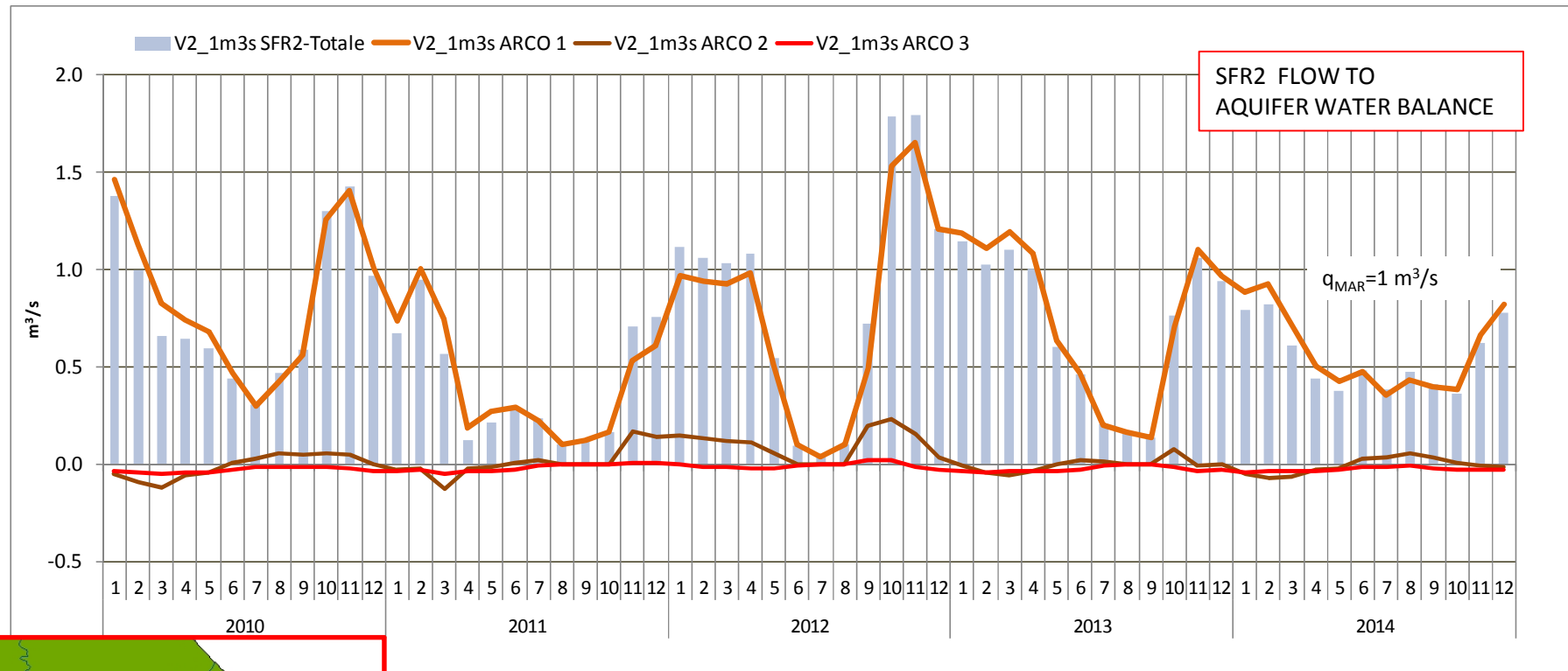
DA DATI SIMC:  
 schematizzazione  
 dell'alveo per  
 l'SFR2, quote  
 minime alveo,  
 morfologie sezioni  
 alveo





