

**Elaborazione ed analisi dati raccolti sulle acque superficiali e sotterranee a livello locale per lo sviluppo dei piani di tutela delle acque**



## **ATTIVITÀ - B**

**Modello di flusso e di trasporto dei nitrati nelle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna**





**Regione Emilia-Romagna  
Assessorato Ambiente e Sviluppo Sostenibile**

**Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua**

Tiziano Draghetti coordinamento generale - responsabile della Pianificazione del Servizio Tutela e Risanamento  
Risorsa Acqua

**ARPA  
Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente**

**Responsabile di Progetto:**

Rosanna Bissoli ARPA Ingegneria Ambientale

**Gruppo di Lavoro:**

Andrea Chahoud ARPA Ingegneria Ambientale  
Giacomo Zaccanti ARPA Ingegneria Ambientale  
Luca Gelati ARPA Ingegneria Ambientale  
Emanuele Dal Bianco ARPA Ingegneria Ambientale  
Daniele Cristofori ARPA Ingegneria Ambientale  
Maurizio Morelli ARPA Ingegneria Ambientale  
Paolo Spezzani ARPA Ingegneria Ambientale  
Giuseppe Patrizi consulente ARPA Ingegneria Ambientale  
Fabrizio Morandi consulente ARPA Ingegneria Ambientale

**Si ringraziano per i dati forniti:**

Gabriele Alifracco Provincia di Parma  
Matteo Toni Provincia di Modena  
Michele Giordani Provincia di Parma  
Rita Nicolini Provincia di Modena

**La cartografia è stata curata da:**

Monica Branchi ARPA Ingegneria Ambientale

**La grafica è stata curata da:**

Leda Ferrari ARPA Ingegneria Ambientale

## INDICE

<b>Premessa</b>	<b>1</b>
<b>1. Implementazione del modello di flusso e di trasporto di nitrati</b>	<b>2</b>
<i>1.1 Discretizzazione spaziale e temporale</i>	<i>2</i>
<i>1.2 Struttura e geometria del sistema</i>	<i>5</i>
<i>1.3 Dati piezometrici e di concentrazione dei nitrati utilizzati per la calibrazione dei modelli</i>	<i>5</i>
<i>1.4 I Codici numerici utilizzati</i>	<i>6</i>
<b>2. Il modello di flusso delle acque sotterranee</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Implementazione del modello di flusso</b>	<b>7</b>
<i>2.1.1 Condizioni iniziali ed al contorno del modello di flusso (analisi del carico idraulico)</i>	<i>7</i>
<i>2.1.2 Regionalizzazione 3-d del carico idraulico</i>	<i>7</i>
<i>2.1.3 Definizione del termine sorgente</i>	<i>10</i>
<i>2.1.4 Stima delle variabili di controllo</i>	<i>15</i>
<b>2.2 Taratura del modello di flusso</b>	<b>17</b>
<i>2.2.1 Assetto delle permeabilità</i>	<i>17</i>
<i>2.2.2 Assetto del flusso</i>	<i>20</i>
<i>2.2.3 Controllo della taratura</i>	<i>22</i>
<i>2.2.4 Bilancio idrogeologico</i>	<i>35</i>
<b>3. Il modello di trasporto di nitrati nelle acque sotterranee</b>	<b>41</b>
<b>3.1 Implementazione del modello di trasporto di nitrati</b>	<b>41</b>
<i>3.1.1 Condizioni iniziali ed al contorno del modello di trasporto</i>	<i>41</i>
<i>3.1.2 I dati di ricarica zenitale di nitrati in ingresso nel modello</i>	<i>43</i>
<b>3.2 Taratura del modello di trasporto</b>	<b>45</b>
<i>3.2.1 Parametrizzazione del modello di trasporto</i>	<i>45</i>
<i>3.2.2 Controllo della taratura</i>	<i>46</i>
<i>3.2.3 Bilancio di massa di nitrati</i>	<i>52</i>
<b>4. Applicazione della modellistica quali-quantitativa per le valutazioni di scenario al 2016 relativamente al parametro nitrati</b>	<b>55</b>
<b>4.1 Costruzione delle simulazioni di scenario al 2016</b>	<b>55</b>
<b>4.2 Risultati delle modellazioni effettuate</b>	<b>56</b>
<i>4.2.1 Considerazioni generali sui risultati per i nitrati</i>	<i>56</i>
<i>4.2.2 Stima dell'evoluzione delle concentrazioni dei nitrati al 2016</i>	<i>57</i>
<i>4.2.3 Stima dell'evoluzione delle masse residenti di nitrati al 2016</i>	<i>72</i>
<i>4.2.4 Bilancio idrogeologico nel periodo 2003-2016</i>	<i>73</i>
<b>5. Bibliografia</b>	<b>75</b>



## PREMESSA

La classificazione dello stato ambientale delle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna, realizzata nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque, ha evidenziato le zone dove gli interventi devono essere focalizzati per consentire il perseguimento degli obiettivi di qualità ambientale al 2016 (stato BUONO). Ciò significa, per la metodica stessa di composizione dell'indice stato ambientale, il raggiungimento di uno stato quantitativo pari almeno alla Classe B e di uno stato qualitativo pari almeno alla Classe 2. Per quanto riguarda gli aspetti quantitativi le azioni previste dal Piano sono rivolte al recupero dei deficit idrici entro il 2016 al fine di perseguire i relativi obiettivi. Per quel che riguarda gli aspetti qualitativi il Piano ha evidenziato l'impatto a scala regionale delle azioni considerate sulle acque sotterranee ed in particolare sui nitrati che principalmente condizionano la classificazione qualitativa. Lo stesso Piano sottolinea il carattere regionale delle valutazioni effettuate e la necessità di una ulteriore verifica attraverso opportuni approfondimenti al fine di valutare l'efficacia degli interventi ed il perseguimento degli obiettivi di qualità ambientale.

È proprio in questo contesto che si collocano le attività descritte nella presente relazione e che riguardano l'implementazione della modellistica per il flusso dell'acqua e per il trasporto di nitrati nelle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna e la successiva applicazione dei modelli in simulazioni di scenario al 2016 sulla base delle misure quali-quantitative previste dal Piano di Tutela Regionale integrate dove possibile con quelle disponibili dai diversi livelli di sviluppo dei Piani di Tutela Provinciali. In tal modo risulta possibile valutare all'interno della complessa dinamica del flusso e del trasporto di nitrati ricostruita dai modelli l'effetto delle misure di Piano. Particolare attenzione viene posta alle concentrazioni di nitrati attese sul punto di controllo delle reti di monitoraggio al 2016 e ne viene fatto un confronto con le osservazioni rappresentative dello stato all'anno 2005.

La modellistica, implementata secondo quanto verrà descritto nei prossimi paragrafi, completa il "percorso modellistico" avviato in [7] (Regione Emilia-Romagna, Arpa-IA, settembre 2003. *Modello matematico di simulazione delle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna (Emiro3D)*, Elaborato di supporto alla Relazione Generale del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna.) estendendo la taratura del modello di flusso in regime permanente al moto transitorio ed associando al campo di moto dell'acqua la dinamica dei nitrati attraverso un modello associato che descrive il trasporto di un soluto in soluzione.

Data la dichiarata finalità del lavoro di poter supportare i Piani di Tutela Provinciali, la scala regionale con la quale sono stati realizzati i modelli rappresenta più che altro una dimensione di insieme all'interno della quale risulta possibile riconoscere e distinguere le singole realtà a scala di maggior dettaglio (provinciale e locale) sulle quali poter poi effettuare la lettura dei risultati delle simulazioni. La dimensione regionale ha consentito inoltre di semplificare i problemi connessi alla definizione delle condizioni al contorno, che sarebbero altrimenti emersi nel caso di una suddivisione interna del dominio di calcolo.

## 1. IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO E DI TRASPORTO DI NITRATI

L'implementazione della modellistica per il flusso ed il trasporto dei nitrati richiede, nella sua fase iniziale, l'effettuazione di una serie di scelte operative che dipendono necessariamente dagli obiettivi che si pongono in termini di lettura finale dei risultati. La discretizzazione spaziale definisce infatti l'unità di volume del serbatoio sulla quale vengono restituiti i risultati finali (carico idraulico, concentrazione di nitrati, bilanci) mentre la scansione temporale regola le possibilità di lettura della dinamica del sistema nella sua evoluzione nel tempo. Nel primo caso la consapevolezza di dover far seguire al modello di flusso il modello di trasporto successivo ha portato ad operare scelte operative tali da garantire una buona lettura dei risultati finali nello spazio, nel secondo caso si è invece cercato di cogliere i periodi di maggiore sollecitazione del sistema sia per il flusso idrico (prelievi principalmente), sia per il trasporto dei carichi di azoto.

Il lavoro nel suo complesso è stato impostato secondo i seguenti passaggi:

- implementazione del solo modello di flusso ed avvio della fase di taratura;
- proseguimento della fase della taratura del modello di flusso fino ad un discreto assetto del campo di moto dell'acqua nei primi due istanti temporali del modello;
- implementazione del modello di trasporto dei nitrati e sua calibrazione preliminare (dispersività, porosità);
- verifica col modello di trasporto del campo di moto del fluido e ricalibrazione del modello di flusso;
- calibrazione definitiva del modello di flusso per l'intero periodo di osservazione;
- calibrazione definitiva del modello di trasporto di nitrati.

Si nota quindi la naturale e continua riverifica dei modelli in corso d'opera dovuta all'interdipendenza delle dinamiche del moto dell'acqua e del trasporto del soluto da questa trasportato.

Tali fasi del lavoro emergono solo marginalmente all'interno del presente rapporto dove vengono principalmente presentate la fase di avvio e di implementazione/inizializzazione dei modelli la fase conclusivo al termine del processo di calibrazione.

### 1.1 DISCRETIZZAZIONE SPAZIALE E TEMPORALE

L'area di studio comprende l'intero acquifero emiliano-romagnolo di estensione pari a circa 12000 km<sup>2</sup> ed è stata discretizzata con maglie di lato 1 km (Figura 1.1) nel piano orizzontale mentre in verticale lo spessore complessivo del sistema sedimentario è stato suddiviso in 35 piani per un numero complessivo di celle pari a 1.029.000, che si riducono poi a 401.000 celle effettivamente utili una volta eliminate quelle fuori sistema.

Si è inoltre assunta una rotazione oraria del reticolo di 22 gradi, in modo da fare coincidere l'asse X del reticolo con la direzione principale del margine appenninico.

La discretizzazione verticale è stata studiata in modo da:

1. garantire il dettaglio migliore in funzione del livello di conoscenza strutturale del sistema;
2. rispecchiare le morfologie dei principali complessi acquiferi riconosciuti a scala regionale;
3. garantire un dettaglio adeguato alla successiva applicazione del modello di trasporto.

Si è quindi provveduto ad utilizzare una discretizzazione verticale con altezza delle celle variabile ottenuta associando i primi 23 piani al gruppo acquifero A e 12 piani al sottostante gruppo acquifero B. Allo stesso tempo si è provveduto a deformare in verticale la griglia secondo le reali quote delle basi dei diversi gruppi acquiferi. Il risultato ottenuto è riportato dalla Figura 1.2 alla Figura 1.4 che rappresentano sezioni verticali del modello in direzione SW-NE. Le figure mostrano il sistema di disattivazione delle celle realizzato sia verso monte per a meglio rappresentare la chiusura a sud dei gruppi acquiferi a ridosso del margine appenninico sia nella bassa pianura in corrispondenza del termine del campo di esistenza del gruppo acquifero B. Risulta evidente lo spessore variabile delle celle lungo la verticale per il quale si è avuto l'accorgimento di mantenere uno spessore più elevato per il layer 1 posto al top del sistema.

Ciascun Gruppo acquifero nel modello è stato poi suddiviso, per obiettivi funzionali legati alle successive fasi di lavoro, in cinque zone verticali corrispondenti a specifici raggruppamenti di layer; di questi tre (denominati A1, A2 e A3) corrispondono rispettivamente ai primi due layer del modello ed alla parte alta e bassa del Gruppo acquifero A mentre altri due (denominati B1 e B2) suddividono la parte alta dalla parte bassa del gruppo acquifero B. Si precisa che tali zone verticali non sono da confondere e tanto meno non individuano i Complessi Acquiferi definiti in [6] (Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*, a cura di G.Di Dio, Firenze, 120pp.

In Figura 1.5 è rappresentata la distribuzione degli spessori delle celle all'interno della discretizzazione spaziale con celle ad altezza variabile; le celle con spessori minori di 1 m è contenuto dentro il 4% del totale.

Figura 1.1 Discretizzazione orizzontale (vista in pianta)

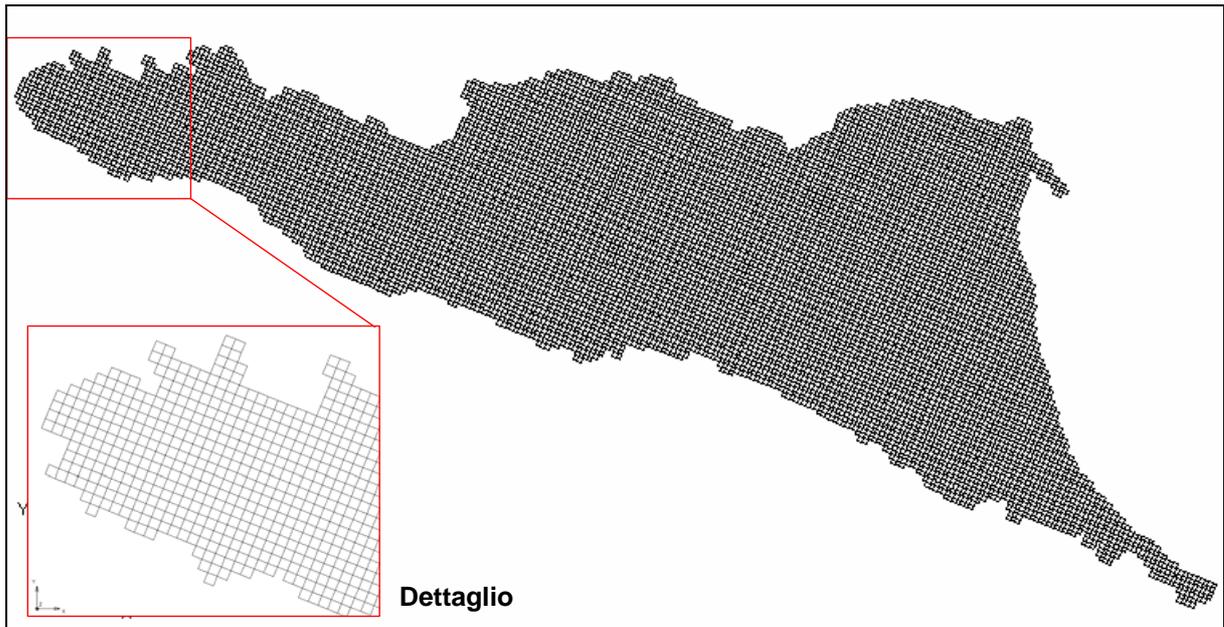


Figura 1.2 Discretizzazione verticale (vista in sezione), sezione J76

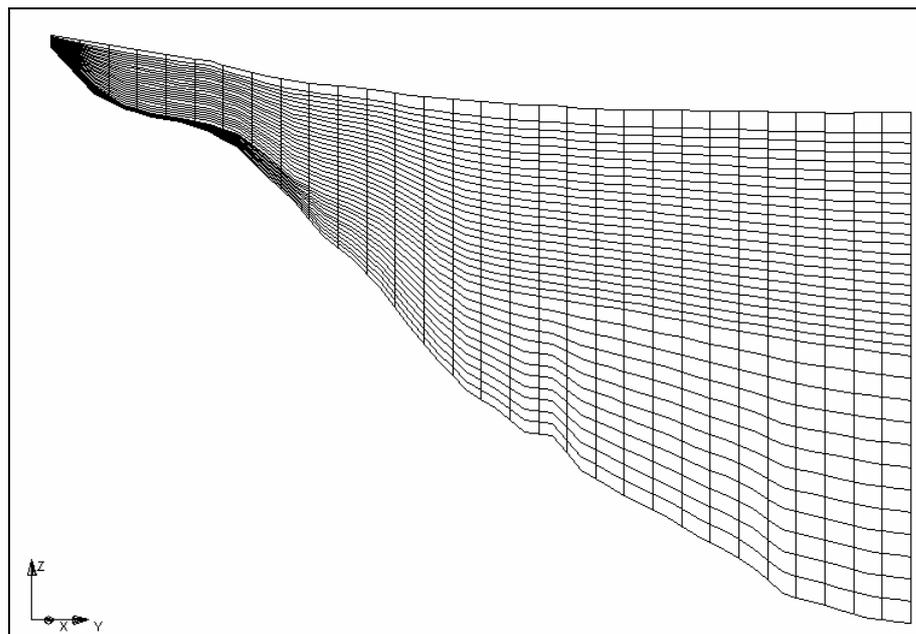


Figura 1.3 Discretizzazione verticale (vista in sezione), sezione J155

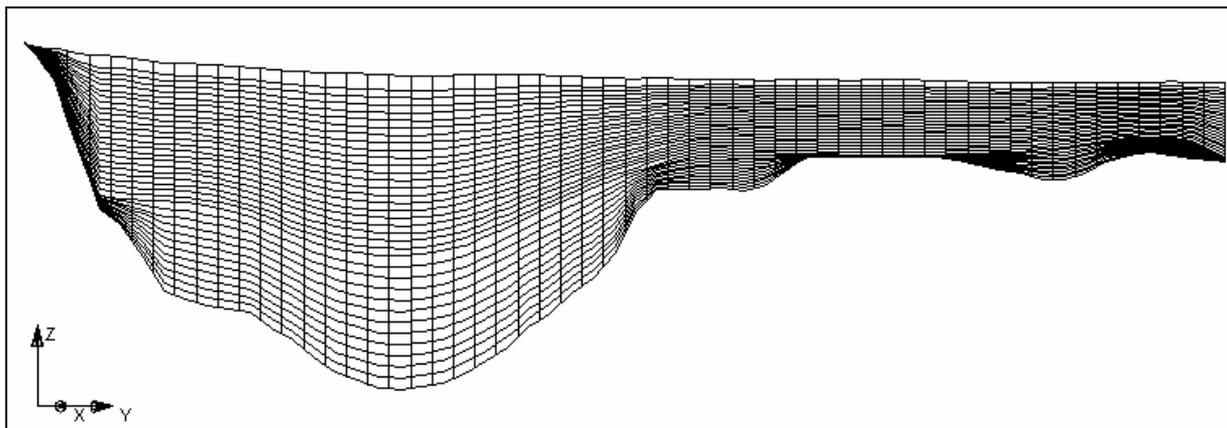


Figura 1.4 Discretizzazione verticale (vista in sezione), sezione J200

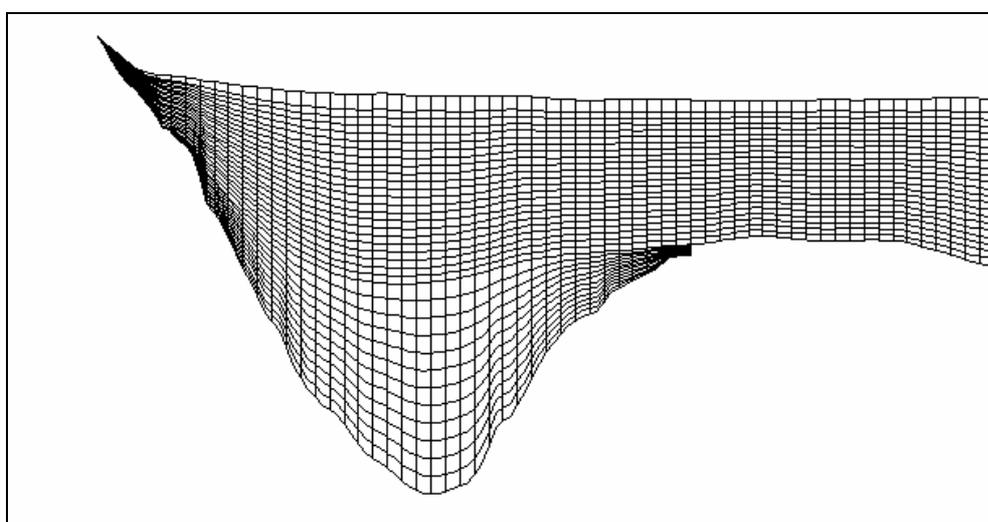
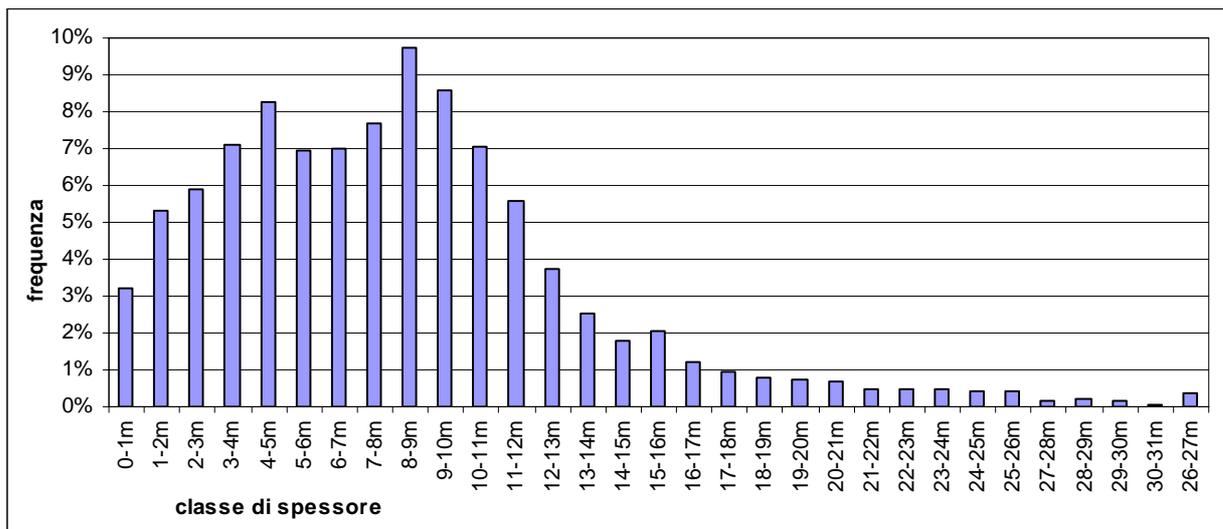


Figura 1.5 Distribuzione degli spessori delle celle nel reticolo di discretizzazione



La discretizzazione temporale utilizzata è sinteticamente rappresentata in Figura 1.6 e corrisponde all'intero 2003 con un passo trimestrale. Nel dettaglio le scelte sono state effettuate sulla base dei seguenti elementi:

- possibilità della copertura spazio temporale dei dati piezometrici e chimici esistenti
- necessità di cogliere le variazioni stagionali del sistema connesse al diverso regime dei prelievi

- analisi temporale delle serie storiche

Figura 1.6 Discretizzazione temporale adottata

anno	2003											
mese	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
periodo	T1			T2			T3			T4		

La frequenza semestrale delle osservazioni disponibili dalle reti di monitoraggio ha consentito il controllo diretto in fase di taratura dei periodi T2 e T4. La ulteriore suddivisione con i periodi T1 e T3 ha consentito una migliore regolazione delle sollecitazioni del sistema su base stagionale (prelievi e carichi di azoto).

## 1.2 STRUTTURA E GEOMETRIA DEL SISTEMA

La struttura del sistema è stata derivata in prima approssimazione dalla distribuzione delle permeabilità ottenuta dalla calibrazione in regime permanente del precedente modello di flusso delle acque sotterranee realizzato nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque Regionale ([7], Regione Emilia-Romagna, Arpa-IA, settembre 2003. *Modello matematico di simulazione delle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna (Emiro3D)*, Elaborato di supporto alla Relazione Generale del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna.); questa struttura iniziale è stata verificata in termini di congruità rispetto alle strutture ottenute nelle calibrazioni dei modelli di maggior dettaglio eseguite nell'ambito dei seguenti studi:

1. Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli , novembre 2004. *Modello matematico di simulazione del flusso delle acque sotterranee del territorio dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli della Regione Emilia-Romagna*. Rapporto tecnico.
2. Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, Autorità di Bacino del Reno, dicembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Reno*. Rapporto tecnico.
3. Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, luglio 2006. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.

La struttura così ottenuta in termini di distribuzioni litologiche è stata successivamente parametrizzata secondo quanto descritto nel paragrafo 2.1.4. L'assetto iniziale delle permeabilità così ottenuto è stato successivamente sottoposto al processo di calibrazione descritto al paragrafo 2.2 generando la distribuzione di fine taratura rappresentata al paragrafo 2.2.1.

## 1.3 DATI PIEZOMETRICI E DI CONCENTRAZIONE DEI NITRATI UTILIZZATI PER LA CALIBRAZIONE DEI MODELLI

I dati piezometrici e quelli di concentrazione dei nitrati, rilevati nelle acque di falda dei Gruppi Acquiferi A e B, derivano dalle campagne di misura effettuate negli anni 2003-2005 per i pozzi della Rete regionale di monitoraggio delle acque sotterranee e dalle due reti delle province di Modena e Parma.

I pozzi effettivamente utilizzati per le misure piezometriche, quindi come dati osservati (observation) da usare per confronto rispetto a quelli calcolati dal modello di flusso, sono circa 380. Tale numero deriva dal numero di osservazioni direttamente utilizzabili all'interno del modello numerico e disponibili sui pozzi delle reti regionale e provinciali.

La loro distribuzione nello spazio tridimensionale non è però uniforme. Infatti, le zone con il numero maggiore di dati sono le conoidi (58%), mentre la pianura appenninica e quella alluvionale e deltizia padana sono coperte rispettivamente al 17% e al 25%.

La distribuzione provinciale di tali dati è di seguito riportata in ordine decrescente:

- il 23% nella provincia di Modena;
- il 19% nella provincia di Parma;

- il 12% nella provincia di Ravenna;
- l'11% nella provincia di Piacenza;
- il 10% nella provincia di Reggio Emilia;
- il 9% sia nella provincia di Bologna che di Ferrara;
- il 4% nella provincia di Forlì-Cesena;
- il 3% nella provincia di Rimini.

Inoltre, esiste una diversa ripartizione dei dati a seconda della fascia di profondità: circa l'80% riguardano il Gruppo acquifero A, mentre soltanto il restante 20% interessa il B. Considerando le fasce di profondità descritte al precedente paragrafo 1.1 la distribuzione dei dati piezometrici utilizzati risulta all'incirca la seguente:

- il 4% in A1;
- il 45% in A2;
- il 33% in A3;
- il 9% in B1;
- il 9% in B2.

Per quanto riguarda i dati delle concentrazioni dei nitrati, i pozzi effettivamente utilizzati sono circa 420.

Come per i dati piezometrici, la loro distribuzione nello spazio tridimensionale non è però uniforme.

Infatti, le zone con il numero maggiore di dati sono le conoidi (63%), mentre la pianura appenninica e quella alluvionale e deltizia padana sono coperte rispettivamente circa al 17% e al 18%.

La distribuzione percentuale per provincia di tali dati è di seguito riportata in ordine decrescente:

- il 25% nella provincia di Modena;
- il 19% nella provincia di Parma;
- l'11% nella provincia di Piacenza;
- il 10% nella provincia di Bologna;
- il 9% nella provincia di Reggio Emilia;
- l'8% sia nella provincia di Ravenna;
- il 7% nella provincia di Forlì-Cesena;
- il 5% nella provincia di Ferrara;
- il 4% nella provincia di Rimini.

Inoltre, esiste una diversa ripartizione dei dati a seconda della fascia di profondità: circa l'80% riguardano il Gruppo acquifero A, mentre soltanto il restante 20% interessa il B. Più in dettaglio, facendo riferimento ai raggruppamenti di layer del modello precedentemente descritti la distribuzione dei dati di concentrazione dei nitrati è all'incirca la seguente:

- il 3% in A1;
- il 47% in A2;
- il 32% in A3;
- l'11% in B1;
- il 7% in B2.

#### **1.4 I CODICI NUMERICI UTILIZZATI**

I codici numerici utilizzati per i modelli sono stati:

- per il modello di flusso: MODFLOW 2000, sviluppato dal Servizio Geologico Americano (U.S. Geological Survey)
- per il modello di trasporto: MT3DMS sviluppato da U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC

I due codici sono stati utilizzati attraverso l'interfaccia GMS (Groundwater Modeling System) sviluppata da EMS-I che li integra in un unico ambiente applicativo.

Entrambi i codici lavorano con il sistema di integrazione alle differenze finite sia nello spazio sia nel tempo. Il modello di trasporto MT3D necessita per il proprio funzionamento del campo di moto prodotto da MODFLOW.

## 2. IL MODELLO DI FLUSSO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

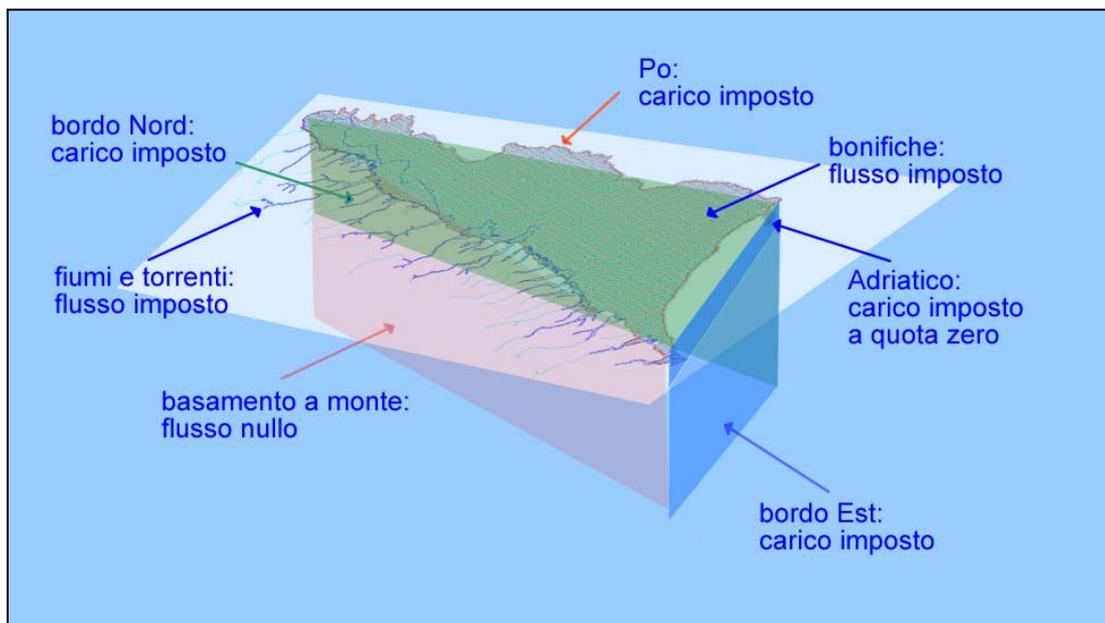
### 2.1 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO

Le condizioni al contorno del modello di flusso sono rappresentate in Figura 2.1 e sono state assegnate come segue:

- nei layer del modello più superficiali quota imposta sul Po e carico idraulico pari a zero sul lato mare;
- nei rimanenti layer pressione imposta sul bordo nord ed est. La pressione è sempre dipendente dal tempo e viene riassetata per ogni istante temporale;
- flusso nullo in corrispondenza della superficie basale e sul lato di monte (margine appenninico);
- condizione di dreno a potenziale imposto nella zona di Ferrara (bonifiche).

La condizione iniziale è stata invece ottenuta dalla distribuzione del carico idraulico corrispondente all'istante iniziale della simulazione, con alcuni adattamenti manuali.

Figura 2.1 Condizioni al contorno del sistema



#### 2.1.1 Condizioni iniziali ed al contorno del modello di flusso (analisi del carico idraulico)

#### 2.1.2 Regionalizzazione 3-d del carico idraulico

##### 2.1.2.1 Analisi strutturale del carico idraulico

Lo scopo dell'analisi strutturale è quella di realizzare i modelli di variabilità spaziale (variogrammi teorici) da utilizzare nella fase di regionalizzazione (processo di stima) sviluppabile con uno dei tanti metodi disponibili, e che consente di calcolare il valore più probabile di una certa variabile regionale in una certa posizione dello spazio. Nel caso specifico, la variabile di interesse è costituita dal carico idraulico osservato in pozzo. La stima è stata svolta al fine di assegnare:

- la condizione iniziale, cioè il valore del carico all'inizio della simulazione con il modello, in tutti i punti della griglia adottata;
- le condizioni al bordo del tipo a potenziale (carico idraulico) imposto, ove ciò è necessario. Dato che questo modello è stato basato su una serie di 4 istanti nel tempo, è stato necessario eseguire le regionalizzazioni per ciascuno di essi e quindi esportare i risultati sotto forma di condizioni imposte al modello di flusso.

Nelle figure seguenti (da Figura 2.2 a Figura 2.4) sono riportati i semivariogrammi sperimentali utilizzati nelle tre direzioni dello spazio per la regionalizzazione dei dati.

Figura 2.2 Semivariogramma sperimentale e teorico (in rosso) lungo l'asse X

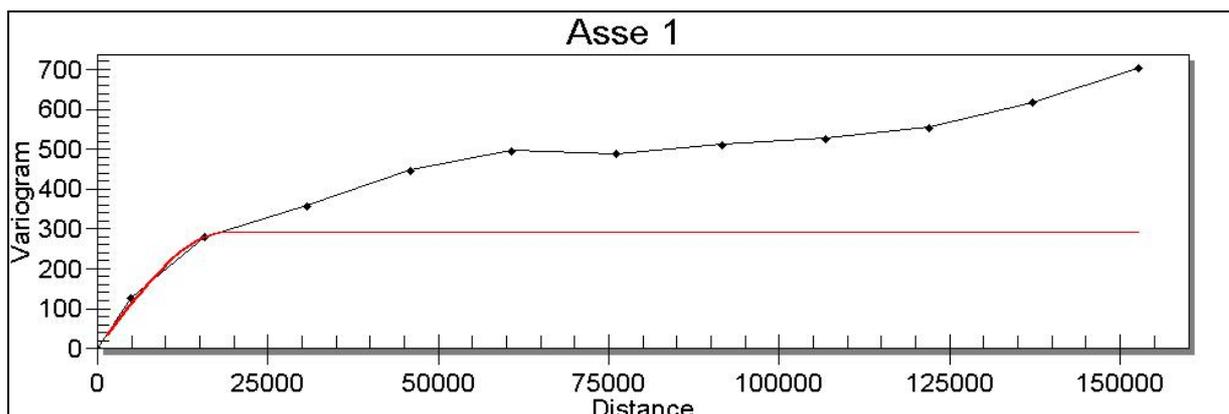


Figura 2.3 Semivariogramma sperimentale e teorico (in rosso) lungo l'asse Y

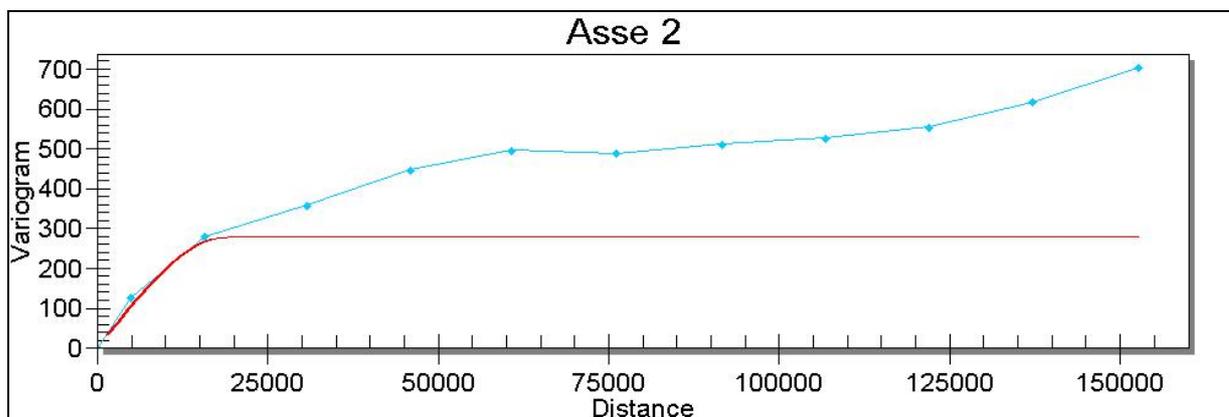
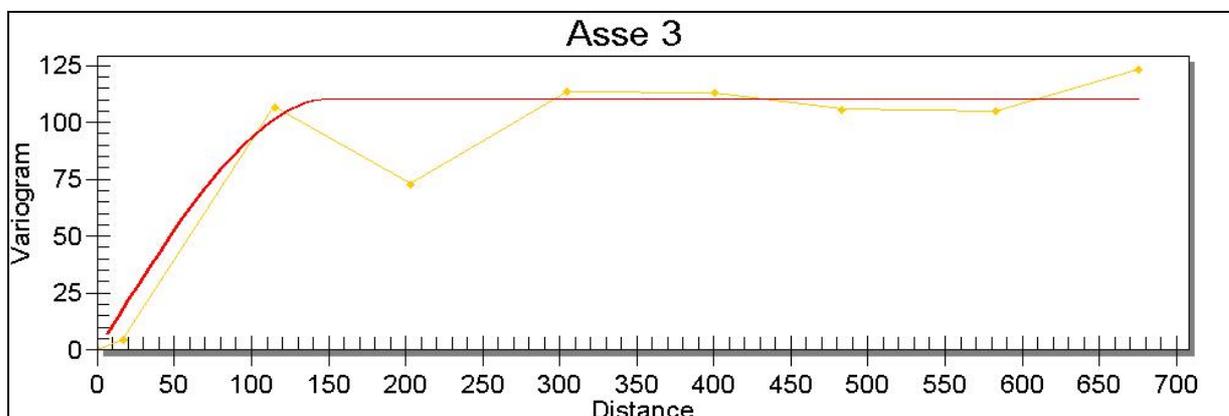


Figura 2.4 Semivariogramma sperimentale e teorico (in rosso) lungo l'asse Z



### 2.1.2.2 Distribuzione del carico idraulico

Le regionalizzazioni sono state eseguite con uno dei metodi più diffusi in geostatistica, il kriging ordinario, che si basa sulla condizione di stazionarietà della funzione variogramma (e quindi delle realizzazioni che essa rappresenta). Attraverso lo studio e l'applicazione di tali funzioni è possibile stimare la variabile di interesse in tutti i punti dello spazio nell'ambito del dominio di calcolo.

Nelle immagini da Figura 2.5 a Figura 2.8 a sono riportati i risultati dell'applicazione, basata sui modelli di variogramma precedenti; va notato ancora che, al di là dell'esposizione grafica, i risultati delle regionalizzazioni sono stati usati per imporre le condizioni di bordo variabili nel tempo e la condizione iniziale.

