

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 1

Modellistica delle acque sotterranee a supporto della pianificazione di livello regionale della risorsa idrica sotterranea

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

il modello regionale (EMIRO II), cronologia eventi

Realizzato a supporto della pianificazione regionale della risorsa idrica sotterranea

1

2003 prima implementazione del modello numerico di flusso delle acque sotterranee (regime permanente) come trasposizione del modello concettuale definito per il PTA

2

2007 primo aggiornamento del modello di flusso con passaggio al regime di moto transitorio (anni 2002-2003). Implementazione del modello di trasporto.

3

2009 aggiornamento del modello di flusso (dati 2004-2006)

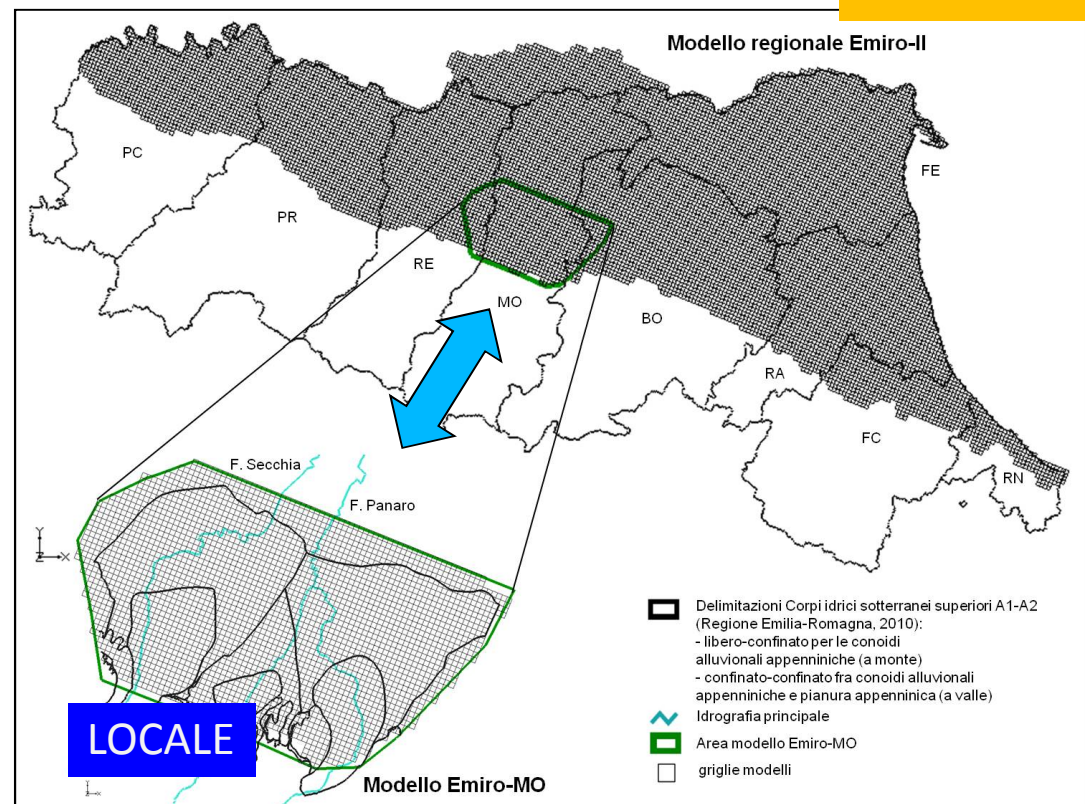
4

2014 aggiornamento del modello di flusso (dati 2007-2011)

5

2019-20 aggiornamento del modello di flusso (dati 2012-2016) **in corso**

REGIONALE



MODELLO DI FLUSSO NELLE ACQUE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

TIPO DI PROBLEMA:

FLUSSO SATURO

TRASPORTO (NITRATI)

MEZZO POROSO

TIPO DI MEZZO:

ANISOTROPO

ETEROGENEO

TIPO DI GEOMETRIA:

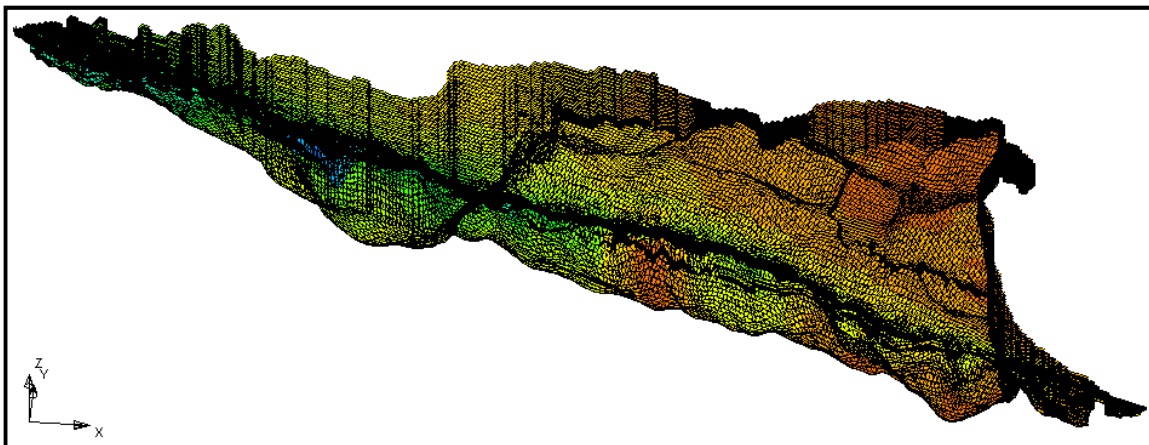
TRIDIMENSIONALE

TIPO DI MOTO:

TRANSITORIO, passo trimestrale

DATI DISPONIBILI:

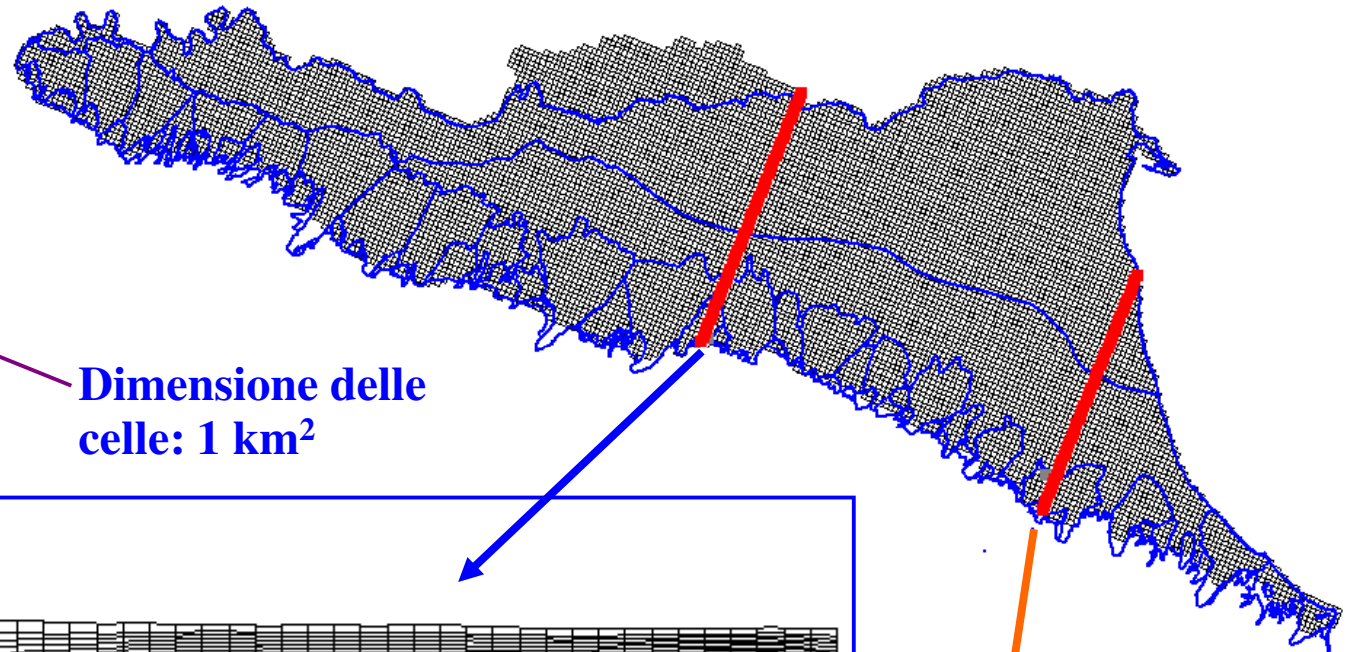
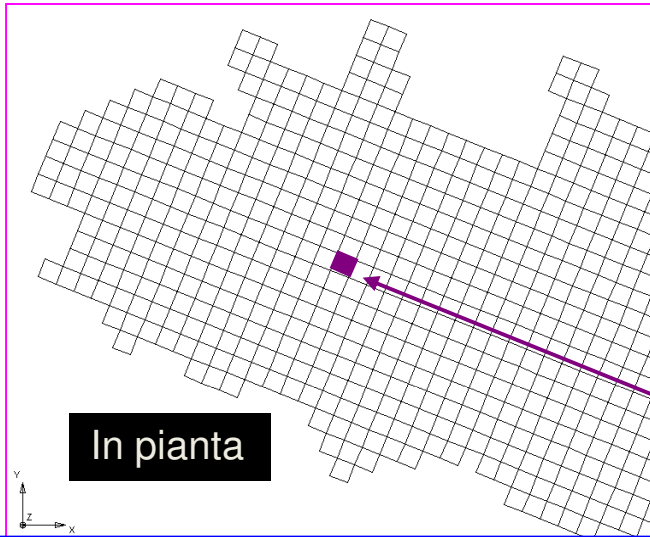
- RIS e Banca dati Geognostici
- Prelievi censiti e stimati per i diversi usi
- Dati piezometrici e chimici reti regionale e provinciali di Modena e Parma
- Raccolta dati freaticometrici da diverse fonti
- Dati simulazioni CRITERIA per drenaggio in falda e Nitrati in ingresso
- Parametri idrodinamici (storici + prove da altri progetti)
- Dati idraulici e idrologici sui principali Fiumi Appenninici