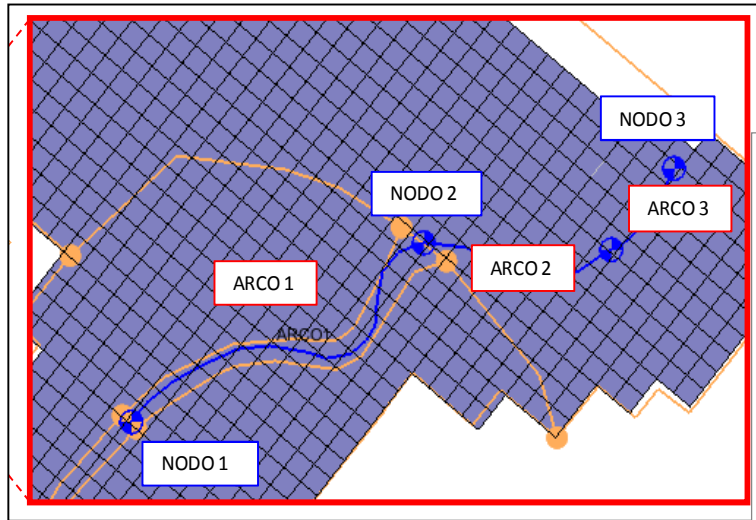


# Risultati: il bilancio del modulo SFR2

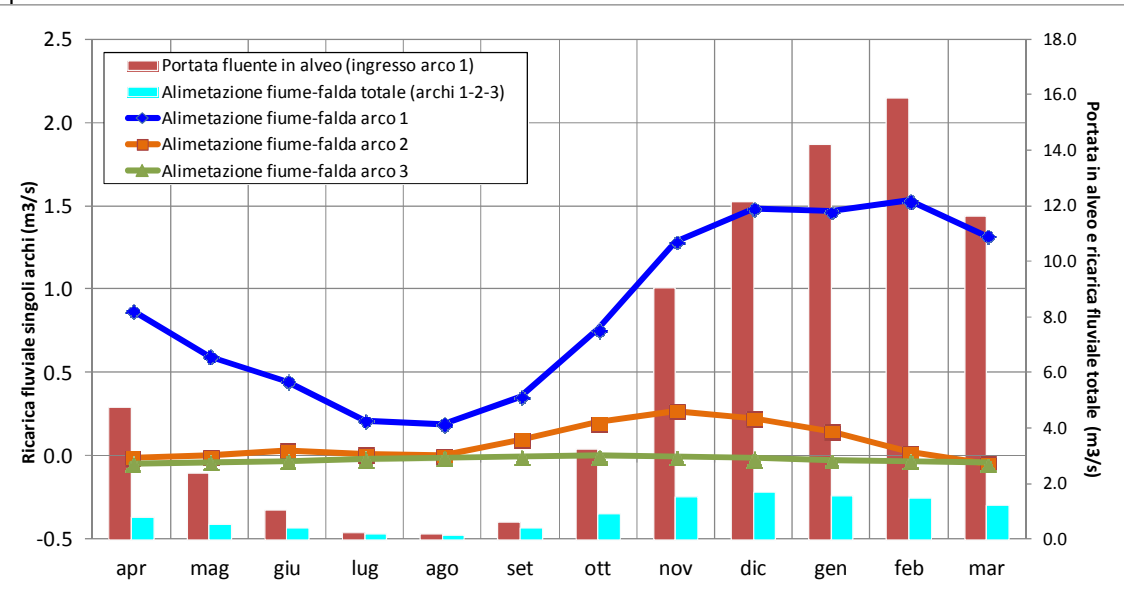


Analisi del bilancio del modulo SFR2: ricarica operata dai diversi tratti del fiume.

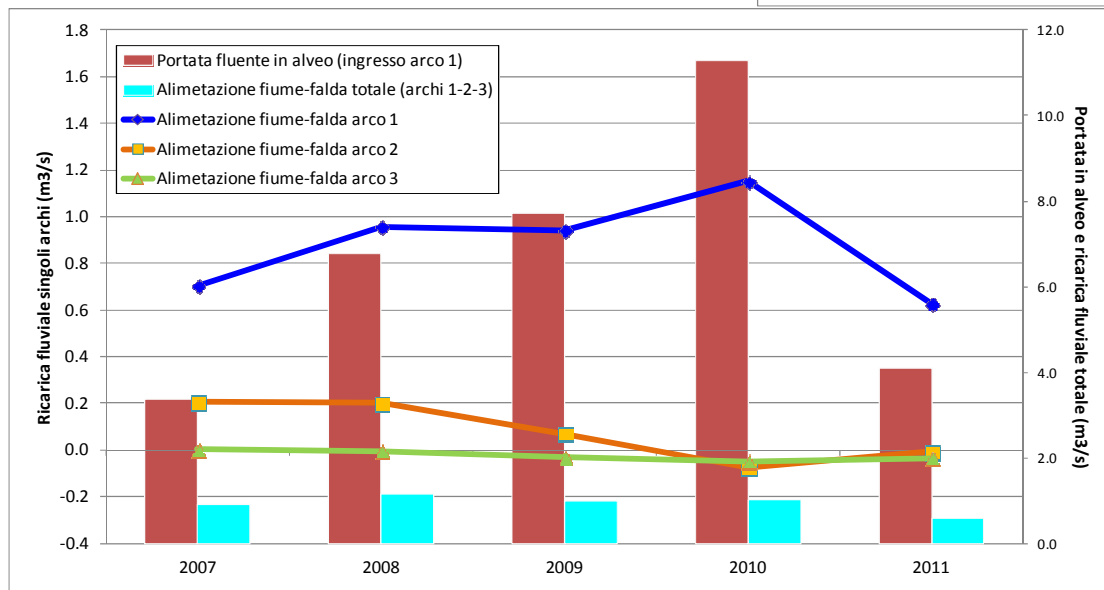
# Analisi del bilancio del modello di flusso. Bilancio del Package SFR2 distinto per ARCO.