Figura 2.5 Carico idraulico (m s.l.m.) layer K1, istante iniziale

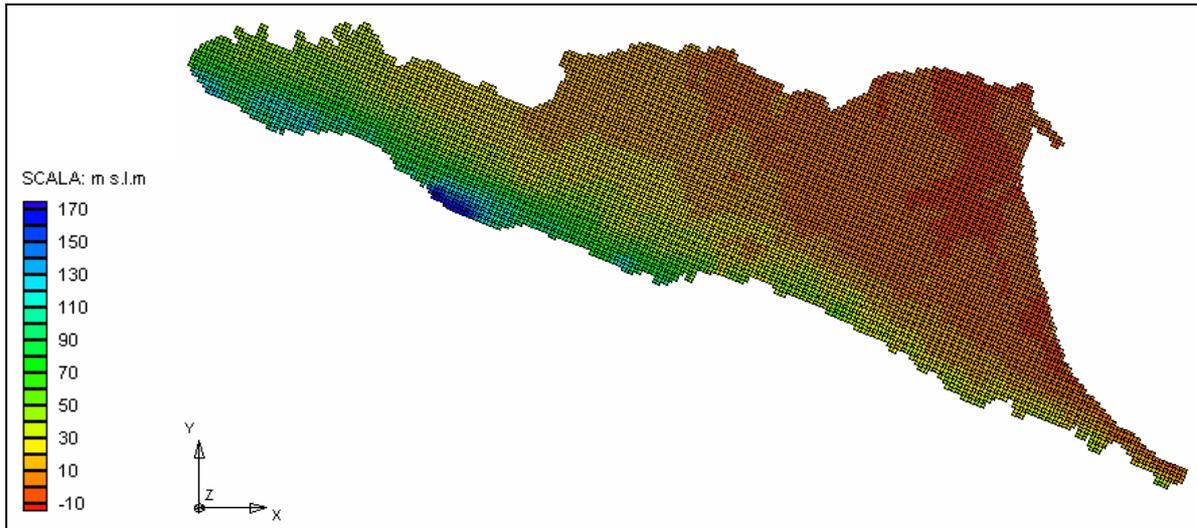


Figura 2.6 Carico idraulico (m s.l.m.) layer K24, istante iniziale

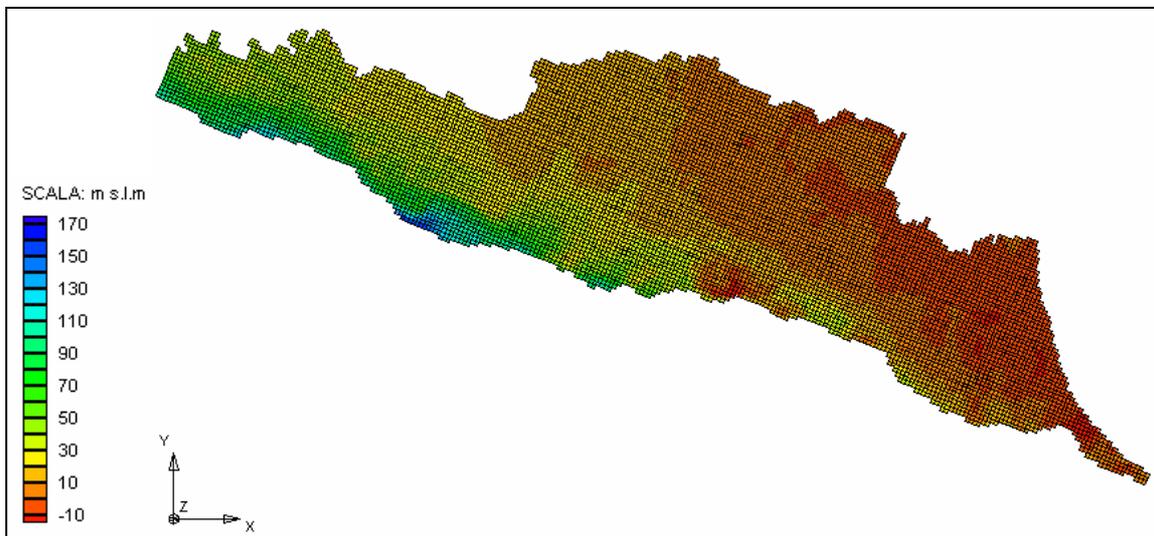


Figura 2.7 Carico idraulico (m s.l.m.) sezione J83

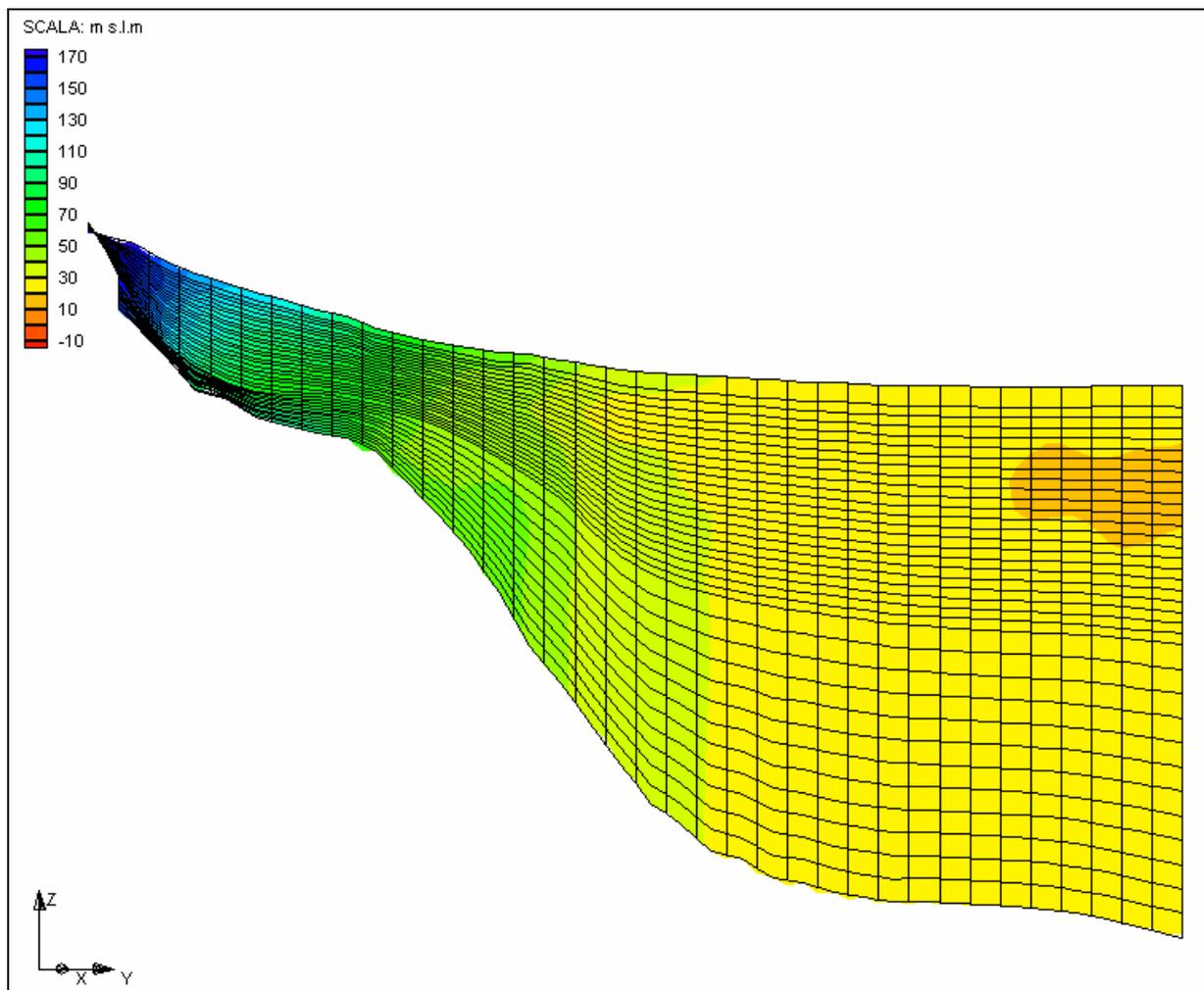
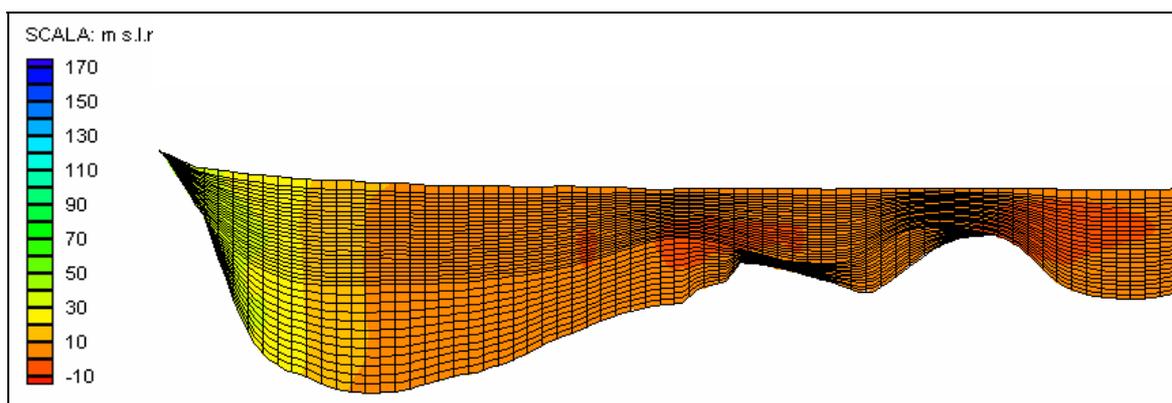


Figura 2.8 Carico idraulico (m s.l.m.) sezione J188



### 2.1.3 Definizione del termine sorgente

#### 2.1.3.1 Ricarica zenitale (da pioggia e da fiume)

Per la stima della ricarica zenitale dovuta al contributo meteorico si è fatto riferimento alle elaborazioni di bilancio idrico del suolo condotte nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque con CRITERIA. Per gli apporti fluviali si è invece fatto riferimento alle stime riportate in [10] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Modelli afflussi-deflussi nel reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale

di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività D. Rapporto tecnico. Bologna.)

Tali valori sono stati considerati di primo tentativo e sono anch'essi rientrati nel processo di calibrazione del modello che può avere portato a dei locali aggiustamenti dei valori in funzione dei carichi idraulici osservati sui punti di misura.

Nella Figura 2.9 sono riportati i valori medi di drenaggio verso la falda da contributo meteorico all'interno dei complessi idrogeologici, risulta evidente sia la maggiore possibilità di ricarica propria dei sistemi di conoide rispetto ai sistemi di pianura e dovuta alla diversa litologia superficiale e nello stesso tempo la stagionalità della ricarica in tutti e tre gli ambienti con valori pressoché nulli nel trimestre luglio-settembre.

Nella successiva Tabella 2.1 sono riportati i valori medi di ricarica fluviale imposti sulle celle del fiume in corrispondenza delle zone di ricarica mentre la Figura 2.10 ne evidenzia l'andamento complessivo.

Figura 2.9 Valori medi di drenaggio verso la falda (m/s) nei complessi idrogeologici

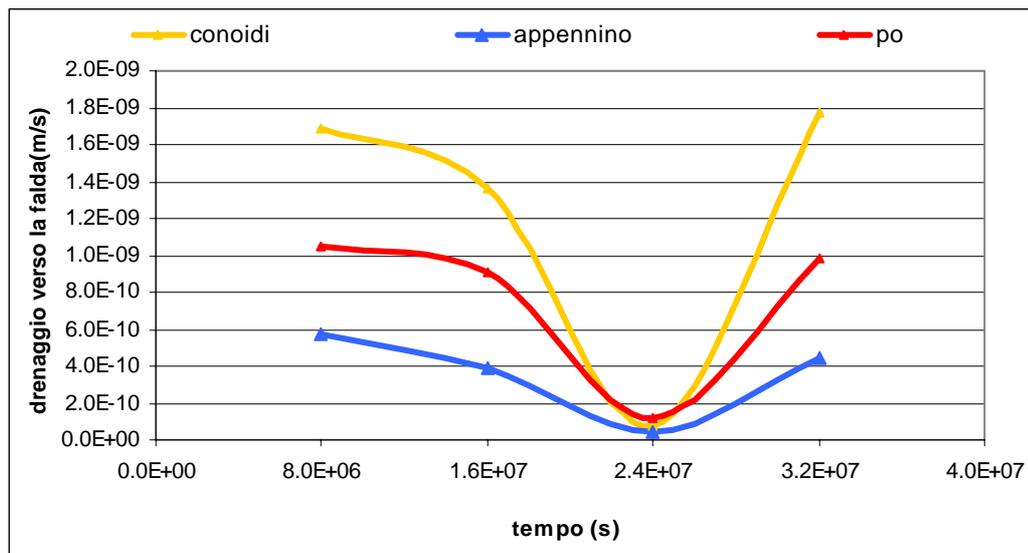


Figura 2.10 Valori medi di drenaggio verso la falda (m/s) ad opera dei fiumi all'interno delle zone di ricarica

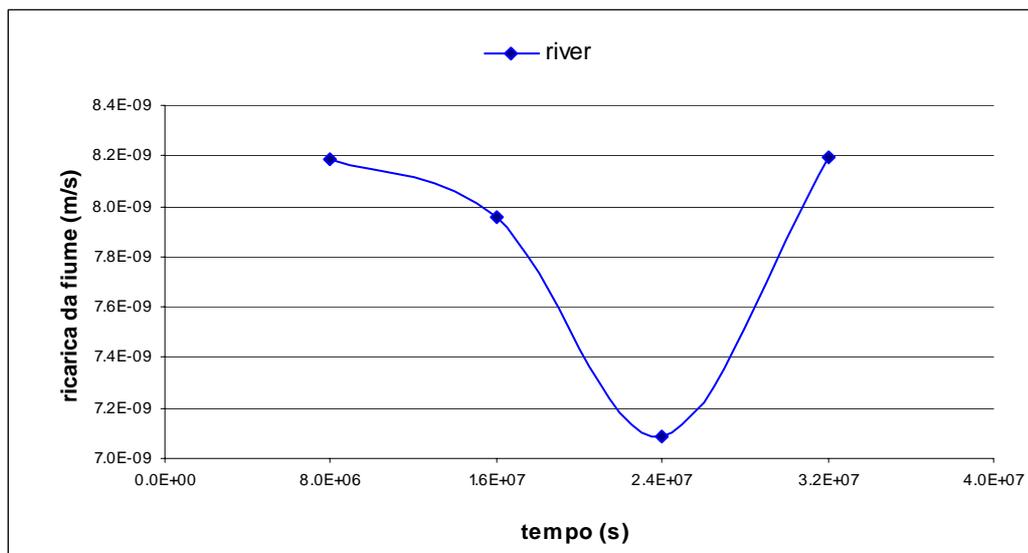


Tabella 2.1 Valori medi di drenaggio verso la falda dalle singole conoidi appenniniche (m/s)

<b>Conoide</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
Tidone	9.89E-09	9.34E-09	8.44E-09	9.52E-09
Trebbia	1.70E-08	1.63E-08	1.45E-08	1.76E-08
Nure	2.11E-08	1.99E-08	1.71E-08	2.19E-08
Arda	9.46E-09	8.85E-09	5.33E-09	1.11E-08
Ongina	4.97E-09	4.53E-09	3.33E-09	5.13E-09
Taro	3.51E-08	3.46E-08	3.37E-08	3.49E-08
Baganza	1.82E-08	1.80E-08	1.76E-08	1.81E-08
Parma	1.01E-08	9.52E-09	8.48E-09	9.62E-09
Enza	9.49E-09	9.30E-09	7.85E-09	9.52E-09
Crostolo	4.27E-09	4.21E-09	3.16E-09	3.96E-09
Secchia	5.61E-09	5.56E-09	4.74E-09	5.38E-09
Panaro	3.49E-09	3.20E-09	2.95E-09	3.24E-09
Samoggia	5.48E-09	5.36E-09	5.20E-09	5.37E-09
Lavino	1.82E-09	1.86E-09	1.62E-09	1.73E-09
Reno	4.14E-09	4.02E-09	3.55E-09	3.98E-09
Savena	2.48E-08	2.42E-08	2.14E-08	2.38E-08
Idice	9.85E-09	9.64E-09	9.04E-09	9.52E-09
Sillaro	7.91E-09	7.66E-09	7.00E-09	7.53E-09
Santerno	1.21E-08	1.22E-08	1.09E-08	1.30E-08
Senio	2.63E-09	2.52E-09	2.10E-09	2.78E-09
Lamone	4.69E-09	4.83E-09	4.29E-09	4.56E-09
Montone	3.91E-09	3.84E-09	3.30E-09	4.31E-09
Ronco	5.13E-09	5.00E-09	4.48E-09	5.30E-09
Fiumi Uniti	6.52E-10	7.01E-10	3.65E-10	8.02E-10
Savio	8.34E-09	8.17E-09	7.56E-09	8.15E-09
Rubicone	7.13E-09	6.71E-09	5.75E-09	8.89E-09
Marecchia	8.75E-09	8.61E-09	8.33E-09	8.46E-09
Conca	2.12E-08	2.15E-08	2.00E-08	2.11E-08

### 2.1.3.2 *Prelievi*

Nella Figura 2.11 viene sintetizzato il quadro relativo alle portate estratte per i diversi usi (civile, acquedottistico, industriale, irriguo e zootecnico) relativamente all'anno di taratura del modello inserite come termine di sollecitazione all'intero sistema. La figura evidenzia le portate più elevate in corrispondenza del periodo estivo (T3, luglio-settembre) dove si assiste sia al picco del prelievo irriguo sia all'aumento anche se meno marcato degli usi industriale (industrie stagionali) e civile. Nei paragrafi successivi vengono invece richiamate le metodologie di valutazione dei dati di prelievo per i singoli settori.

Figura 2.11 Prelievi di acque sotterranee per i diversi usi (m<sup>3</sup>/s) nei 4 istanti temporali del modello

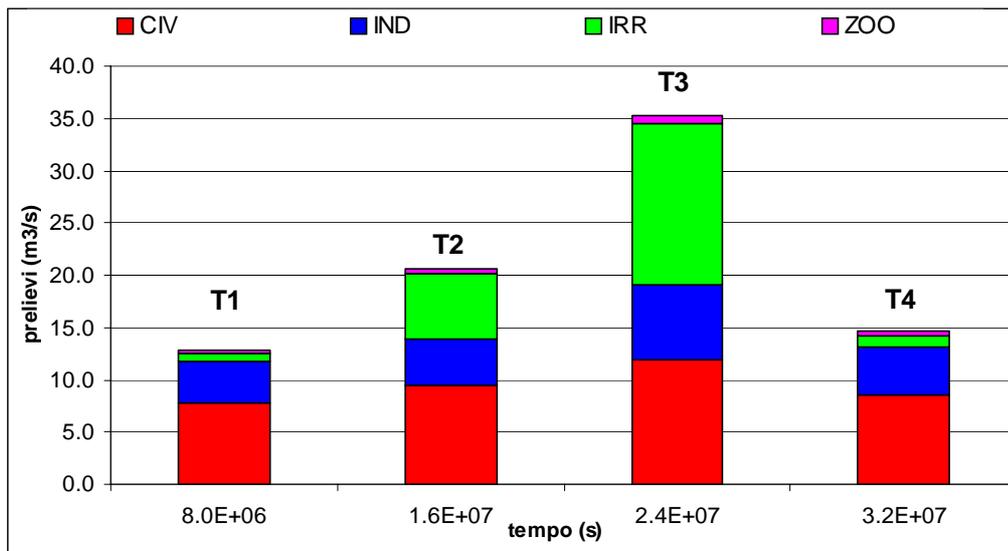


Figura 2.12 Distribuzione spaziale dei prelievi di acque sotterranee (uso civile acquedottistico)

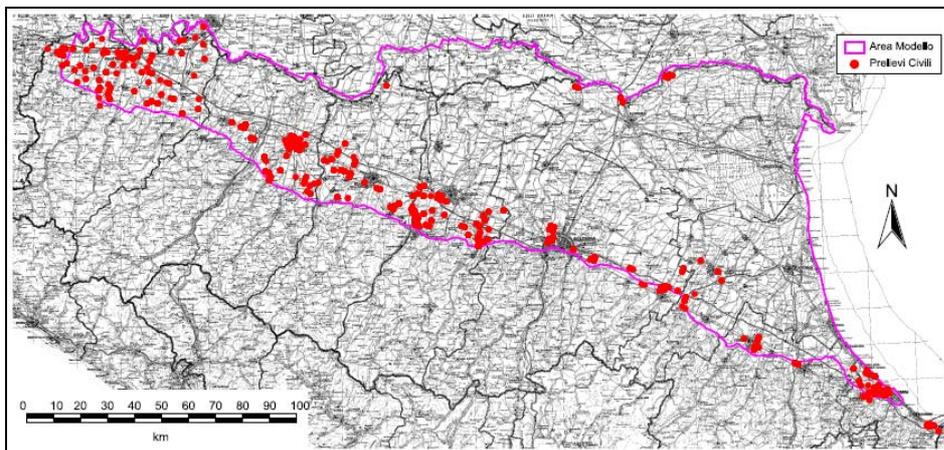


Figura 2.13 Distribuzione spaziale dei prelievi di acque sotterranee (uso industriale da catasto pozzi)

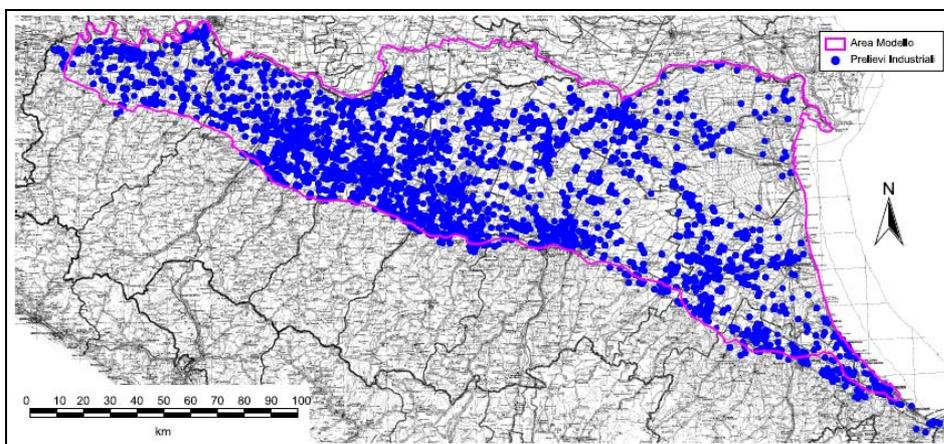


Figura 2.14 Distribuzione spaziale dei prelievi di acque sotterranee (uso irriguo da catasto pozzi)

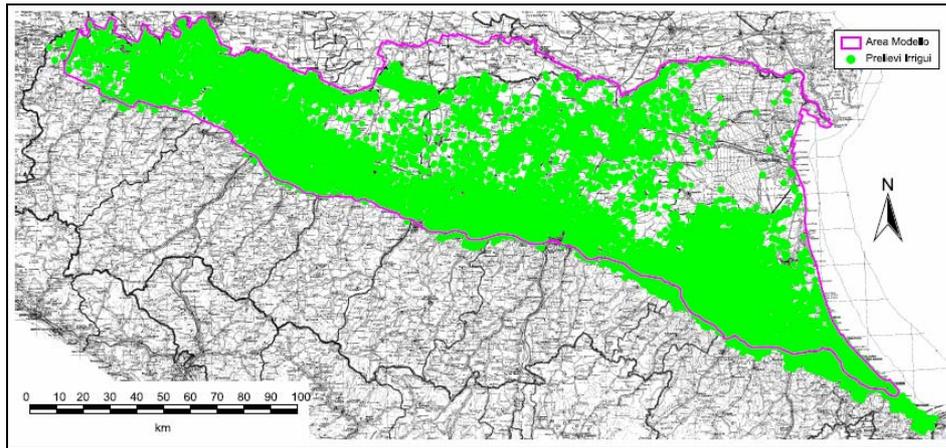


Figura 2.15 Distribuzione spaziale dei prelievi di acque sotterranee (uso zootecnico da catasto pozzi)

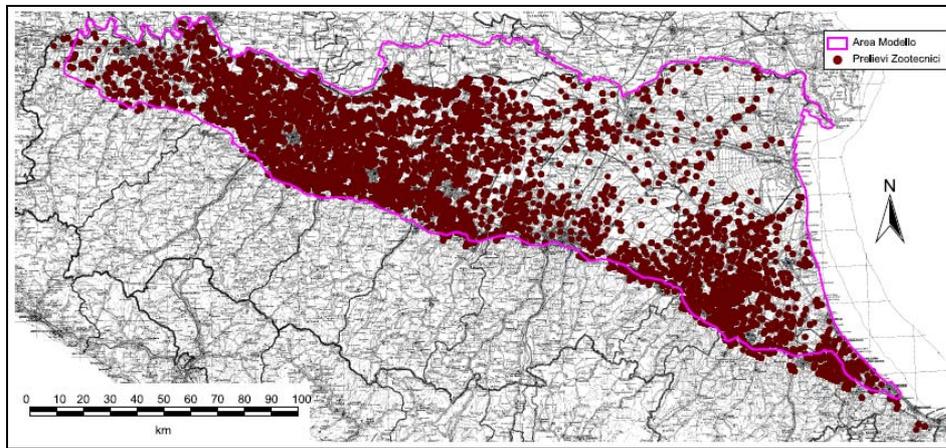
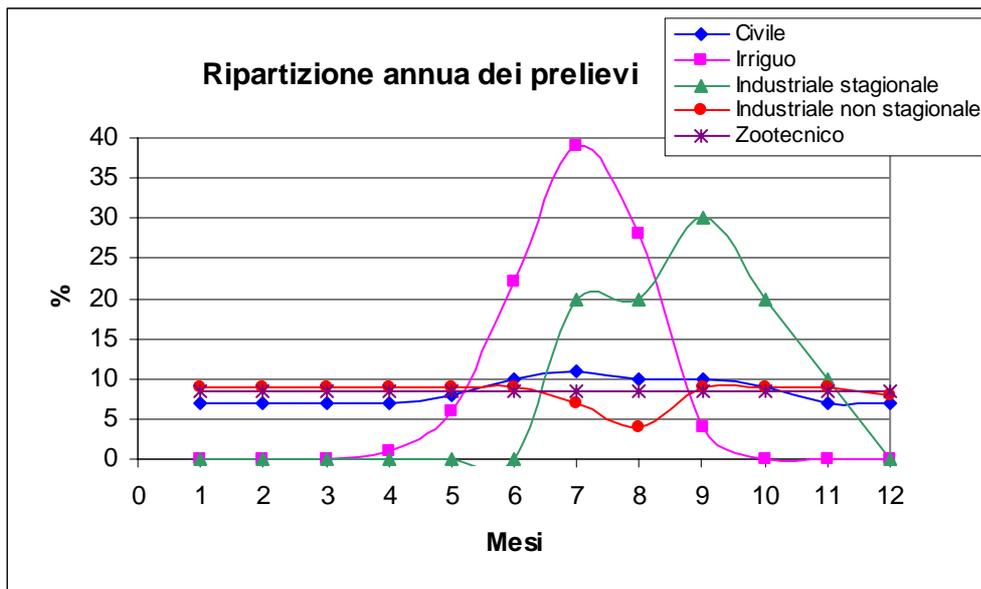


Figura 2.16 Calendarizzazione dei prelievi per i diversi usi



### 2.1.3.2.1 Prelievi civili

Per i prelievi civili si è fatto riferimento ai dati raccolti nell'ambito degli approfondimenti conoscitivi del Piano di Tutela delle Acque ([8], Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Individuazione e disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività G. Rapporto tecnico. Bologna. ) riguardanti sia i volumi estratti dai pozzi ad uso acquedottistico presenti sul territorio regionale (Figura 2.12 ) sia l'ubicazione e le caratteristiche costruttive dei punti di misura che ne ha consentito una idonea collocazione all'interno dello spazio tridimensionale del modello numerico.

### 2.1.3.2.2 Prelievi relativi agli altri usi

Per i prelievi industriali, irrigui e zootecnici si è fatto riferimento ai rispettivi volumi stimati su base comunale e riportati nel Piano di Tutela delle Acque regionale la cui distribuzione nello spazio 3D del modello è stata ottenuta attraverso l'utilizzo del catasto pozzi regionale. Così i volumi prelevati per i singoli utilizzi da ogni singolo comune sono stati suddivisi tra tutti i pozzi codificati con tale utilizzo e con coordinate e profondità note (Figura 2.13, Figura 2.14 e Figura 2.15). La necessità di assegnare il dato di prelievo ai diversi istanti temporali del modello ha reso necessaria una ulteriore fase di elaborazione dei dati volta a suddividere su tali istanti il dato stimato su base annua. A tal fine sono state utilizzate le modulazioni riportate nella Figura 2.16 che evidenzia:

- le due articolazioni adottate per l'uso industriale a seconda del tipo di industria (stagionale e non stagionale a seconda del codice ATECO)
- la modulazione nel tempo per il comparto irriguo realizzata secondo lo schema dove le percentuali sono distribuite solamente nei mesi estivi compresi fra maggio e settembre
- i prelievi zootecnici sono stati valutati in maniera uniforme nel tempo.

## 2.1.4 Stima delle variabili di controllo

Per la parametrizzazione idraulica del sistema si è proceduto seguendo diversi passaggi. Per prima cosa sono state attribuite le classi litologiche alle celle della griglia del modello, operando un trasferimento delle permeabilità orizzontali dalla discretizzazione del modello "EMIRO 1", realizzato precedentemente in stato stazionario e da quelle realizzate negli studi di maggior dettaglio precedentemente richiamati al paragrafo 1.2. In questa prima fase sono state attribuite le principali litologie di deposizione alluvionale: argilla, sabbia fine, sabbia media e ghiaia, ciascuna delle quali, a seconda della zona di ubicazione (conoide, pianura appenninica o pianura alluvionale e deltizia padana), va ad individuare delle ulteriori classi litologiche, che differiscono leggermente nei valori di permeabilità orizzontali e verticali, secondo un andamento decrescente spostandosi dalla conoide alla pianura alluvionale.

A parità di classe litologica, i valori dei coefficienti di permeabilità orizzontale sono maggiori rispetto a quelli di permeabilità verticale di almeno un ordine di grandezza.

Inoltre, sono stati assegnati anche i seguenti parametri idraulici: coefficienti di immagazzinamento specifico, porosità efficaci, porosità totali e coefficienti di dispersività longitudinali, necessari al modello per risolvere l'equazione del flusso (i primi due) e del trasporto (gli ultimi due). Tali parametri idraulici sono stati attribuiti alle classi litologiche utilizzando dati di letteratura.

Tale ripartizione relativamente semplice delle classi litologiche non risulta adeguata in rapporto alla necessità di schematizzare le permeabilità ed i coefficienti d'immagazzinamento col livello di disomogeneità richiesto, per cui in un secondo momento, è stata operata una ulteriore diversificazione delle classi litologiche nella direzione verticale del sistema secondo le cinque "zone verticali", indicate nel modello come: A1, A2, A3, B1 e B2 e che rappresentano una ulteriore suddivisione interna ai Gruppi Acquiferi A e B basata sui layer del modello (paragrafo 1.1).

A parità di classe litologica, ai coefficienti di permeabilità sono stati attribuiti valori leggermente decrescenti a seconda della profondità, spostandosi dall'alto al basso del modello.

Fino a questo punto, l'attribuzione delle classi litologiche e dei relativi parametri idraulici rappresenta la prima fase della taratura del modello regionale di flusso e trasporto, ovvero corrisponde al sistema di primo tentativo, peraltro destinato a subire modifiche anche notevoli nel corso della taratura stessa. Ciò

è particolarmente vero nel caso di un approccio del tipo più sofisticato, corrispondente da un sistema disomogeneo.

Tabella 2.2 Schema dei parametri idrodinamici utilizzati nel modello ad inizio taratura

Id	nome_	Zona verticale	kh (m/s)	kv (m/s)	coeff. Immag. spec (1/m)	porosità efficace (ad)
1	Argilla conoide	A1	9.00E-06	8.00E-08	8.00E-07	0.095
2	Argilla appennini	A1	8.00E-07	9.00E-09	1.00E-07	0.01
3	Argilla pianura	A1	4.00E-06	4.00E-08	4.00E-07	0.01
4	Ghiaia conoide	A1	2.00E-03	2.00E-03	1.00E-04	0.305
5	Ghiaia appennini	A1	8.00E-04	4.00E-05	5.00E-05	0.265
7	Sabbia m conoide	A1	6.00E-04	1.00E-05	1.00E-05	0.31
8	Sabbia m appennini	A1	3.00E-04	4.00E-05	1.00E-05	0.3
9	Sabbia m pianura	A1	5.00E-04	7.50E-05	1.00E-05	0.32
10	Sabbia f conoide	A1	3.00E-04	4.50E-05	1.00E-06	0.2
11	Sabbia f appennini	A1	1.00E-04	2.00E-05	1.00E-06	0.21
12	Sabbia f pianura	A1	2.00E-04	3.00E-05	1.00E-06	0.205
13	Argilla conoide	A2	9.90E-06	8.80E-08	8.00E-07	0.02
14	Argilla appennini	A2	8.80E-07	9.90E-09	1.00E-07	0.01
15	Argilla pianura	A2	4.40E-06	4.40E-08	4.00E-07	0.01
16	Ghiaia conoide	A2	2.20E-03	2.20E-03	1.00E-04	0.305
17	Ghiaia appennini	A2	8.80E-04	4.40E-05	5.00E-05	0.265
18	Ghiaia pianura	A2	5.50E-04	6.60E-05	1.00E-05	0.2
19	Sabbia m conoide	A2	6.60E-04	1.10E-05	1.00E-05	0.31
20	Sabbia m appennini	A2	3.30E-04	4.40E-05	1.00E-05	0.3
21	Sabbia m pianura	A2	5.50E-04	8.25E-05	1.00E-05	0.32
22	Sabbia f conoide	A2	3.30E-04	4.95E-05	1.00E-06	0.2
23	Sabbia f appennini	A2	1.10E-04	2.20E-05	1.00E-06	0.21
24	Sabbia f pianura	A2	2.20E-04	3.30E-05	1.00E-06	0.205
25	Argilla conoide	A3	1.03E-05	9.12E-08	7.60E-07	0.095
26	Argilla appennini	A3	9.12E-07	1.03E-08	9.50E-08	0.01
27	Argilla pianura	A3	4.56E-06	4.56E-08	3.80E-07	0.01
28	Ghiaia conoide	A3	2.28E-03	2.28E-03	9.50E-05	0.305
29	Ghiaia appennini	A3	9.12E-04	4.56E-05	4.75E-05	0.265
30	Ghiaia pianura	A3	5.70E-04	6.84E-05	9.50E-06	0.2
31	Sabbia m conoide	A3	6.84E-04	1.14E-05	9.50E-06	0.31
32	Sabbia m appennini	A3	3.42E-04	4.56E-05	9.50E-06	0.3
33	Sabbia m pianura	A3	5.70E-04	8.55E-05	9.50E-06	0.32
34	Sabbia f conoide	A3	3.42E-04	5.13E-05	9.50E-07	0.2
35	Sabbia f appennini	A3	1.14E-04	2.28E-05	9.50E-07	0.21
36	Sabbia f pianura	A3	2.28E-04	3.42E-05	9.50E-07	0.205
37	Argilla conoide	B1	4.21E-06	3.74E-08	7.20E-07	0.095
38	Argilla appennini	B1	9.36E-07	1.05E-08	9.00E-08	0.01
39	Argilla pianura	B1	4.68E-06	4.68E-08	3.60E-07	0.01
40	Ghiaia conoide	B1	9.36E-04	9.36E-04	9.00E-05	0.305
41	Ghiaia appennini	B1	9.36E-04	4.68E-05	4.50E-05	0.265
42	Ghiaia pianura	B1	5.85E-04	7.02E-05	9.00E-06	0.2
43	Sabbia m conoide	B1	2.81E-04	4.68E-06	9.00E-06	0.31
44	Sabbia m appennini	B1	3.51E-04	4.68E-05	9.00E-06	0.3
45	Sabbia m pianura	B1	5.85E-04	8.78E-05	9.00E-06	0.32
46	Sabbia f conoide	B1	1.40E-04	2.11E-05	9.00E-07	0.2
47	Sabbia f appennini	B1	1.17E-04	2.34E-05	9.00E-07	0.21
48	Sabbia f pianura	B1	2.34E-04	3.51E-05	9.00E-07	0.205

49	Argilla conoide	B2	3.98E-06	3.54E-08	6.80E-07	0.095
50	Argilla appennini	B2	8.84E-07	9.95E-09	8.50E-08	0.01
51	Argilla pianura	B2	4.42E-06	4.42E-08	3.40E-07	0.01
52	Ghiaia conoide	B2	8.84E-04	8.84E-04	8.50E-05	0.305
53	Ghiaia appennini	B2	8.84E-04	4.42E-05	4.25E-05	0.265
54	Ghiaia pianura	B2	5.53E-04	6.63E-05	8.50E-06	0.2
55	Sabbia m conoide	B2	2.65E-04	4.42E-06	8.50E-06	0.31
56	Sabbia m appennini	B2	3.32E-04	4.42E-05	8.50E-06	0.3
57	Sabbia m pianura	B2	5.53E-04	8.29E-05	8.50E-06	0.32
58	Sabbia f conoide	B2	1.33E-04	1.99E-05	8.50E-07	0.2
59	Sabbia f appennini	B2	1.11E-04	2.21E-05	8.50E-07	0.21
60	Sabbia f pianura	B2	2.21E-04	3.32E-05	8.50E-07	0.205
6	intercalazione_fine	-	1.00E-08	1.00E-09	1.00E-07	0.2
61	River	dossi fluviali	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-04	0.3
62	argilla_1	-	1.00E-07	1.00E-09	1.00E-07	0.01
63	Amalgama_A	-	5.00E-04	5.00E-04	5.00E-05	0.405
64	argilla_2	-	1.00E-07	1.00E-08	1.00E-07	0.01
65	Amalgama_B	-	5.00E-04	5.00E-04	5.00E-05	0.405

Successivamente è stata operata la taratura di dettaglio del modello, che è consistita nella riattribuzione di un certo numero di classi litologiche in quelle porzioni del sistema che risultavano più critiche nel confronto fra i dati di carico idraulico osservati e quelli calcolati dal modello. In questa fase si è anche resa necessaria la creazione di alcune nuove classi litologiche, realizzate ad hoc con parametri idraulici particolari, indicativi di litologie estremamente permeabili o viceversa molto poco permeabili. Alla fine della taratura le classi litologiche utilizzate nel modello risultano 65.

## 2.2 TARATURA DEL MODELLO DI FLUSSO

La calibrazione del modello di flusso è stata condotta per passaggi successivi secondo le seguenti fasi:

- (1) una prima fase di precalibrazione in regime transitorio sul primo periodo (T1) relativo ad gennaio-marzo 2003, che ha portato ad un primo livello di definizione delle  $k$  e delle  $S$ , ottenuto dalla distribuzione iniziale descritta al paragrafo 2.1.4 ed in pratica mediante la corrispondenza tra la litologia prevalente ed i valori di permeabilità desunti dalle prove di portata;
- (2) la fase di calibrazione vera e propria sull'intero periodo da T1 a T4 (in regime transitorio), che ha portato al livello di definizione di  $k$  e  $S$  definitivo e, dove necessario, alla precisazione dei prelievi;
- (3) ripetizione della fase (2) fino a portare entro un intervallo di confidenza di 5 m lo scarto tra valori osservati e valori misurati per almeno l'80 % dei casi disponibili;
- (4) assestamento finale del bilancio (ricarica zenitale e ricarica fluviale).

### 2.2.1 Assetto delle permeabilità

Nella Figura 2.17 è riportata la frequenza di distribuzione delle permeabilità al termine della taratura, mentre nelle figure successive sono riportate le distribuzioni delle  $k$  in alcune sezioni del modello. Nella Figura 2.18 viene invece riportata la distribuzione del coefficiente di immagazzinamento specifico.