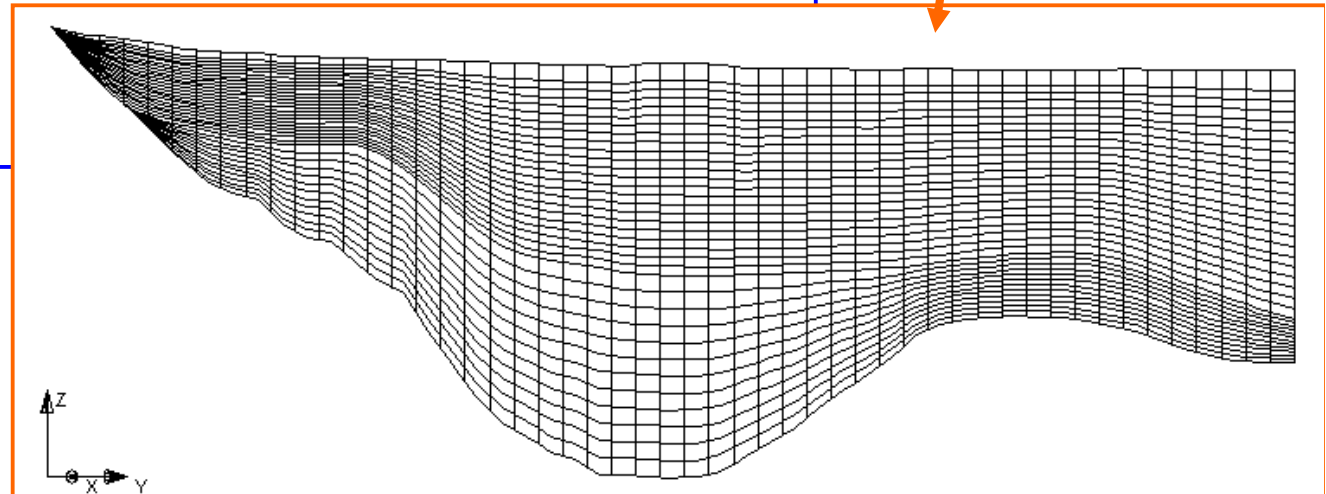
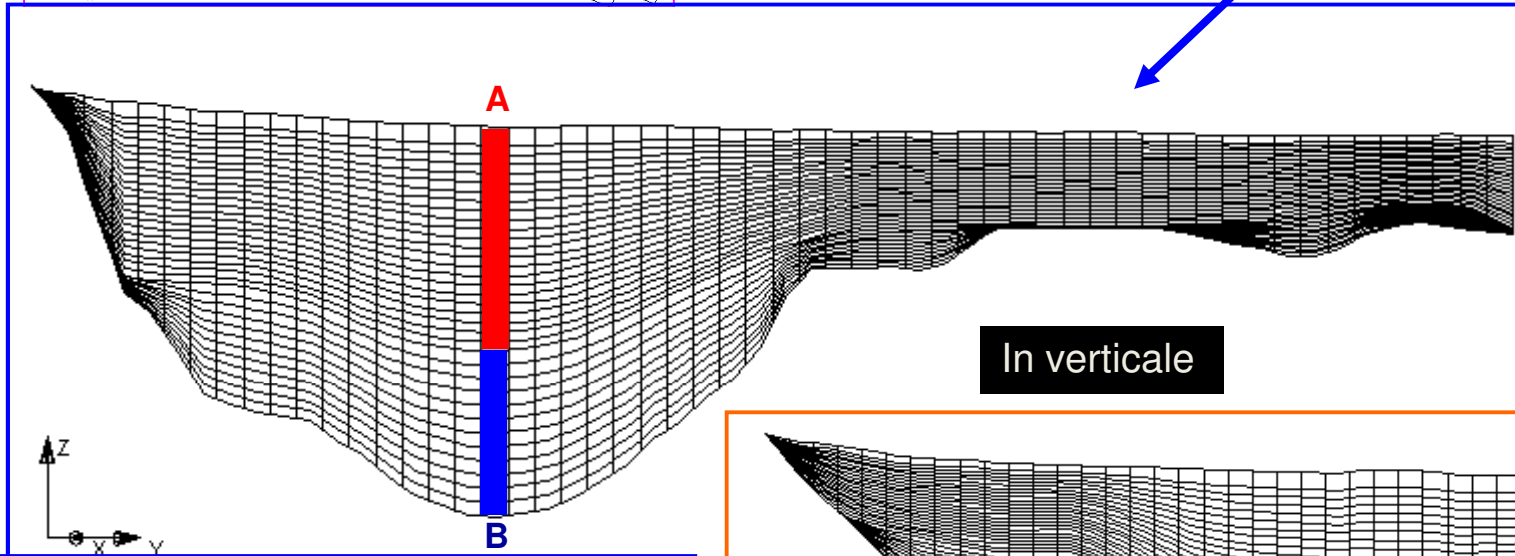
- Pianificazione risorsa idrica sotterranea
- Verifica e quantificazione della circolazione idrica sotterranea
- Analisi del bilancio idrogeologico
- Supporto al calcolo del deficit idrico

Suddivisione spaziale del sistema acquifero

- Area del modello: circa 12.000 km²
- Discretizzazione nel piano: maglie quadrate di lato 1000 m

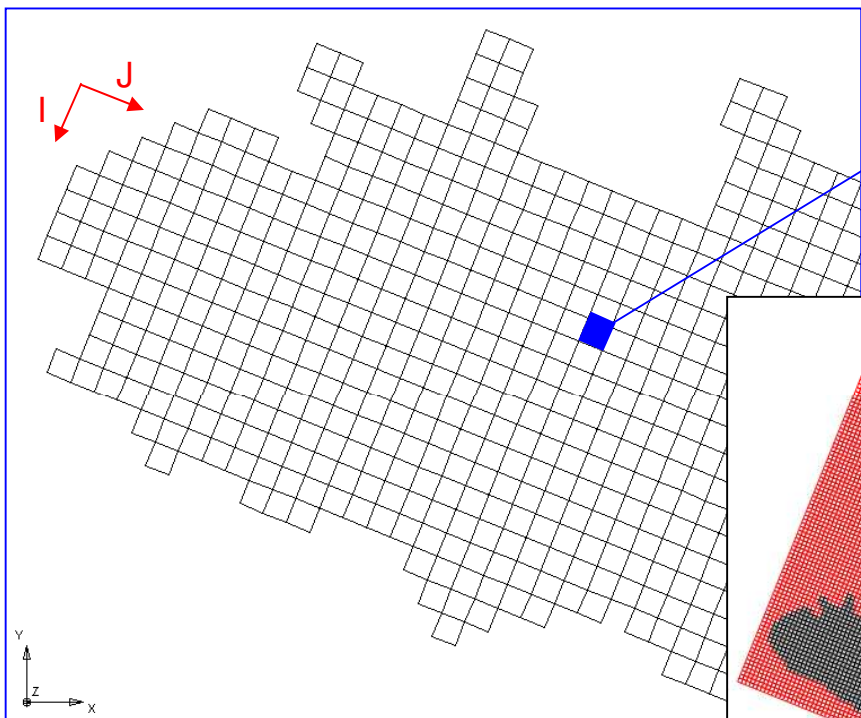


Dimensione delle
celle: 1 km²



- Discretizzazione verticale: 35 layer a spessore variabile: 23 layer per A1, A2, A3, A4, 12 layer per B
- Numero totale di celle attive: circa 400.000
- Condizionamento dei layer secondo le superfici notevoli riconosciute (basi dei gruppi acquiferi)