## MEDIE MENSILI



## MEDIE ANNUALI



## RISULTATI DATI MEDI 2007-2011

# Risultati: analisi del comportamento del fiume al variare della portata di ricarica controllata della falda

Analisi del bilancio del modulo SFR2: ricarica operata dai diversi tratti del fiume.

N.B: la portata in ingresso col laghetto di ricarica viene inserita con il modulo RCH di modflow

3 scenari:

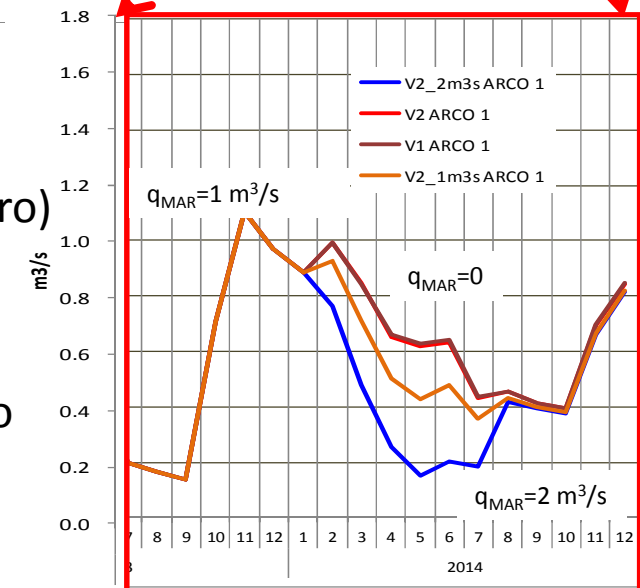
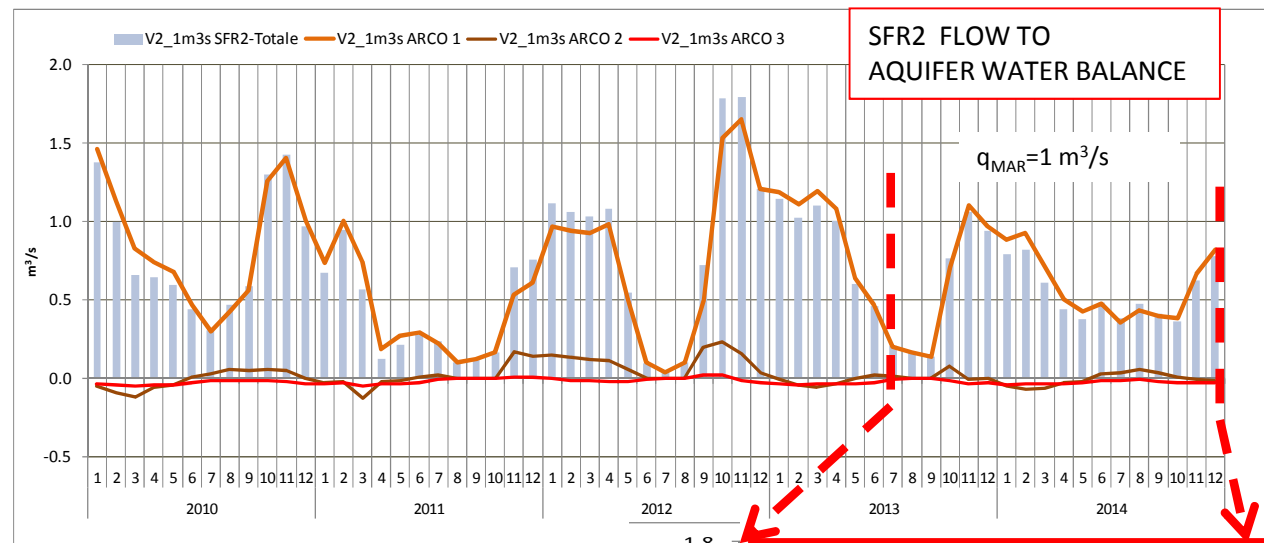
Q<sub>mar</sub> assente

Q<sub>mar</sub>=1 m<sup>3</sup>/s (da feb a lug.)