Figura 2.17 Frequenza di distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura

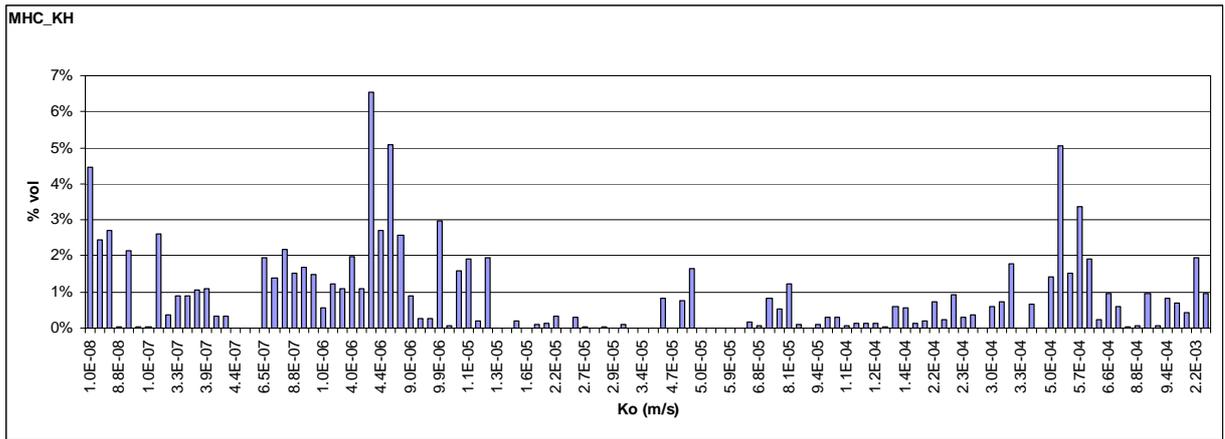


Figura 2.18 Frequenza di distribuzione del coefficiente di immagazzinamento specifico a fine taratura

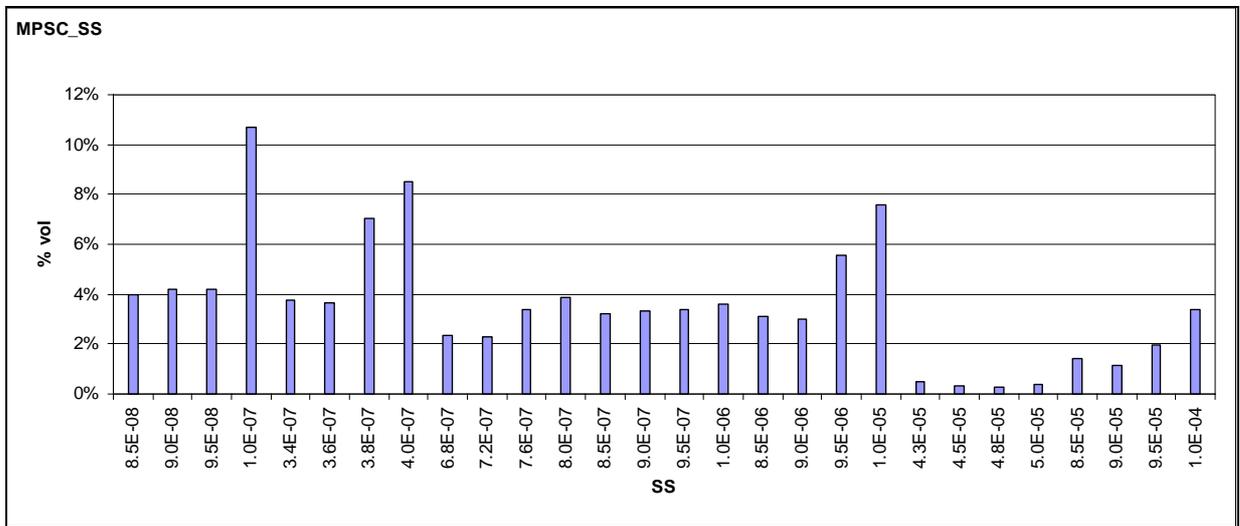


Figura 2.19 Distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura, layer K1

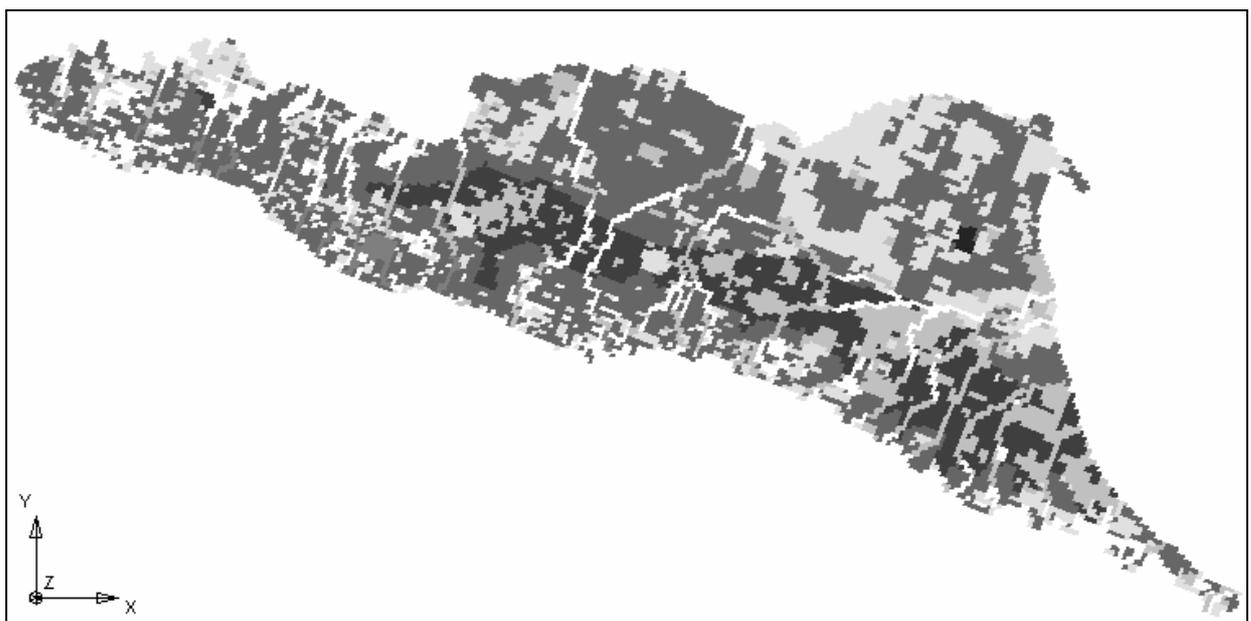


Figura 2.20 Distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura, layer K23

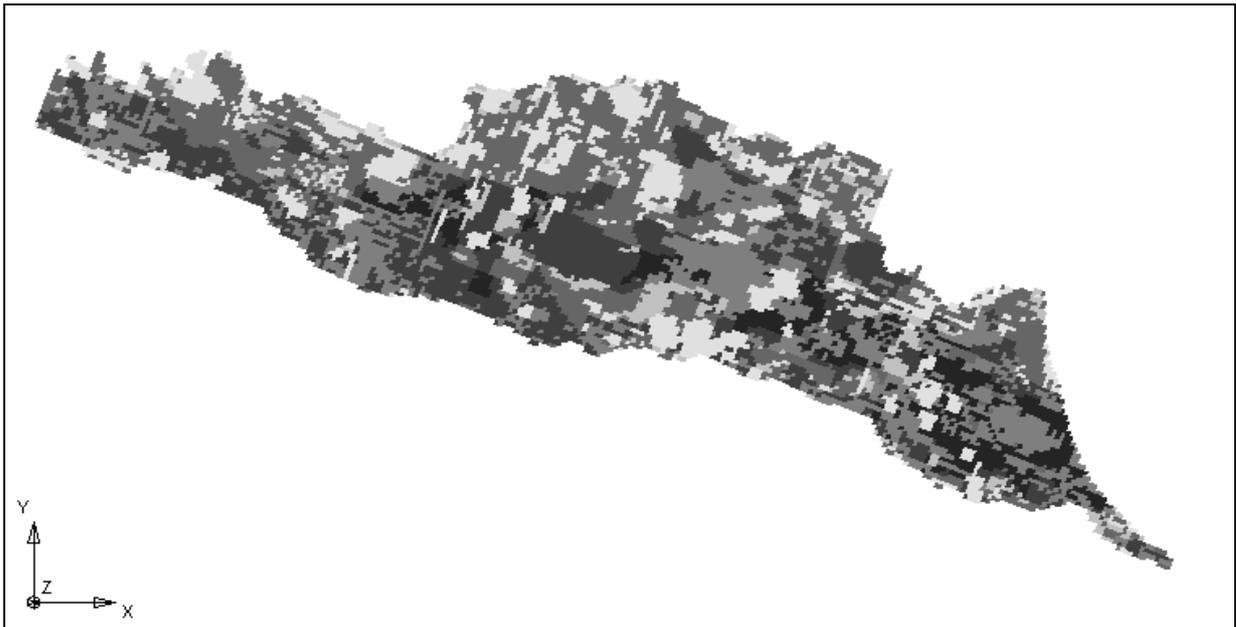


Figura 2.21 Distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura, sezione J33

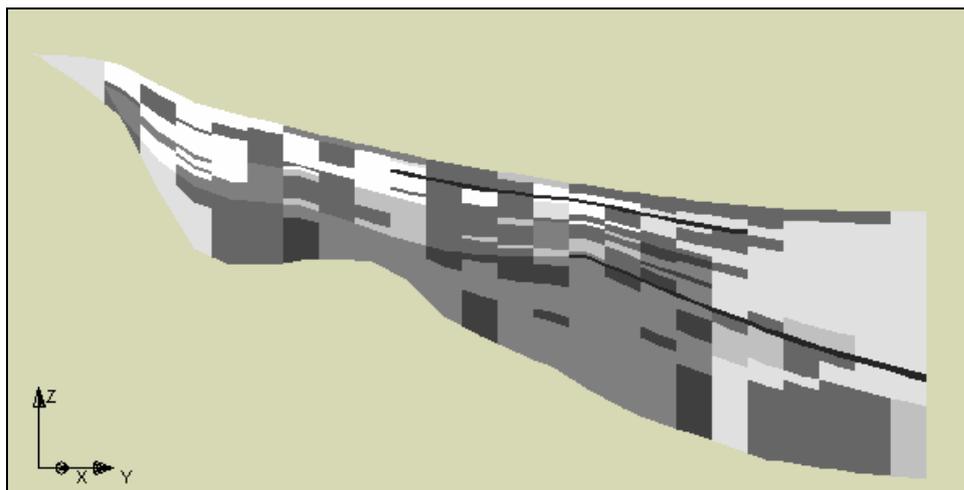


Figura 2.22 Distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura, sezione J131

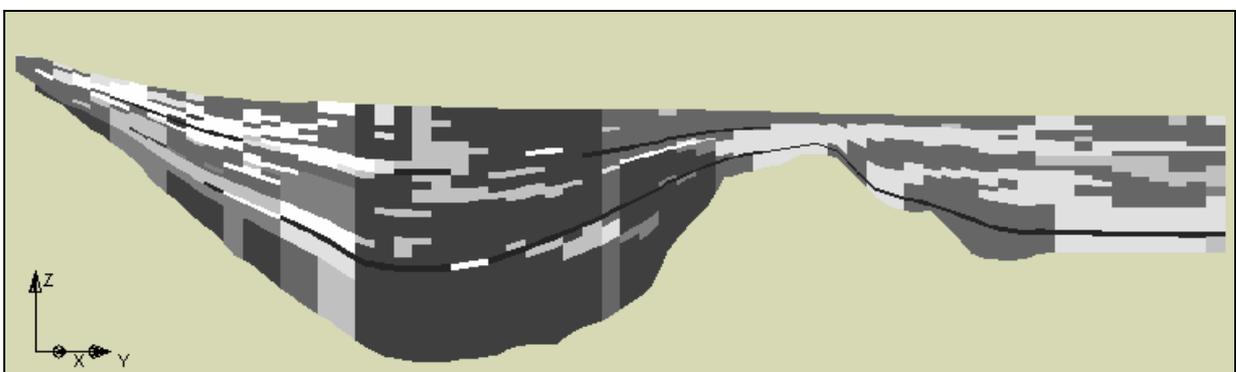


Figura 2.23 Distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura, sezione J203

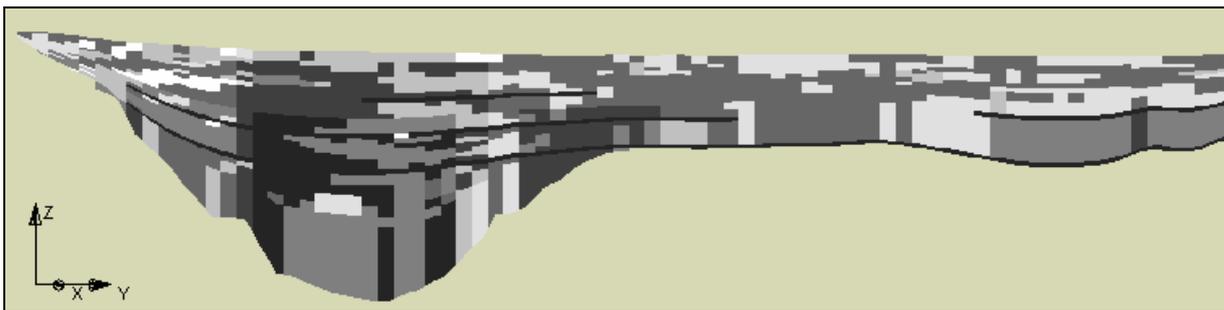


Figura 2.24 Distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura, sezione trasversale I42

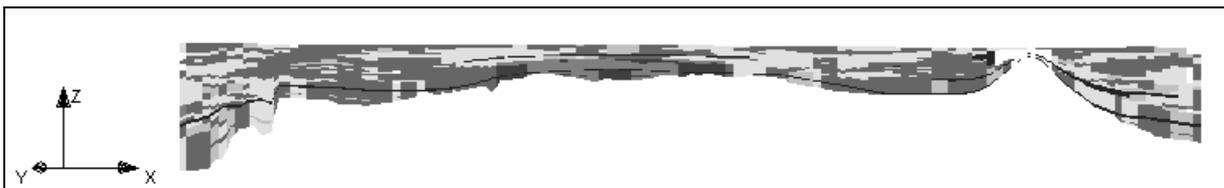


Figura 2.25 Distribuzione delle permeabilità orizzontali a fine taratura, sezione I81



### 2.2.2 Assetto del flusso

L'assetto del flusso e quindi la distribuzione del carico idraulico all'interno dell'area modellata rappresenta la principale uscita dal modello di flusso in termini di risultato e rappresenta il campo di moto sul quale verrà implementata la successiva fase di modellistica del trasporto.

Nelle figure da Figura 2.26 a Figura 2.29, è riportata tale distribuzione ottenuta al termine della taratura del modello; a titolo esemplificativo della distribuzione tridimensionale del carico idraulico sono stati effettuati alcuni tagli sia sul piano geografico e corrispondenti a diverse profondità del sistema acquifero, sia in sezione longitudinale.

Figura 2.26 Carico idraulico (m s.l.m.) layer K11, istante T2

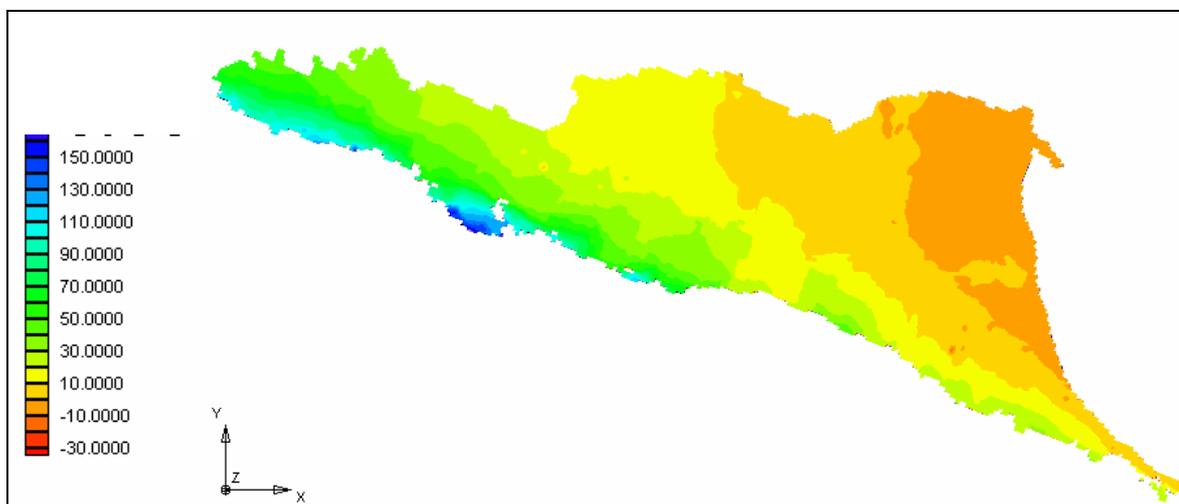


Figura 2.27 Carico idraulico (m s.l.m.) layer K30, istante T4

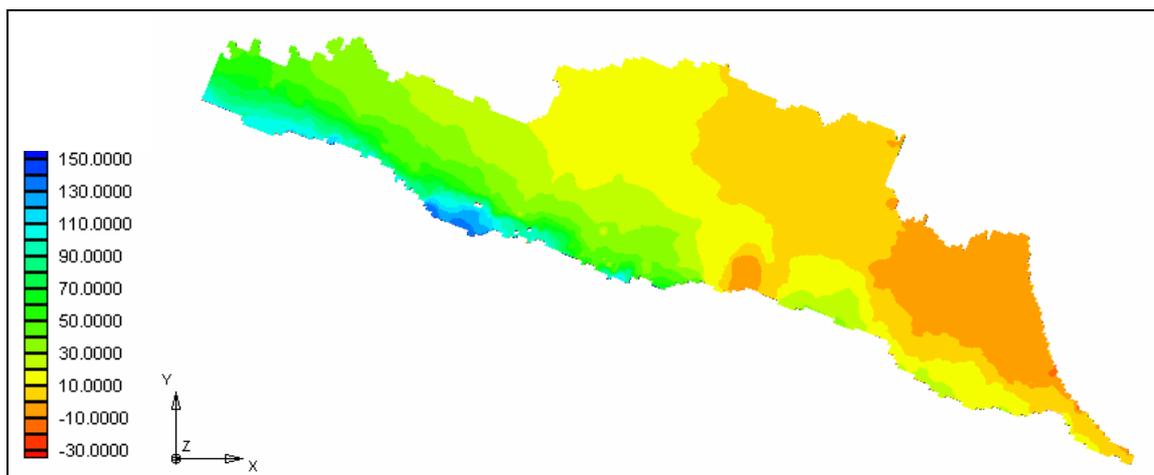


Figura 2.28 Carico idraulico (m s.l.m.) sezione J83 , istante T2

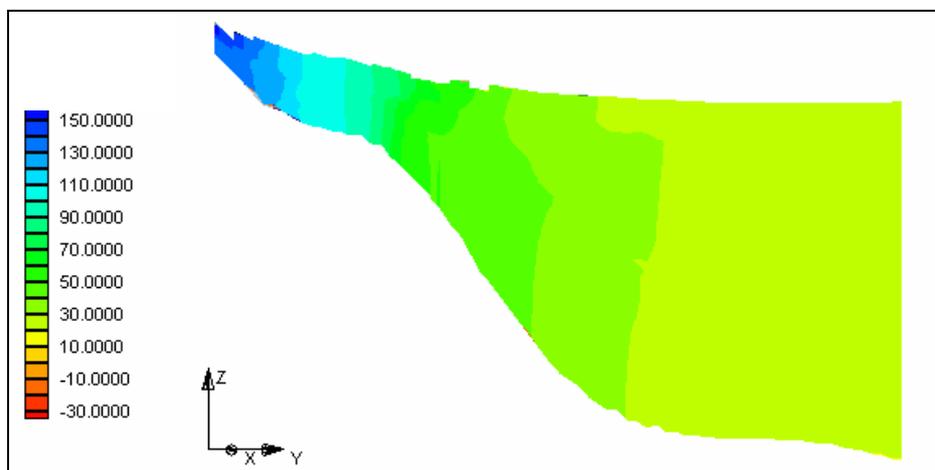
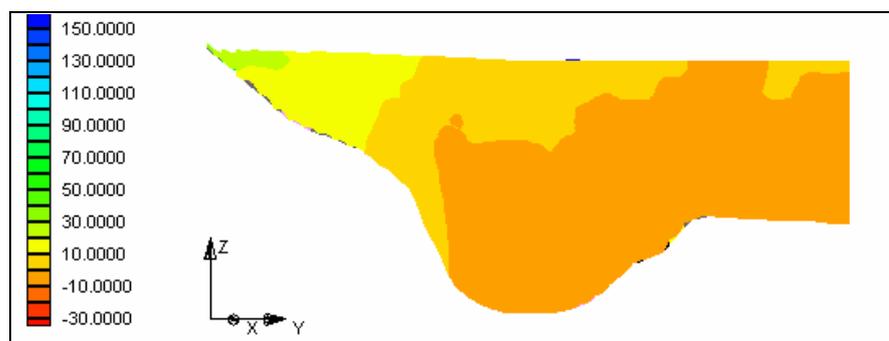


Figura 2.29 Carico idraulico (m s.l.m.) sezione J238, istante T4



Dalla distribuzione del carico idraulico attraverso le permeabilità è possibile calcolare i flussi di scambio di fluido tra tutte le diverse celle del modello. La visualizzazione della intensità di tali flussi è forse il metodo migliore per mostrare l'aderenza dell'approssimazione numerica utilizzata allo schema concettuale che ci si era proposti di ottenere e gli schemi in sezione longitudinale sono quelli che meglio consentono di rappresentare questo aspetto. Nelle figure seguenti (Figura 2.30 e Figura 2.31) le velocità sono espresse come intensità (parte scalare del vettore velocità di flusso). Come si vede, le aree con il flusso più elevato sono concentrate all'apice della conoide e nelle aree di bassa pianura in cui vi è una certa concentrazione di prelievi da pozzo. Il campo delle velocità è quindi dominato in gran parte

dall'energia fornita attraverso l'estrazione da pozzo ed in misura minore dal trasferimento di acqua tra la parte sommitale dell'acquifero ed il reticolo idrografico.

Figura 2.30 Velocità del flusso sezione J274, istante T2

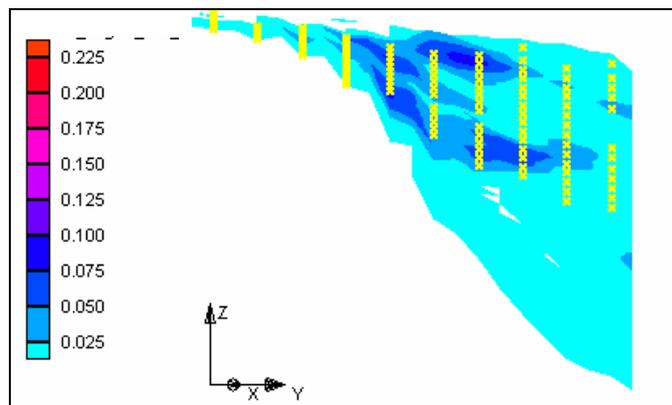
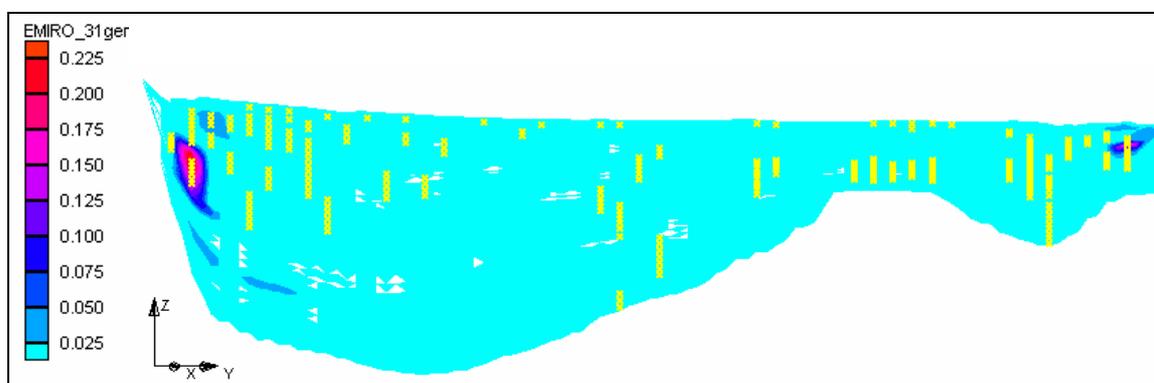


Figura 2.31 Velocità del flusso sezione J173, istante T2



### 2.2.3 Controllo della taratura

Il controllo della taratura del modello avviene inizialmente attraverso la verifica diretta della corrispondenza fra i valori dei carichi idraulici calcolati dal modello e le serie storiche osservate. La taratura è stata condotta attraverso il controllo di circa 400 punti di misura con disponibilità sufficiente di dati. Pertanto nelle figure che seguono vengono riportati sia il confronto fra i dati di alcuni pozzi significativi delle serie storiche osservate (linee tratteggiate che rappresentano un intervallo di confidenza  $\pm 1m$ ) e quelli calcolati su alcuni punti d'acqua significativi sia gli scatter-plot dei valori osservati/calcolati per due dei quattro stress periods evidenziando il buon risultato raggiunto dalla taratura.

Nella Figura 2.32 e nella Figura 2.33 sono rappresentati gli scatter-plot (valori osservati/valori calcolati) per gli istanti temporali T2 e T4 della discretizzazione temporale adottata, dove ad ogni punto corrisponde un pozzo utilizzato per la taratura e la distanza dalla diagonale centrale rappresenta lo scostamento tra il valore osservato e il valore calcolato. In tali figure sono rappresentati contemporaneamente tutti i punti utilizzati per il controllo della taratura del modello.

Nelle figure successive sono invece riportati i medesimi scatter-plot derivanti dalla suddivisione dei punti di controllo prima in base al gruppo acquifero di appartenenza (gruppo acquifero A e gruppo acquifero B) e poi in ulteriori due sottozone (parte alta e parte bassa) all'interno dei singoli gruppi acquiferi. Ciò permette, oltre ad evidenziare la diversa copertura in termini di punti di controllo appartenenti alle diverse porzioni dell'acquifero (minor numero per il gruppo acquifero A rispetto al gruppo acquifero B, e generalmente diminuzione del numero di punti disponibili all'aumento della profondità di captazione), di posizionare all'interno dello spazio 3D del modello i maggiori scarti di taratura ed in definitiva valutare zona per zona il livello di affidabilità del modello.

La stessa informazione, relativamente all'istante T4 è riportata nella Figura 2.42 dove in questo caso recuperando la vista in pianta sul piano geografico viene meno la dimensione verticale prima considerata.

Con la successiva Figura 2.43 vengono invece confrontate le tendenze dei valori delle osservazioni piezometriche nel triennio 2003-2005 con i dati calcolati dal modello per lo stesso arco temporale. Si è fatto in questo caso riferimento ai risultati delle simulazioni di scenario descritte nel successivo paragrafo 4 anticipando in questo caso parte dei risultati relativamente al solo modello di flusso.

Figura 2.32 Distribuzione degli scarti nel periodo T2, tutti i pozzi

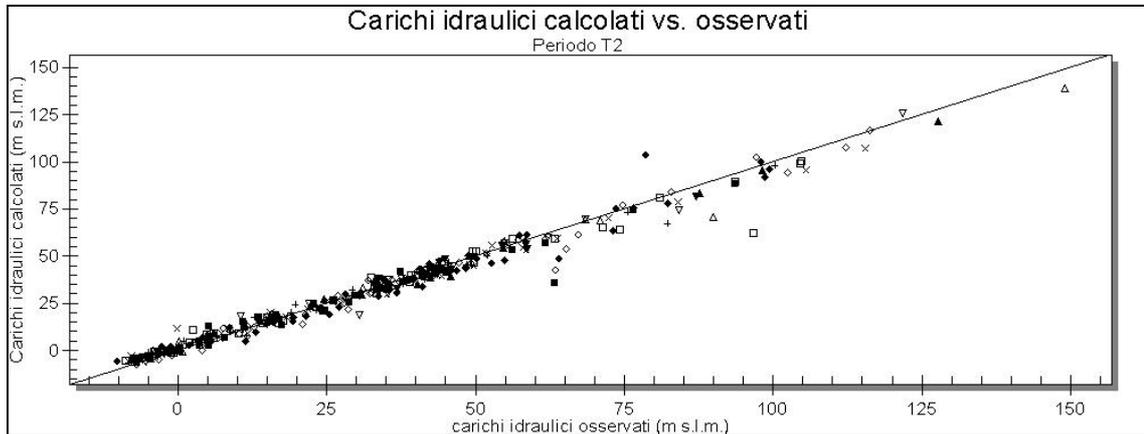


Figura 2.33 Distribuzione degli scarti nel periodo T4, tutti i pozzi

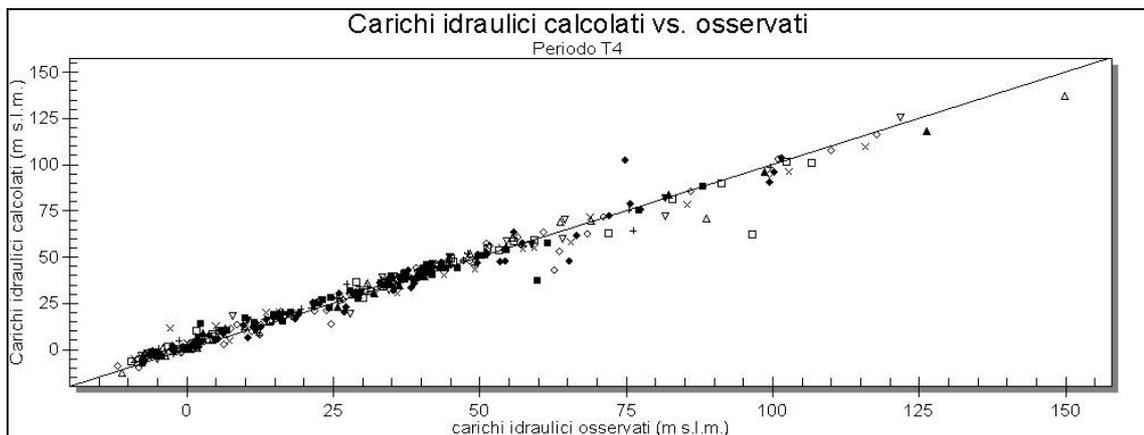


Figura 2.34 Distribuzione degli scarti nel periodo T2, pozzi parte alta del gruppo acquifero A

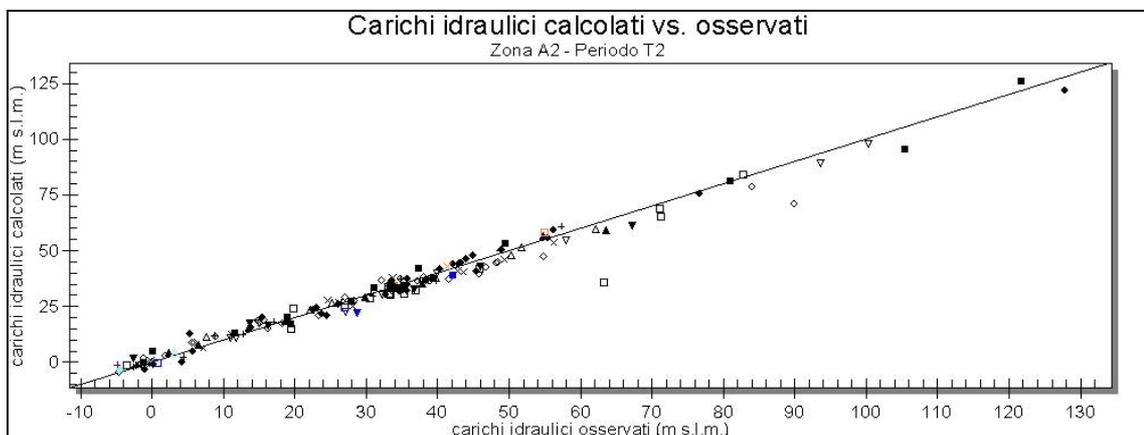


Figura 2.35 Distribuzione degli scarti nel periodo T4, pozzi parte alta del gruppo acquifero A

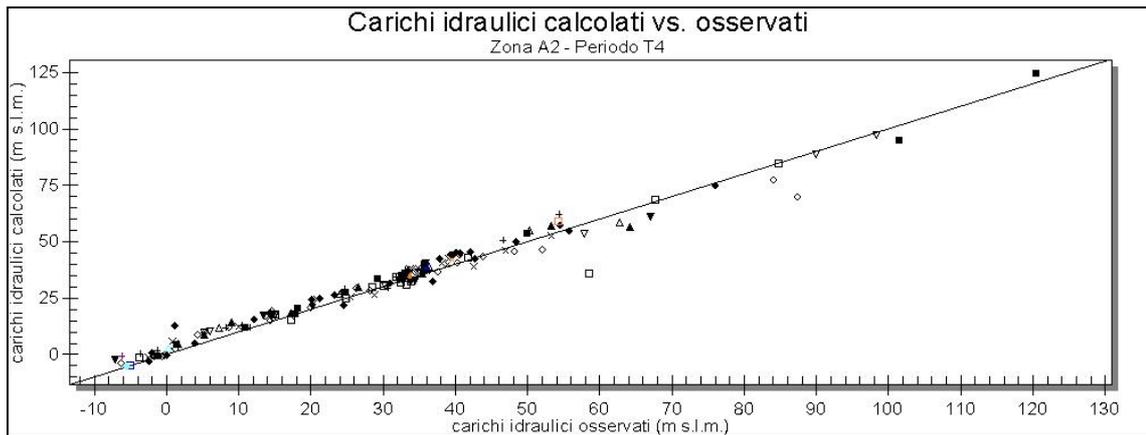


Figura 2.36 Distribuzione degli scarti nel periodo T2, pozzi parte bassa del gruppo acquifero A

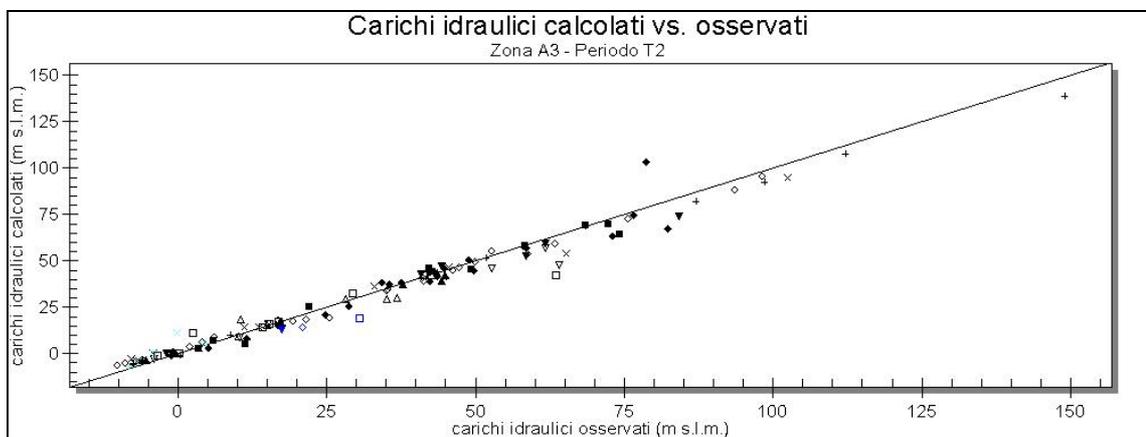


Figura 2.37 Distribuzione degli scarti nel periodo T4, pozzi parte bassa del gruppo acquifero A

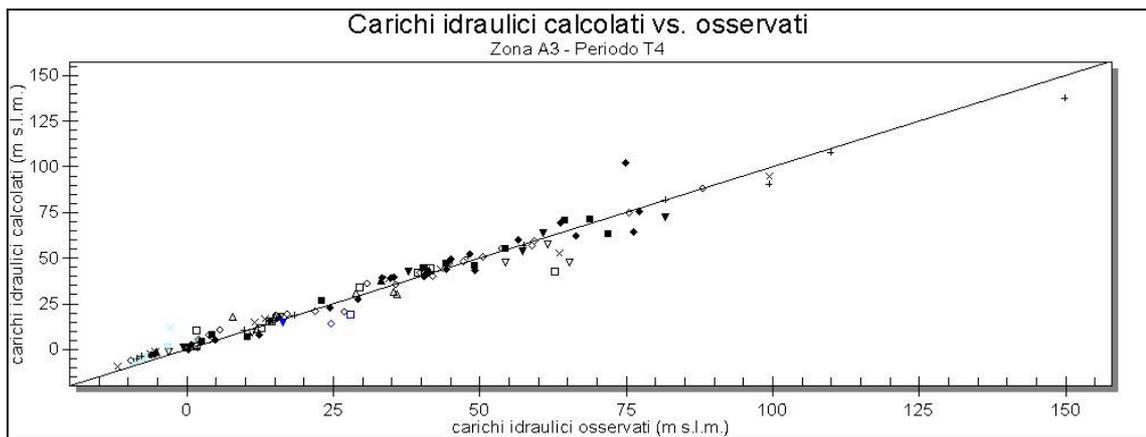


Figura 2.38 Distribuzione degli scarti nel periodo T2, pozzi parte alta del gruppo acquifero B

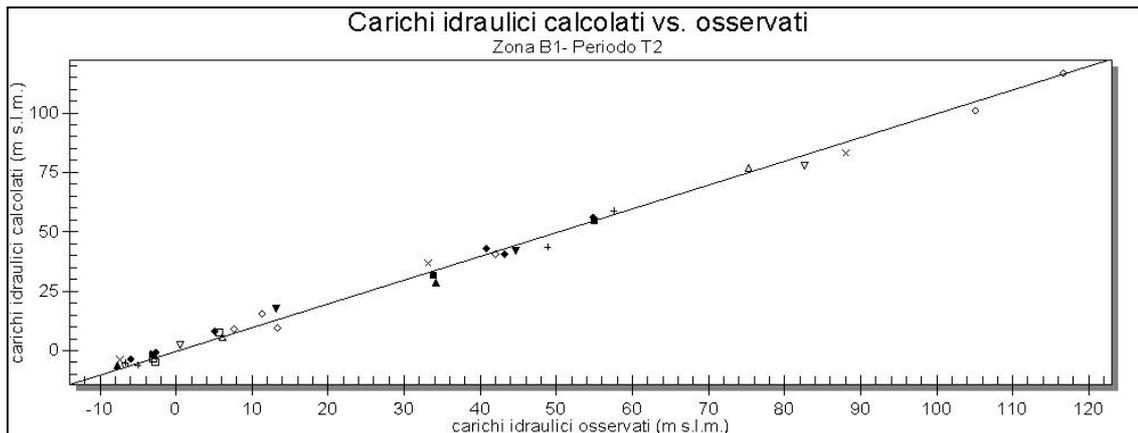


Figura 2.39 Distribuzione degli scarti nel periodo T4, pozzi parte alta del gruppo acquifero B

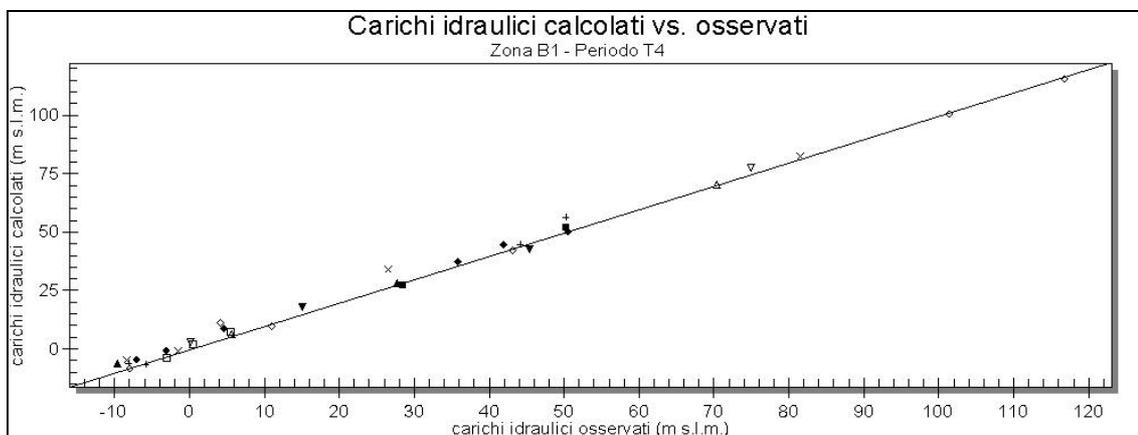


Figura 2.40 Distribuzione degli scarti nel periodo T2, pozzi parte bassa del gruppo acquifero B