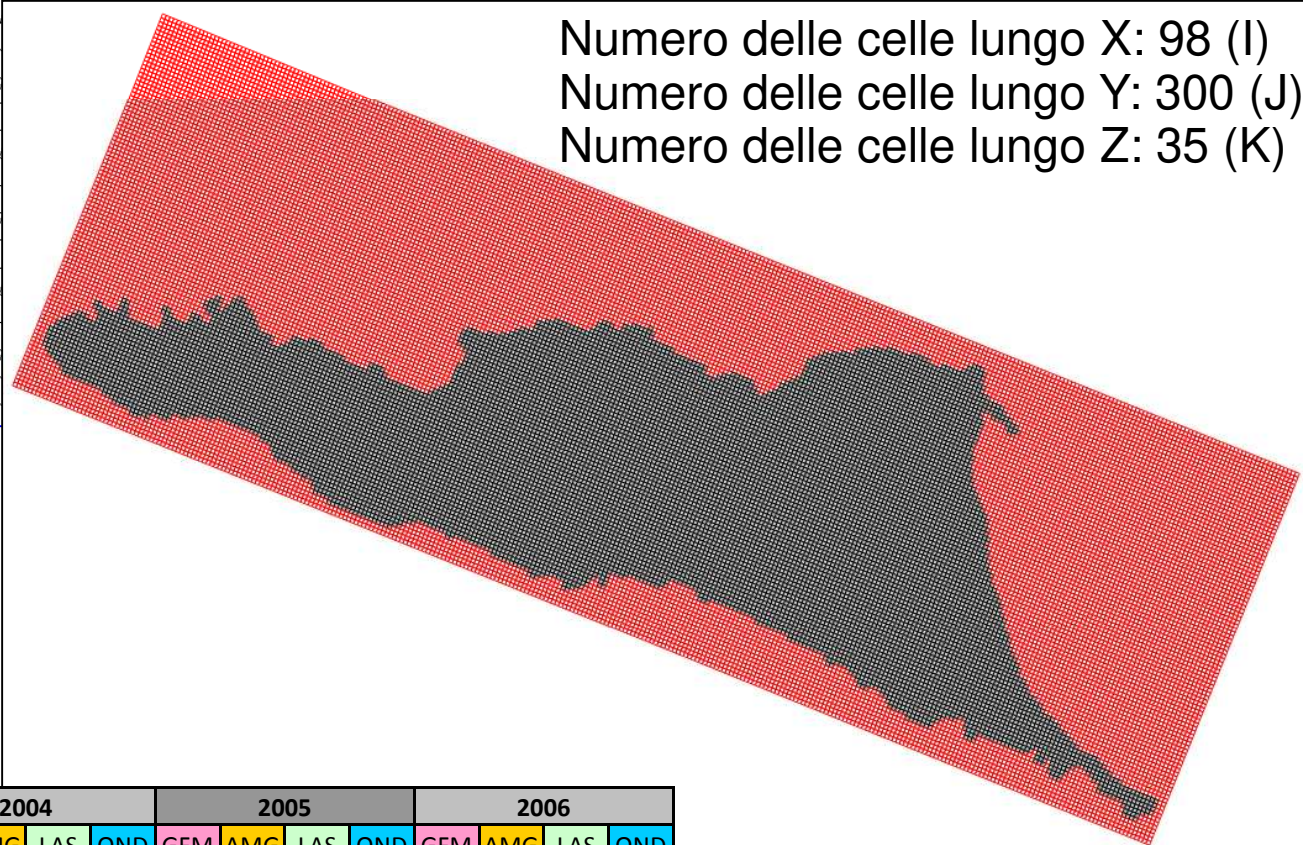
Discretizzazione spaziale orizzontale



Dimensione delle celle: 1 km²

Numero delle celle attive
(IBOUND=1): 401.000/1.029.000

Numero delle celle lungo X: 98 (I)
Numero delle celle lungo Y: 300 (J)
Numero delle celle lungo Z: 35 (K)



Discretizzazione temporale

anno	2002				2003				2004				2005				2006			
mesi	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND
trimestre	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
periodo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20

anno	2007				2008				2009				2010				2011			
mesi	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND	GFM	AMG	LAS	OND
trimestre	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
periodo	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40

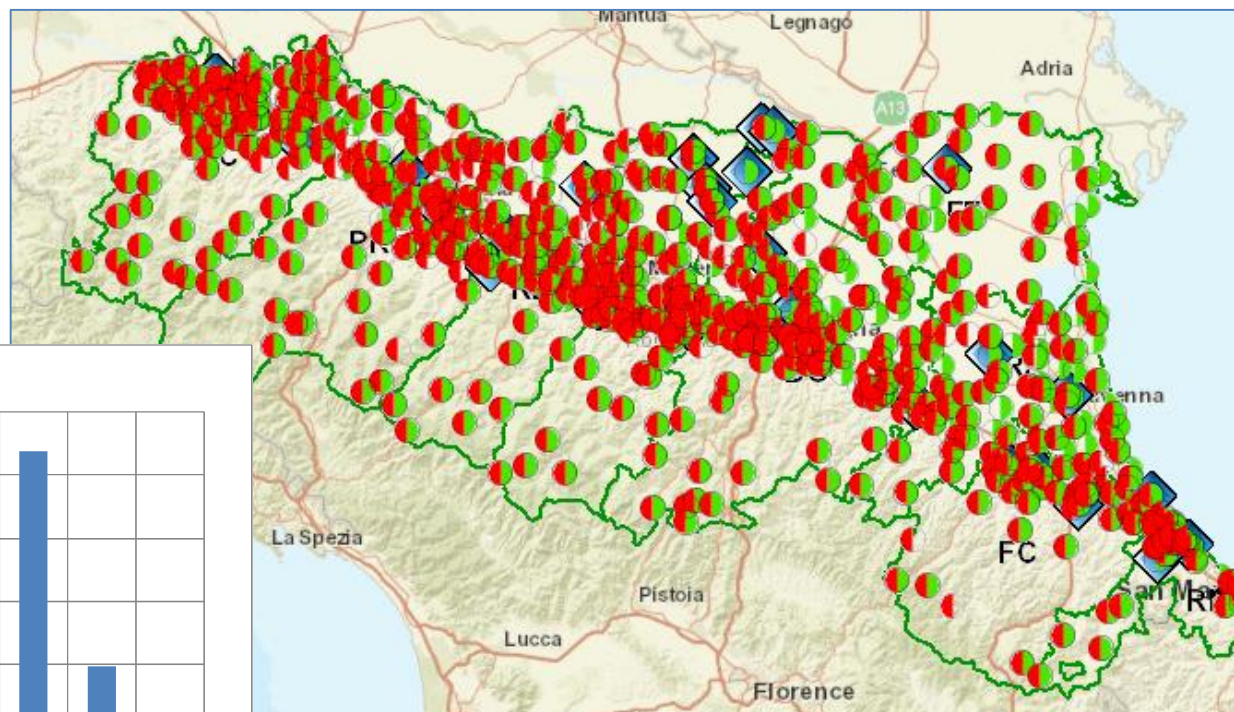
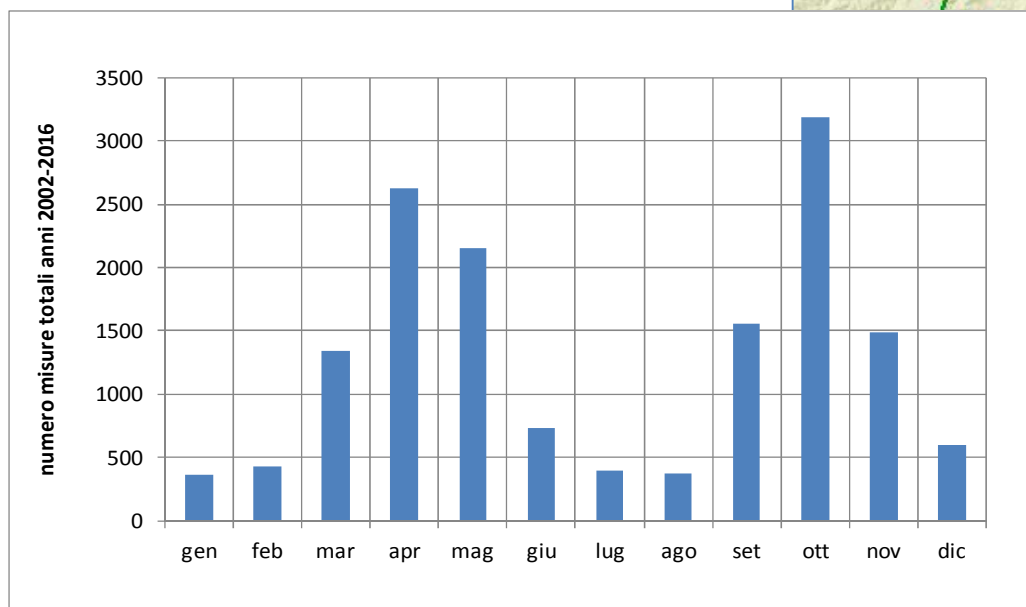
Soluzione: T-PROGS e la regionalizzazione per variabili indicatrici

1. si usano direttamente le colonne stratigrafiche e le altre informazioni disponibili (le sezioni del RIS)
2. si calcolano le leggi per descrivere la probabilità di transizione da un materiale all'altro (es.: da una lente di ghiaia ad una lente di argilla) nello spazio tridimensionale
3. si applicano queste leggi per simulare l'intero ammasso. I dati e le informazioni di input vengono rispettati e riprodotti senza alterazioni (simulazione condizionale)