Q<sub>mar</sub>=2 m<sup>3</sup>/s (da feb a lug.)

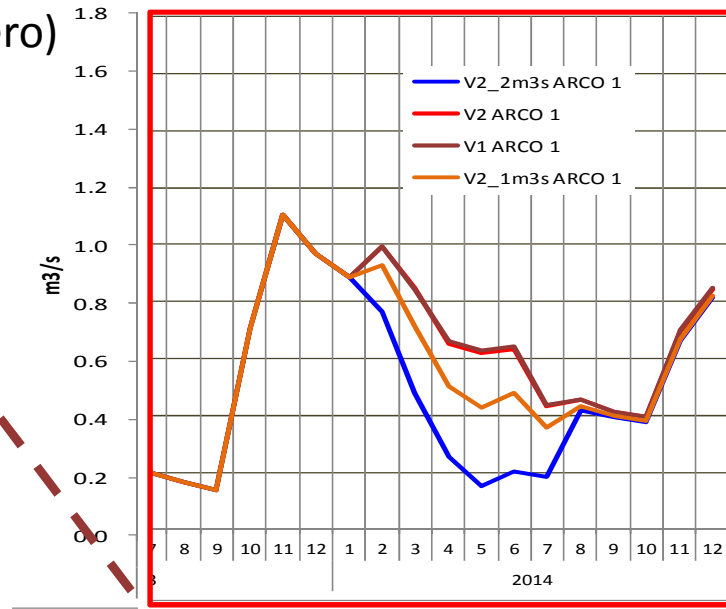
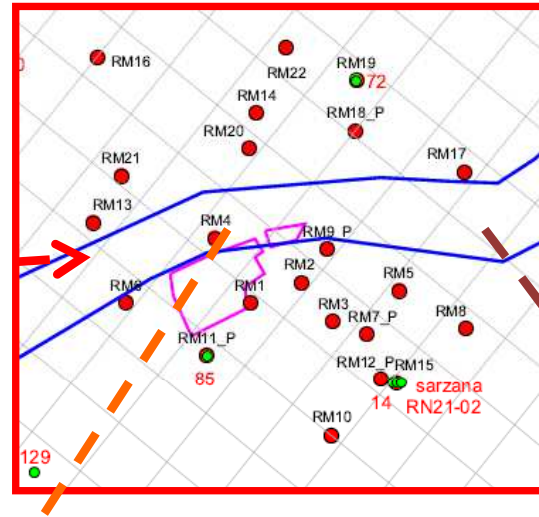
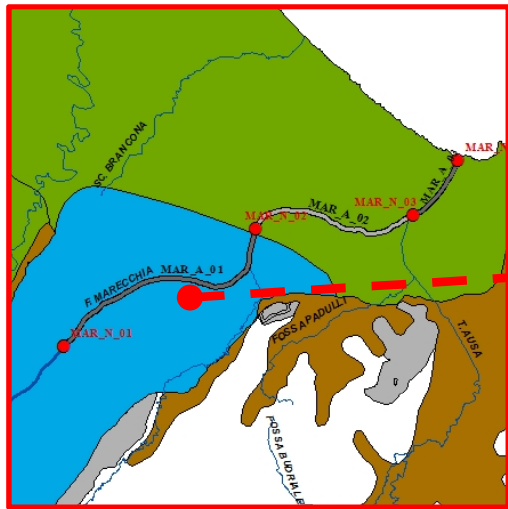
**Incidenza di una diversa ricarica controllata operata dal lago sulla ricarica naturale operata dal fiume**

- Analisi di dettaglio del bilancio dell'arco 1 (acquifero libero)
- Al crescere della portata di alimentazione del lago cala l'alimentazione operata dal fiume
- Valutazione valida per lo specifico contesto idrogeologico (anno 2014)
- L'analisi può essere ulteriormente sviluppata .....