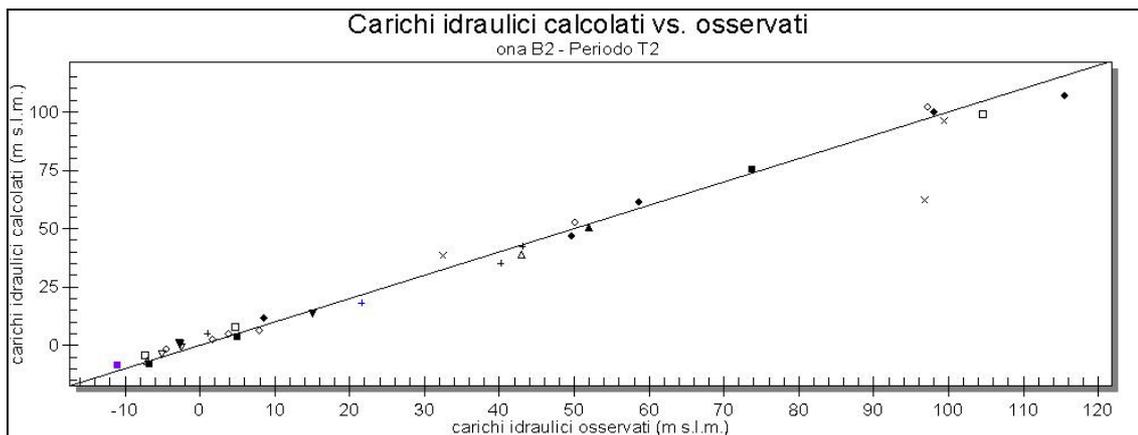
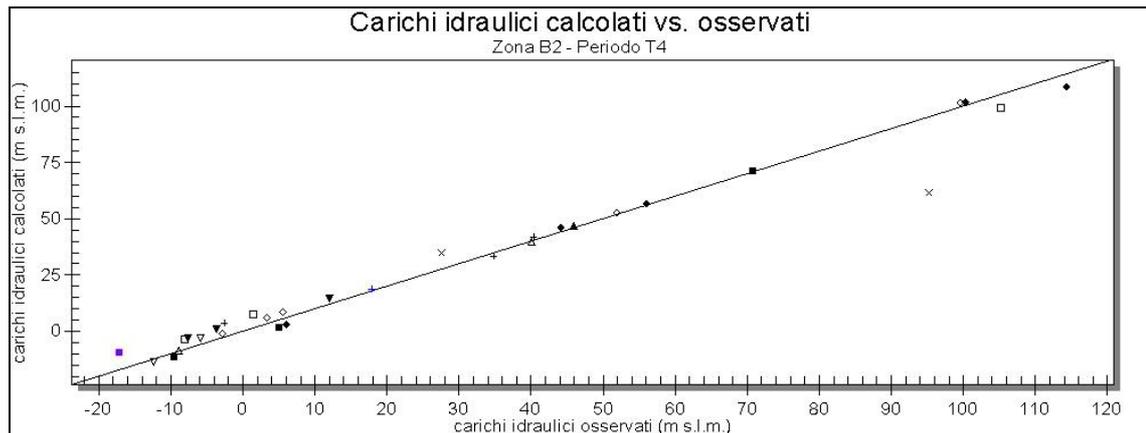


Figura 2.41 Distribuzione degli scarti nel periodo T4, pozzi parte bassa del gruppo acquifero B



Dalla Figura 2.44 alla Figura 2.49 sono rappresentate le serie temporali in uscita dal modello in corrispondenza delle posizioni di alcuni dei punti di misura utilizzati per il controllo della taratura. Nelle diverse figure i pozzi sono stati suddivisi separando i pozzi in base al complesso idrogeologico ed al gruppo acquifero di appartenenza. Nei grafici la serie denominata “calc” rappresenta l’andamento ricostruito dal modello, mentre la serie denominata “obs” corrisponde alle 2 osservazioni disponibili nel periodo di riferimento con la barra di errore di ampiezza 2.5 entro la quale si è cercato di far rientrare i valori nel processo di taratura. È importante osservare nelle figure non solo la buona corrispondenza nei due istanti dei valori simulati rispetto alle osservazioni ma anche la generale tendenza degli andamenti su tutto il periodo (da Figura 2.44 a Figura 2.47). Vi sono comunque alcune eccezioni: nella Figura 2.48 nella Figura 2.49 vengono appositamente riportati alcuni punti di controllo la cui taratura non ha reso possibile una buona aderenza ai dati sperimentali

Figura 2.42 Confronto dei valori di carico idraulico calcolati rispetto a quelli osservati nel 4° trimestre del 2003 (T4)

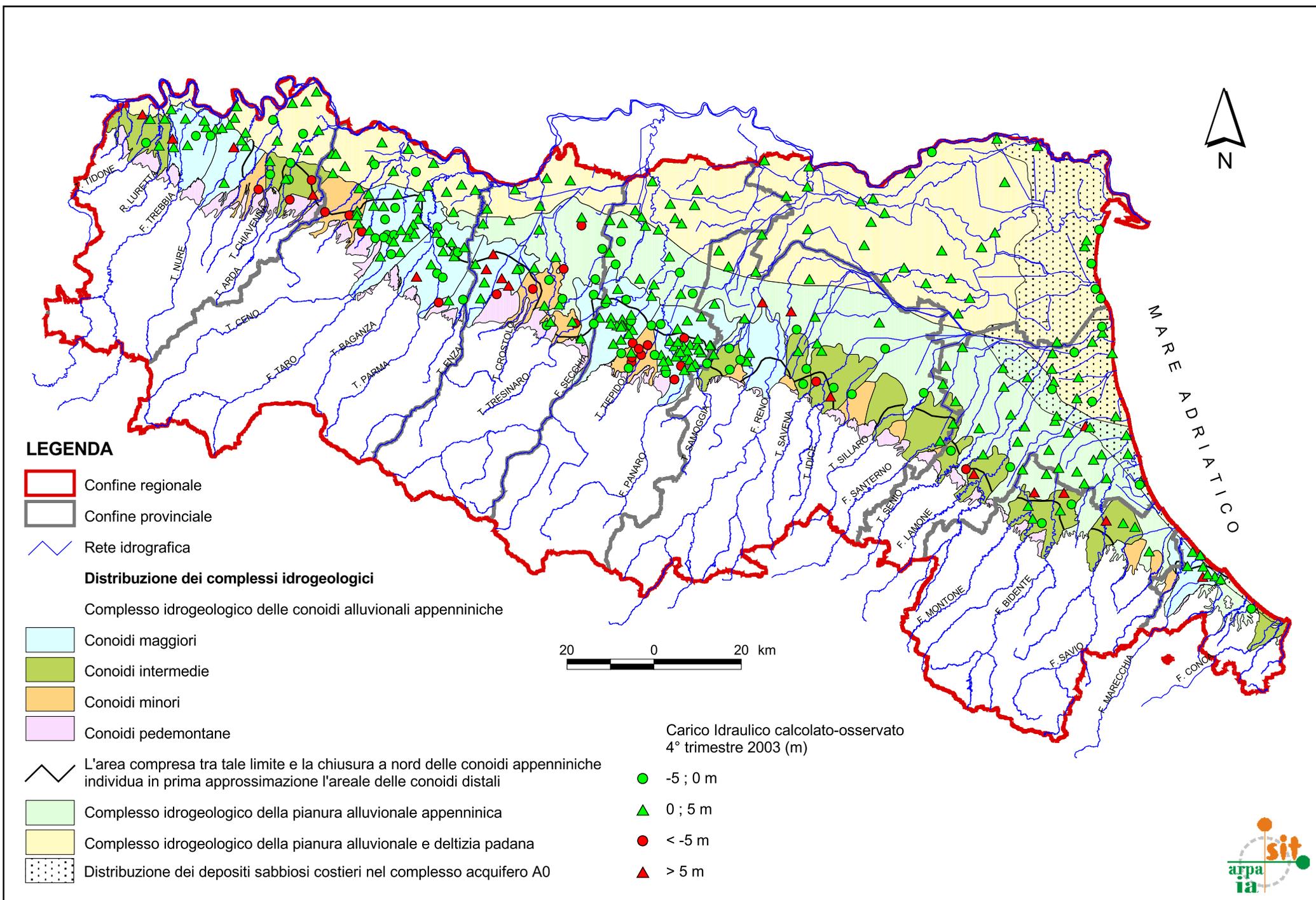


Figura 2.43 Confronto delle tendenze fra i valori di carico idraulico calcolati rispetto a quelli osservati nel triennio 2003-2005

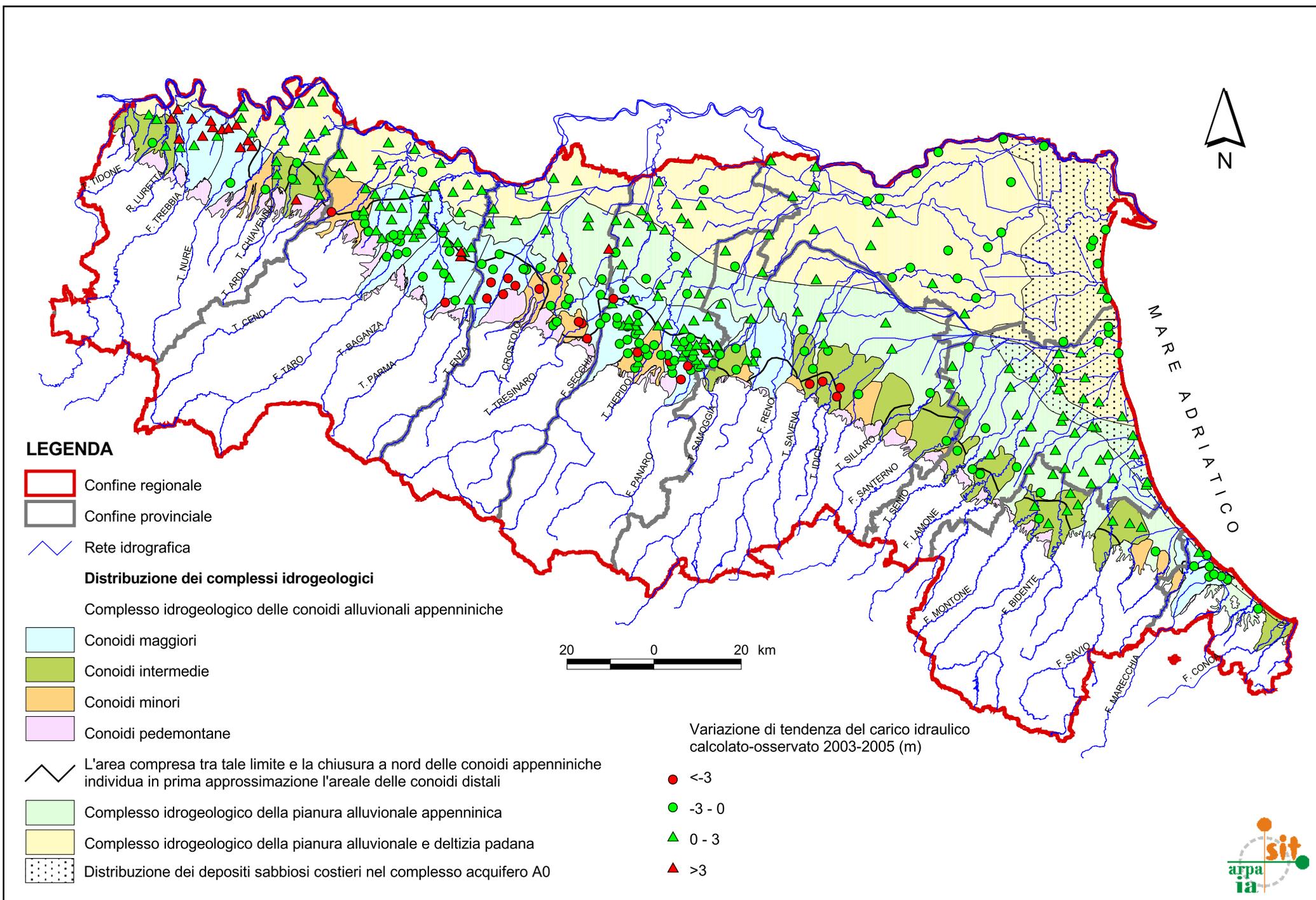


Figura 2.44 Serie storiche calcolate/osservate su alcuni punti di controllo

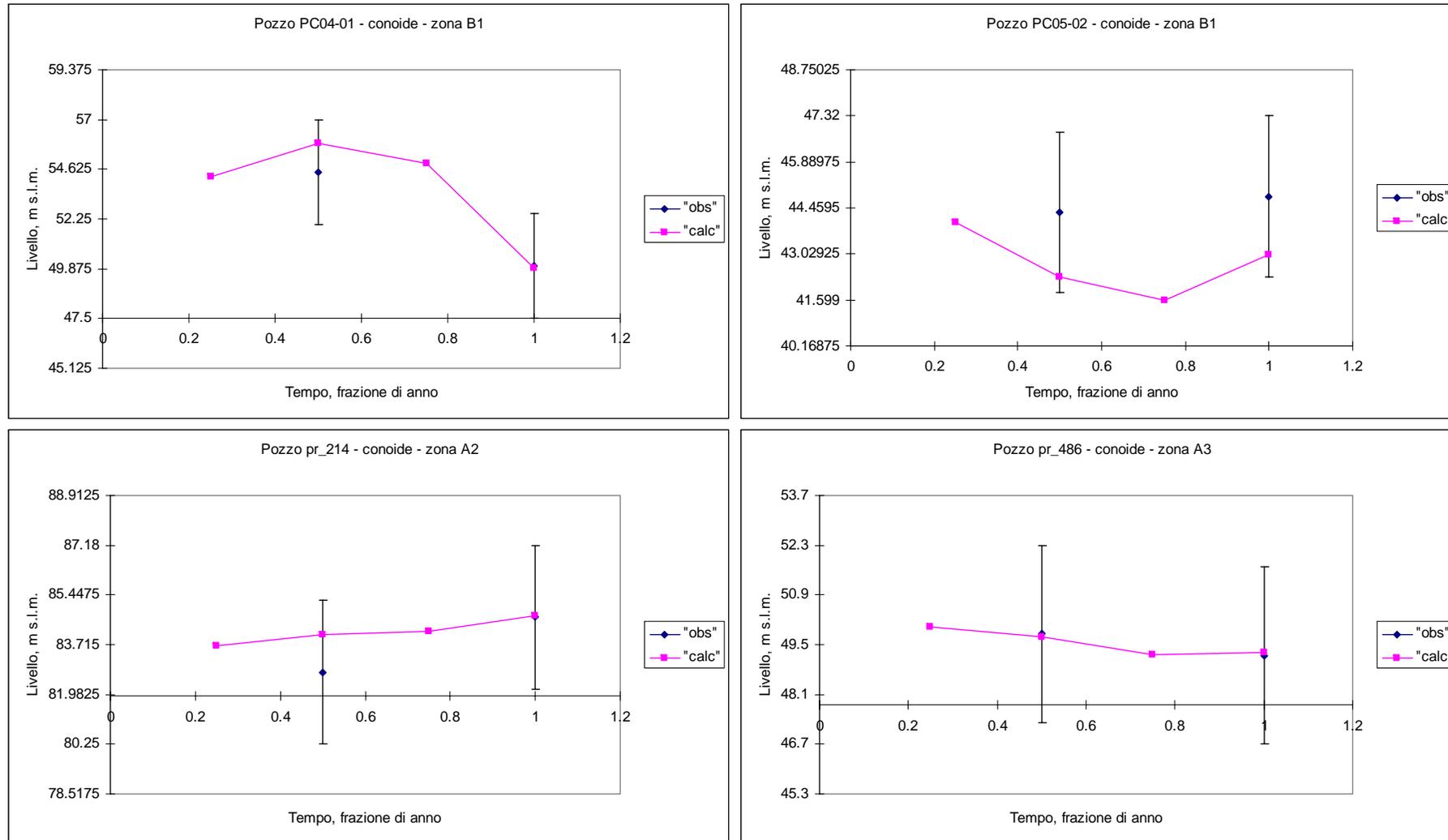


Figura 2.45 Serie storiche calcolate/osservate su alcuni punti di controllo

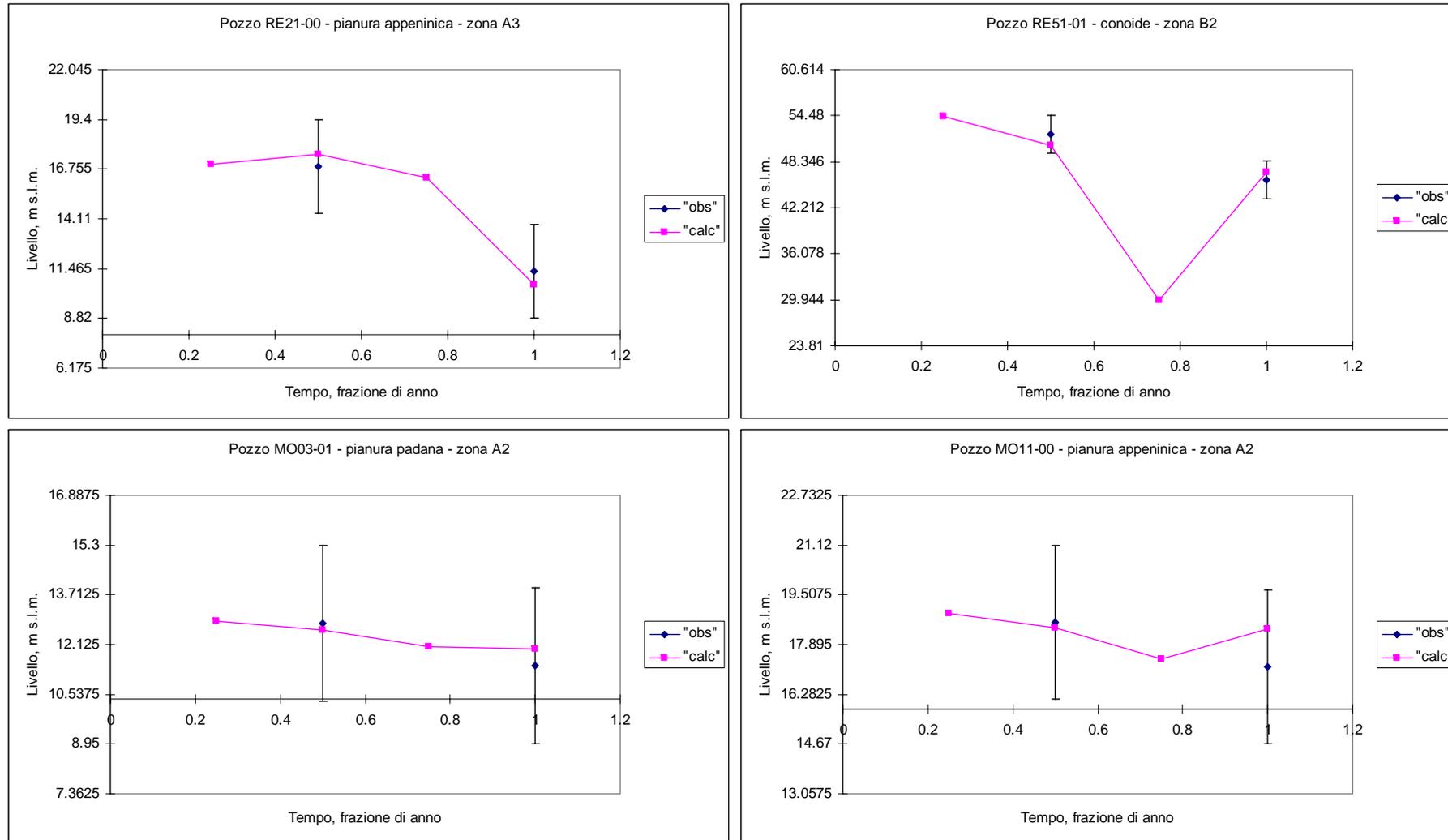


Figura 2.46 Serie storiche calcolate/osservate su alcuni punti di controllo

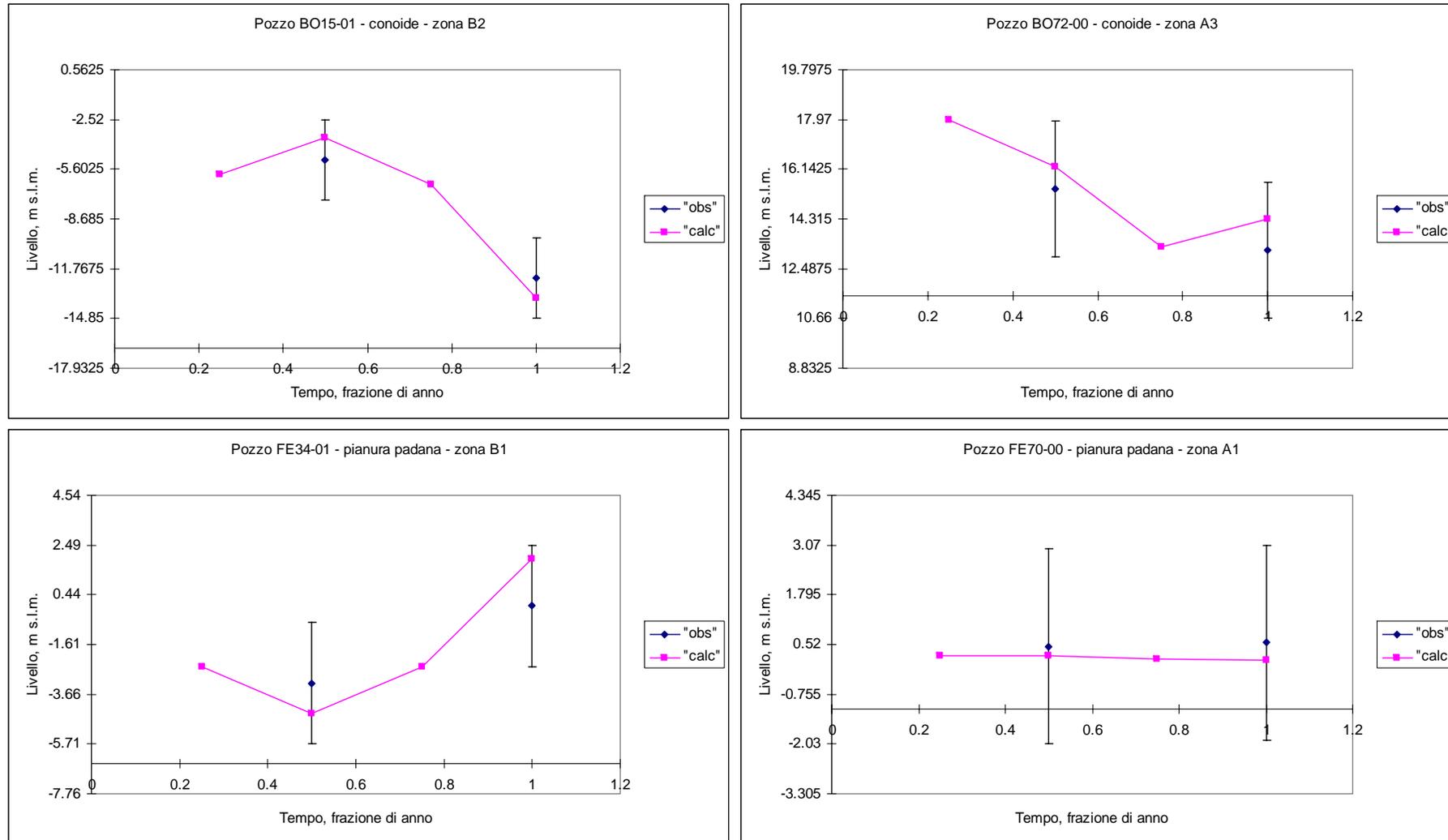


Figura 2.47 Serie storiche calcolate/osservate su alcuni punti di controllo

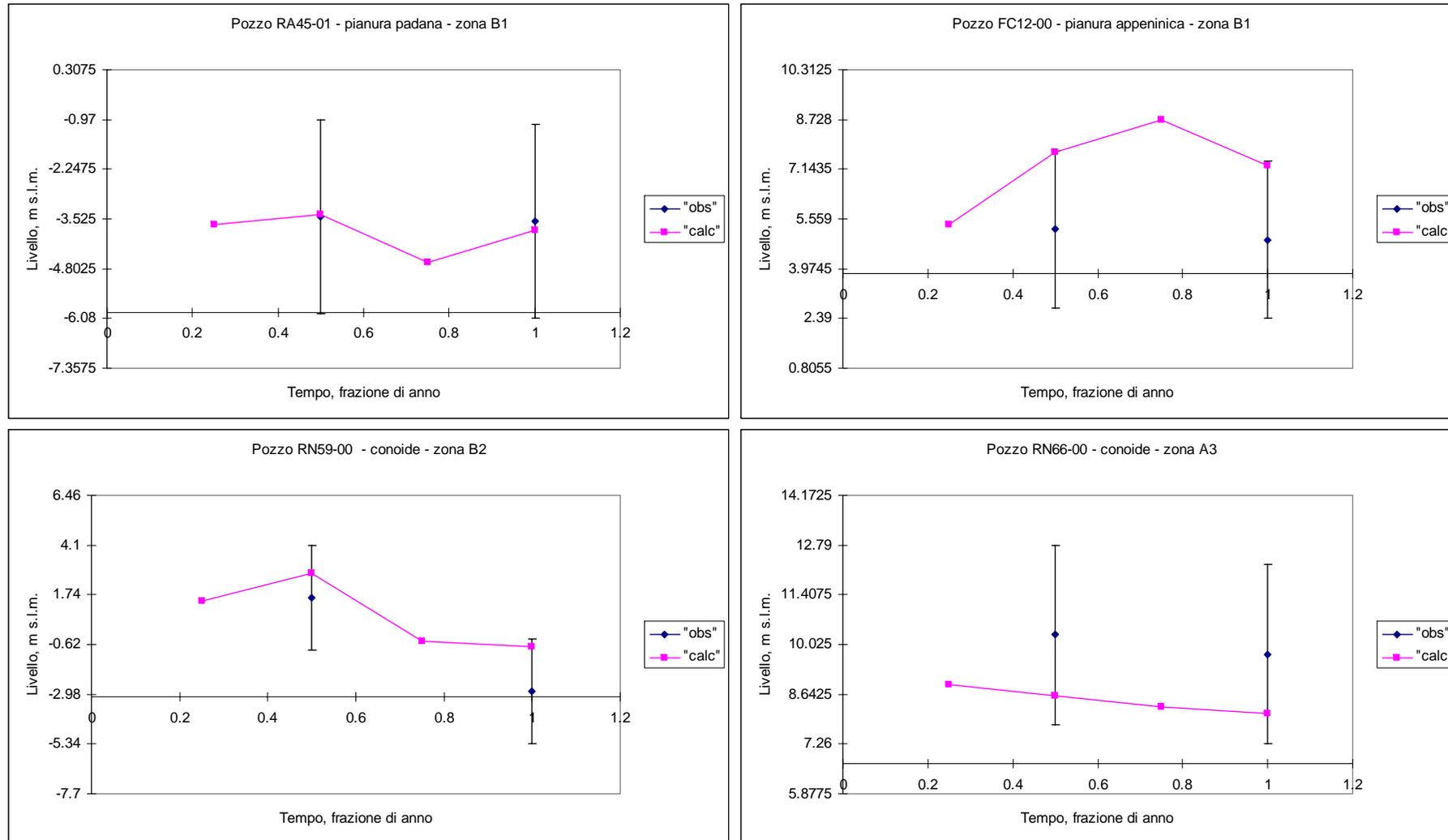


Figura 2.48 Serie storiche calcolate/osservate su alcuni punti di controllo

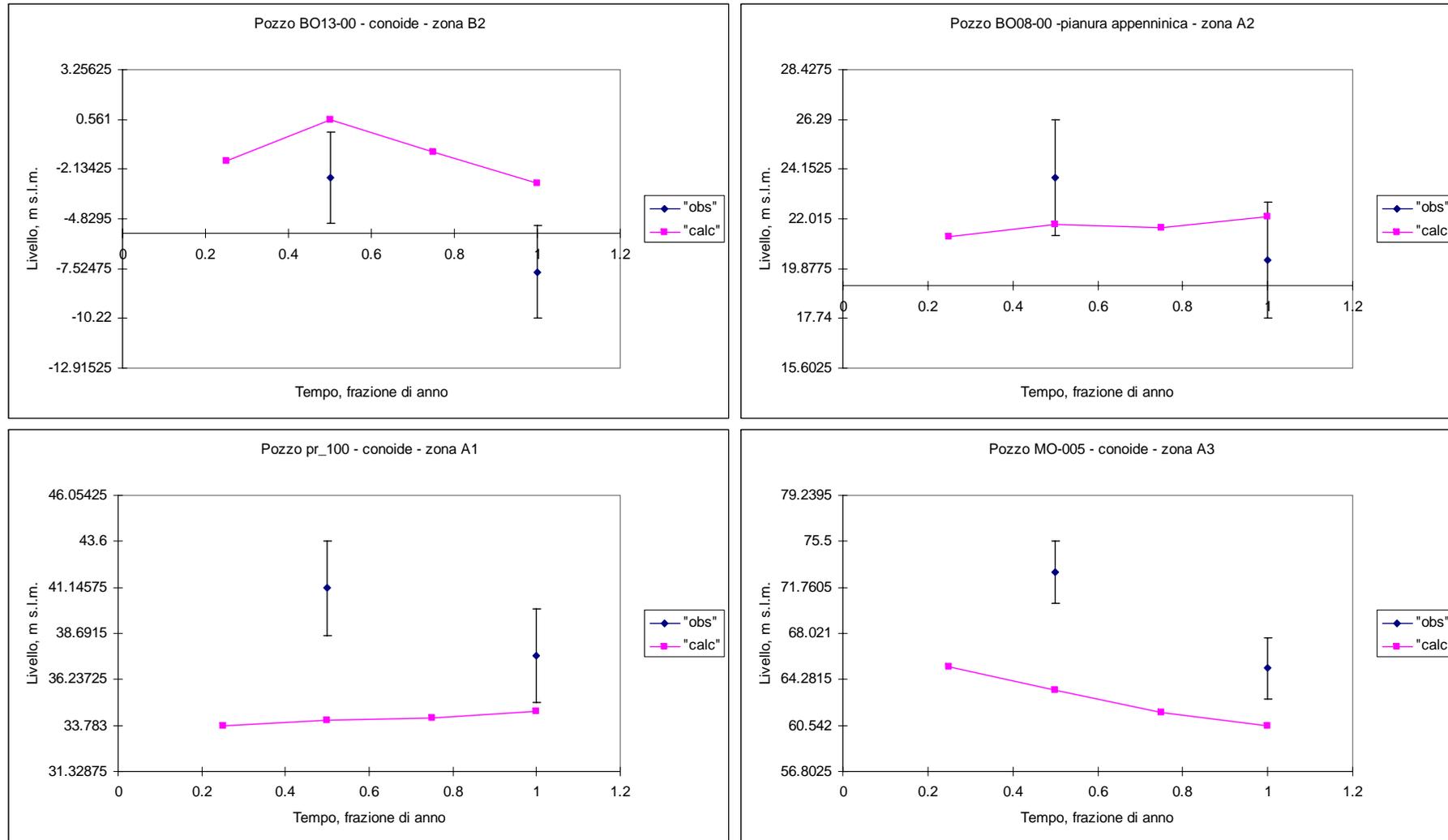
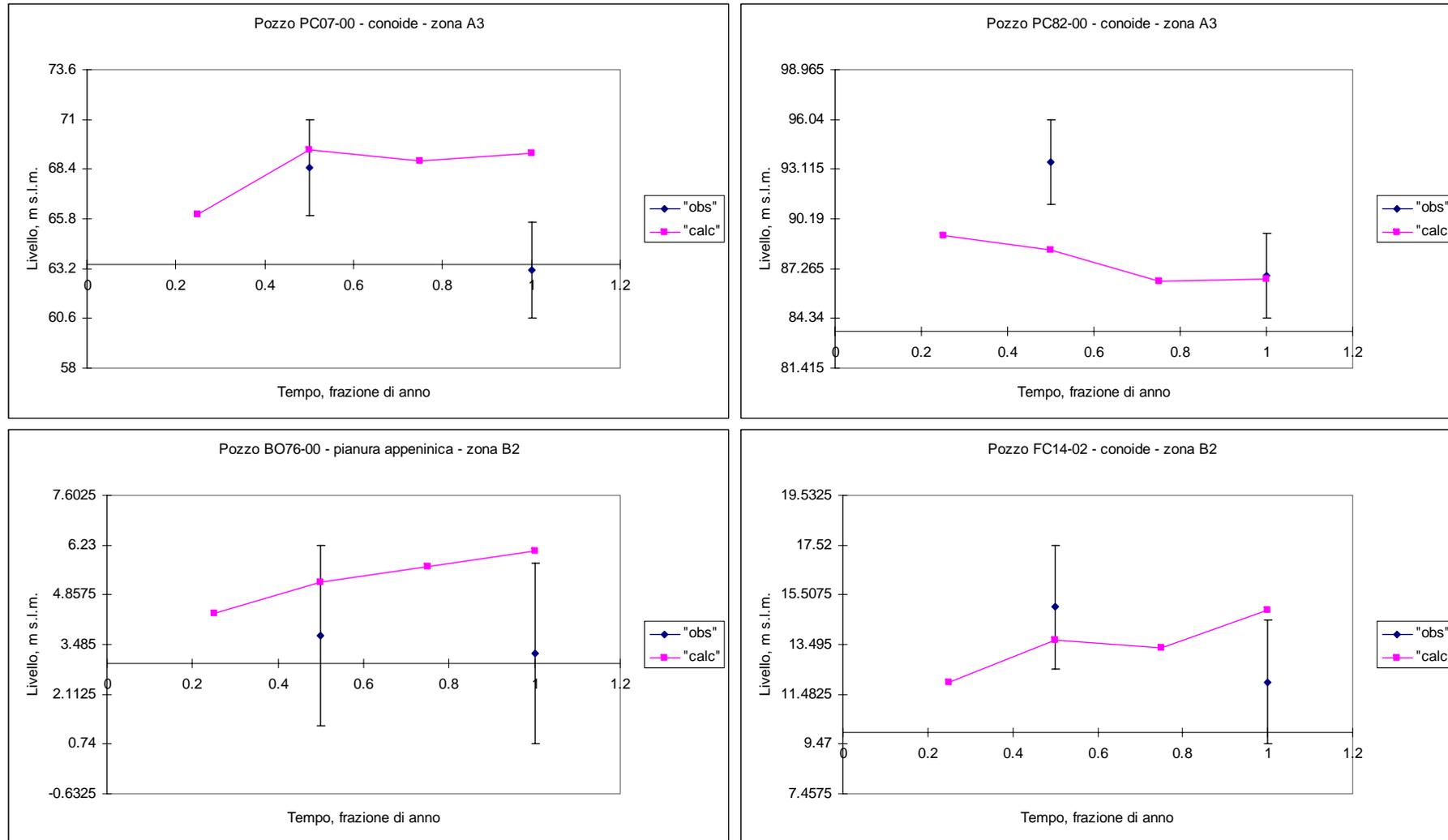


Figura 2.49 Serie storiche calcolate/osservate su alcuni punti di controllo



### 2.2.4 Bilancio idrogeologico

Un ulteriore controllo della bontà del modello matematico si effettua verificando il bilancio idrogeologico. In questo modo si può verificare se viene rispettata l'equazione del bilancio ed i termini che la compongono nel corso di ognuno dei 4 istanti del periodo di taratura del modello. I termini del bilancio in ingresso ed uscita vengono calcolati sia in termini di portate medie per il singolo stress period di simulazione ( $m^3/s$ ) sia in termini di volumi (milioni di  $m^3$ ) cumulati nei diversi periodi. Nel dettaglio gli ingressi corrispondono alla ricarica (pioggia e fiumi), alle entrate dai bordi ed alle variazioni positive del termine di immagazzinamento. Le uscite corrispondono ai prelievi, al sistema di drenaggio delle bonifiche ferraresi, alle uscite dai bordi e alle variazioni negative dell'immagazzinamento. Ne segue che una variazione di immagazzinamento messa a bilancio corrisponde, se è positiva, ad un volume d'acqua che viene sottratto alla falda.

Nella Figura 2.50 e nella Figura 2.51 vengono riportati gli andamenti delle voci di bilancio rispettivamente in ingresso ed in uscita durante i quattro istanti della simulazione in transitorio. La successiva Figura 2.52 contiene i flussi netti, intesi come voci in ingresso – voci in uscita. In questo caso i prelievi vengono inseriti con il segno meno a significare una uscita dal sistema. Gli stessi valori sono riportati in forma tabellare in Tabella 2.3.

Dall'analisi del bilancio complessivo della conoide si evidenzia che l'immagazzinamento di acqua all'interno del sistema subisce la dinamica prelievi/ricarica rispecchiandone le variazioni stagionali. In particolare in corrispondenza del periodo estivo (T3) caratterizzato dal maggior prelievo si assiste ad una uscita di acqua da sistema anche a spese dell'immagazzinamento, viceversa nei periodi di maggiore ricarica zenitale si assiste ad un recupero di acqua all'interno dell'immagazzinamento (T4).