Le misure piezometriche

La distribuzione di misure nello spazio

La distribuzione di misure nel tempo



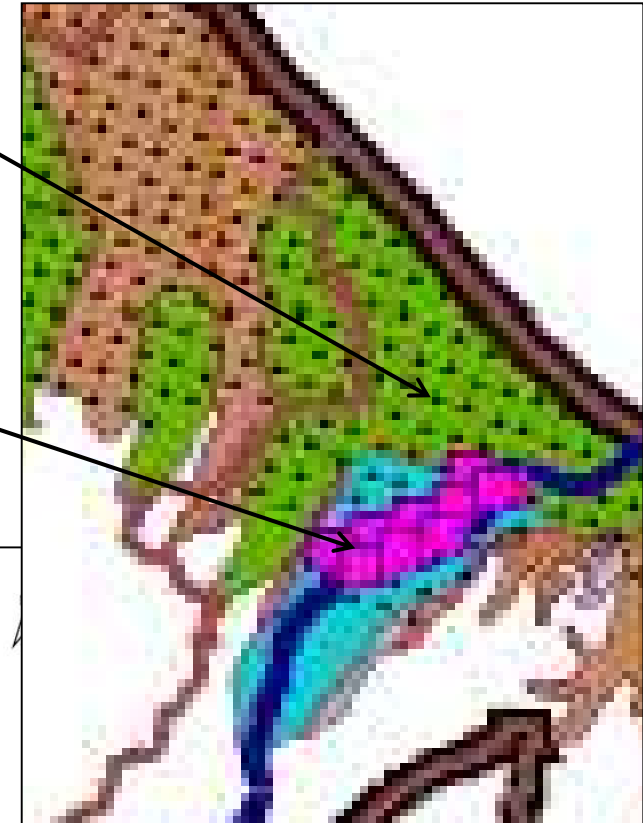
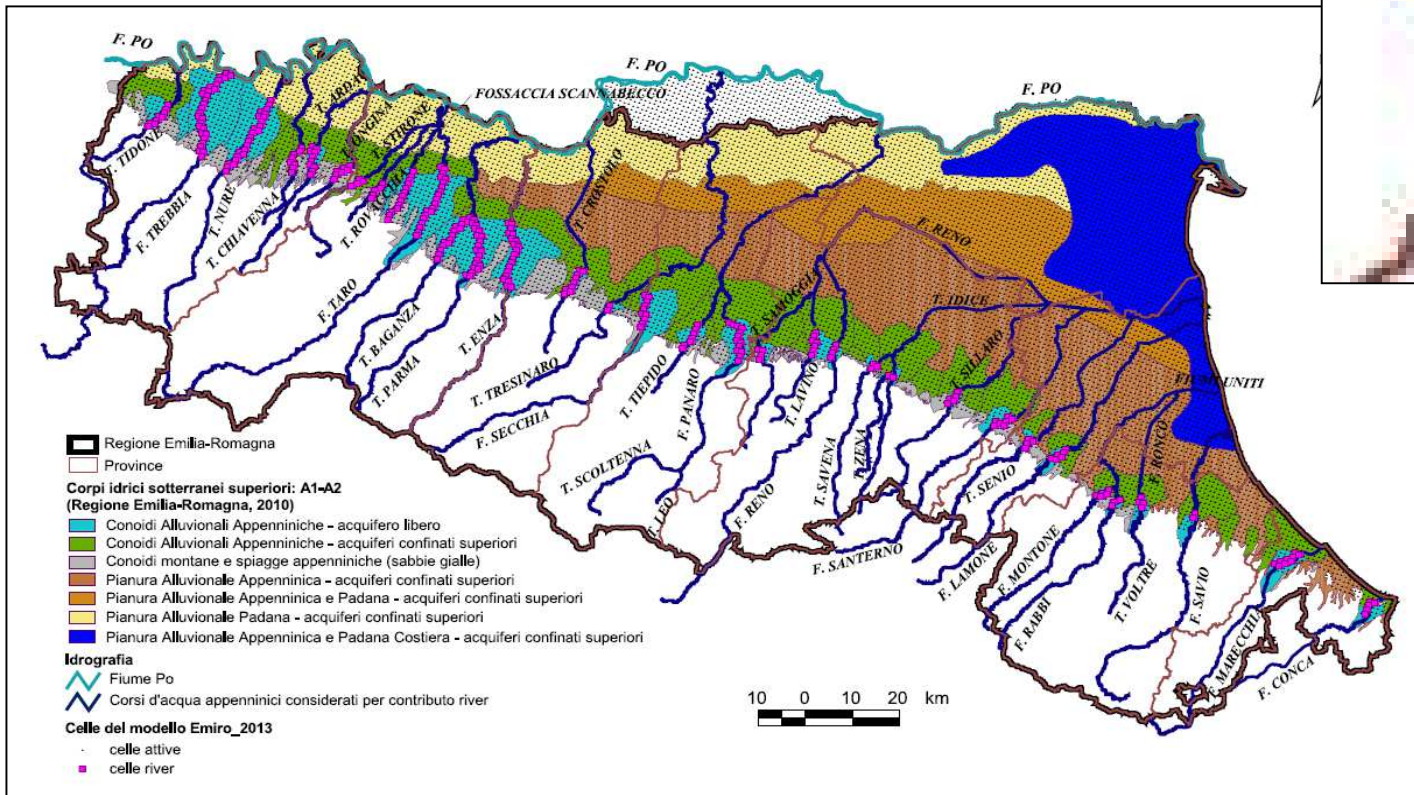
La disponibilità di misure nel tempo

Periodo di disponibilità del dato		Totale		Nota
2002-2006	2002-2006	40	40	Pozzi già utilizzati per gli aggiornamenti precedenti del modello di flusso e non più utilizzabili per il presente aggiornamento 2012-2017
2002-2012	2002-2011	36	46	
	2007-2011	10		
2002-2017	2002-2017	322	480	Pozzi utilizzabili per l'aggiornamento corrente del modello di flusso (2012-2017)
	2007-2017	81		
	2012-2017	77		
Totale complessivo		566	566	

Le ricariche (da pioggia) e da fiume

Da pioggia: vengono imposti al tetto del sistema i valori di drenaggio calcolati da Criteria

Da fiume: vengono imposti sulle celle del modello entro le quali il fiume scorre in zona di ricarica degli acquiferi, dei valori di portata calcolati esternamente al modello



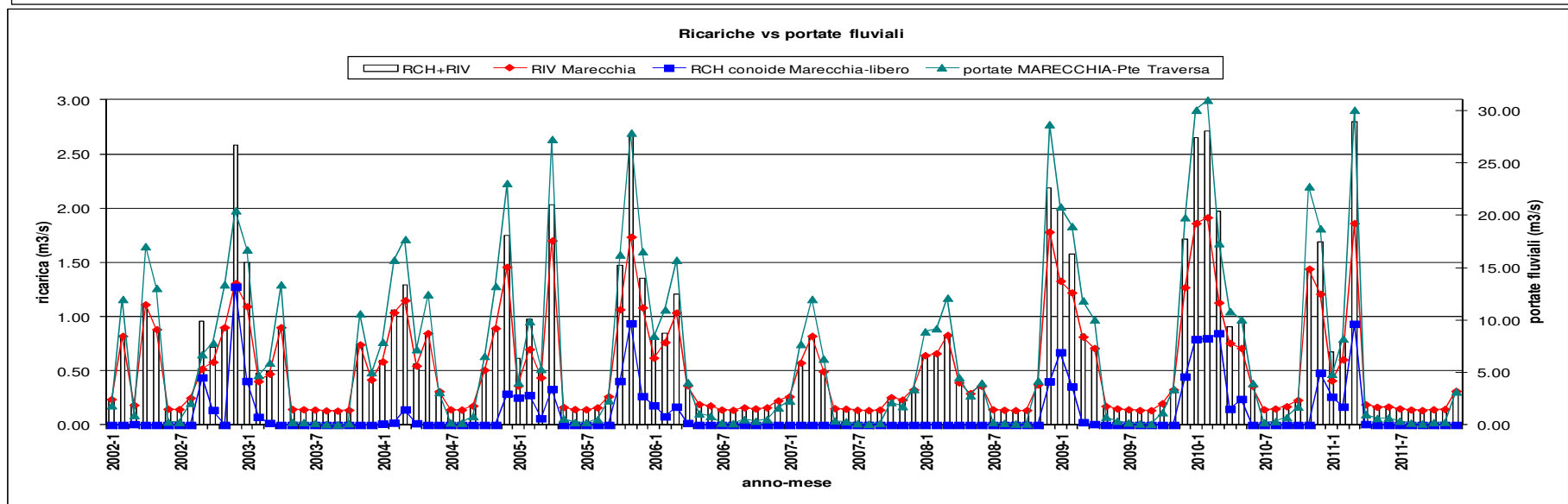
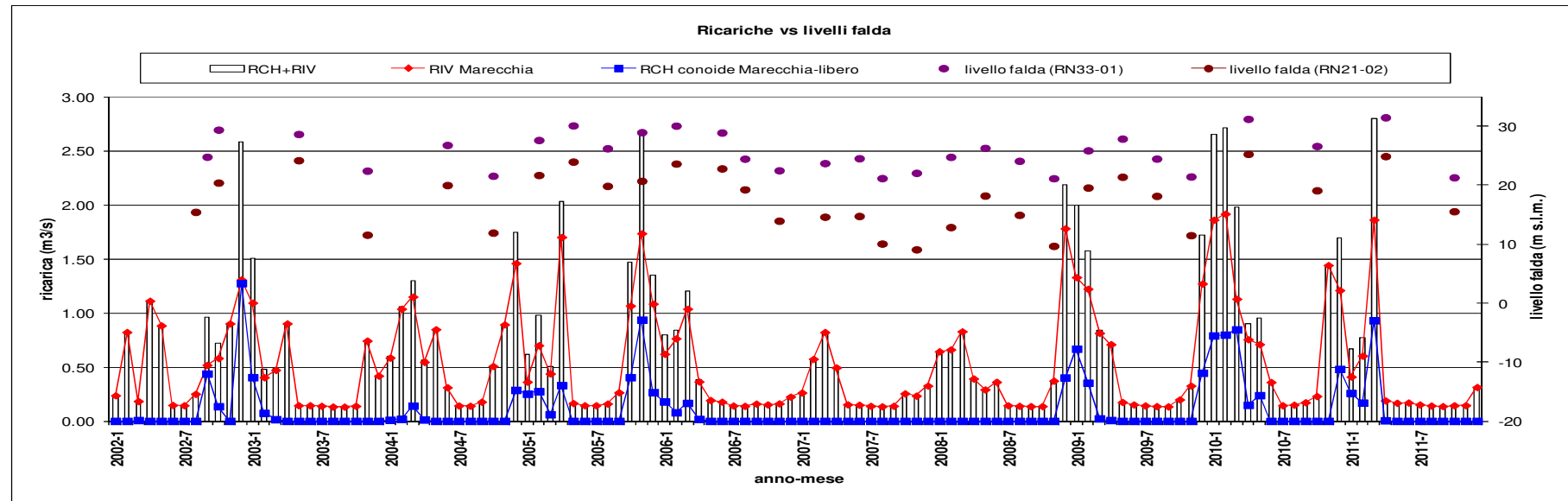
Utilizzo il modulo RCH di Modflow