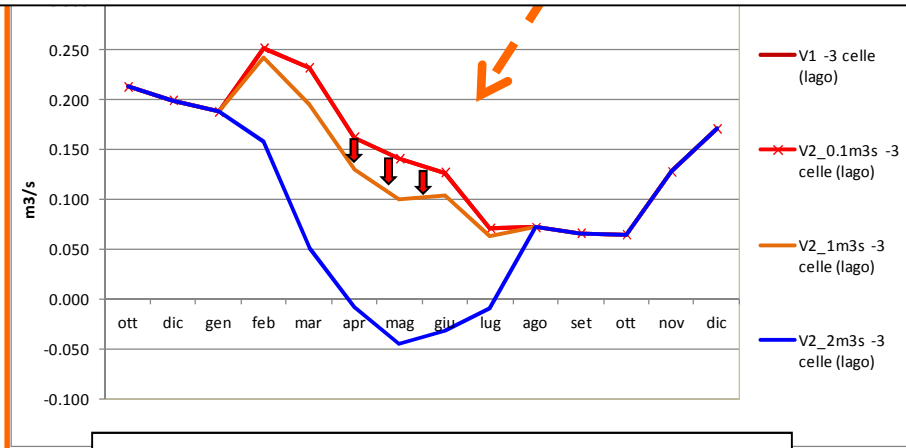


# Risultati: analisi del comportamento del fiume al variare della portata di ricarica controllata della falda

Analisi di dettaglio del bilancio dell'arco 1 (acquifero libero)

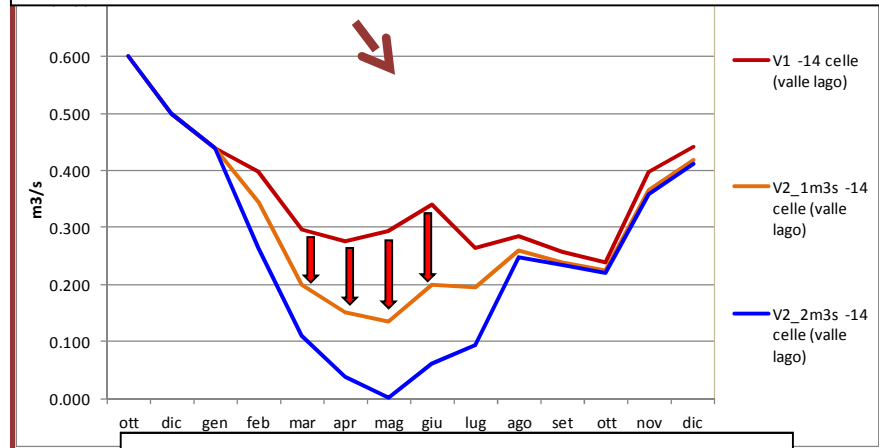


Ricarica operata dal fiume nel tratto in prossimità del lago



Celle del fiume adiacenti al lago (3/22)

Ricarica operata dal fiume nel tratto a valle del lago

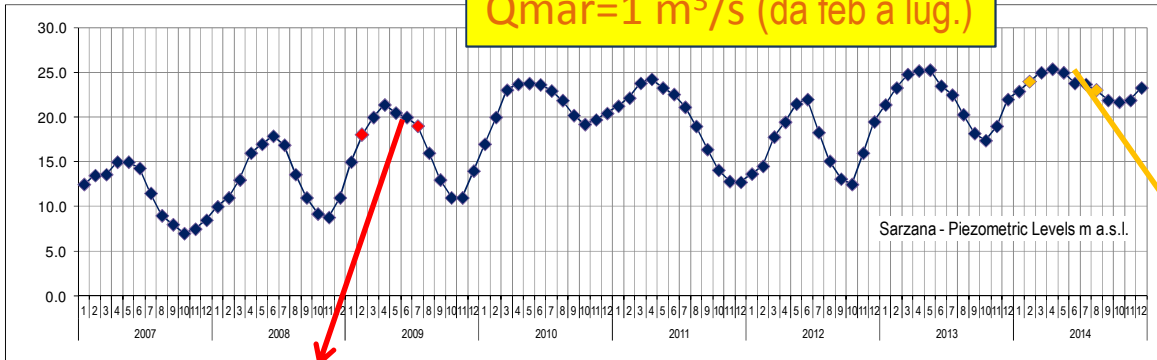


Celle del fiume a valle del lago (14/22)