Tabella 2.3 Bilancio idrogeologico complessivo ( $m^3/s$ )

		T1	T2	T3	T4
IN	Limite a carico imposto	2.0	1.7	1.7	1.5
IN	Immagazzinamento	62.3	37.0	42.5	20.8
IN	Ricarica	21.2	18.7	8.7	20.8
OUT	Limite a carico imposto	2.4	2.4	2.0	2.4
OUT	Immagazzinamento	62.7	28.5	12.5	21.2
OUT	Prelievi	12.3	19.8	33.4	14.1
OUT	Dreno	7.7	6.6	5.0	5.4
IN-OUT	Limite a carico imposto	-0.4	-0.7	-0.3	-0.9
IN-OUT	Immagazzinamento	-0.4	8.6	30.0	-0.4
IN-OUT	Ricarica	21.2	18.7	8.7	20.8
IN-OUT	Prelievi	-12.3	-19.8	-33.4	-14.1
IN-OUT	Dreno	-7.7	-6.6	-5.0	-5.4

Figura 2.50 Bilancio idrogeologico complessivo (m<sup>3</sup>/s), termini in ingresso

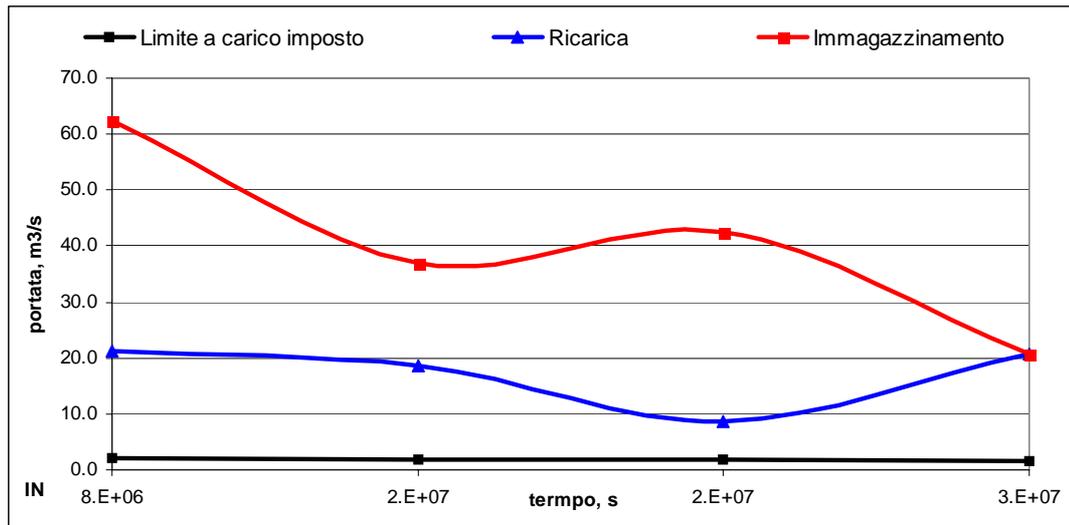


Figura 2.51 Bilancio idrogeologico complessivo (m<sup>3</sup>/s), termini in uscita

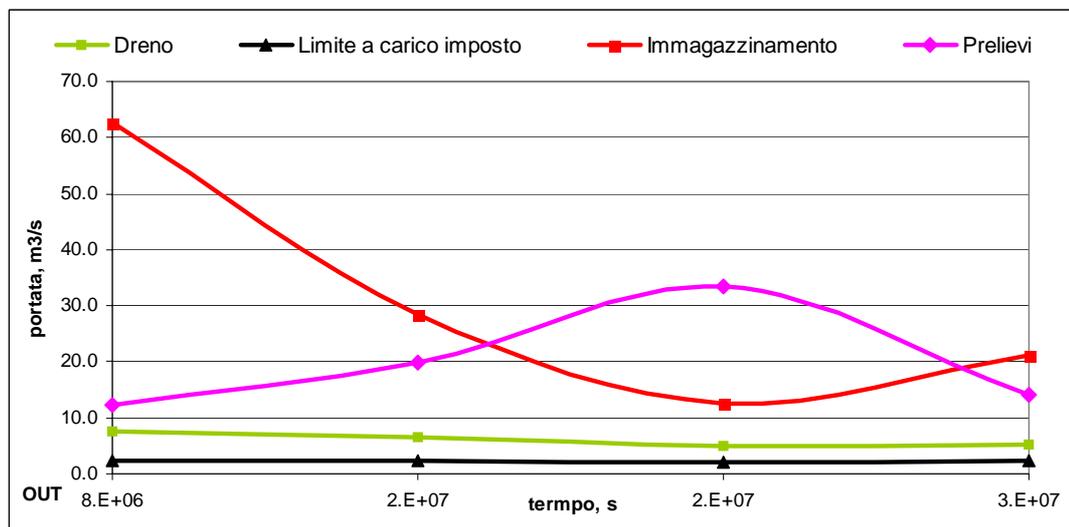
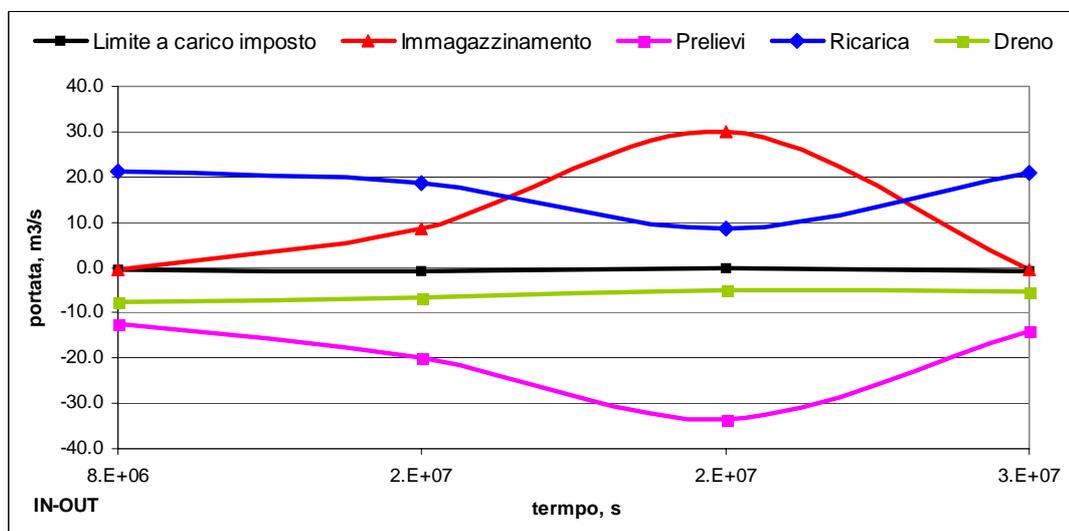


Figura 2.52 Bilancio idrogeologico complessivo (m<sup>3</sup>/s), flussi netti (ingressi-uscite)



Nelle successive Figura 2.53 e Figura 2.54 viene invece riportato il dettaglio dei contributi laterali (ingressi e uscite rispettivamente) differenziando la zona a mare dal lato Nord in corrispondenza del Po. Tale figure evidenziano portate di scambio nettamente inferiori rispetto alle altre voci che concorrono a formare il bilancio complessivo, un prevalere dei termini in uscita sul lato mare e dei termini in ingresso a nord.

Figura 2.53 Bilancio idrogeologico complessivo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), contributi laterali, termini in ingresso

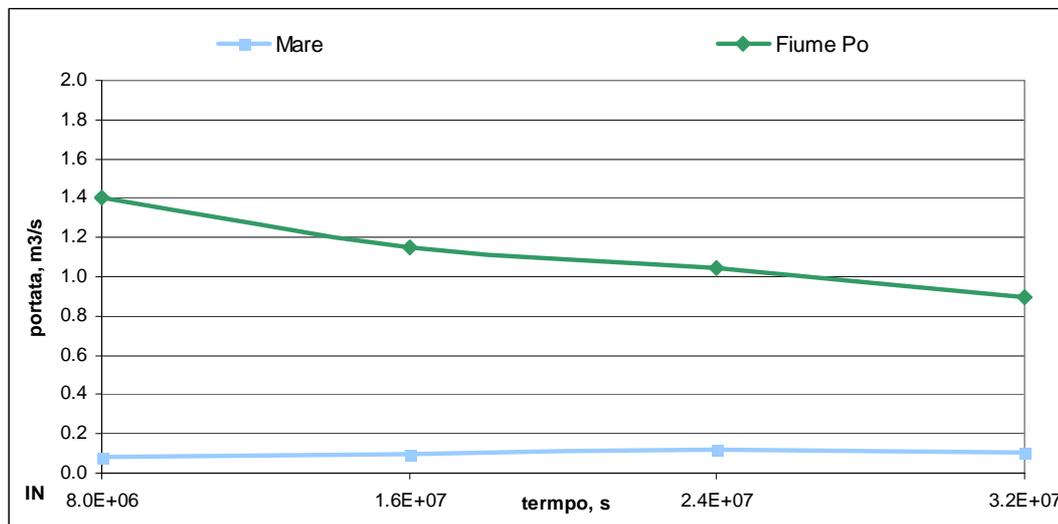
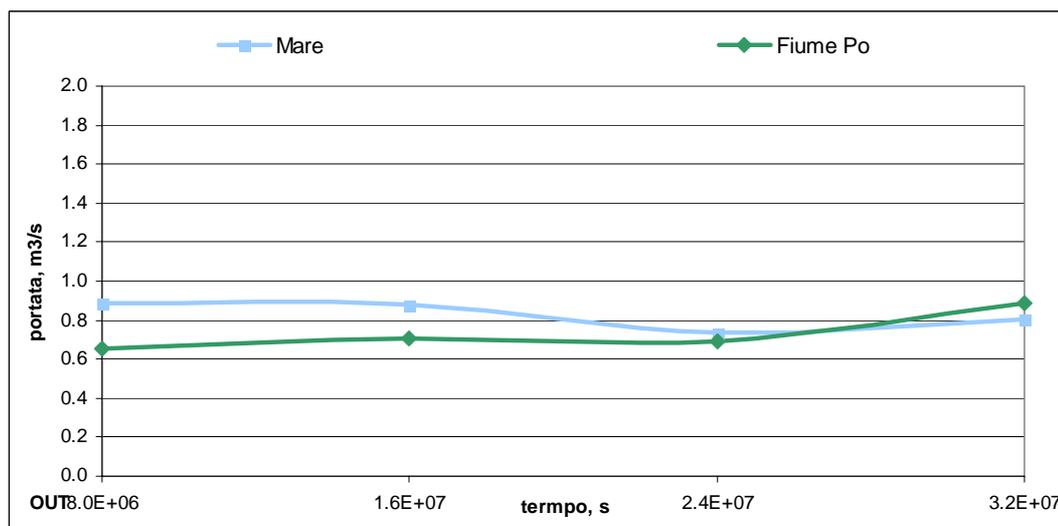


Figura 2.54 Bilancio idrogeologico complessivo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), contributi laterali, termini in uscita



Nella Tabella 2.4 viene riportato, a livello di sintesi, il bilancio idrogeologico complessivo con i valori espressi in milioni di  $\text{m}^3$  ed aggregati per l'intero arco di tempo in cui è stata condotta la taratura del modello.

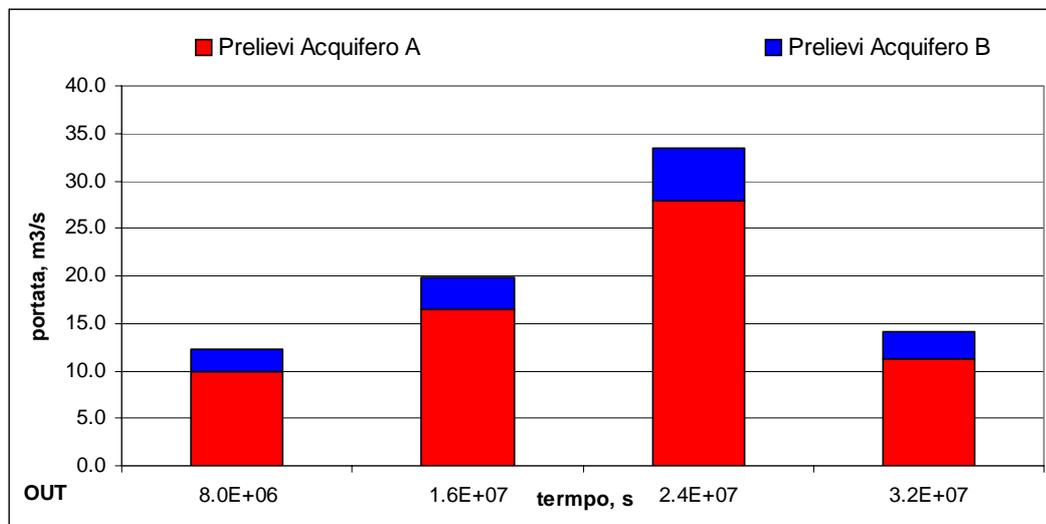
Tabella 2.4 Bilancio idrogeologico annuale complessivo ( $\text{Mm}^3$ )

T1-T4 ( $\text{Mm}^3/\text{y}$ )	IN	OUT	IN-OUT
Pozzi	0	637	-637
Dreni Fe	0	197	-197
Carico costante	56	74	-19
Ricarica	556	0	556
Immagazzinamento	1301	999	302

Al fine di una maggiore comprensione delle dinamiche interne degli acquiferi è stato eseguito un approfondimento relativamente al bilancio idrogeologico suddividendone le voci all'interno dei gruppi

acquiferi A e B. Il primo risultato che ne è conseguito è stata la possibile ripartizione dei prelievi (Figura 2.55) attribuiti al modello di calcolo che evidenzia nel gruppo acquifero A le maggiori percentuali sempre superiori all'80% del prelievo complessivo.

Figura 2.55 Ripartizione dei prelievi nei gruppi acquiferi A e B (m<sup>3</sup>/s)



Dalla Figura 2.56 alla Figura 2.61 vengono mostrati gli andamenti dei bilanci nei quattro stress period consentendo di individuare sia l'incidenza delle varie voci nel bilancio complessivo all'interno dei due gruppi acquiferi, sia i termini di scambio tra questi. Da una analisi risultano di interesse i seguenti elementi:

- il sistema dei prelievi incide principalmente sul gruppo acquifero A per circa l'80% del totale;
- la ricarica da pioggia e da fiume avviene nella parte sommitale del sistema ed è quindi riferibile al solo gruppo acquifero A;
- l'immagazzinamento di acqua nel sistema subisce la dinamica dei prelievi dove questi insistono maggiormente cedendo acqua e la dinamica della ricarica zenitale dove essa effettivamente avviene (parte alta del gruppo acquifero A, nelle conoide e negli acquiferi freatici di pianura).
- i prelievi insistenti nel gruppo acquifero B sono solo parzialmente compensati dalle variazioni dell'immagazzinamento generando un trasferimento di fluido dal gruppo acquifero A soprastante. Ciò avviene principalmente all'interno dei sistemi di conoide ed in misura minore nei sistemi di pianura (meno del 10% del totale);
- si assiste ad un deflusso verso valle al quale contribuisce principalmente il gruppo acquifero A; tale deflusso è influenzato dal sistema dei prelievi variabile da zona a zona e da istante ad istante (a prelievi maggiori corrispondono deflussi a valle minori);

Figura 2.56 Bilancio idrogeologico gruppo acquifero A (m<sup>3</sup>/s), termini in ingresso

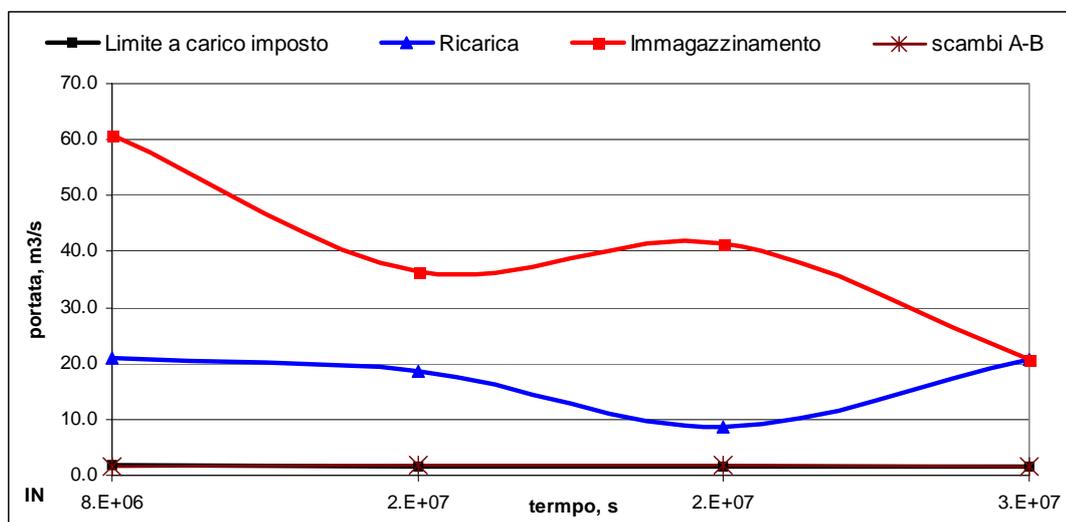


Figura 2.57 Bilancio idrogeologico gruppo acquifero A (m<sup>3</sup>/s), termini in uscita

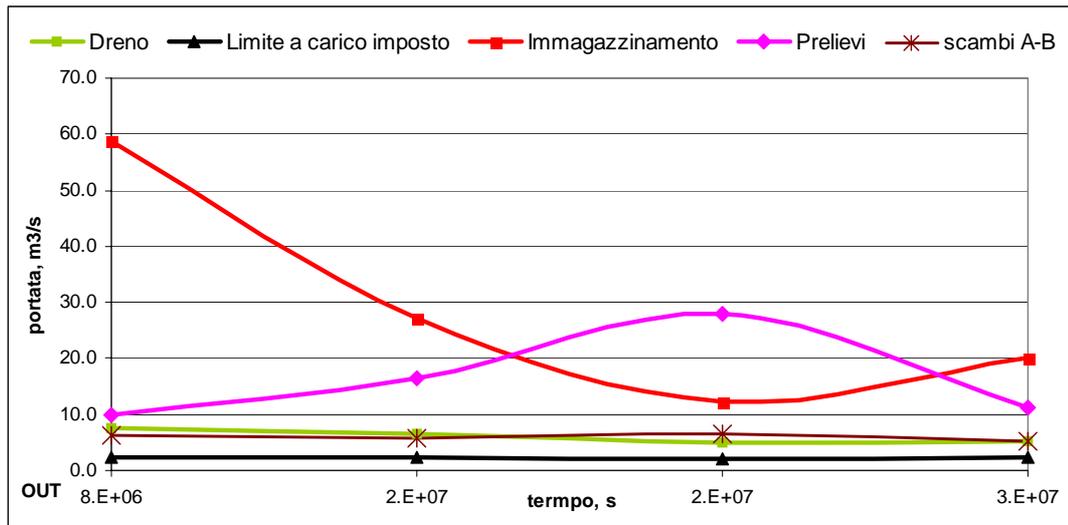


Figura 2.58 Bilancio idrogeologico gruppo acquifero A (m<sup>3</sup>/s), flussi netti (ingressi-uscite)

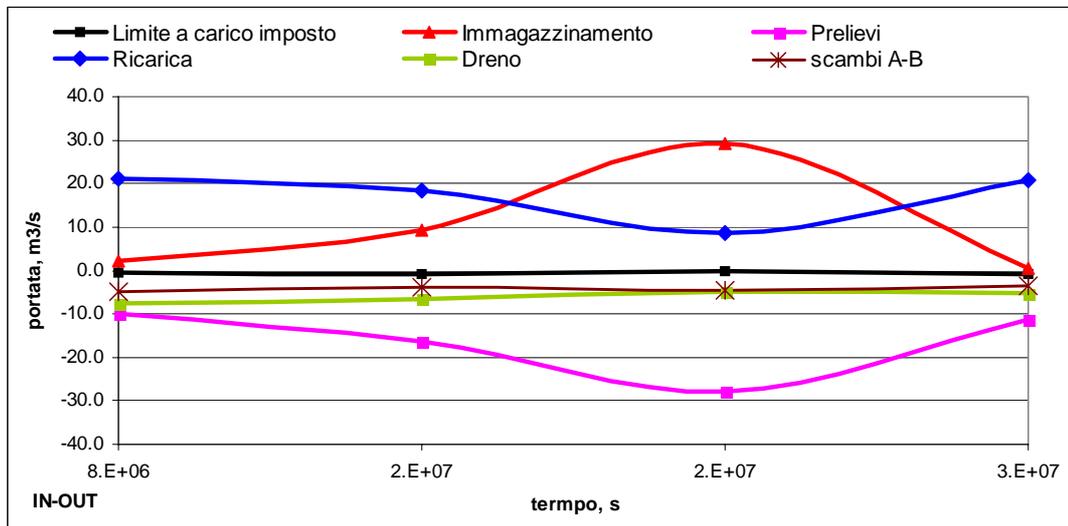


Figura 2.59 Bilancio idrogeologico gruppo acquifero B (m<sup>3</sup>/s), termini in ingresso

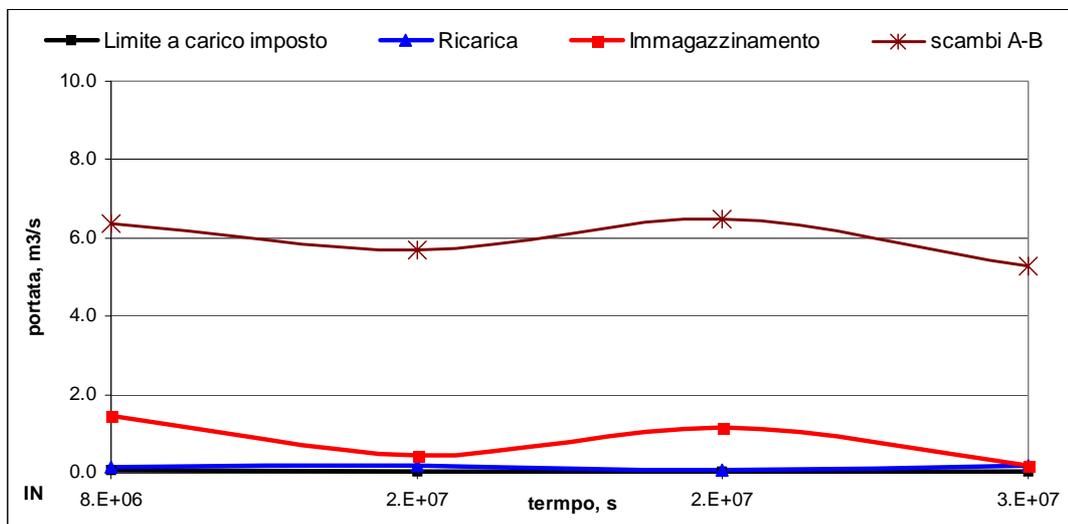


Figura 2.60 Bilancio idrogeologico gruppo acquifero B ( $m^3/s$ ), termini in uscita

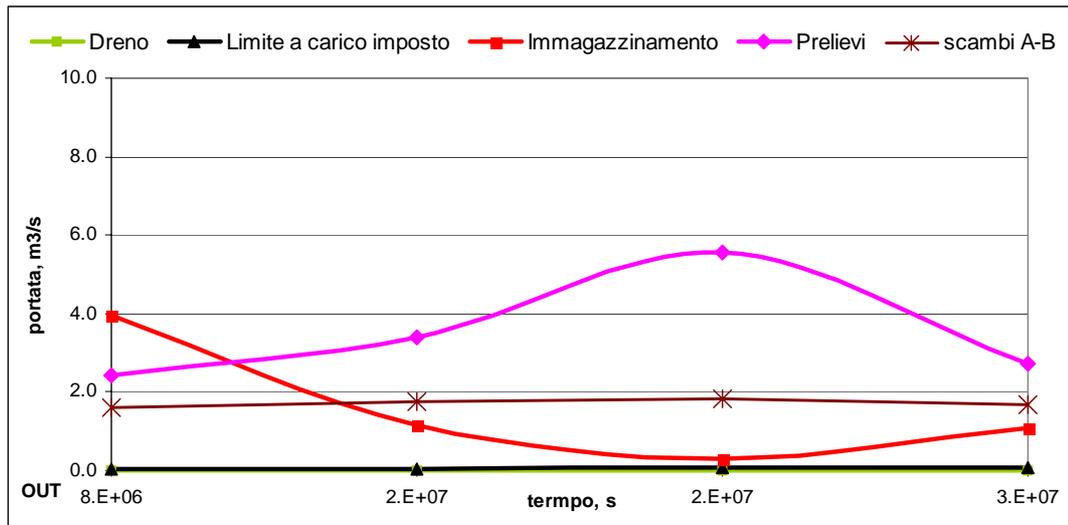
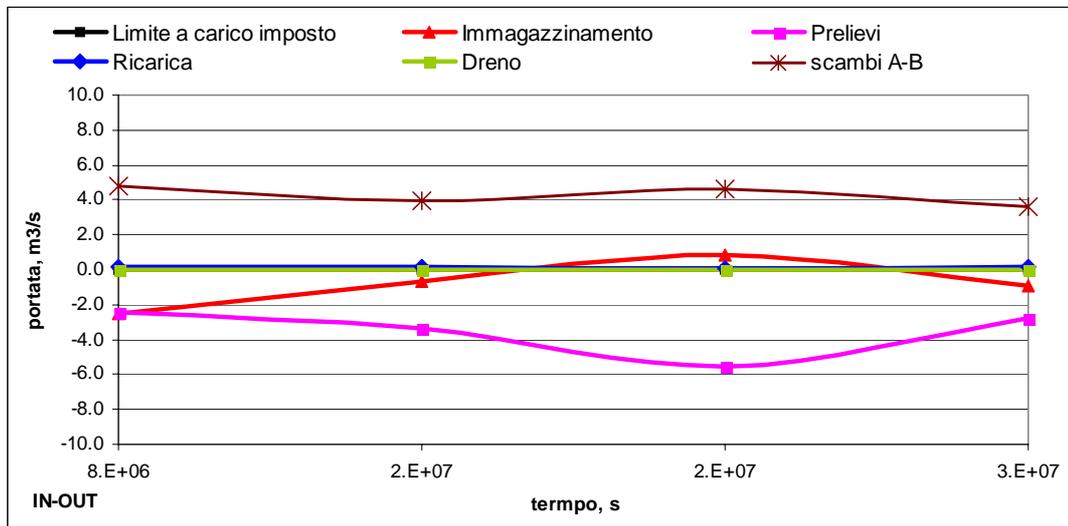


Figura 2.61 Bilancio idrogeologico gruppo acquifero B ( $m^3/s$ ), flussi netti (ingressi-uscite)



### 3. IL MODELLO DI TRASPORTO DI NITRATI NELLE ACQUE SOTTERRANEE

#### 3.1 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO DI NITRATI

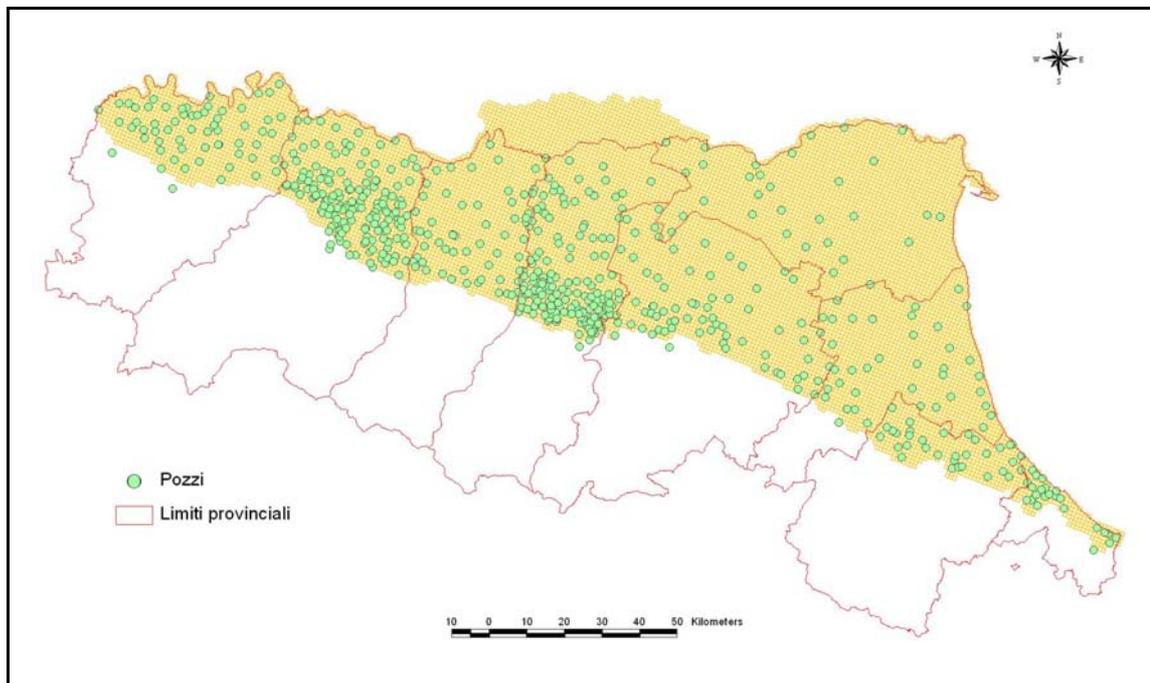
##### 3.1.1 Condizioni iniziali ed al contorno del modello di trasporto

La condizione iniziale è stata ottenuta mediante la regionalizzazione dei dati sperimentali disponibili in corrispondenza della data di inizio delle simulazioni di taratura, il 2003 (Figura 3.1). Per completare l'insieme dei dati disponibili sono stati utilizzati anche alcuni rilievi precedenti.

La regionalizzazione delle concentrazioni ha presentato difficoltà di ordine elevato per diversi ordini di motivi:

- a) il primo riguarda la “geometria” del sistema sotterraneo; infatti, poiché le concentrazioni sono disponibili solo in coincidenza degli strati permeabili, almeno una metà dell'ammasso poroso è privo di informazioni. Si tratta delle porzioni di acquifero in cui l'azoto è presente solo in concentrazioni molto basse, per motivi di ordine “naturale”;
- b) il secondo riguarda la densità di informazioni disponibile.

Figura 3.1 Distribuzione dei pozzi utilizzati per stimare la concentrazione iniziale



Dei due ordini di difficoltà, il primo è parzialmente risolvibile, assegnando direttamente alle fasce argillose il valore convenzionale adottato come rumore di fondo, fissato arbitrariamente a 0,5 mg/l; il secondo non è risolvibile in alcun modo, soprattutto tenendo conto del fatto che, per poter tenere conto del primo aspetto, è stato necessario ripartire l'ammasso in alcuni sottosistemi sulla base della frequenza dei dati a disposizione.

In definitiva, sono state realizzate alcune regionalizzazioni separate per questi sottosistemi, per poi riversare i risultati nel sistema tridimensionale principale, avendo avuto cura di assegnare il valore di fondo agli intervalli più argillosi. Sono state così ottenute le distribuzioni che, a titolo di esempio, sono riportate da Figura 3.2 a Figura 3.4.

Invece, la definizione delle condizioni al contorno segue necessariamente lo schema già adottato per il flusso:

- nei bordi a flusso nullo non vi è ovviamente una condizione di concentrazione;
- nei bordi a potenziale imposto vi è la una concentrazione imposta derivata dalle osservazioni sperimentali.

Vi è invece una distinzione significativa tra il flusso d'acqua in ingresso e quello in uscita. In via generale, infatti, ai flussi in ingresso è possibile associare una concentrazione (pioggia e fiumi), mentre in corrispondenza dei flussi in uscita (imposti o calcolati) è il modello a calcolare la concentrazione corrispondente, per cui:

- la ricarica da pioggia e da fiume è associata ad una concentrazione dell'acqua entrante imposta;
- il prelievo da pozzo non ha una concentrazione imposta, perché la concentrazione dell'acqua in uscita è una delle soluzioni del modello.

Figura 3.2 Concentrazione iniziale (mg/l) layer K1

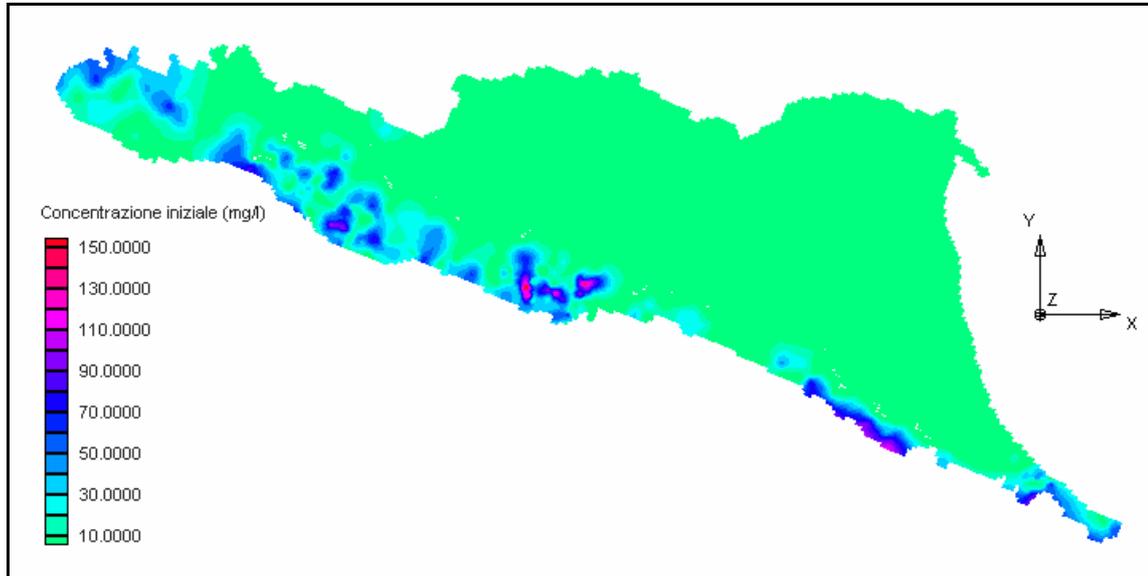


Figura 3.3 Concentrazione iniziale (mg/l) layer K24

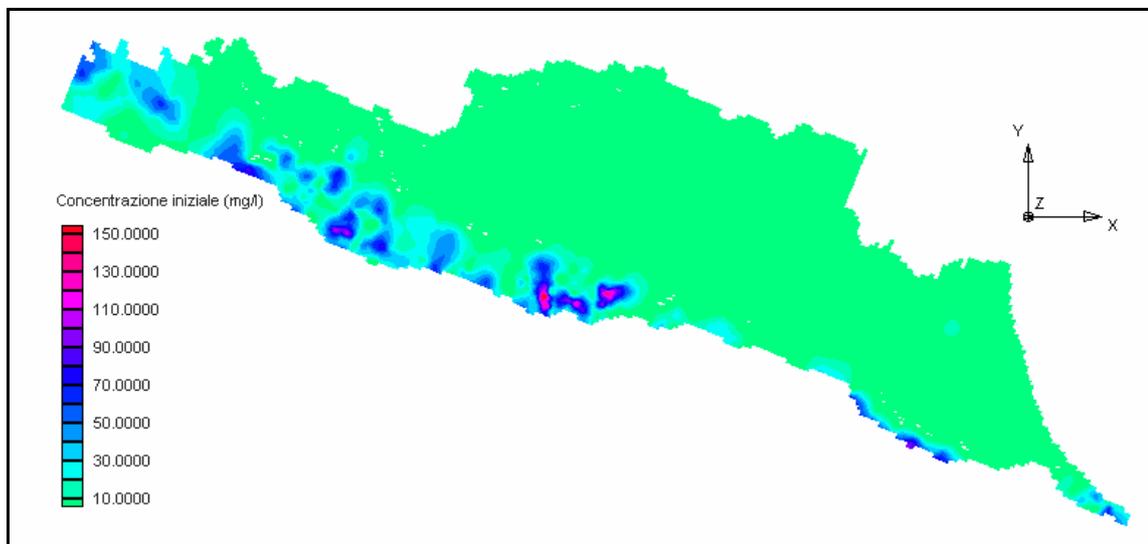


Figura 3.4 Concentrazione iniziale (mg/l), sezione J83

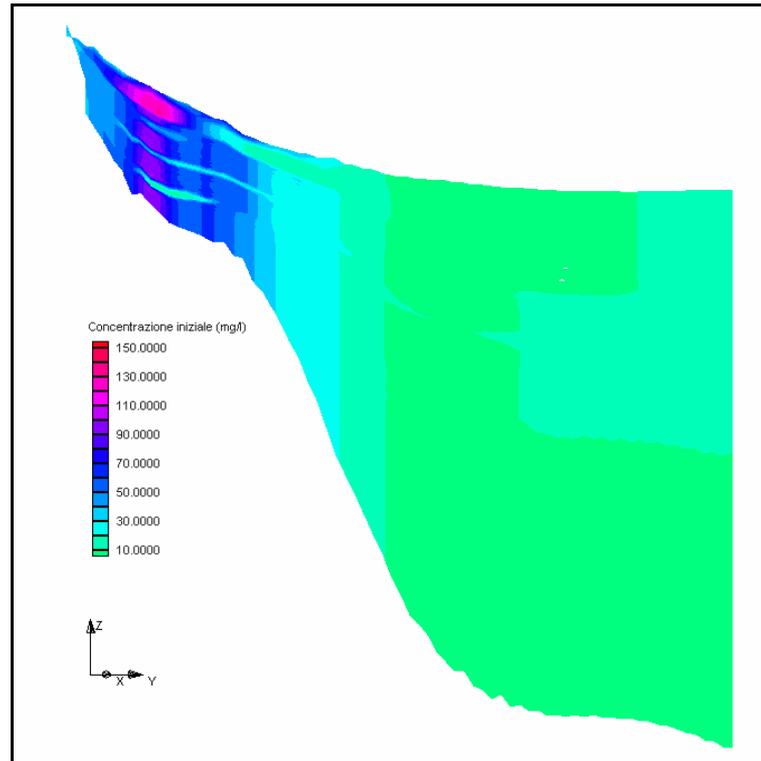
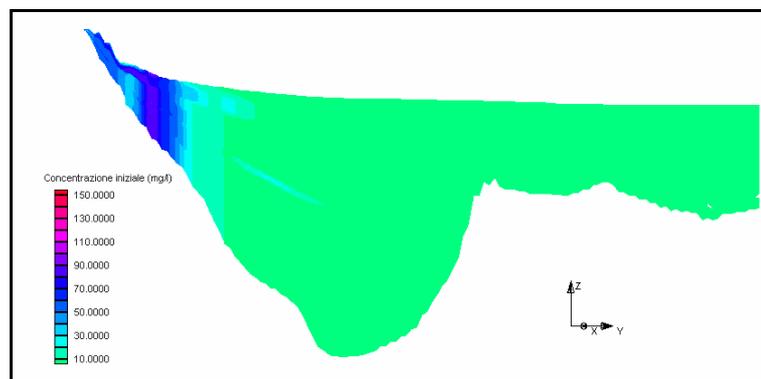


Figura 3.5 Concentrazione iniziale (mg/l), sezione J144

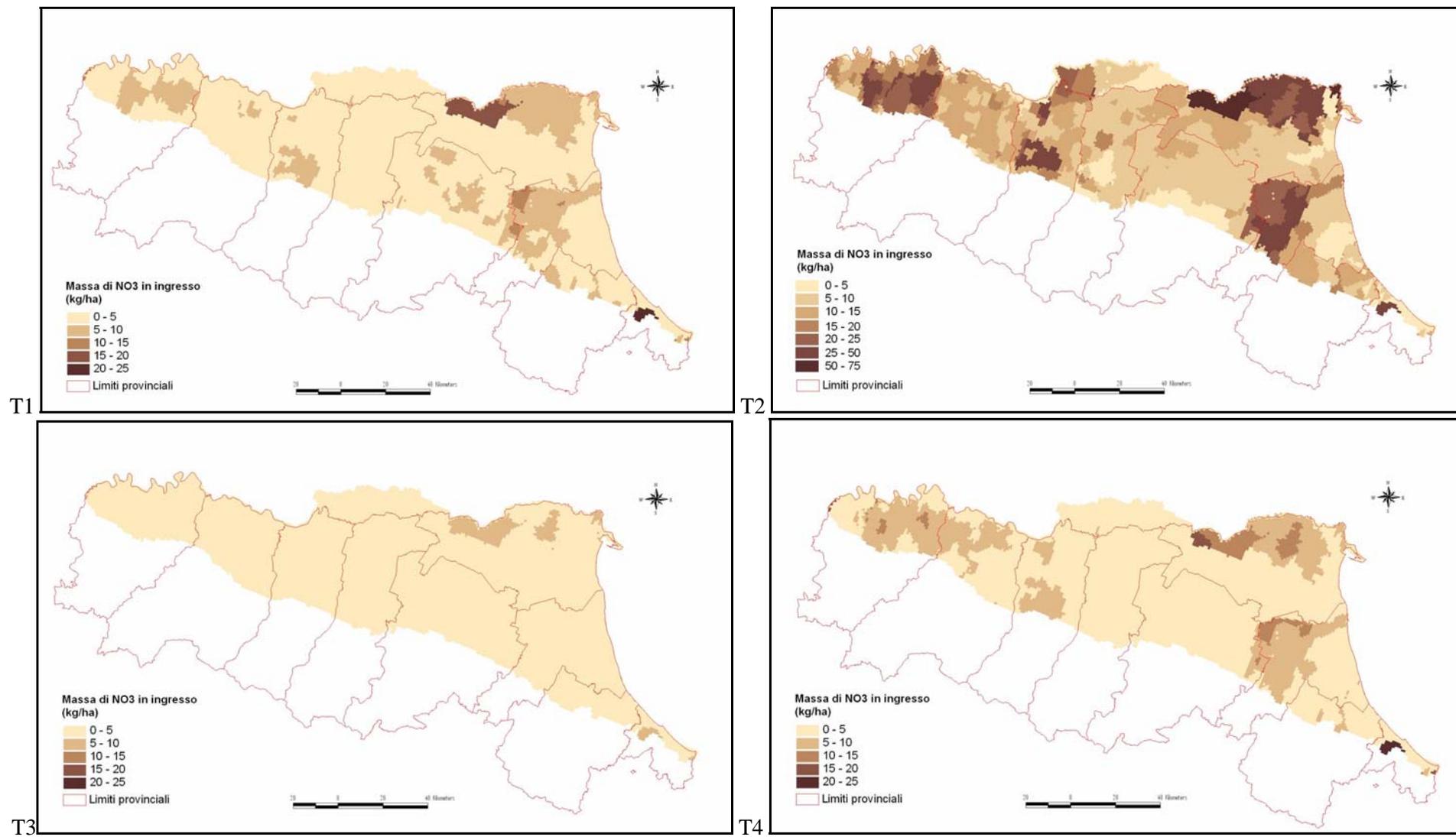


### 3.1.2 I dati di ricarica zenitale di nitrati in ingresso nel modello

La stima del termine di origine diffusa ha fatto riferimento alle risultanze delle attività di supporto al Piano di Tutela delle Acque ([15], Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003). *Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi e verifica ed aggiornamento del catasto degli scarichi*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività E. Rapporto tecnico. Bologna. e [16] Regione Emilia-Romagna, Arpa Emilia-Romagna, giugno 2006. *Valutazione dei carichi massimi ammissibili sversati nei sistemi scolanti delle province di Ferrara e Ravenna nelle acque costiere. Attività di studio e ricerca a completamento del progetto di elaborazione del Piano di Tutela delle Acque. Attività 1: Individuazione delle zone vulnerabili da nitrati: verifica ed aggiornamento dell'uso del suolo, dei carichi da fonti diffuse e puntuali sversati nel reticolo di scolo delle acque superficiali.*) sia per la stima dei quantitativi di nitrati drenati verso le falde sia per la stagionalizzazione degli stessi apporti nei quattro istanti temporali del modello.