Le ricariche fiume: valori medi annui

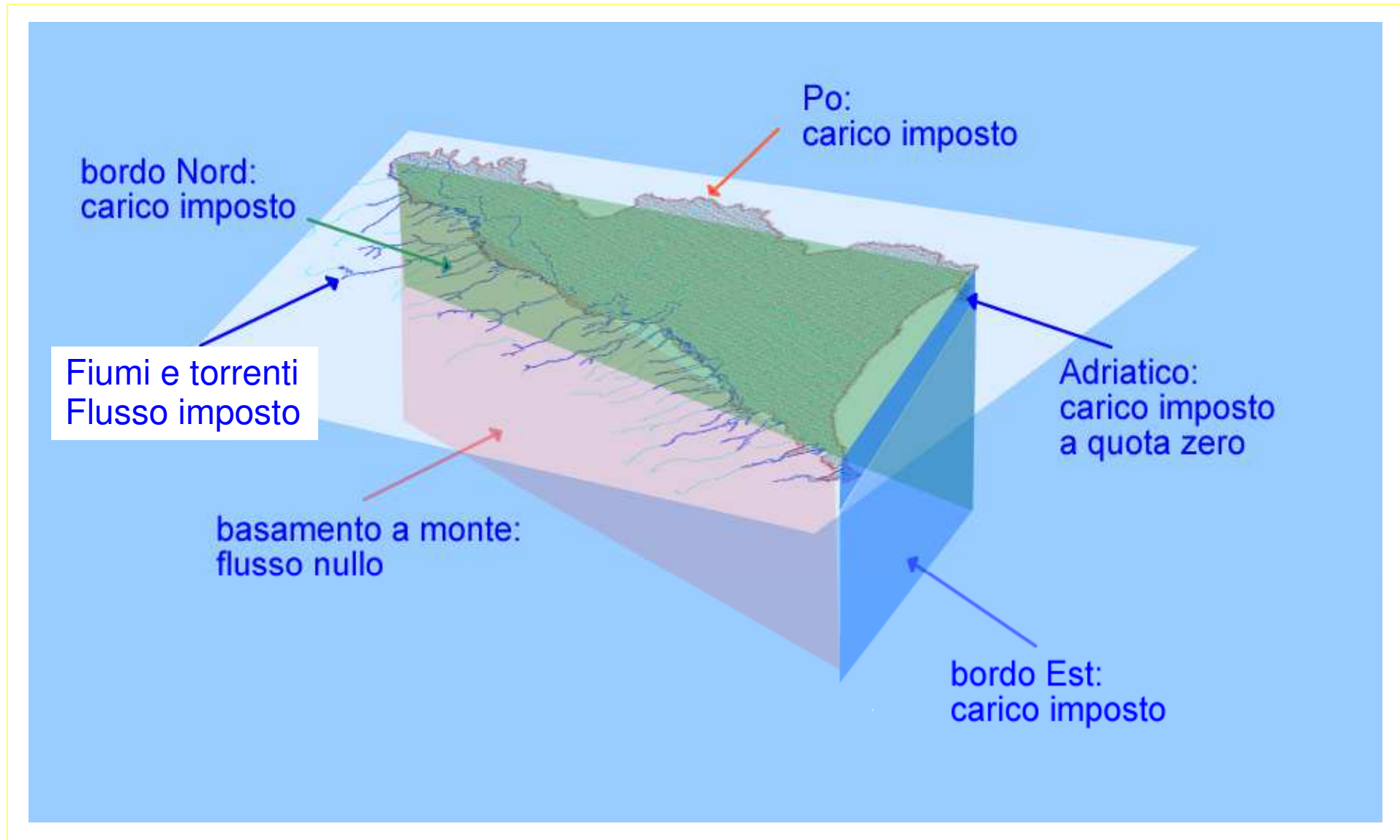
	PORTATE DI ALIMENTAZIONE FIUME FALDA (m ³ /s)										
Asta	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Media 2005- 2011
Tidone	0.28	0.17	0.21	0.16	0.14	0.15	0.25	0.41	0.41	0.22	0.25
Trebbia	1.17	0.98	1.02	0.72	0.94	0.80	1.26	1.70	1.64	1.01	1.12
Nure	0.40	0.40	0.53	0.39	0.38	0.36	0.51	0.71	0.69	0.45	0.48
Arda	0.13	0.17	0.27	0.24	0.16	0.19	0.24	0.37	0.42	0.22	0.24
Taro	1.15	1.24	1.52	1.05	1.11	1.12	1.62	2.21	2.14	1.30	1.45
Stirone	0.12	0.13	0.20	0.14	0.11	0.14	0.16	0.27	0.28	0.14	0.17
Parma	0.65	0.59	0.81	0.55	0.60	0.56	0.74	1.03	1.07	0.64	0.72
Baganza	0.18	0.17	0.23	0.17	0.16	0.16	0.20	0.31	0.31	0.18	0.21
Enza	0.37	0.37	0.52	0.36	0.39	0.37	0.55	0.71	0.76	0.42	0.48
Crostolo	0.18	0.19	0.31	0.28	0.15	0.17	0.26	0.30	0.36	0.19	0.24
Secchia	0.78	0.88	1.14	0.90	0.90	0.76	1.14	1.52	1.54	0.88	1.04
Tresinaro	0.12	0.14	0.23	0.20	0.12	0.06	0.12	0.22	0.27	0.15	0.16
Panaro	0.51	0.43	0.56	0.47	0.40	0.33	0.67	0.84	0.93	0.47	0.56
Tiepido	0.16	0.16	0.21	0.19	0.11	0.07	0.14	0.16	0.20	0.11	0.15
Reno	0.17	0.21	0.30	0.20	0.17	0.14	0.28	0.36	0.38	0.19	0.24
Samoggia	0.23	0.21	0.30	0.27	0.17	0.13	0.25	0.28	0.35	0.20	0.24
Lavino	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04
Idice	0.33	0.33	0.46	0.40	0.25	0.16	0.24	0.35	0.41	0.27	0.32
Savena	0.08	0.08	0.10	0.09	0.05	0.04	0.07	0.09	0.10	0.06	0.08
Sillaro	0.19	0.19	0.26	0.23	0.14	0.09	0.12	0.18	0.24	0.15	0.18
Santerno	0.28	0.31	0.39	0.36	0.27	0.20	0.30	0.40	0.50	0.28	0.33
Senio	0.18	0.18	0.26	0.22	0.16	0.13	0.16	0.21	0.29	0.16	0.20
Lamone	0.32	0.36	0.48	0.39	0.33	0.37	0.37	0.41	0.56	0.32	0.39
Montone	0.39	0.39	1.01	0.38	0.21	0.26	0.29	0.30	0.42	0.26	0.39
Rabbi	0.05	0.05	0.12	0.06	0.03	0.03	0.04	0.04	0.06	0.03	0.05
Ronco	0.42	0.43	0.61	0.51	0.24	0.24	0.31	0.34	0.52	0.30	0.39
Savio	0.48	0.40	0.63	0.60	0.33	0.27	0.40	0.47	0.66	0.33	0.46
Marecchia	0.59	0.41	0.65	0.66	0.35	0.31	0.49	0.55	0.84	0.37	0.52
Conca	0.18	0.11	0.12	0.19	0.09	0.06	0.08	0.13	0.22	0.12	0.13