# Risultati: esempio di MAR in condizioni diverse di altezza della falda

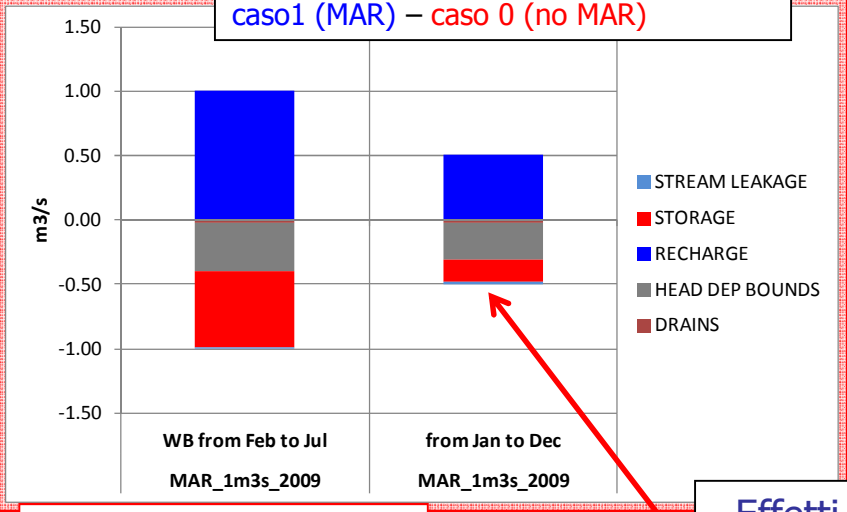
Confronto tra due simulazioni di scenario in due situazioni di alto piezometrico diverse:

**Q<sub>mar</sub>=1 m<sup>3</sup>/s (da feb a lug.)**



**MAR attiva (piezometria relativamente bassa)**

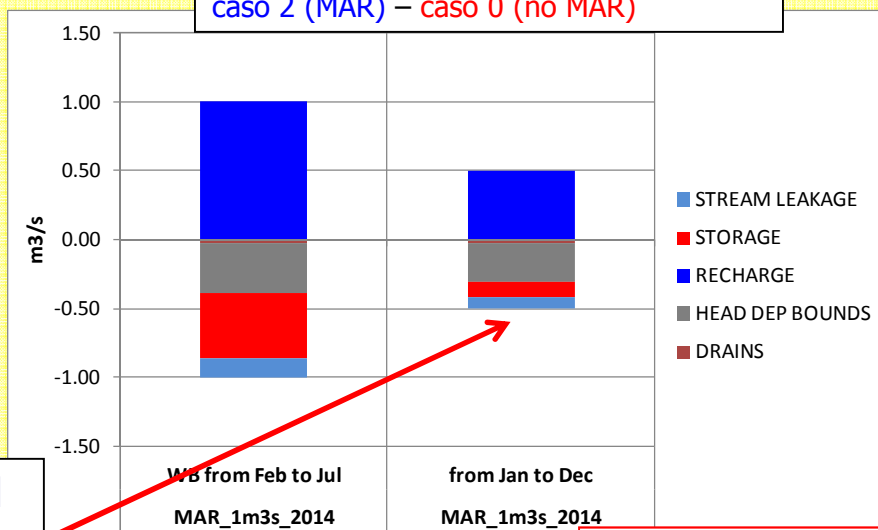
caso1 (MAR) – caso 0 (no MAR)



**EFFICIENZA ~ 35%**

**MAR attiva (piezometria relativamente alta)**

caso 2 (MAR) – caso 0 (no MAR)



**EFFICIENZA ~ 23%**

**Effetti sul SFR2 water budget**

# Utilizzo di un nuovo modulo dedicato per la simulazione specifica della interazione falda-Lago

Modellazione esplicita dell'interazione falda-lago Incal: **Modflow LAKE**

Il modulo LAKE tiene conto del volume dell'acqua all'interno del lago, della sua morfologia e di eventuali apporti e/o sottrazioni.

Il livello dell'acqua nel lago è calcolato a partire dal volume invasato e dalla morfologia del lago.

Necessità di mantenere una diversa permeabilità fondo lago/sponde.

Necessità di adeguamento del modello rispetto ai lavori di risistemazione del fondo del lago.