Le immagini di Figura 3.6 mostrano graficamente le intensità delle masse di azoto in ingresso in ciascuno dei cicli di calcolo utilizzati.

Figura 3.6 Azoto in ingresso nei 4 istanti temporali del modello



Le valutazioni dei carichi di azoto apportati al suolo, sversati verso i corpi idrici superficiali o drenati verso le falde nonché i termini del bilancio di azoto vengono generalmente espressi in kg di Azoto (espresso come N) e rapportati all'unità territoriale (l'ettaro). Nella presente relazione si farà sempre riferimento a valori di nitrato, sia in termini di concentrazione sia di massa. Si ricorda che per passare da azoto a nitrati il fattore da utilizzare è 4.43.

La concentrazione dell'acqua entrante deriva quindi dalla massa d'acqua in ingresso assegnata, che è la medesima già considerata nel modello di flusso, e dalla massa di soluto in ingresso, a sua volta derivata dalle stime dei carichi di azoto diffusi appena descritti.

La massa d'azoto associata alle concentrazioni di tipo puntuale, come i depuratori, rientra tra quelle associate in forma di concentrazioni agli ingressi fluviali, che a loro volta sono sommate al contributo del tipo diffuso; tenendo conto che la discretizzazione è basata su maglie con 1 km di lato, il contributo dell'acqua fluviale è in pratica non distinguibile da quello di origina diffusa.

## 3.2 TARATURA DEL MODELLO DI TRASPORTO

### 3.2.1 Parametrizzazione del modello di trasporto

Come è noto, la taratura di un modello di trasporto consiste nella definizione dell'insieme più corretto possibile delle variabili di controllo dell'equazione trasporto, che, in questo caso, sono la porosità e le dispersioni.

Entro certi limiti, entrambe le variabili sono legate alla litologia (molto più la porosità che non la dispersione) per cui l'identificazione della soluzione dovrebbe essere già abbastanza conseguente alle scelte fatte nel corso della taratura del flusso. In realtà, la corrispondenza non è così facile o immediata, anche perché nella taratura rientrano in realtà anche tutte le incertezze legate alla stima dei termini di sorgente.

Per conseguenza, anche per il trasporto la fase di taratura va sviluppata con la stessa attenzione e con le stesse modalità di quella relativa al flusso. Non solo: poiché l'equazione del trasporto dipende direttamente da quella del flusso, ne assume tutte le incertezze e gli errori, con la maggiore ulteriore complicazione che ne segue.

La taratura è stata affrontata inserendo in ingresso una serie, di primo tentativo, di porosità e di dispersione, poi è iniziato il lavoro vero e proprio di taratura di tali variabili, fino ad ottenere l'insieme di dati definitivo, che corrisponde alla soluzione qui presentata in Tabella 3.1 e Tabella 3.2 dove vengono riportate le frequenze di distribuzione dei valori di porosità e dispersione rispettivamente..

E' da notare anche che, sempre nel corso della taratura, è stato necessario verificare periodicamente anche lo stato della taratura del modello di flusso: l'analisi del trasporto, infatti, spesso mette in luce le difficoltà e le incongruenze del campo di moto dell'acqua e di qui nasce una sorta di ciclo virtuoso che tende a migliorare reciprocamente la qualità finale dell'insieme dei due modelli.

Tabella 3.1 Frequenza della porosità

Porosità	Frequenza (%)
0,010	0,025
0,095	0,347
0,100	51,649
0,180	0,000
0,200	12,248
0,205	2,423
0,210	0,966
0,265	0,847
0,300	0,657
0,305	10,243
0,310	4,643
0,320	15,949
oltre 0,320	0,001

Tabella 3.2 Frequenza della dispersione

Dispersione	Frequenza (%)
-------------	---------------

(m)	
1	0,01
2	4,60
3	31,97
5	0,00
10	0,00
15	24,49
20	0,05
30	14,16
100	4,01
150	20,68
oltre 150	0,02

### 3.2.2 Controllo della taratura

Il controllo della taratura avviene con il riscontro tra i valori di concentrazione calcolati e quelli noti nei punti di misura disponibili. Nel caso in esame, questo è possibile con due sole serie di dati, riferiti alle due campagne di osservazioni realizzate sui pozzi della reti di monitoraggio regionale e provinciali nel corso del 2003.

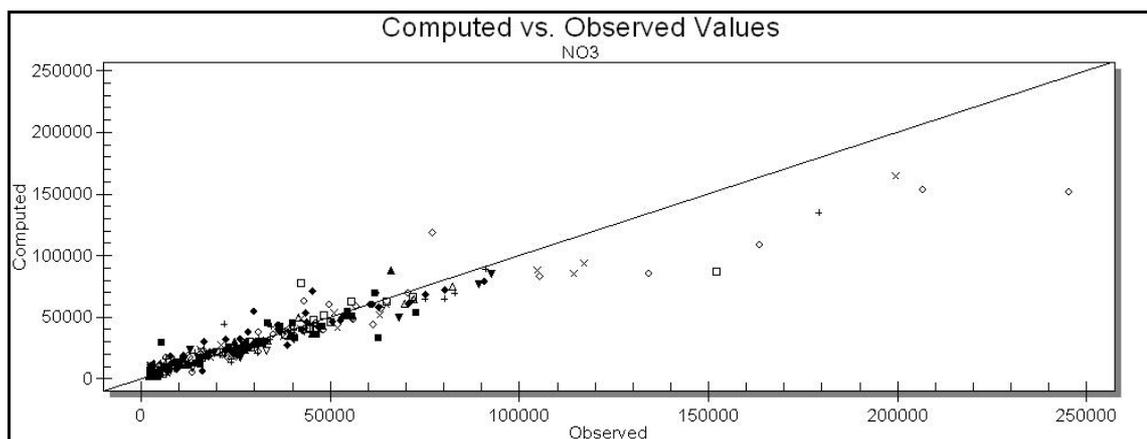
E' tuttavia necessario tenere sotto controllo la coerenza generale a livello di sistema valutando volta per volta i bilanci di massa calcolati, che devono chiudere approssimativamente a zero, nel senso della somma algebrica dei termini in ingresso e in uscita.

Il diagramma riportato sotto (Figura 3.7) mostra uno di questi due possibili confronti (sono entrambi molto simili tra loro); è evidente sia l'ottima relazione che è stata trovata per le concentrazioni fino a circa 100 mg/l. E' invece più problematica la coerenza tra i dati a concentrazione superiore, soprattutto nell'ordine dei 150 – 300 mg/l: in questo caso il modello tende a sottostimare con un errore del 20-40 %.

Va rilevato anche che si tratta di un numero molto piccolo di punti di controllo. Le cause di errore, come si è già accennato, sono diverse e, con tutta probabilità, lo scarto deriva da ciascuna di esse, in misura diversa.

La chiusura del bilancio, invece, è sempre di ottimo livello, dato che sono stati ottenuti valori attorno a 0.001 t/anno a livello regionale.

Figura 3.7 Confronto tra dati calcolati e dati osservati (valori in  $10^3$  mg/l di nitrati)



La taratura del modello consente inoltre di disporre di due strumenti fondamentali di rappresentazione del problema: uno è il bilancio di massa del soluto, che viene associato al bilancio idrogeologico e del quale vengono date le caratteristiche più oltre. L'altro è la possibilità di visualizzare nelle tre dimensioni le concentrazioni stimate del soluto in questione.

In questa sede sono riportati solo alcuni esempi delle concentrazioni, mediante alcune visualizzazione sia sul piano geografico, sia in sezione (da Figura 3.8 a Figura 3.17).

Figura 3.8 Concentrazione nitrati (mg/l) layer 11, istante T2

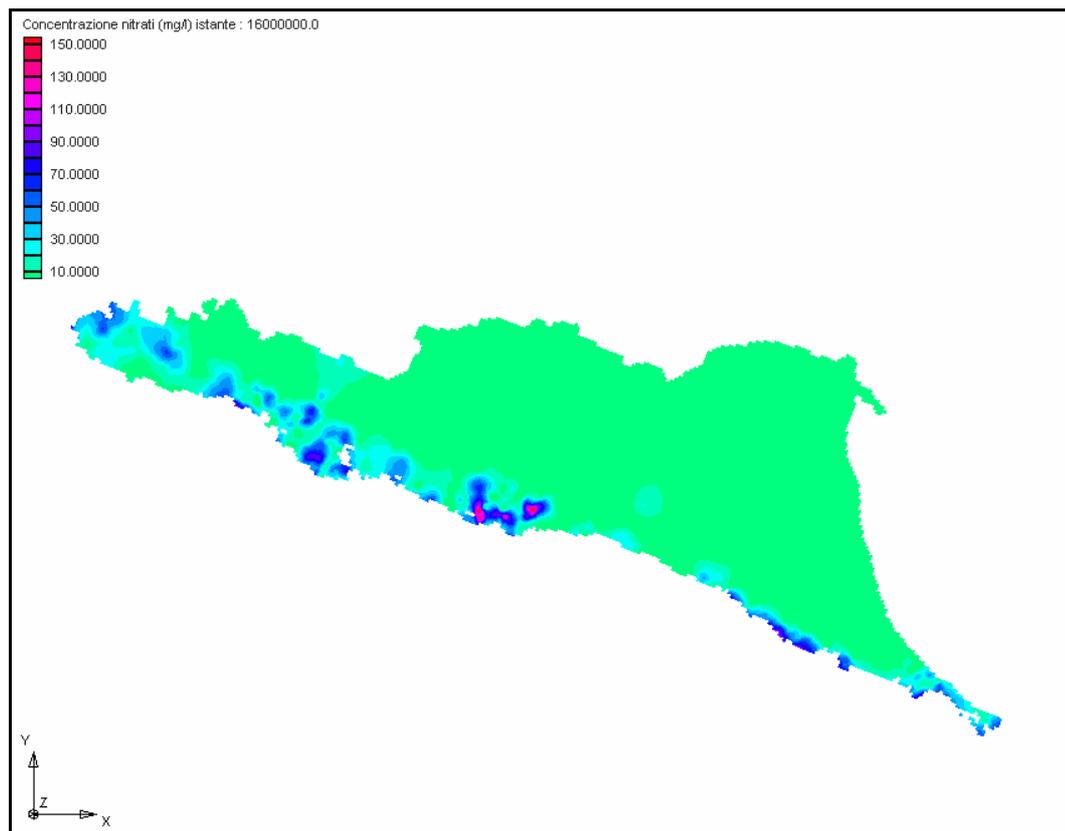


Figura 3.9 Concentrazione nitrati (mg/l) layer 11, istante T4

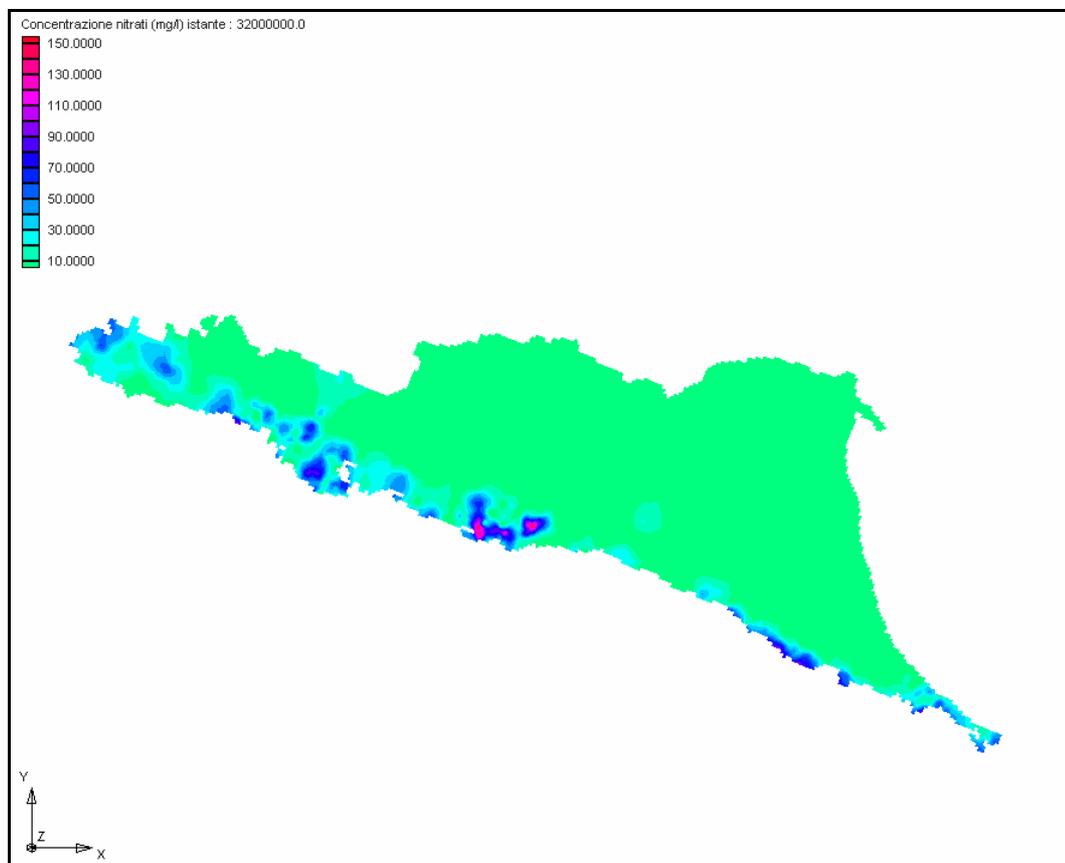


Figura 3.10 Concentrazione nitrati (mg/l) layer 30, istante T2

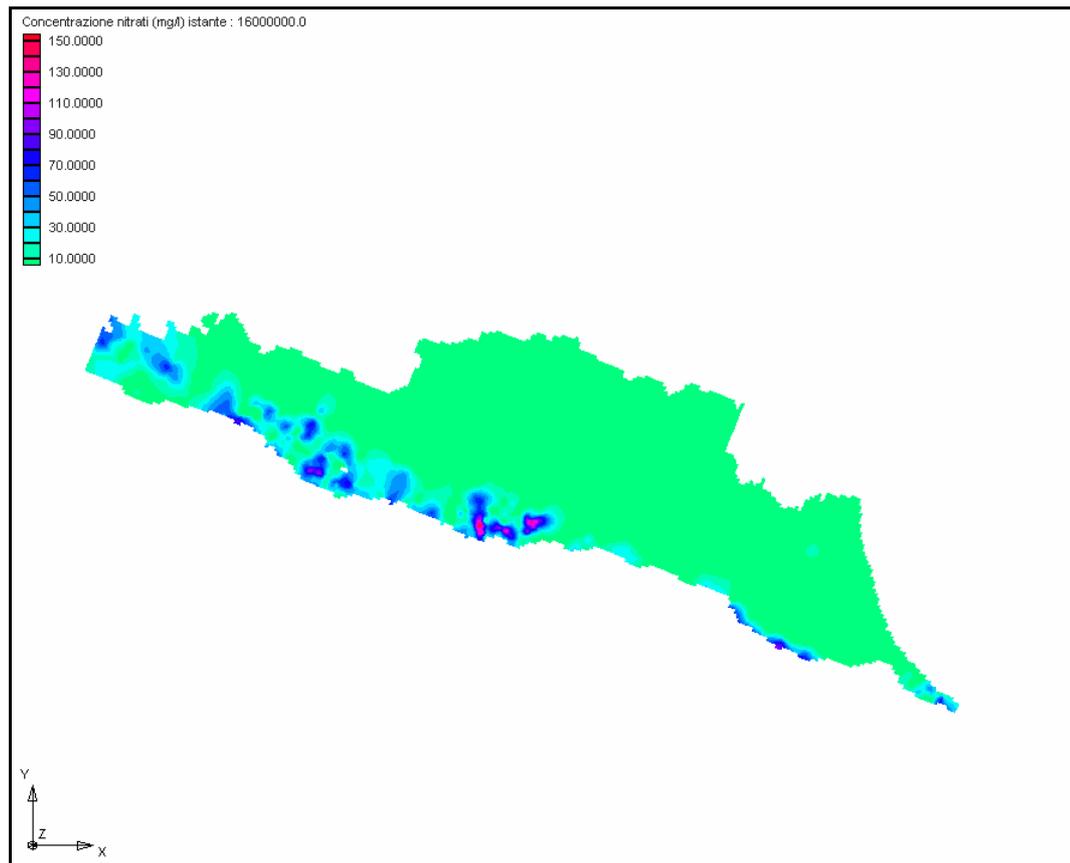


Figura 3.11 Concentrazione nitrati (mg/l) layer 30, istante T4

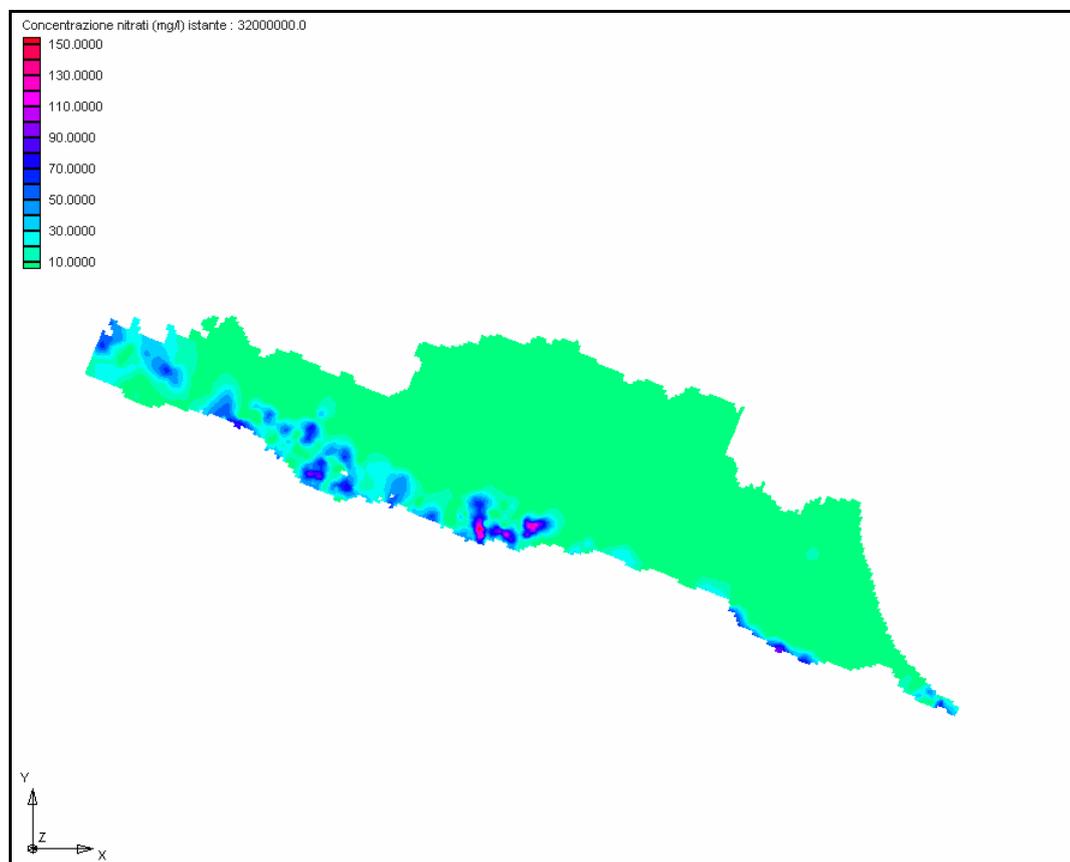


Figura 3.12 Concentrazione nitrati (mg/l) sezione 83 istante T2

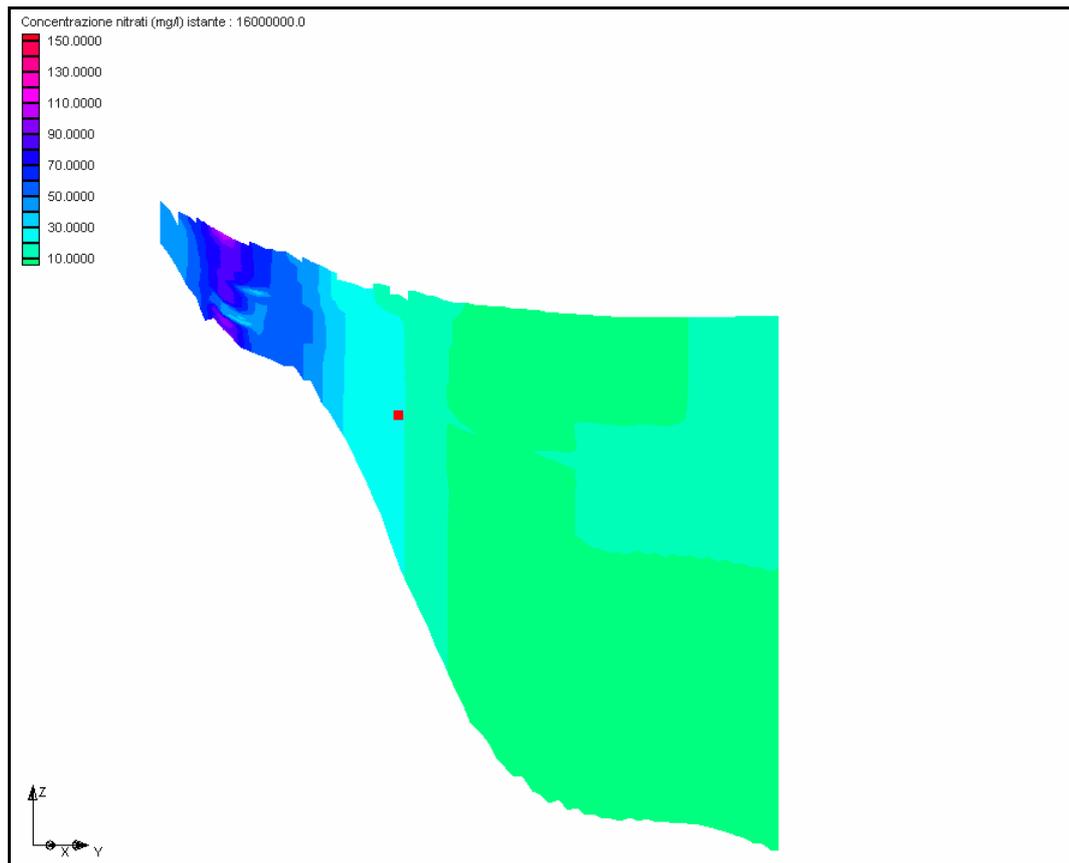


Figura 3.13 Concentrazione nitrati (mg/l) sezione 83 istante T4

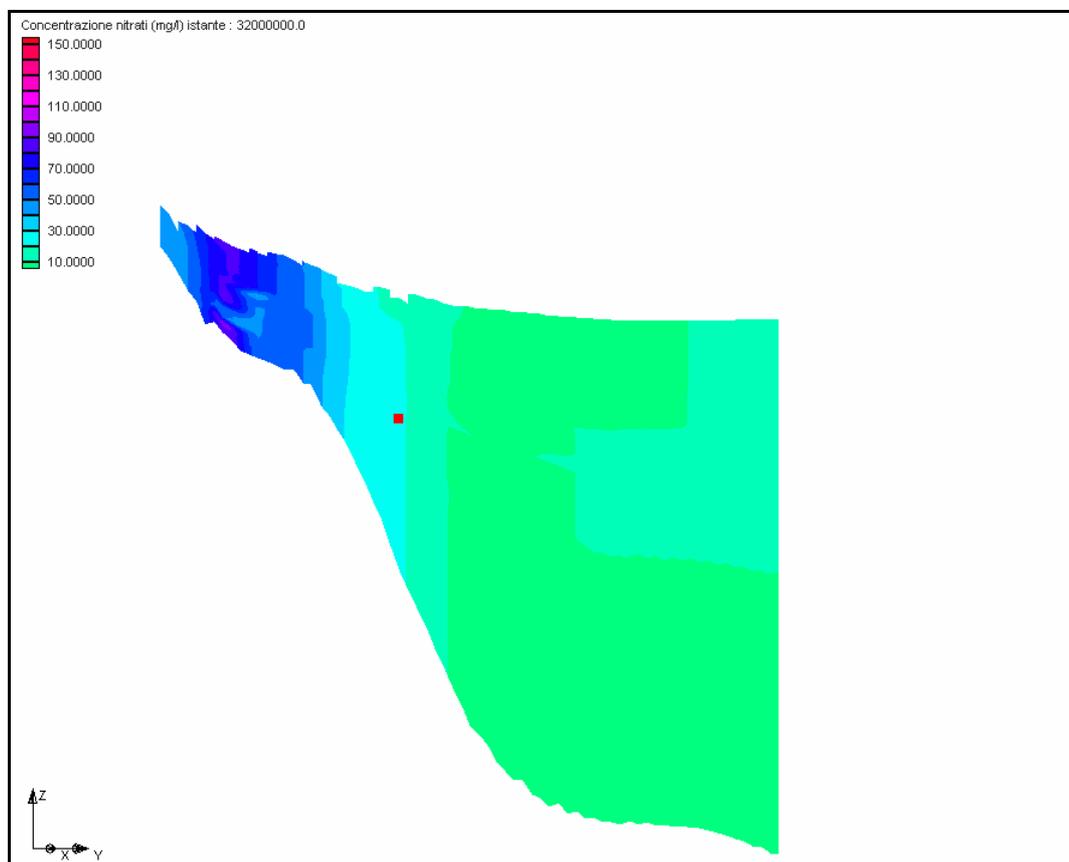


Figura 3.14 Concentrazione nitrati (mg/l) sezione 166 istante T2

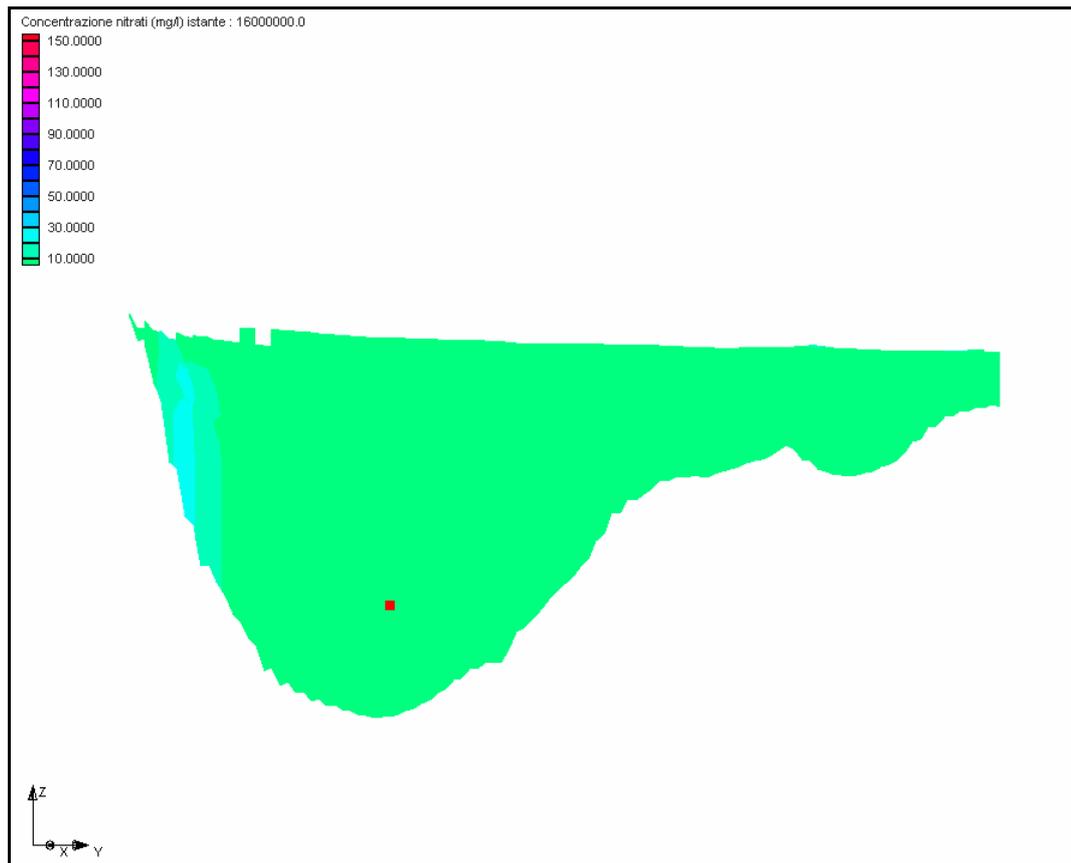


Figura 3.15 Concentrazione nitrati (mg/l) sezione 166 istante T4

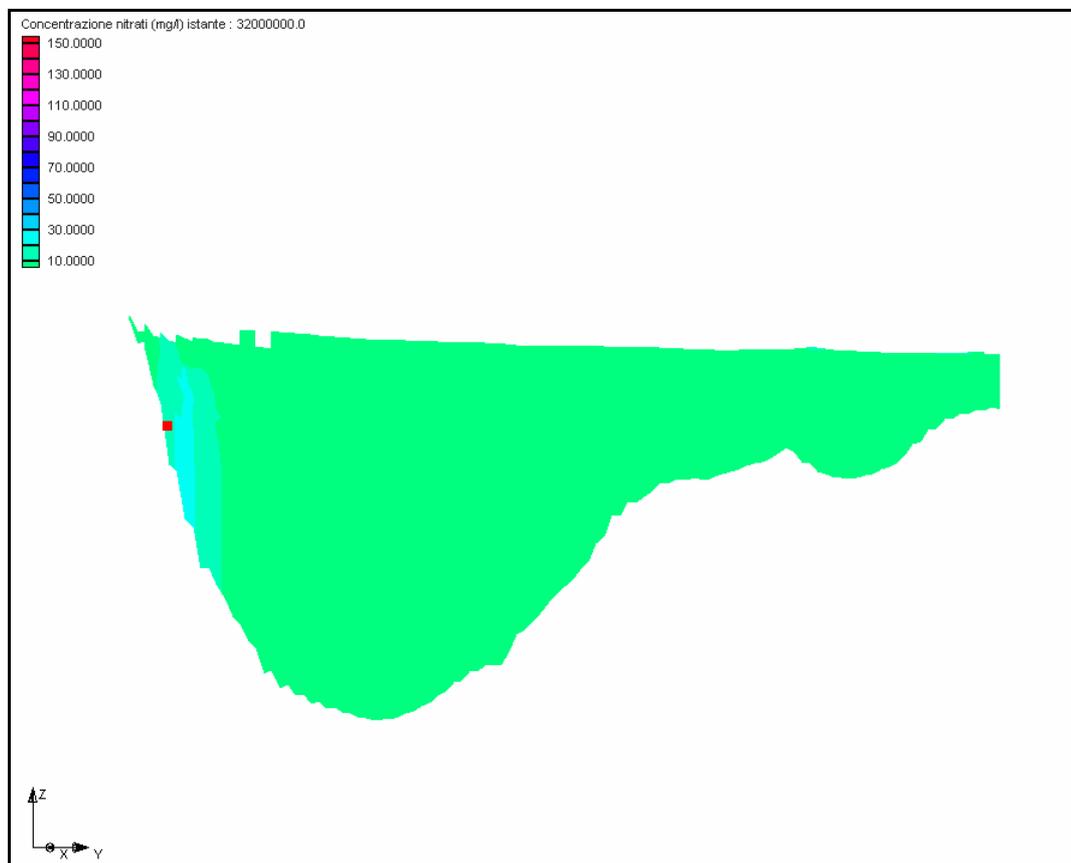


Figura 3.16 Concentrazione nitrati (mg/l) sezione 238 istante T2

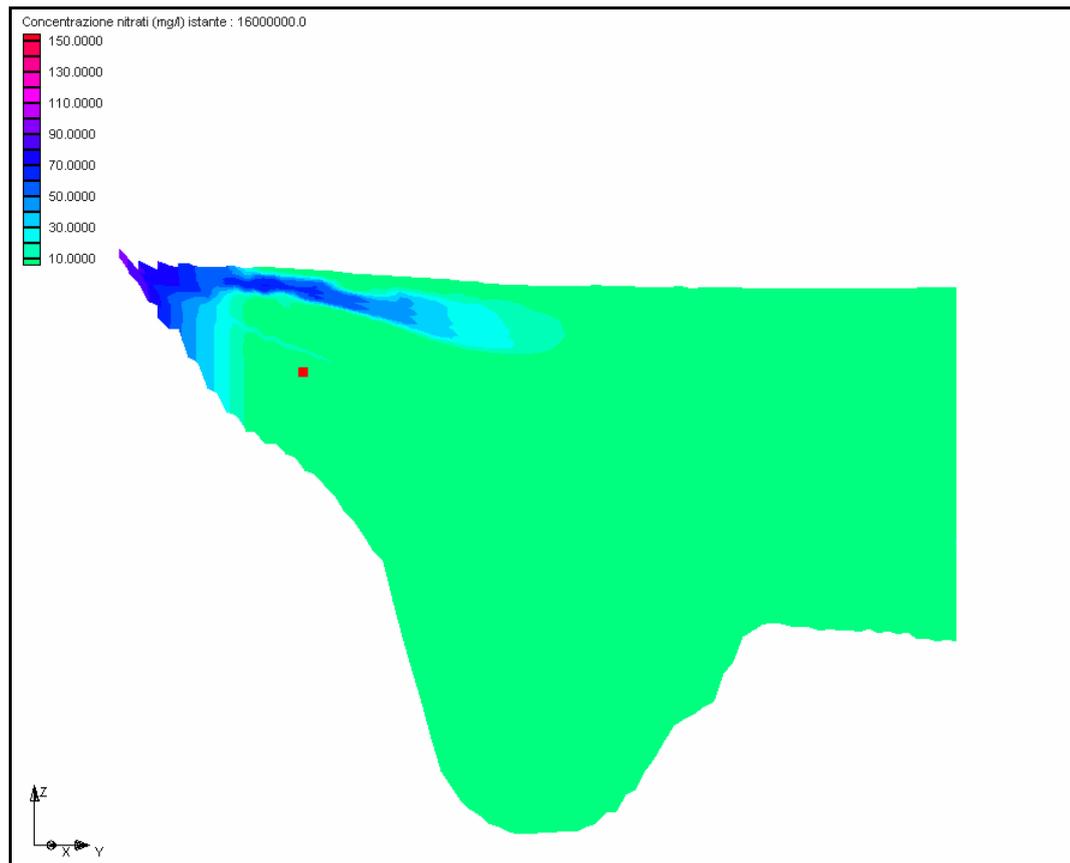
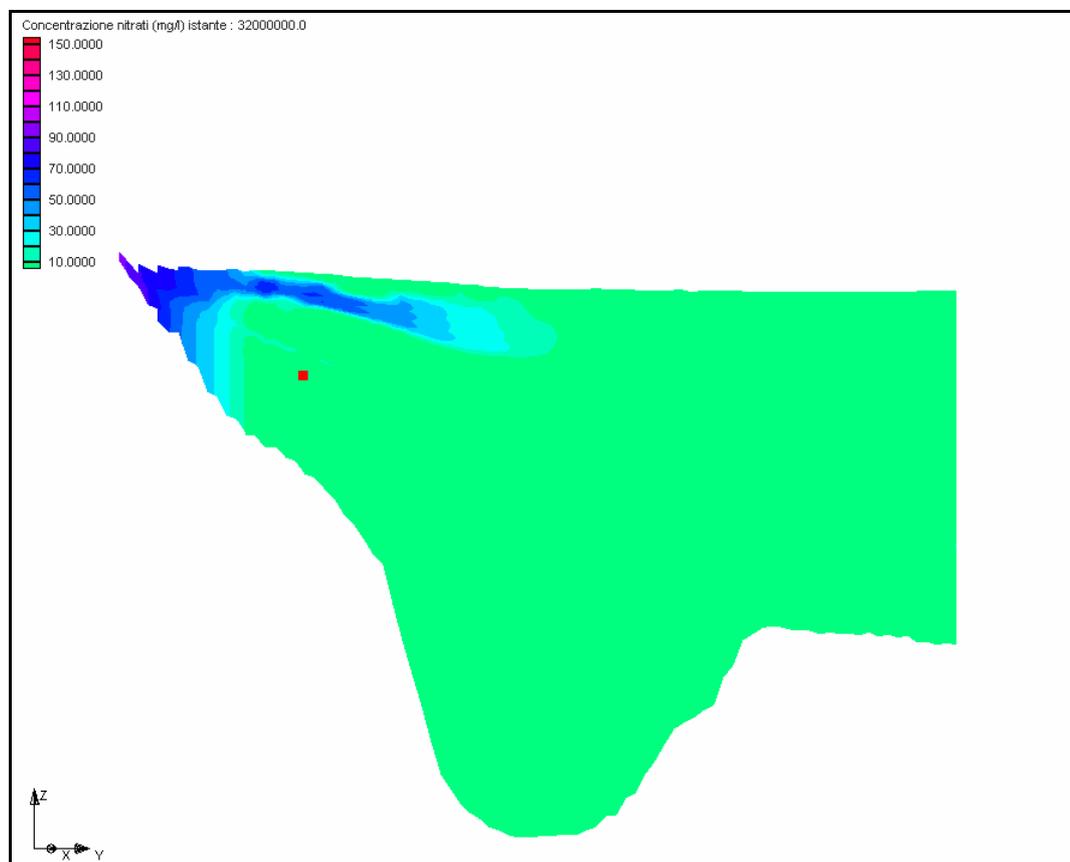


Figura 3.17 Concentrazione nitrati (mg/l) sezione 238 istante T4



### 3.2.3 Bilancio di massa di nitrati

La Tabella 3.3 riporta in dettaglio i termini del bilancio annuale di massa di nitrati che è stato ottenuto al termine della taratura. I bilanci in realtà sono 4, ciascuno riferito ad uno dei cicli principali di calcolo (su base trimestrale, con i simboli T1, T2, T3 e T4) adottati per la realizzazione del modello (Tabella 3.4). Gli stessi dati, aggregati in forma cumulata nei 4 istanti temporali sono esposti graficamente in Figura 3.18.