Le ricariche da fiume: verifica dei valori da inserire nel modello numerico

confronto con le portate in alveo, con i dati piezometrici e con la ricarica meteorica



Condizioni al contorno del modello



Utilizzo del modello

- Supporto alla pianificazione regionale di settore in termini di circolazione idrica sotterranea e bilancio idrogeologico;
- Per le acque sotterranee la pianificazione avviene sui singoli corpi idrici, l'organizzazione del monitoraggio per raggruppamento di più corpi idrici sotterranei vicini tra loro;
- Analisi del *WATER BUDGET* per i principali raggruppamenti di conoidi ed analisi della dinamica del flusso idrico sotterraneo (nel periodo di calibrazione del Modello)

Gruppo	Raggruppamento corpo idrico	libero	Superiore	inferiore
1	Tidone-Luretta_Trebbia_Nure	10	100	1000
2	Arda-Chiavenna	11	110	
3	Stirone-Taro_Parma_Baganza_Enza	12	120	1200
4	Crostolo-Tresinaro	13	130	1300
5	Secchia-Tiepido-Panaro	14	140	1400
6	Samoggia-Ghironda-Reno-Lavino	15	150	1500
7	Aposa-Savena-Zena-Idice-Quaderna	16	160	1600
8	Sillaro-Sellustra-Santerno	17	170	1700
9	Senio-Lamone	18	180	1800
10	Montone-Rabbi-Ronco	19	190	1900
12	Savio	20	200	2000
13	Pisciatello-Rubicone-Uso		210	
14	Marecchia	22	220	2200
15	Conca	23	230	

IL WATER BUDGET

- Modflow risolve l'equazione del flusso idrico sotterraneo in tutto il dominio di calcolo: per ogni cella (I,J,K) del modello numerico restituisce il carico idraulico ed il bilancio ingressi/uscite:

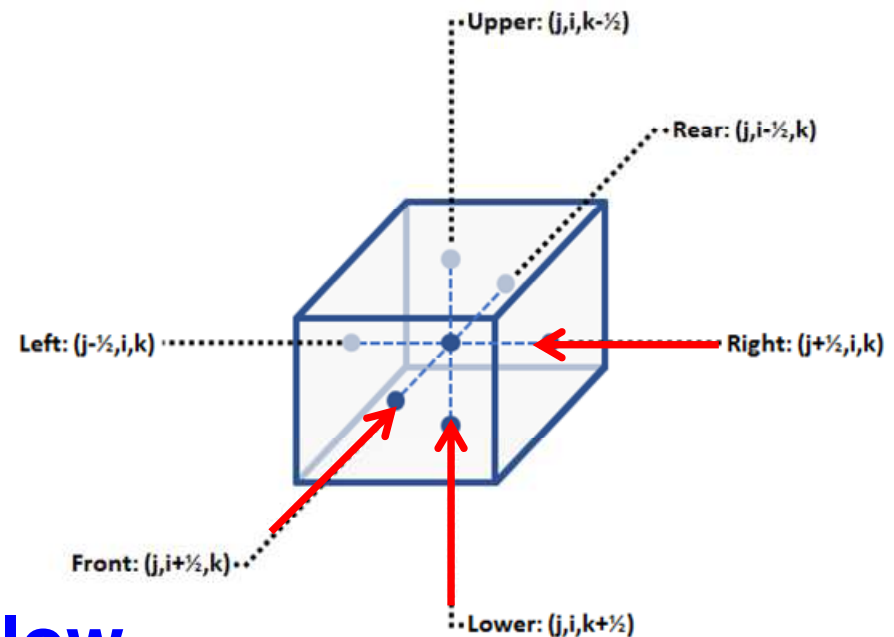
$$h=h(x,y,z,t)=h(I,J,K,SP) \quad \text{File .hed}$$

$$q=q(x,j,z,t)=q(I,J,K,SP)$$

Front Face
Right Face
Lower Face

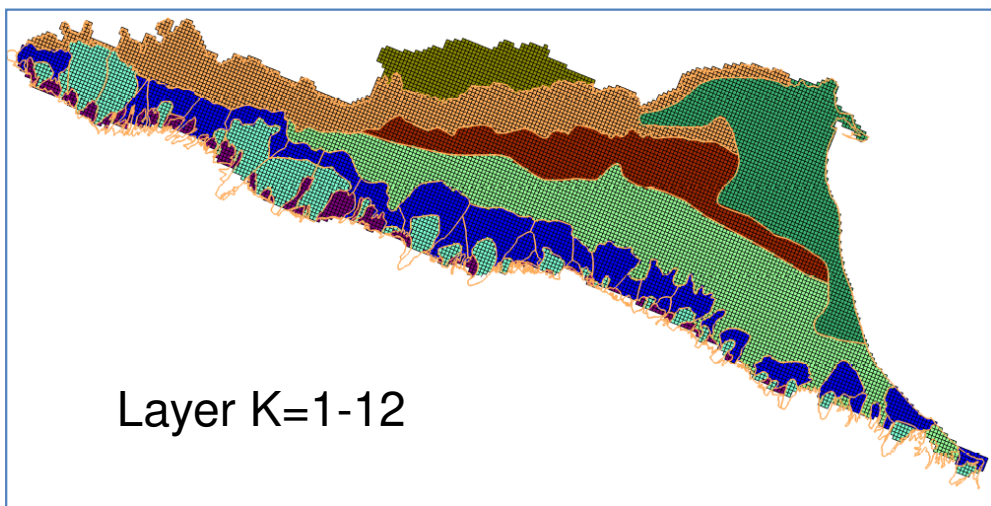
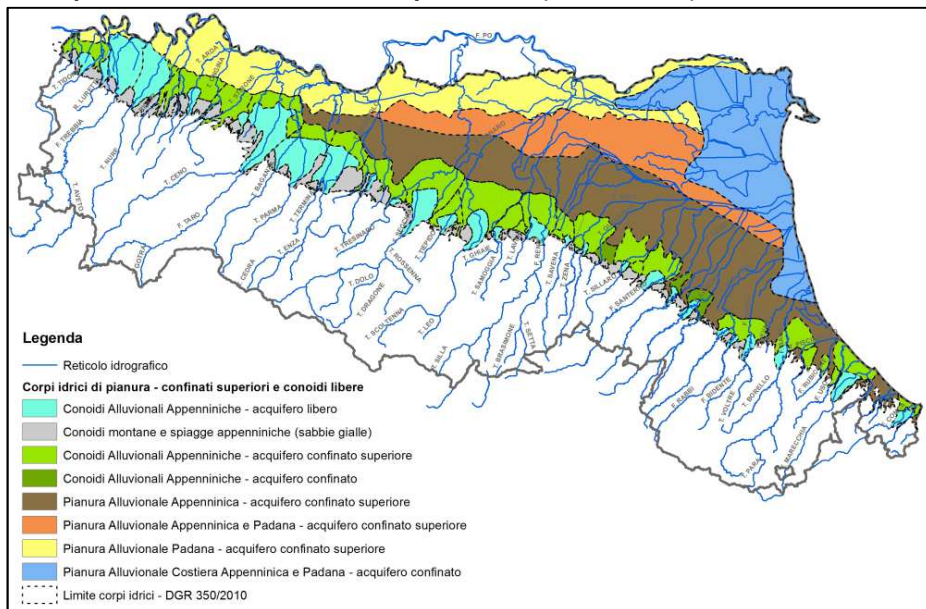
File .ccf

Cell to cell flow

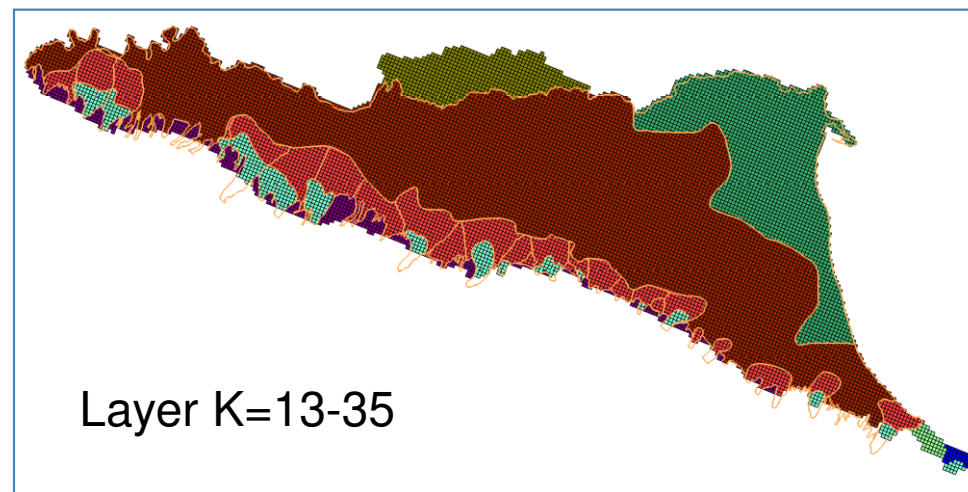
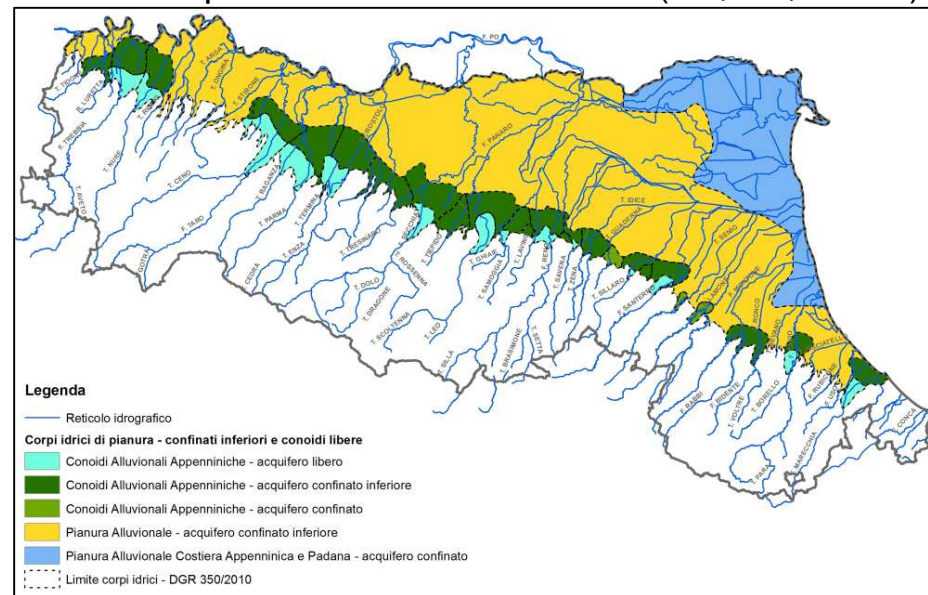