La massa residente porta nell'anno considerato ad una leggera diminuzione; si tratta tuttavia di un saldo molto modesto, più probabilmente nell'ambito delle incertezze da scontare nel modello.

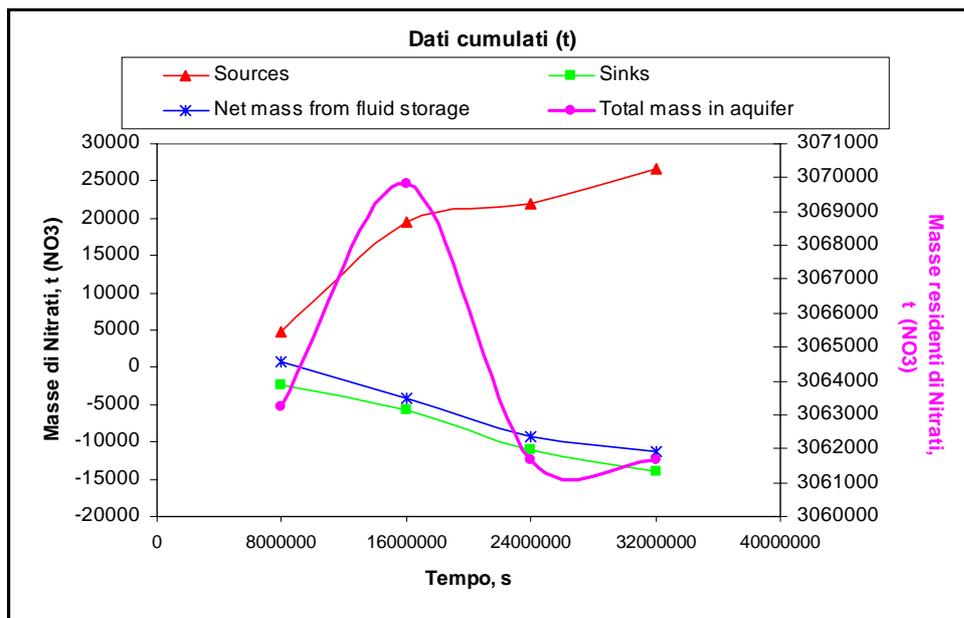
Tabella 3.3 Bilancio regionale di massa dei nitrati (t di NO<sub>3</sub>), intero periodo (anno 2003)

T1-T4	IN	OUT	IN-OUT
Pozzi		12448	-12448
Dreni Fe		408	-408
Carico costante	290	1030	-740
Ricarica	26356		26356
Net mass from fluid storage (soluto)			-11180
Variazione massa residente			1580

Tabella 3.4 Bilancio regionale di massa dei nitrati (t di NO<sub>3</sub>) nei 4 istanti temporali del modello

	IN	OUT	IN-OUT
<b>T1</b>			
Pozzi		1992	-1992
Dreni Fe		91	-91
Carico costante	99	262	-164
Ricarica	4684		4684
Net mass from fluid storage (soluto)			733
Variazione massa residente			3170
<b>T2</b>			
Pozzi		3044	-3044
Dreni Fe		109	-109
Carico costante	76	255	-179
Ricarica	14706		14706
Net mass from fluid storage (soluto)			-4794
Variazione massa residente			6580
<b>T3</b>			
Pozzi		5059	-5059
Dreni Fe		98	-98
Carico costante	65	229	-164
Ricarica	2279		2279
Net mass from fluid storage (soluto)			-5149
Variazione massa residente			-8190
<b>T4</b>			
Pozzi		2353	-2353
Dreni Fe		110	-110
Carico costante	50	283	-233
Ricarica	4687		4687
Net mass from fluid storage (soluto)			-1970
Variazione massa residente			20

Figura 3.18 Termini del bilancio di massa dei nitrati nei 4 istanti temporali del modello (anno 2003), dati cumulati



Una prima forma di disaggregazione del bilancio di nitrati complessivo riguarda le fasce principali in cui è possibile dividere il sistema sotterraneo, considerando in un caso la posizione nel piano geografico (Tabella 3.5), nell'altro caso la ripartizione in due sistemi A e B, come di consueto (Tabella 3.6). Nel primo caso, la disaggregazione del termine in uscita corrispondente ai prelievi da pozzo consente di vedere che le fasce di pianura sono pressoché irrilevanti per quello che riguarda la capacità di regolazione del flusso in uscita dei nitrati, dato che tutta la massa in uscita passa per le conoidi. Nel secondo caso, invece, si vede che lungo la verticale l'uscita da pozzo è ripartita con l'80 % al sistema più superficiale e al 20 % a quello più profondo.

Tabella 3.5 Uscite di nitrati (in %) attraverso i pozzi nei complessi idrogeologici di conoide e di pianura (le percentuali sono riferite al totale del bilancio globale)

Cicli di calcolo:	T1	T2	T3	T4
Conoidi	97.3	94.2	89.3	96.5
Pianura Appenninica	1.1	2.2	2.9	0.9
Pianura Padana	1.6	3.6	7.8	2.6

Tabella 3.6 Uscite di nitrati (in %) attraverso i pozzi nei gruppi acquiferi (le percentuali sono riferite al totale del bilancio globale)

Cicli di calcolo:	T1	T2	T3	T4
Gruppo acquifero A	79.3	79.4	78.8	79.3
Gruppo acquifero B	20.7	20.6	21.2	20.7

Complessivamente l'analisi del bilancio dei nitrati nel periodo di simulazione permette di effettuare le seguenti considerazioni:

- il termine di ingresso associato alla "ricarica" mostra la forte stagionalizzazione (oltre 14.000 t in T2), quindi la natura fortemente impulsiva della fase di ingresso dei nitrati in falda mentre il segnale di uscita attraverso i pozzi (la massa estratta con l'acqua) ha una dinamica molto smorzata rispetto a quella dei nitrati in ingresso, tale dinamica pare maggiormente condizionata dal regime stagionale dei prelievi;
- alla variazione di massa residente nel sistema contribuiscono le fasce di profondità nelle quali insistono i maggiori prelievi di acqua in funzione della concentrazione dell'acqua in uscita dal sistema;

- le principali uscite di nitrati attraverso i pozzi avvengono nei sistemi di conoide e nel gruppo acquifero A più superficiale;
- i prelievi da pozzo, condizionando principalmente il dinamismo dell'acqua, possono determinare inoltre lo spostamento dei nitrati in profondità;
- il ruolo dei bordi, sia a nord che ad est è estremamente limitato, anch'esso a conferma della sostanziale "chiusura " a scala regionale dei sistemi di conoide, che comunicano con la media e bassa pianura solo sulla base del dinamismo dei pozzi;
- nei sistemi deposizionali di pianura si assiste ad un ingresso di nitrati che rimangono nella parte più alta del sistema (acquiferi freatici di pianura).

#### 4. APPLICAZIONE DELLA MODELLISTICA QUALI-QUANTITATIVA PER LE VALUTAZIONI DI SCENARIO AL 2016 RELATIVAMENTE AL PARAMETRO NITRATI

##### 4.1 COSTRUZIONE DELLE SIMULAZIONI DI SCENARIO AL 2016

Una volta implementato e calibrato il modello di simulazione numerica del flusso e del trasporto di nitrati nelle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna risulta disponibile uno strumento utilizzabile per la valutazione delle risposte del sistema a specifiche variazioni delle condizioni cui questo viene sottoposto nel tempo. Risulta quindi possibile costruire un opportuno scenario nell'orizzonte temporale compreso tra il periodo di taratura del modello e l'anno 2016 e valutarne il comportamento. In particolare per la simulazione dell'evoluzione dell'acquifero al 2016 sono stati utilizzati i criteri previsti nell'ambito del PTA regionale, assegnando sia le variazioni dei prelievi che derivano dalle ipotesi di risparmio idrico, sia le variazioni della diffusione di sorgenti di azoto a seguito della riduzione dei carichi in ingresso previste sempre dal PTA. Ove possibile sono stati applicati anche i dati di dettaglio maggiore forniti da alcune Province.

Tutte queste valutazioni si concretizzano per quel che riguarda i prelievi di acque sotterranee nei dati di Tabella 4.1, che contengono lo scenario disaggregato per tipo di prelievo da falda. Il prelievo di tipo zootecnico viene mantenuto costante e quindi non viene riportato nelle tabelle.

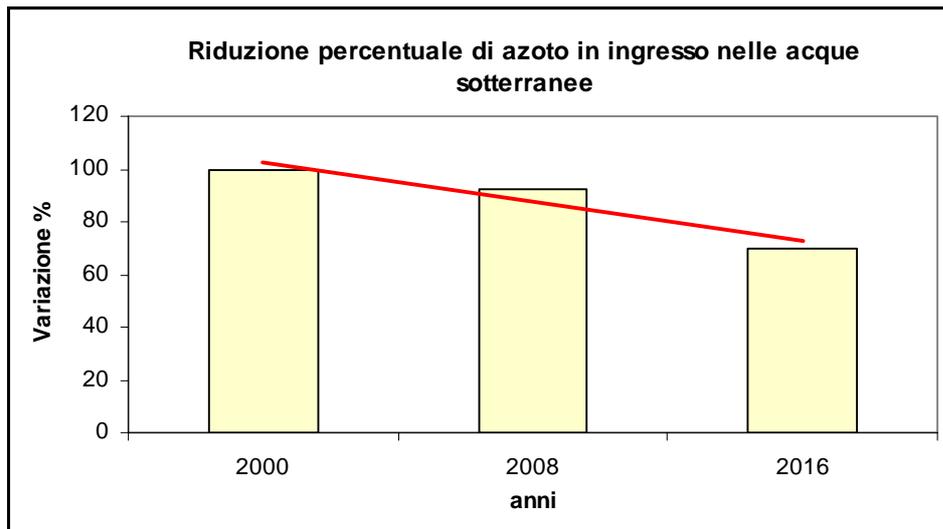
Queste variazioni del regime dei prelievi (generalmente in diminuzione salvo singole situazioni particolari, ad es. il prelievo irriguo di Piacenza) sono state applicate sui singoli pozzi inseriti come prelievo nel modello di flusso in funzione della provincia di appartenenza del pozzo e del tipo di utilizzo a questo associato. Nell'orizzonte temporale 2003-2016 tali variazioni sono state distribuite linearmente nel tempo tenendo in considerazione anche la stima intermedia riferita all'anno 2008.

Tabella 4.1 Sintesi dello scenario del prelievo civile da falda al 2016 (milioni di m<sup>3</sup>)

Provincia	Prelievi Civili			Prelievi Industriali			Prelievi Irrigui		
	2000	2008	2016	2000	2008	2016	2000	2008	2016
Piacenza	26	23	21	14	11	9	54	63	69
Parma	47	42	39	47	41	35	35	39	39
Reggio-Emilia	55	53	52	20	17	15	36	38	36
Modena	66	60	59	31	25	20	13	14	13
Bologna	56	45	41	22	18	15	21	20	17
Ferrara	0	0	0	8	6	5	3	3	3
Ravenna	5	4	3	15	13	6	26	22	17
Forlì-Cesena	8	7	4	10	8	4	15	11	5
Rimini	26	25	22	4	3	3	5	6	3
<b>Totale</b>	<b>288</b>	<b>259</b>	<b>241</b>	<b>171</b>	<b>142</b>	<b>111</b>	<b>208</b>	<b>216</b>	<b>201</b>

Per i nitrati, viene mantenuta ovviamente l'ipotesi iniziale di lavoro di trascurare il ruolo dello strato non saturo, per cui si impone direttamente il carico "netto" di azoto in ingresso nella parte satura del sistema. La riduzione dei carichi viene poi applicata gradualmente nel tempo in base a due intervalli, l'uno dal 2003 al 2008 e l'altro, più significativo, dal 2008 al 2016. L'entità della variazione è riportata nel diagramma di Figura 4.1. Lo scenario prevede quindi una diminuzione al 2016 del 30% delle masse di azoto in ingresso nelle acque sotterranee realizzabile al 25% entro il 2008 ed al 100% al 2016.

Figura 4.1 Scenario della variazione del carico diffuso di azoto



## 4.2 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI EFFETTUATE

### 4.2.1 Considerazioni generali sui risultati per i nitrati

Prima del commento dei risultati in senso stretto, è opportuno riportare alcune considerazioni di ordine generale per guidare la lettura, perché non è del tutto facile, a prima vista, riuscire a rilevare correttamente la complessità dinamica del campo di moto dell'acqua sotterranea e di quello delle sostanze in soluzione associate.

Infatti, di per sé il moto dell'acqua deve scontare tutta l'artificialità del sistema, particolarmente nelle aree di conoide, in cui prevale nettamente e decisamente il moto indotto con l'estrazione da pozzo; il trasporto di massa dei nitrati è ancor più complicato dal fatto che molto spesso non vi è alcun riscontro tra ciò che si osserva sulla verticale del punto di osservazione (tipicamente un pozzo della rete di controllo) e l'effettivo dinamismo che ha generato l'osservazione e che ha le sue origini spesso in zone diverse del sistema acquifero.

Questo è particolarmente rilevante quando lo scenario, in cui dovrebbe prevalere una generale tendenza a calare del nitrato, spesso mostra invece tendenze di segno opposto; queste apparenti incongruenze si spiegano tenendo in considerazione appunto la presenza di fattori diversi e concomitanti:

- la circolazione dell'acqua, nelle aree di conoide è controllata quasi esclusivamente dai pozzi che estraggono l'acqua stessa e così facendo ne determinano il moto;
- la conseguenza diretta è che il trasporto per advezione del nitrato è fondamentale e che il nitrato stesso (o qualsiasi altra sostanza presente, se è per questo) può uscire dal sottosuolo solo attraverso i pozzi; questo aspetto è del resto coerente con il bassissimo valore delle masse scambiate ai bordi che compare nella precedente tabella del bilancio generale di massa. In assenza di estrazione, la velocità dell'acqua si abbassa bruscamente (tende rapidamente a zero con l'aumentare della profondità) e l'uscita della massa trasportata si interrompe di conseguenza;
- per lo stesso motivo, le masse residenti di azoto non sono semplicemente soggette a variazioni in termini di quantità, ma, dipendendo dal campo di moto, si spostano con esso sia e soprattutto per advezione, ma anche per diffusione. Poiché queste dinamiche sono in funzione da molto tempo, va scontata una inerzia di sistema non indifferente.

Lo scenario al 2016 prevede una doppia variazione di sistema; una è quella che riguarda la riduzione della massa di nitrati in ingresso attraverso le politiche esplicitate nel PTA, l'altra è quella che si riferisce al risparmio idrico.

La diminuzione della massa in ingresso è di per sé un fattore largamente positivo, ma è in certo modo bilanciato negativamente dalla minore produzione di acqua da pozzo che, per effetto del risparmio idrico, consente una minore uscita di nitrati. Inoltre, la minore estrazione d'acqua rallenta anche il campo di moto, per cui lo spostamento delle masse all'interno dell'acquifero avviene con dinamiche diverse da quelle osservate fino ad oggi.

L'analisi dei risultati delle simulazioni viene quindi effettuata con una doppia chiave di lettura, la prima in termini di evoluzione delle concentrazioni di nitrati direttamente sui punti di controllo delle reti di monitoraggio, la seconda in termini di evoluzione delle masse residenti nell'intero sistema.

Per la valutazione dell'evoluzione della concentrazione di nitrati sui punti di misura delle reti di monitoraggio sono stati appositamente realizzati degli elaborati cartografici dei quali in Figura 4.2 è riportato ad esempio quello relativo al territorio della provincia di Piacenza. Tali elaborati permettono il confronto dei valori medi annui di concentrazione di nitrati osservati nel 2005 ed il medesimo valore calcolato al 2016 sulla base degli scenari di simulazione. Nell'elaborato viene inserito a destra del punto di misura una freccia indicante una tendenza all'aumento o alla diminuzione della concentrazione relativamente all'intero periodo di simulazione. La variazione di concentrazione di nitrati utilizzata per definire tale indicazione di tendenza corrisponde ad 1 mg/l totale per l'intero periodo di simulazione ed è stata scelta per evidenziare i pozzi con permanente segnale di stabilità.

#### 4.2.2 Stima dell'evoluzione delle concentrazioni dei nitrati al 2016

##### 4.2.2.1 Provincia di Piacenza

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Piacenza sono in tutto 48, di cui 39 (circa l'80%), captano acque del Gruppo acquifero A, mentre i restanti 9 interessano il Gruppo acquifero B.

Per quanto riguarda il Gruppo acquifero A, vi è una buona distribuzione spaziale dei punti di misura, sia nelle conoidi che in pianura. Volendo dare un quadro riassuntivo qualitativo delle conoidi del Gruppo acquifero A, si può osservare che al 2005 vi sono su un totale di 25 pozzi:

- 2 pozzi (8%) in classe 1 (0-5 mg/l) con concentrazione media di nitrati pari a 3.2 mg/l e crescente fino a 6.8 mg/l nello scenario al 2016, con conseguente passaggio in classe 2 (5-25 mg/l)
- 10 pozzi (40%) in classe 2 con concentrazione media uguale a 16 mg/l e praticamente stabili o in leggero aumento al 2016, con il passaggio di un pozzo alla classe 3 (25-50 mg/l)
- 12 pozzi (48%) in classe 3 con concentrazione media di circa 40 mg/l e decrescente al 2016 fino a 36 mg/l
- 1 pozzo (4%) in classe 4 (>50mg/l), ubicato nel bordo sud-orientale della Conoide del T. Arda, avente una concentrazione pari a 59.5 mg/l, con tendenza al miglioramento al 2016 fino a 54.5 mg/l.

Nel restante territorio di pianura si trovano 14 pozzi captanti sempre acque del Gruppo acquifero A classificati nel seguente modo:

- 10 pozzi (72%) in classe 1, aventi concentrazioni medie dei nitrati molto contenute di 1 mg/l, crescenti nello scenario al 2016 fino a circa 4 mg/l, con passaggio per 4 pozzi alla classe 2
- 2 pozzi (14%) in classe 2 aventi concentrazioni medie di nitrati di 22 mg/l, leggermente crescenti al 2016 fino a 24 mg/l, con il passaggio di un pozzo alla classe 3
- 2 pozzi (14%) in classe 3 aventi concentrazioni medie di nitrati di 37 mg/l, leggermente decrescenti nello scenario al 2016 fino a circa 34.5 mg/l.

Per quanto riguarda il Gruppo Acquifero B, sono disponibili 9 pozzi, ubicati tutti nelle conoidi e classificati qualitativamente al 2005 nel seguente modo:

- 5 pozzi (56%) in classe 2 con concentrazioni medie di nitrati intorno a 14 mg/l, praticamente stabili al 2016
- 2 pozzi (22%) in classe 3 con concentrazioni medie di circa 32 mg/l, stabili al 2016
- 2 pozzi (22%) in classe 4 con concentrazioni medie di 73 mg/l, aventi però un trend in diminuzione al 2016 fino a circa 68 mg/l.

Nel complesso lo stato qualitativo della provincia di Piacenza, per entrambi i Gruppi acquiferi A e B, è caratterizzato da concentrazioni quasi sempre inferiori ai 50 mg/l.

Da uno sguardo alla mappa dei pozzi con le concentrazioni dei nitrati relative al Gruppo acquifero A, si riescono ad individuare tre aree caratterizzate da trend in diminuzione: una nella porzione distale della Conoide del F. Tidone-T. Bardonezza; un'altra a Est del F. Trebbia nelle porzioni centro-distali delle Conoidi del Trebbia e del T. Nure; ed infine la terza nella zona sud-orientale della Conoide del T. Arda. Queste aree sono interessate da prelievi idrici numerosi e più consistenti in volume rispetto a quelle circostanti, per cui sembra che tali prelievi permettano di ottenere nel tempo una pulizia della falda

sotterranea. Nella parte centro-orientale della provincia di Piacenza si registra, invece un trend in aumento al 2016 (Figura 4.2)

La situazione delle Conoidi del Trebbia e del Nure appare per il Gruppo Acquifero B mediamente stabile con valori prevalentemente in classe 2, in leggera diminuzione in apice e in lieve aumento nelle porzioni distali, mentre i due soli pozzi disponibili per le Conoidi del Tidone e per quella dell'Arda sono classificati in classe 4, ma mostrano una tendenza alla diminuzione di 5 mg/l per lo scenario al 2016, grazie ai prelievi idrici insistenti in corrispondenza dei punti di osservazione.

#### 4.2.2.2 *Provincia di Parma*

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Parma sono ben 80, in quanto fanno parte, oltre che della Rete Regionale di monitoraggio delle acque sotterranee, anche della Rete provinciale di Parma. La maggior parte (70 pozzi, ovvero circa l'88%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 10 interessano il Gruppo Acquifero B.

Per quanto riguarda il Gruppo acquifero A, vi è una buona distribuzione spaziale dei punti di misura, soprattutto nelle conoidi, ma anche in pianura. Le concentrazioni di nitrati osservate al 2005 e le relative tendenze di scenario al 2016 appaiono variabili da zona a zona, talora con situazioni locali significativamente differenti dall'areale circostante.

Per il Gruppo Acquifero A sono disponibili nelle conoidi 52 pozzi classificati al 2005 nel seguente modo:

- 10 pozzi (20%) in classe 1 con concentrazione media di nitrati uguale a 1.5 mg/l, con tendenza all'aumento nello scenario al 2016 fino a 10 mg/l, con il passaggio di 6 pozzi alla classe 2 ed 1 alla classe 3, anche se questo è di poco superiore alla soglia dei 25mg/l
- 13 pozzi (25%) in classe 2 con concentrazione media di 16.5 mg/l, mediamente crescenti al 2016 fino a 20.8 mg/l, con il passaggio di 1 pozzo alla classe 3, 1 alla classe 4 ed 1 con miglioramento alla classe 1
- 21 pozzi (40%) in classe 3 con concentrazione media di circa 36 mg/l, con tendenza alla diminuzione al 2016 fino a 32 mg/l, con 2 pozzi passanti alla classe 2
- 8 pozzi (15%) in classe 4 con concentrazione media di 70 mg/l, con tendenza alla diminuzione al 2016 fino a circa 66 mg/l.

Sempre nel Gruppo Acquifero A, ma nella pianura vi sono 18 pozzi così classificati:

- 14 pozzi (78%) in classe 1 con concentrazione media di nitrati di 0.6 mg/l (nitrati assenti), praticamente stabili nello scenario al 2016
- 4 pozzi (22%) in classe 2 con concentrazione media di 17.3 mg/l, con leggera tendenza alla diminuzione al 2016 fino a 14.8 mg/l.

Dall'osservazione della mappa dei pozzi con le suddette concentrazioni di nitrati si riescono ad individuare alcuni raggruppamenti di pozzi con tendenza alla diminuzione nello scenario al 2016: due nella Conoide del F. Taro, rispettivamente nella porzione centro-occidentale e in quella nord-orientale ed un altro nella Conoide del T. Parma - T. Baganza nella parte centro-orientale. Inoltre nella conoide minore in sinistra del F. Taro vi sono due pozzi con trend in diminuzione che individuano una stretta fascia al centro della conoide avente direzione SO-NE. Altri due pozzi con tendenza sempre in miglioramento sono ubicati verso il F. Po nella parte orientale della Pianura Padana che interessa la provincia di Parma (Figura 4.3)

È interessante notare che sembra esistere in larga parte un rapporto di causa-effetto fra i prelievi idrici ubicati nelle conoidi e la dinamica di miglioramento qualitativo delle falde, infatti proprio nelle aree su cui vengono attinti i maggiori volumi d'acqua, si registra una tendenza negli anni alla diminuzione delle concentrazioni dei nitrati nelle acque di falda.

Per quanto riguarda la caratterizzazione qualitativa del Gruppo Acquifero B, sono disponibili 10 pozzi, ubicati tutti nelle conoidi e concentrati esclusivamente nella porzione centro-occidentale della Conoide del F. Taro e in quella centro-orientale della Conoide del T. Parma - T. Baganza, classificati al 2005 nel seguente modo:

- 2 pozzi (20%) in classe 1 con concentrazione media dei nitrati molto contenuta di 0.3 mg/l, con tendenza all'aumento al 2016 fino a 8.9 mg/l, con il conseguente passaggio alla classe 2
- 1 pozzo (10%) in classe 2 con concentrazione media di 15.5 mg/l, crescente al 2016 fino a 20.5 mg/l

- 4 pozzi (40%) in classe 3 con concentrazione media intorno ai 33.5 mg/l, praticamente stabili al 2016 (per l'esattezza in lievissima diminuzione)
- 3 pozzi (30%) in classe 4 con concentrazione media intorno ai 54 mg/l, praticamente stabili al 2016.

La tendenza della dinamica al 2016 delle concentrazioni dei nitrati dei pozzi disponibili per il Gruppo Acquifero B, si presenta con carattere locale. I pozzi con trend in diminuzione si trovano: due nella zona centro-occidentale della Conoide del F. Taro ed uno ad Ovest del T. Parma nella porzione centrale dell'omonima conoide. Per questi pozzi gioca sempre un ruolo fondamentale l'entità dei prelievi idrici, superiore rispetto alle aree circostanti.

Riassumendo, lo stato qualitativo della provincia di Parma è abbastanza buono in pianura, mentre nelle conoidi vi sono aree più o meno critiche, anche se la maggior parte dei pozzi in classe 3 e 4 mostrano trend in diminuzione.

#### **4.2.2.3 Provincia di Reggio Emilia**

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Reggio Emilia sono in tutto 40, di cui 28 (il 70%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 12 interessano il Gruppo Acquifero B.

Nel complesso lo stato qualitativo relativo alla concentrazione dei nitrati della provincia di Reggio Emilia appare buono per entrambi gli Acquiferi A e B.

Per la caratterizzazione del Gruppo Acquifero A, vi è una distribuzione spaziale abbastanza uniforme dei punti di controllo, anche se numericamente non molto abbondanti, mentre per il Gruppo Acquifero B, i pozzi disponibili sono ubicati solo nella porzione orientale della Conoide del T. Enza e lungo il confine orientale della provincia di Reggio Emilia.

Vista la buona omogeneità delle concentrazioni dei nitrati riscontrate per entrambi i gruppi acquiferi, la classificazione dei pozzi può essere fatta raggruppando i due Gruppi acquiferi A e B e classificando i pozzi su scala provinciale, per cui sul totale dei 40 pozzi al 2005 risultano:

- 21 pozzi (53%) in classe 1 con concentrazione media dei nitrati molto contenuta di 0.8 mg/l, praticamente stabili nello scenario al 2016
- 14 pozzi (35%) in classe 2 con concentrazione media di 12.6 mg/l, in lieve aumento al 2016 fino a 14.5 mg/l
- 5 pozzi (12%) in classe 3 con concentrazione media di 32.5 mg/l, stabili al 2016 (per l'esattezza in lievissima diminuzione).

Da segnalare rispetto al resto della provincia di Reggio Emilia, caratterizzata per lo più da pozzi nella migliore classe 1, la Conoide del T. Enza con pozzi in classe 2 per il Gruppo Acquifero A con 3 pozzi in classe 3 per il Gruppo Acquifero B.

Il trend generale al 2016 della provincia di Reggio Emilia è di stabilità delle concentrazioni di nitrati (Figura 4.4).

#### **4.2.2.4 Provincia di Modena**

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Modena sono ben 104, in quanto fanno parte oltre che della Rete Regionale di Monitoraggio delle Acque Sotterranee, anche della Rete provinciale di Modena. La maggior parte (94 pozzi, ovvero il 90%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 10 interessano il Gruppo Acquifero B.

Per quanto riguarda la distribuzione spaziale dei punti di controllo del Gruppo Acquifero A, vi è una elevata concentrazione di pozzi nelle conoidi e discreta in pianura, mentre per il Gruppo Acquifero B sono disponibili solo alcuni pozzi nelle porzioni centro-apicali delle conoidi.

Per il Gruppo Acquifero A sono presenti nelle conoidi 73 pozzi classificati al 2005 nel seguente modo:

- 10 pozzi (14%) in classe 1 con concentrazione media di nitrati intorno a 1 mg/l, praticamente stabili nello scenario al 2016, eccetto 1 pozzo che passa alla classe 2 con valore di poco superiore ai 5 mg/l
- 18 pozzi (25%) in classe 2 con concentrazione media di 14.7 mg/l, leggermente crescenti al 2016 fino a 17.7 mg/l, con il passaggio di 3 pozzi alla classe 3 ed uno in miglioramento alla classe 1
- 17 pozzi (23%) in classe 3 con concentrazione media di circa 38 mg/l, mediamente stabili al 2016, eccetto 3 pozzi che passano alla classe 3 ed uno in miglioramento alla classe 2

- 28 pozzi (38%) in classe 4 con concentrazione media di circa 82 mg/l, con tendenza alla diminuzione al 2016 fino a 77.5 mg/l, con passaggio migliorativo alla classe 3 per 3 pozzi.
- Sempre nel Gruppo Acquifero A, ma nella pianura vi sono 21 pozzi così classificati:
- 20 pozzi (95%) in classe 1 con concentrazione media di nitrati di circa 0.6 mg/l, stabili nello scenario al 2016
  - 1 pozzo (5%) in classe 2 con concentrazione di 5.3 mg/l, stabili al 2016.

Per quanto riguarda la caratterizzazione qualitativa del Gruppo Acquifero B, sono disponibili 10 pozzi, ubicati tutti nelle conoidi, eccetto uno che si trova in pianura appenninica lungo il confine occidentale della provincia di Modena. Tali pozzi sono concentrati nella porzione centrale della Conoide del F. Secchia e in quella apicale della Conoide del F. Panaro; sono classificati al 2005 nel seguente modo:

- 2 pozzi (20%) in classe 1, di cui uno con concentrazione dei nitrati di 1.6 mg/l in aumento al 2016 fino a 9.2 mg/l, con il conseguente passaggio alla classe 2, mentre l'altro pozzo è quello di pianura con concentrazione molto contenuta di 0.5 mg/l e stabile al 2016
- 4 pozzi (40%) in classe 2 con concentrazione media di 13.5 mg/l, leggermente crescente al 2016 fino a 16 mg/l, con il passaggio di un pozzo alla classe 3
- 4 pozzi (40%) in classe 3 con concentrazione media di 40 mg/l, in diminuzione al 2016 fino a 33.7 mg/l.

Da uno sguardo alle mappe dei pozzi per la caratterizzazione qualitativa degli Acquiferi, si può notare che le zone critiche sono quelle con la maggiore densità di dati di concentrazione dei nitrati, ovvero le porzioni centrali delle conoidi.

La situazione peggiore riguarda il Gruppo Acquifero A, con numerosi pozzi con concentrazioni di nitrati superiori ai 50 mg/l, il quale risente sicuramente degli apporti di nitrati sversati in superficie, anche se lo scenario di simulazione al 2016 mostra per la maggior parte di questi pozzi un trend in diminuzione delle concentrazioni dei nitrati. Tali zone sono ubicate nella porzione centro-orientale della Conoide del F. Secchia e in quella centro-apicale della Conoide del F. Panaro. Tale dinamica di pulizia della falda è sicuramente legata ai prelievi significativi sia per numero che per volume, che insistono in queste aree. Nelle restanti parti delle conoidi si riscontrano tendenze all'aumento o stabili, con concentrazioni di nitrati più contenute nelle porzioni distali.

La pianura presenta un buono stato qualitativo del Gruppo Acquifero A (il B non è praticamente indagato), con nitrati in classe 1 e trend stabili al 2016 (Figura 4.5).

#### **4.2.2.5 Provincia di Bologna**

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Bologna sono in tutto 43, di cui 30 (il 70%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 13 interessano il Gruppo Acquifero B.

Nel complesso lo stato qualitativo della provincia di Bologna è buono per entrambi gli Acquiferi A e B. La distribuzione dei pozzi sul territorio non è uniforme. Le zone con maggiore copertura si trovano nelle conoidi (27 pozzi, ovvero il 63%), mentre per la pianura sono disponibili 13 pozzi (il 30%) solo nella porzione occidentale per il Gruppo Acquifero A e soltanto 3 pozzi (il 7%) in quella centrale per il Gruppo Acquifero B.

La classificazione qualitativa relativa al 2005 dei 27 pozzi ubicati nelle conoidi è la seguente:

- 17 pozzi (63%) in classe 1 con concentrazione media di nitrati uguale a 1.2 mg/l, stabili nello scenario al 2016
- 5 pozzi (18%) in classe 2 con concentrazione media di 12.3 mg/l, leggermente decrescenti al 2016 fino a 10.8 mg/l
- 4 pozzi (15%) in classe 3 con concentrazione media di circa 28.5 mg/l, con lieve tendenza alla diminuzione al 2016 fino a 27.5 mg/l, con 1 pozzo passante alla classe 2
- 1 pozzo (4%) in classe 4 con concentrazione media di 70 mg/l, stabile al 2016.

La classificazione qualitativa relativa al 2005 dei 16 pozzi ubicati in pianura è la seguente:

- 12 pozzi (75%) in classe 1 con concentrazione media di nitrati uguale a poco più di 1 mg/l, stabile nello scenario al 2016
- 4 pozzi (25%) in classe 2 con concentrazione media di circa 10 mg/l, stabile nello scenario al 2016.

La situazione qualitativa della provincia di Bologna, si presenta quindi in buono stato, con la maggior parte dei pozzi in classe 1 ed una tendenza generale stabile al 2016. L'unico pozzo in classe 4 riguarda il Gruppo Acquifero A ed è ubicato nella porzione apicale orientale della Conoide dei T. Idice e Zena.

Localmente, vi è una tendenza in miglioramento per il Gruppo Acquifero A, per 2 pozzi della porzione apicale della Conoide dei T. Idice e Zena e per uno della porzione centro-orientale della Conoide del T. Santerno e per un pozzo del Gruppo Acquifero B, ubicato nella porzione apicale della Conoide del F. Reno e T. Lavino (Figura 4.6).

#### **4.2.2.6 Provincia di Ferrara**

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Ferrara non sono numerosi: 21 in tutto, di cui 18 (l'86%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 3 interessano il Gruppo Acquifero B.

La distribuzione dei pozzi sul territorio non è uniforme: il Gruppo Acquifero A non è infatti ben rappresentato nella porzione centro-occidentale e in quella orientale della pianura; mentre il Gruppo Acquifero B ha pochi pozzi ubicati solo in corrispondenza del confine meridionale provinciale, ma è anche vero che quest'ultimo gruppo acquifero nella porzione centro-settentrionale ferrarese non è più d'acqua dolce, perché risente della presenza delle acque salate legate all'alto strutturale della dorsale ferrarese, per cui la mancanza di punti di controllo è voluta.

I pozzi disponibili sono classificati al 2005 tutti in classe 1 con concentrazione media dei nitrati di circa 0.6 mg/l, praticamente stabili nello scenario al 2016. Fa eccezione un pozzo in classe 2, relativo al Gruppo Acquifero B, ubicato nella porzione centro-meridionale della provincia, con concentrazione di circa 10 mg/l, stabile al 2016.

Lo stato qualitativo della Provincia di Ferrara è quindi buono per il Gruppo Acquifero A e buono per il B (con l'eccezione appena menzionata), con un trend al 2016 complessivamente di stabilità e leggermente in crescita per 3 pozzi ubicati vicino al F. Po (Figura 4.7).

#### **4.2.2.7 Provincia di Ravenna**

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Ravenna sono in tutto 33, di cui 24 (il 73%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 9 interessano il Gruppo Acquifero B.

Lo stato qualitativo della provincia di Ravenna è buono per entrambi gli Acquiferi A e B.

La distribuzione dei pozzi sul territorio non è completamente uniforme: il Gruppo Acquifero A è rappresentato in tutta la provincia, eccetto la porzione di pianura appenninica centro-occidentale, mentre il Gruppo Acquifero B è rappresentato solo nella pianura appenninica.

Nelle conoidi sono disponibili solo 3 pozzi relativi al Gruppo Acquifero A, classificati al 2005 nel seguente modo:

- 2 pozzi in classe 1 con concentrazione media dei nitrati pari a 1.8 mg/l in netta crescita nello scenario al 2016 fino a 9 mg/l, con conseguente passaggio alla classe 2
- 1 pozzo in classe 3 con concentrazione di 26 mg/l in leggera crescita nello scenario al 2016 fino a 29 mg/l.

Nella pianura, che occupa la maggior parte del territorio della provincia di Ravenna, sono ubicati quasi tutti i pozzi (30 dei 33 totali), classificati al 2005 tutti in classe 1, aventi concentrazione media dei nitrati uguale a circa 1.4 mg/l, stabile nello scenario al 2016.

Si osserva quindi per tutta la pianura uno stato qualitativo buono degli Acquiferi A e B, con una tendenza di stabilità al 2016, mentre per le Conoidi del T. Senio e del F. Lamone lo stato qualitativo del Gruppo Acquifero A complessivamente abbastanza buono al 2005, tende a peggiorare nello scenario al 2016 (Figura 4.8).

#### **4.2.2.8 Provincia di Forlì-Cesena**

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella provincia di Forlì-Cesena sono in tutto 28, di cui 21 (il 75%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 7 interessano il Gruppo Acquifero B.

La distribuzione dei pozzi sul territorio è abbastanza uniforme per il Gruppo Acquifero A, anche se la porzione centro-occidentale della provincia non ha un'alta densità di punti di controllo, mentre il Gruppo Acquifero B non ha dati nella parte centro-orientale della provincia.

Volendo dare un quadro riassuntivo qualitativo delle conoidi del Gruppo Acquifero A, si può osservare che al 2005 vi sono su un totale di 15 pozzi:

- 10 pozzi (67%) in classe 1 con concentrazione media di nitrati pari a 1.8 mg/l, crescente fino a 5.4 mg/l nello scenario al 2016 con il passaggio in classe 2 per 4 pozzi
- 1 pozzo (7%) in classe 2 con concentrazione uguale a 18 mg/l, con tendenza al 2016 in leggero miglioramento fino a 15.7 mg/l
- 2 pozzi (13%) in classe 3 con concentrazione media di 43.5 mg/l e leggermente crescente al 2016 fino a 45.7 mg/l
- 2 pozzi (13%) in classe 4, con concentrazione media di circa 72 mg/l decrescente al 2016 fino a circa 64 mg/l.

Nel restante territorio di pianura si trovano 6 pozzi captanti sempre acque del Gruppo Acquifero A classificati nel seguente modo:

- 5 pozzi (83%) in classe 1, aventi concentrazione media di nitrati di 1.4 mg/l, leggermente crescenti nello scenario al 2016 fino a circa 2.4 mg/l, con il passaggio per un pozzo alla classe 2
- 1 pozzo (17%) in classe 2 avente concentrazione di 6.2 mg/l, leggermente crescente al 2016 fino a 7.7 mg/L.

Per quanto riguarda il Gruppo Acquifero B, tutti i 7 pozzi disponibili sono in classe 1 di cui:

- 4 pozzi nelle Conoidi del F. Montone - T. Ronco con concentrazione media di nitrati uguale a 0.6 mg/l, lievemente crescente nello scenario al 2016 fino a 1.6 mg/l
- 3 pozzi nella pianura appenninica con concentrazione media molto contenuta uguale a 0.6 mg/l, stabile al 2016.