“Proiezione” della struttura tridimensionale del modello all'interno dei corpi idrici sotterranei

Corpi Idrici confinati superiori (A1 e A2)

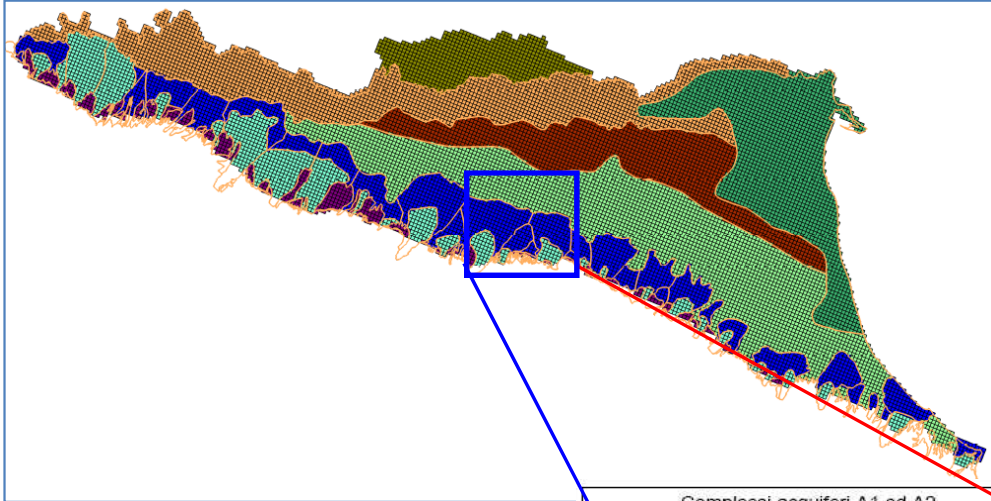


Corpi Idrici confinati inferiori (A3, A4, B e C)

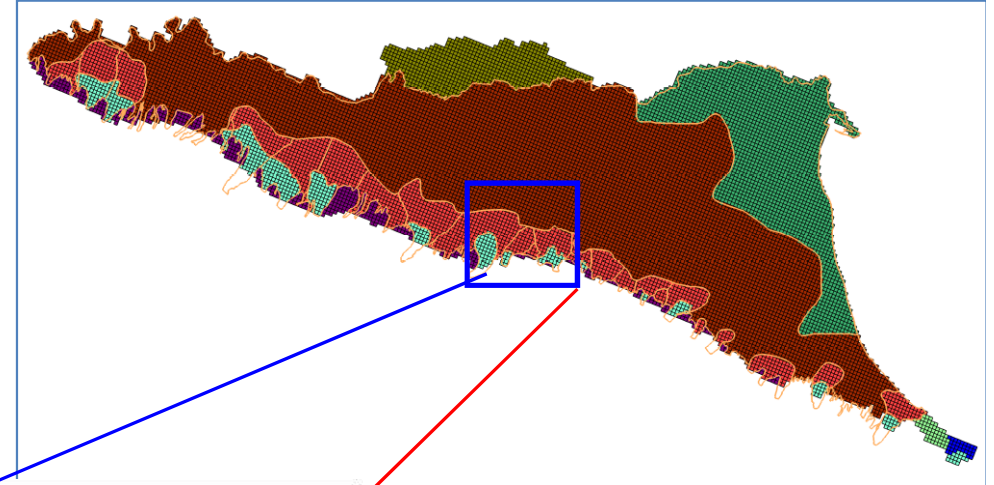


Applicazione del Water Budget

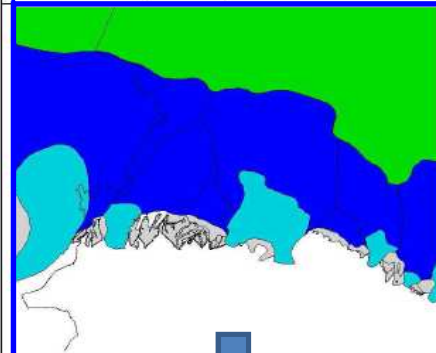
Corpi Idrici confinati superiori (A1 e A2)



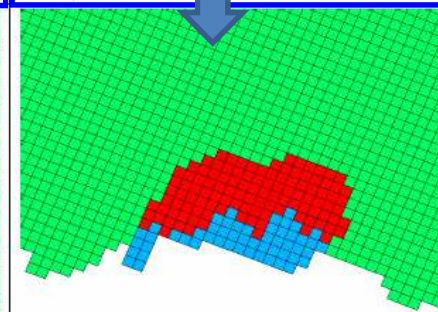
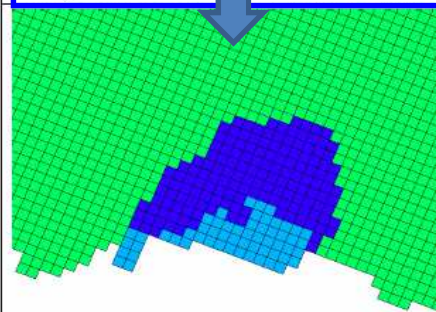
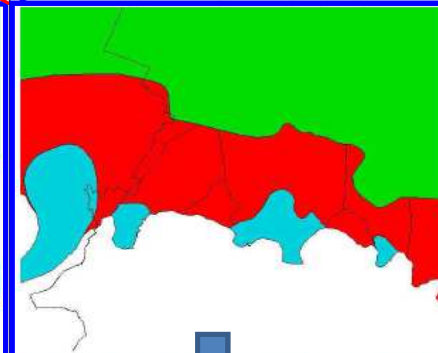
Corpi Idrici confinati inferiori (A3, A4, B e C)



Complessi acquiferi A1 ed A2

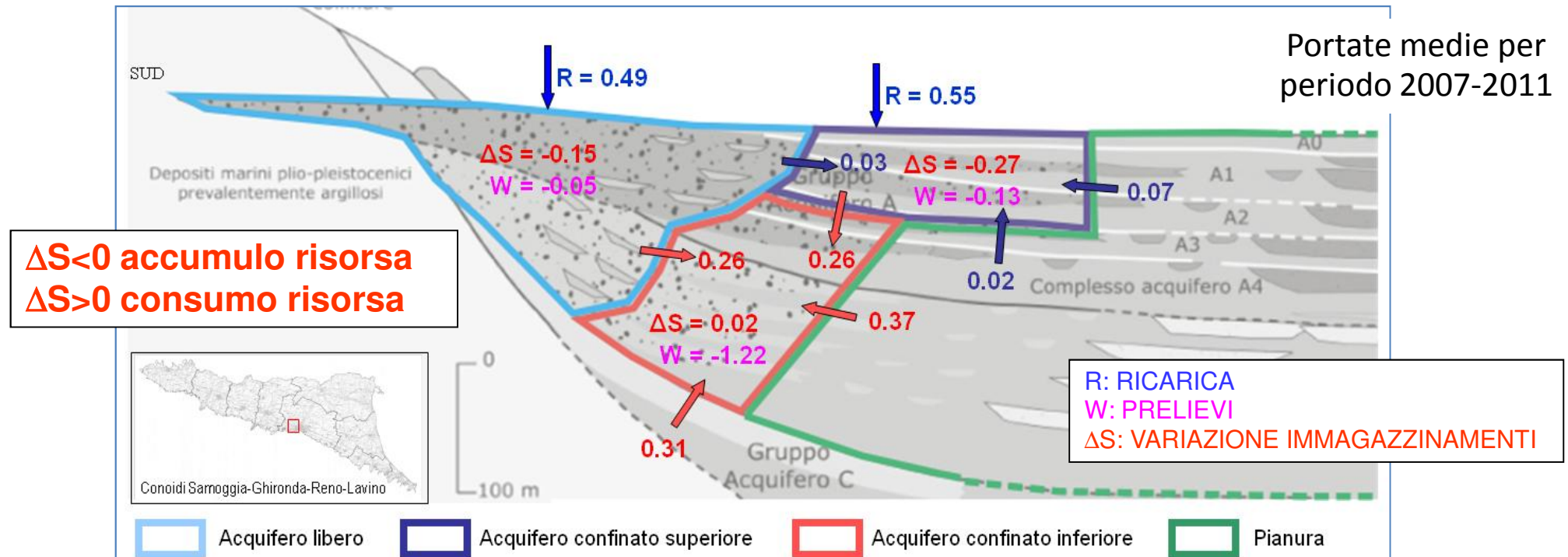


Complessi acquiferi A3, A4, B, C



■ Acquifero libero ■ Acquifero confinato superiore ■ Acquifero confinato inferiore ■ Pianura

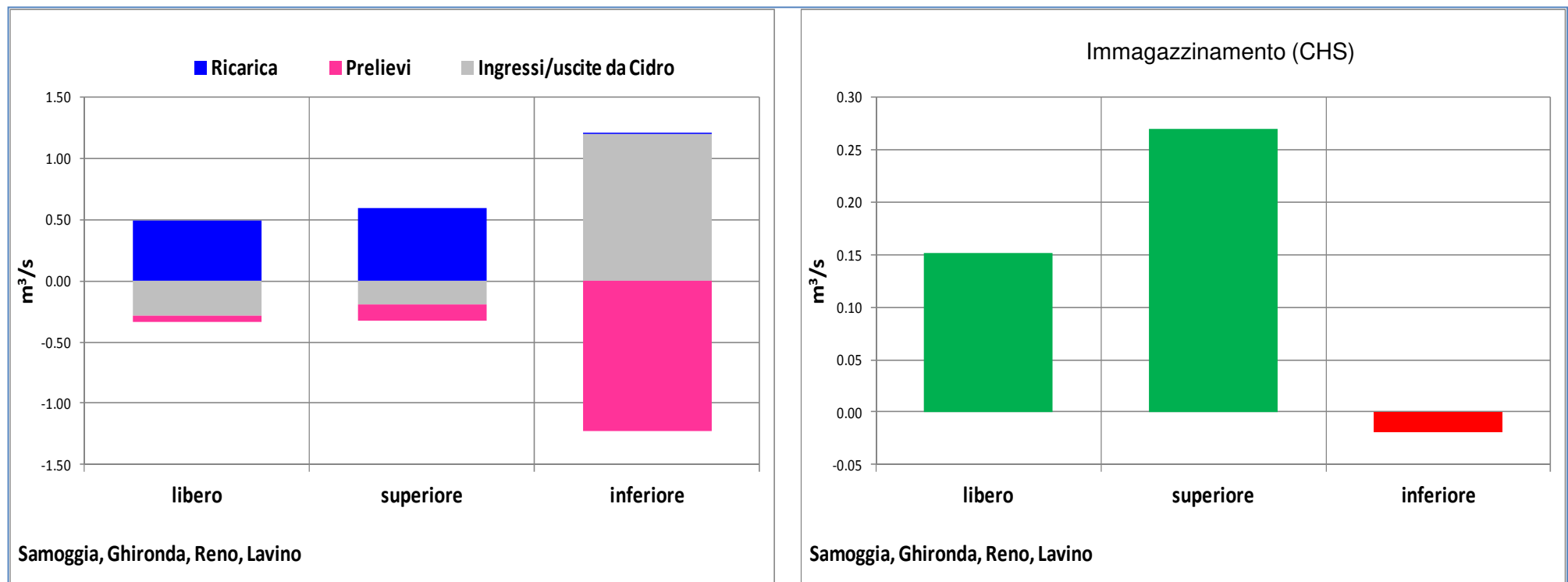
analisi del bilancio idrogeologico delle conoidi: schema di flusso (Es. Samoggia Ghironda Reno Lavino)



- ❑ i flussi di acqua mediati sui cinque anni di simulazione del modello (2007-2011) sono riportati all'interno di uno **"SCHEMA DI FLUSSO"** ;
- ❑ Lo schema suddivide "concettualmente" la conoide nelle porzioni di acquifero libero, confinato superiore e confinato inferiore e riporta su queste sia i termini del bilancio "esterni" (**prelievi**, **alimentazione**, **variazione dello storage**) sia quelli "interni" costituenti i termini di scambio tra le diverse porzioni di conoide.
- ❑ Le frecce individuano la direzione del flusso dell'acqua che è quantificato col valore rappresentativo della portata media (m^3/s).
- ❑ I prelievi e le variazioni degli immagazzinamenti vengono indicati direttamente all'interno della porzione di conoide cui si riferiscono.

analisi del bilancio idrogeologico delle conoidi (Es. Samoggia Ghironda Reno Lavino)

- I dati presenti nello schema di flusso derivano dalla forma classica di rappresentazione del bilancio con il grafico ad istogramma



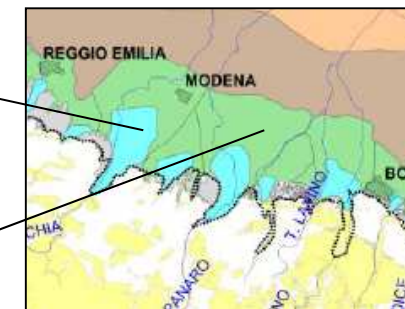
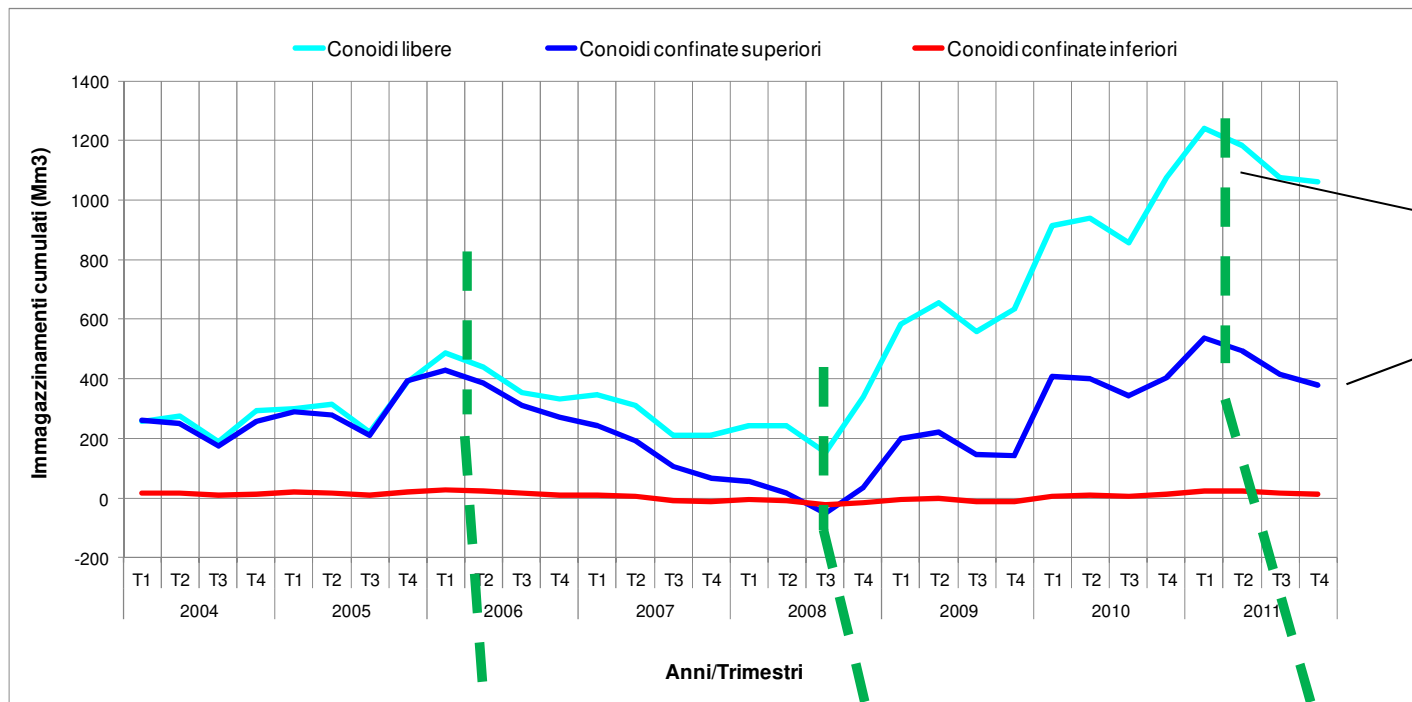
Portate medie per
periodo 2007-2011

- Riprendendo il bilancio complessivo del modello per tutta la sua evoluzione temporale possono essere fatte ulteriori valutazioni....

Il modello regionale Emiro II: analisi del bilancio idrogeologico nel tempo

Immagazzinamenti netti **per tutti i corpi idrici sotterranei di conoide**

Volumi di acqua
cumulati nel tempo



FASE DI ACCUMULO

FASE DI PERDITA

FASE DI ACCUMULO

Portate medie
per periodo