Lo stato qualitativo della provincia di Forlì-Cesena differisce sia spazialmente, che dal Gruppo Acquifero A al B. Le conoidi del Gruppo Acquifero A presentano infatti i valori di concentrazioni dei nitrati più elevati, in particolare quella del F. Montone - T. Ronco, con trend in crescita al 2016 nelle porzioni centrali e distali. Spostandosi dalle conoidi alla pianura appenninica lo stato qualitativo diventa sicuramente buono e a parità di classe e di zona dei pozzi (conoidi o pianura), le concentrazioni medie dei nitrati sono inferiori nel Gruppo Acquifero B, rispetto all'A.

Da notare che i due pozzi in classe 4, ubicati uno nel margine occidentale della Conoide del T. Ronco e l'altro nell'apice della Conoide del T. Savio, mostrano un trend in miglioramento al 2016, non direttamente imputabile ai prelievi idrici, che sono contenuti e confrontabili con quelli delle aree circostanze (Figura 4.9).

#### **4.2.2.9 Provincia di Rimini**

I pozzi disponibili per il monitoraggio delle concentrazioni dei nitrati per gli acquiferi ubicati nella Provincia di Rimini sono in tutto 15, di cui 13 (circa l'87%), captano acque del Gruppo Acquifero A, mentre i restanti 2 interessano il Gruppo Acquifero B.

Tali pozzi sono distribuiti quasi tutti nelle porzioni centrali e distali della Conoide del F. Marecchia, eccetto due pozzi ubicati nella parte distale della Conoide del T. Conca.

I 13 pozzi relativi al Gruppo Acquifero A, sono classificati al 2005 nel seguente modo:

- 3 pozzi in classe 1 con concentrazione media dei nitrati pari a 1.5 mg/l crescente nello scenario al 2016 fino a 5.6 mg/l, con passaggio alla classe 2 per 2 pozzi
- 7 pozzi in classe 2 con concentrazione media di poco più di 12 mg/l in crescita nello scenario al 2016 fino a circa 17.5 mg/l
- 7 pozzi in classe 2 con concentrazione media di poco più di 12 mg/l in crescita al 2016 fino a circa 17.5 mg/l
- 3 pozzi in classe 3 con concentrazione media di 44.5 mg/l in diminuzione al 2016 fino a 38.4 mg/l

I 2 pozzi relativi al Gruppo Acquifero B, ubicati nella porzione centro-distale della Conoide del F. Marecchia sono classificati al 2005 in classe 1 con concentrazione media di 0.6 mg/l, crescente al 2016 fino a 5 mg/l.

Lo stato qualitativo del Gruppo Acquifero A per le conoidi della provincia di Rimini è abbastanza buono. Infatti, le concentrazioni di nitrati arrivano al massimo alla classe 3 soltanto per 3 pozzi e comunque, questi ultimi mostrano un trend in diminuzione nello scenario al 2016.

Inoltre, si riscontra una dinamica di pulizia del Gruppo Acquifero A nella porzione distale della Conoide del F. Marecchia.

Lo stato qualitativo dei due pozzi del Gruppo Acquifero B è buono, anche se la tendenza media al 2016 appare un po' in crescita (Figura 4.10).

Figura 4.2 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Piacenza

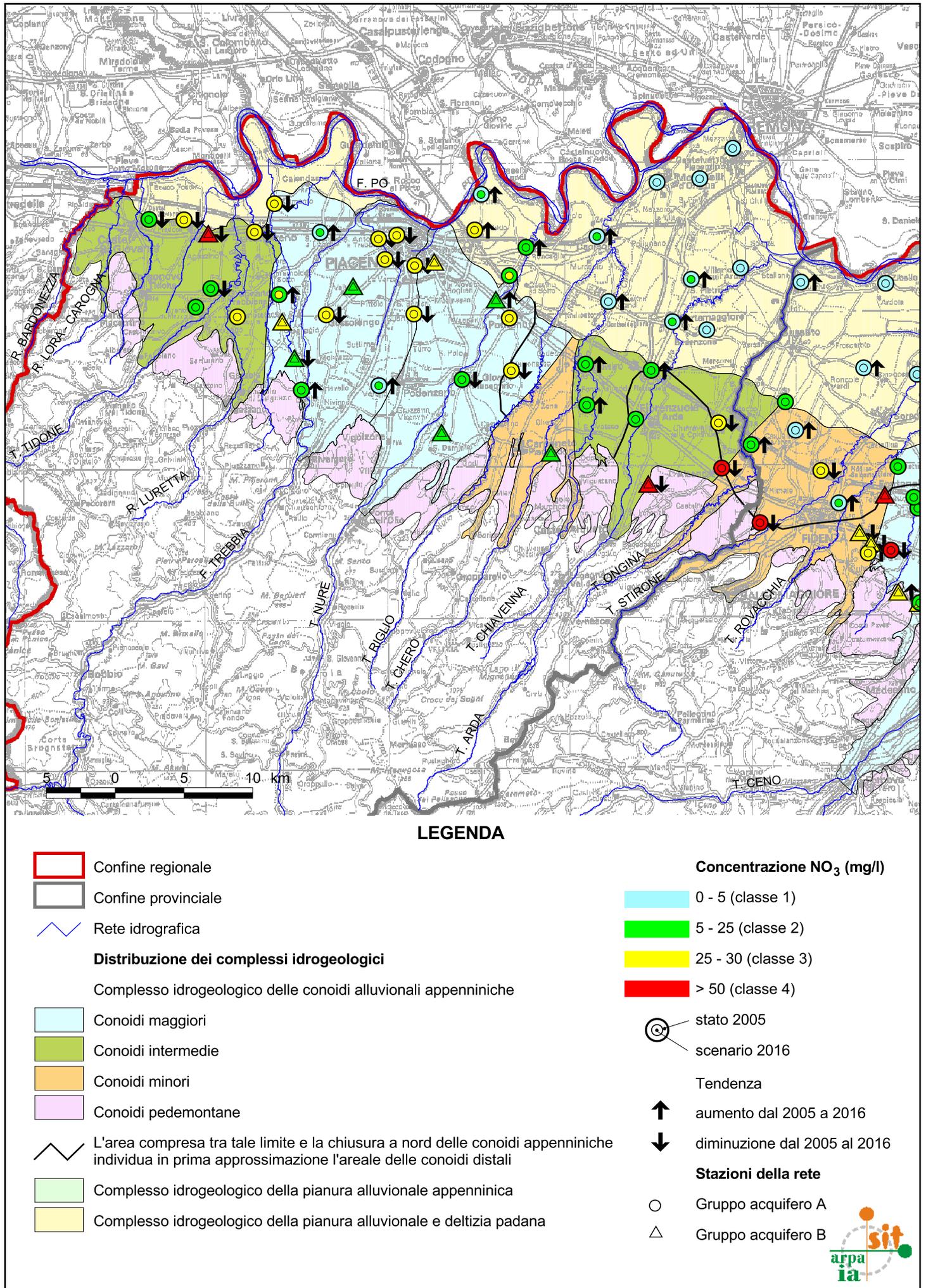
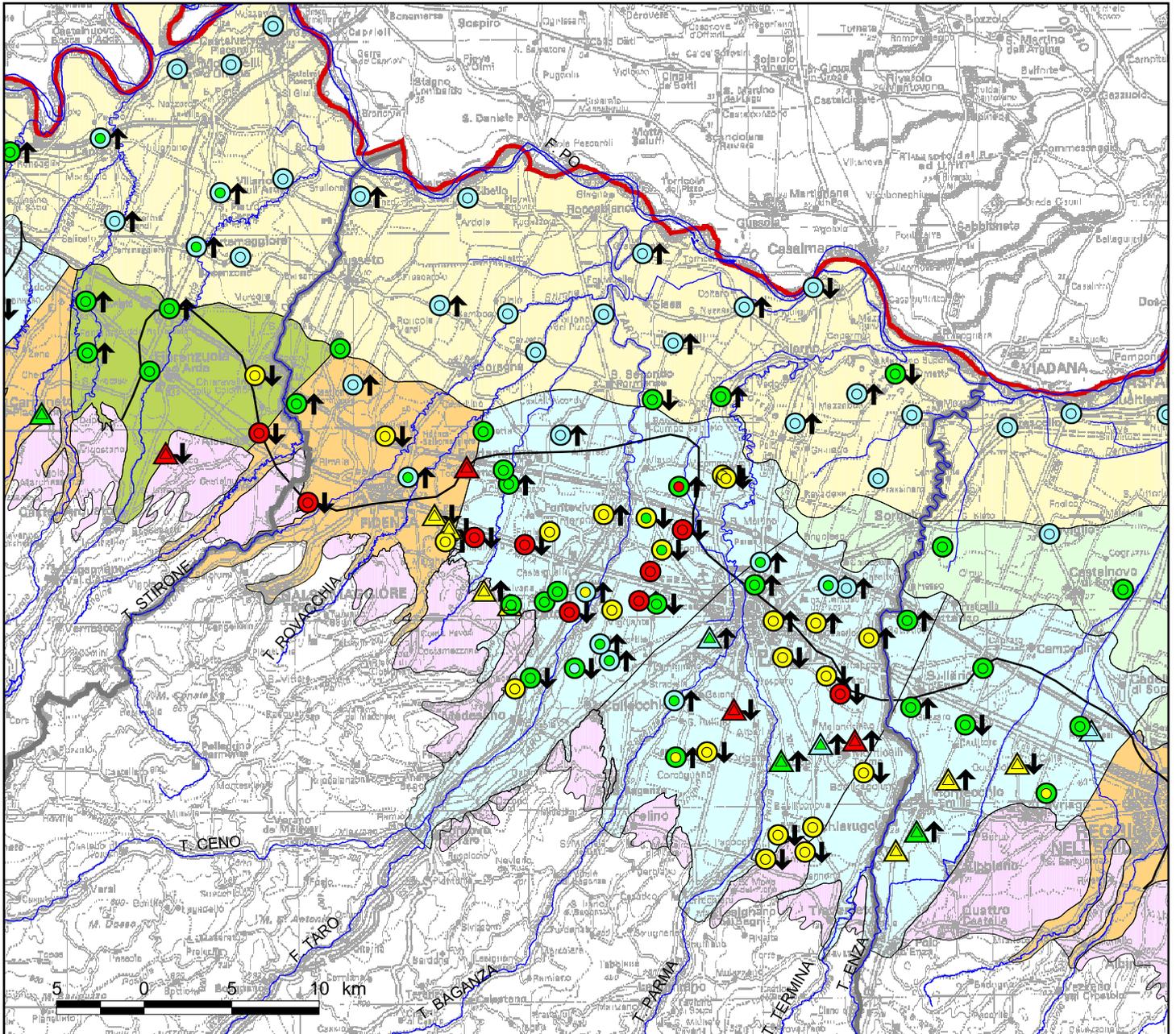


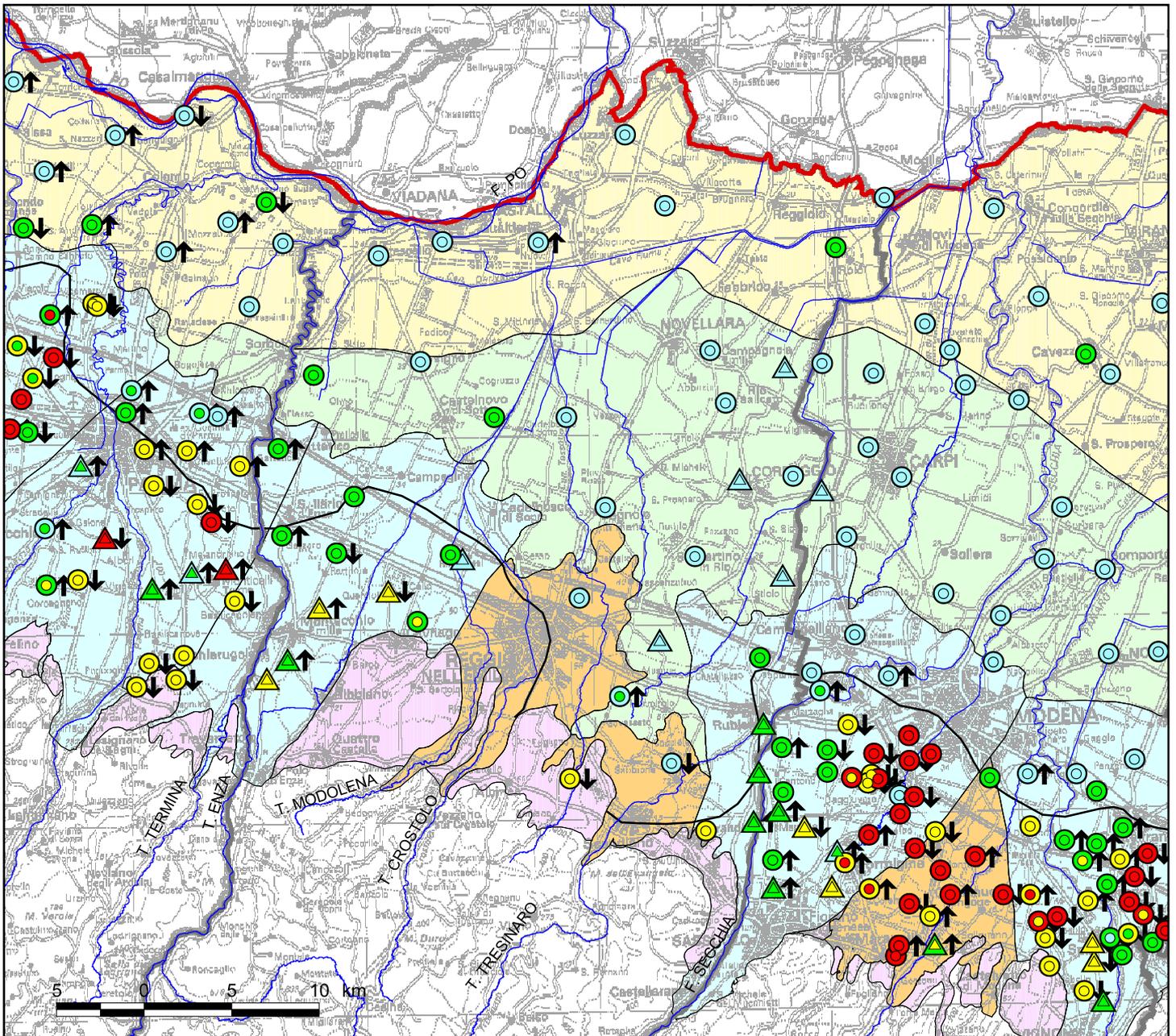
Figura 4.3 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Parma



**LEGENDA**

- |   |   |   |                              |
|---|---|---|------------------------------|
|  | Confine regionale   |   |                              |
|  | Confine provinciale   |   |                              |
|  | Rete idrografica  |   |                              |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |   |                              |
| Complesso idrogeologico delle conoidi alluvionali appenniniche                      |   |   |                              |
|  | Conoidi maggiori  |   |                              |
|  | Conoidi intermedie  |   |                              |
|  | Conoidi minori  |   |                              |
|  | Conoidi pedemontane   |   |                              |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali |   |                              |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   |   |                              |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   |   |                              |
|   |   | <b>Concentrazione NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>   |                              |
|   |   |  | 0 - 5 (classe 1)             |
|   |   |  | 5 - 25 (classe 2)            |
|   |   |  | 25 - 30 (classe 3)           |
|   |   |  | > 50 (classe 4)              |
|   |   |  | stato 2005                   |
|   |   |  | scenario 2016                |
|   |   |   | <b>Tendenza</b>              |
|   |   |  | aumento dal 2005 a 2016      |
|   |   |  | diminuzione dal 2005 al 2016 |
|   |   |   | <b>Stazioni della rete</b>   |
|   |   |  | Gruppo acquifero A           |
|   |   |  | Gruppo acquifero B           |

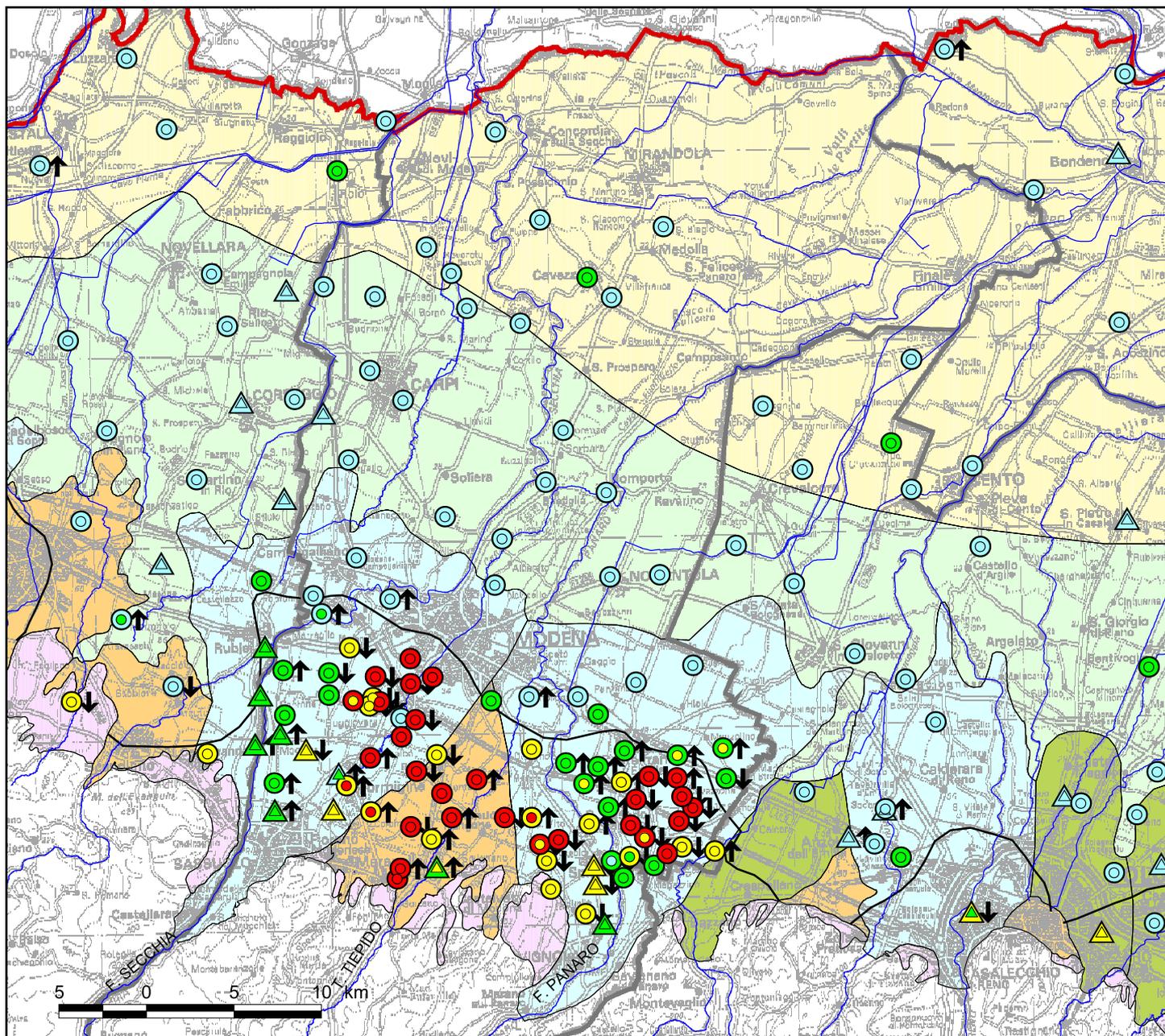
Figura 4.4 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Reggio-Emilia



**LEGENDA**

- |   |   |   |                              |
|---|---|---|------------------------------|
|  | Confine regionale   |   |                              |
|  | Confine provinciale   |   |                              |
|  | Rete idrografica  |   |                              |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |   |                              |
| Complesso idrogeologico delle conoidi alluvionali appenniniche                      |   |   |                              |
|  | Conoidi maggiori  | <b>Concentrazione NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>   |                              |
|  | Conoidi intermedie  |   |                              |
|  | Conoidi minori  |   |                              |
|  | Conoidi pedemontane   |   |                              |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali |  | stato 2005                   |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   |  | scenario 2016                |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   | Tendenza  |                              |
|   |   |  | aumento dal 2005 a 2016      |
|   |   |  | diminuzione dal 2005 al 2016 |
| <b>Stazioni della rete</b>  |   |   |                              |
|   |   |  | Gruppo acquifero A           |
|   |   |  | Gruppo acquifero B           |

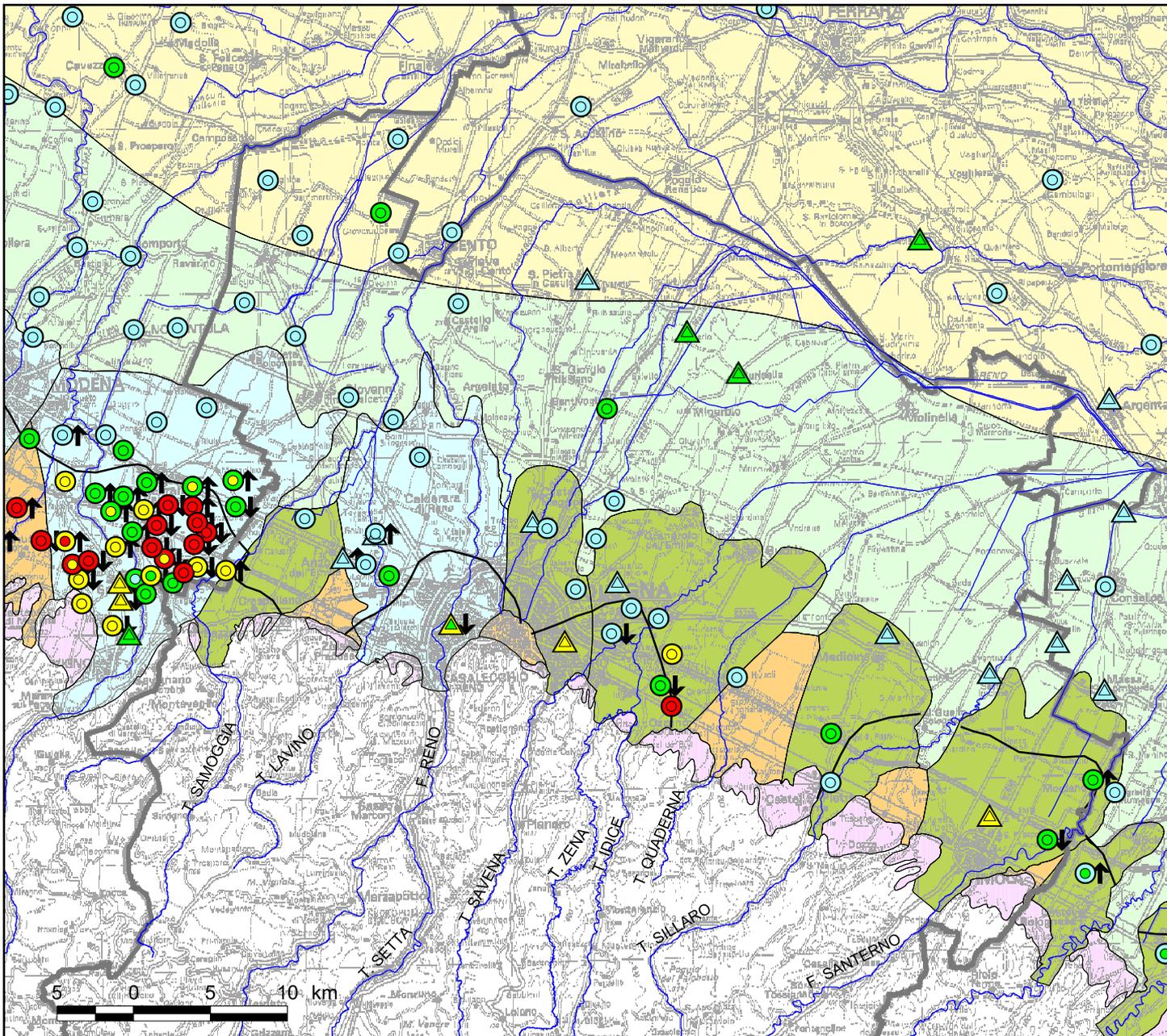
Figura 4.5 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Modena



**LEGENDA**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
|  | Confine regionale   |  | <b>Concentrazione NO<sub>3</sub> (mg/l)</b><br>0 - 5 (classe 1) |
|  | Confine provinciale   |  | 5 - 25 (classe 2)   |
|  | Rete idrografica  |  | 25 - 30 (classe 3)  |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |  | > 50 (classe 4)   |
|  | Conoidi maggiori  |  | stato 2005  |
|  | Conoidi intermedie  |  | scenario 2016   |
|  | Conoidi minori  |  | Tendenza<br>aumento dal 2005 a 2016                             |
|  | Conoidi pedemontane   |  | diminuzione dal 2005 al 2016                                    |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali | <b>Stazioni della rete</b>  |   |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   |  | Gruppo acquifero A  |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   |  | Gruppo acquifero B  |

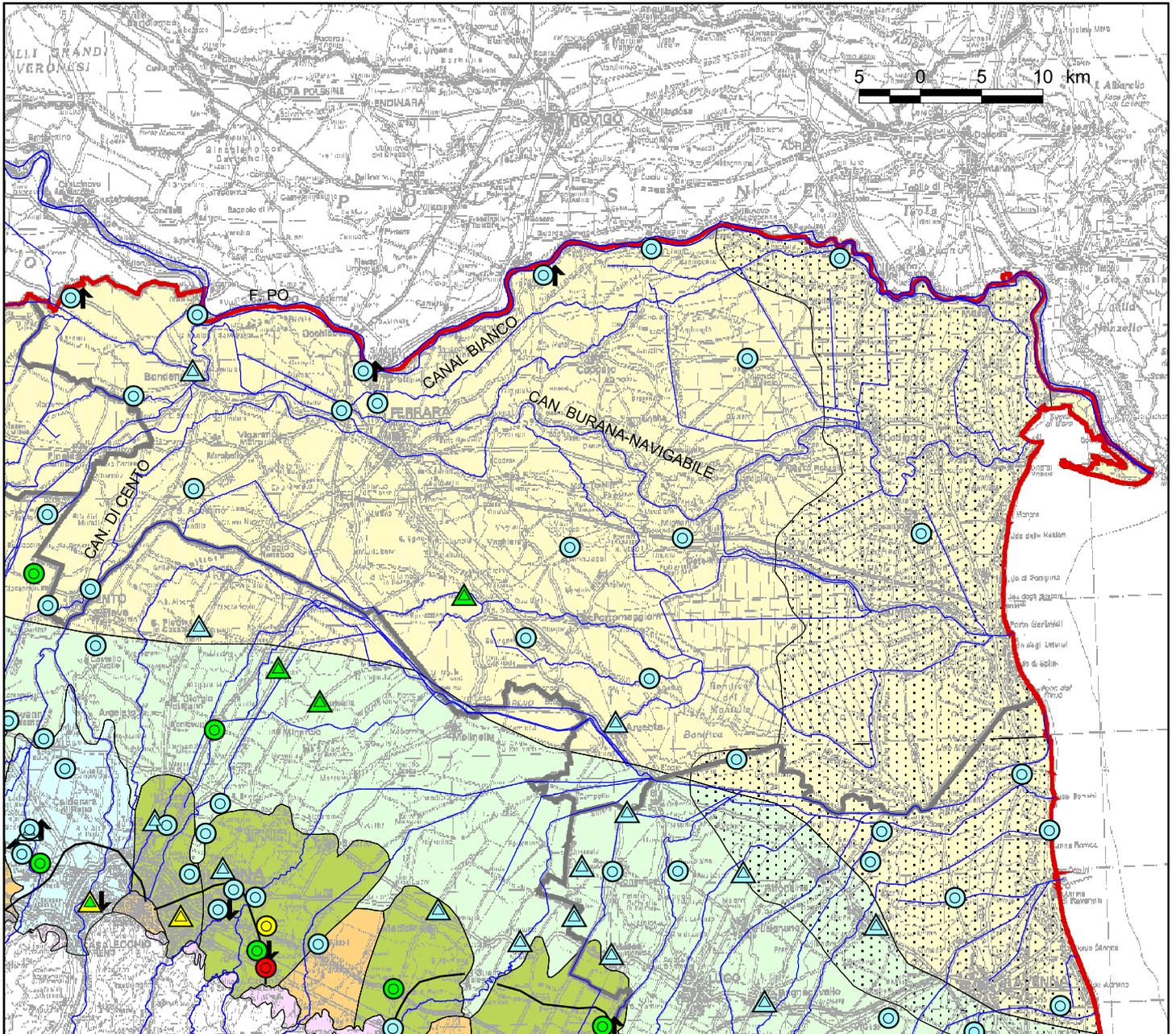
Figura 4.6 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Bologna



**LEGENDA**

- |   |   |   |                              |
|---|---|---|------------------------------|
|  | Confine regionale   |   |                              |
|  | Confine provinciale   |   |                              |
|  | Rete idrografica  |   |                              |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |   |                              |
| Complesso idrogeologico delle conoidi alluvionali appenniniche                      |   |   |                              |
|  | Conoidi maggiori  |   |                              |
|  | Conoidi intermedie  |   |                              |
|  | Conoidi minori  |   |                              |
|  | Conoidi pedemontane   |   |                              |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali |   |                              |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   |   |                              |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   |   |                              |
|   |   | <b>Concentrazione NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>   |                              |
|   |   |  | 0 - 5 (classe 1)             |
|   |   |  | 5 - 25 (classe 2)            |
|   |   |  | 25 - 30 (classe 3)           |
|   |   |  | > 50 (classe 4)              |
|   |   |  | stato 2005                   |
|   |   |  | scenario 2016                |
|   |   | Tendenza  |                              |
|   |   |  | aumento dal 2005 a 2016      |
|   |   |  | diminuzione dal 2005 al 2016 |
|   |   | <b>Stazioni della rete</b>  |                              |
|   |   |  | Gruppo acquifero A           |
|   |   |  | Gruppo acquifero B           |

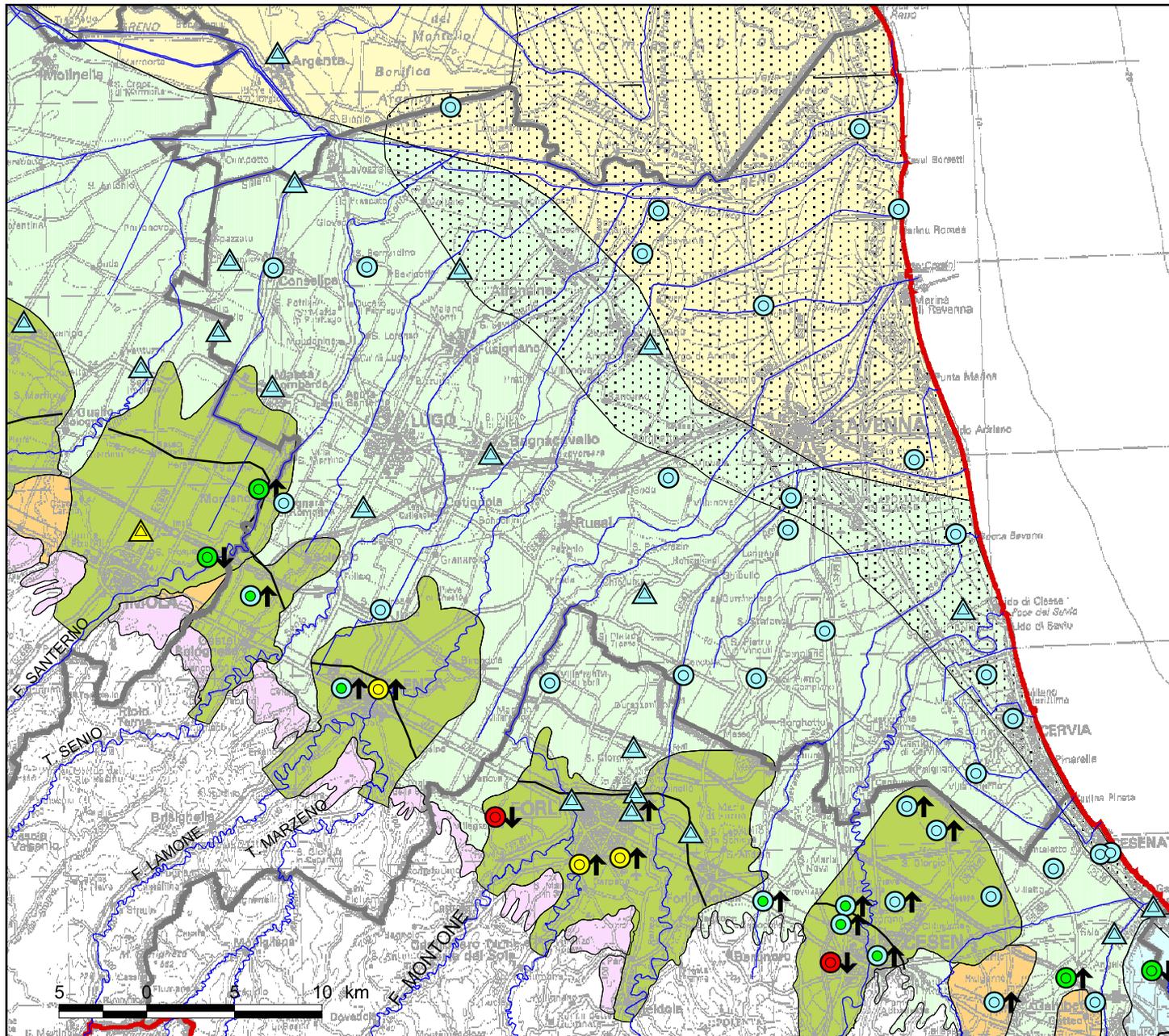
Figura 4.7 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Ferrara



**LEGENDA**

- |   |   |   |                              |
|---|---|---|------------------------------|
|  | Confine regionale   | <b>Concentrazione NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>   |                              |
|  | Confine provinciale   |  | 0 - 5 (classe 1)             |
|  | Rete idrografica  |  | 5 - 25 (classe 2)            |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |  | 25 - 30 (classe 3)           |
| Complesso idrogeologico delle conoidi alluvionali appenniniche                      |   |  | > 50 (classe 4)              |
|  | Conoidi maggiori  |  | stato 2005                   |
|  | Conoidi intermedie  |  | scenario 2016                |
|  | Conoidi minori  | Tendenza  |                              |
|  | Conoidi pedemontane   |  | aumento dal 2005 a 2016      |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali |  | diminuzione dal 2005 al 2016 |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   | <b>Stazioni della rete</b>  |                              |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   |  | Gruppo acquifero A           |
|  | Distribuzione dei depositi sabbiosi costieri nel complesso acquifero A0   |  | Gruppo acquifero B           |

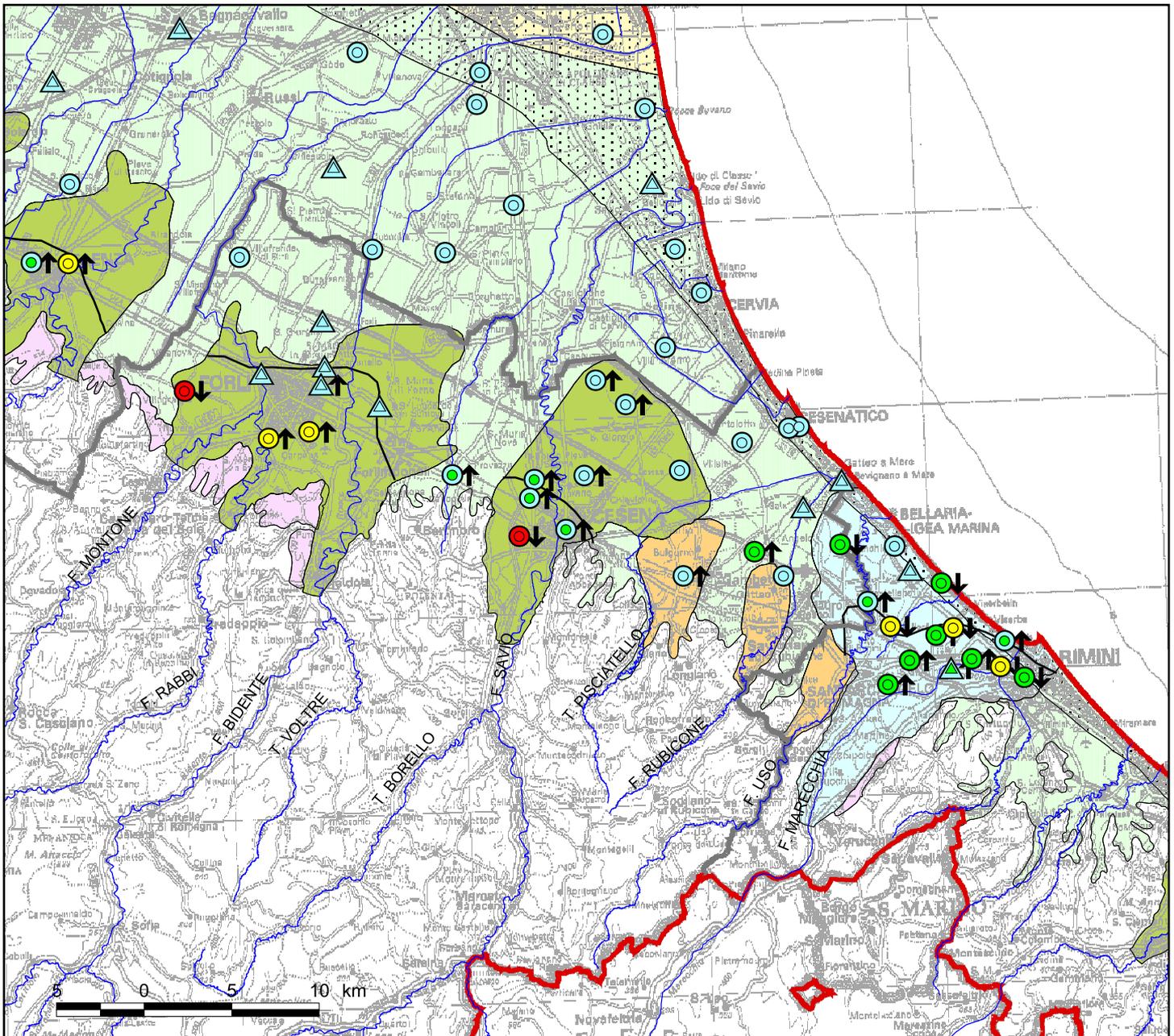
Figura 4.8 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Ravenna



**LEGENDA**

- |   |   |   |                                       |
|---|---|---|---------------------------------------|
|  | Confine regionale   |  | Concentrazione NO <sub>3</sub> (mg/l) |
|  | Confine provinciale   |  | 0 - 5 (classe 1)                      |
|  | Rete idrografica  |  | 5 - 25 (classe 2)                     |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |  | 25 - 30 (classe 3)                    |
|  | Conoidi maggiori  |  | > 50 (classe 4)                       |
|  | Conoidi intermedie  |  | stato 2005                            |
|  | Conoidi minori  |  | scenario 2016                         |
|  | Conoidi pedemontane   |  | Tendenza                              |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali |  | ↑ aumento dal 2005 a 2016             |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   |  | ↓ diminuzione dal 2005 al 2016        |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   |  | <b>Stazioni della rete</b>            |
|  | Distribuzione dei depositi sabbiosi costieri nel complesso acquifero A0   |  | ○ Gruppo acquifero A                  |
|   |   |   | △ Gruppo acquifero B                  |

Figura 4.9 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Forlì-Cesena



**LEGENDA**

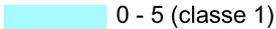
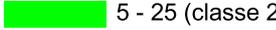
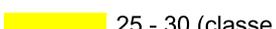
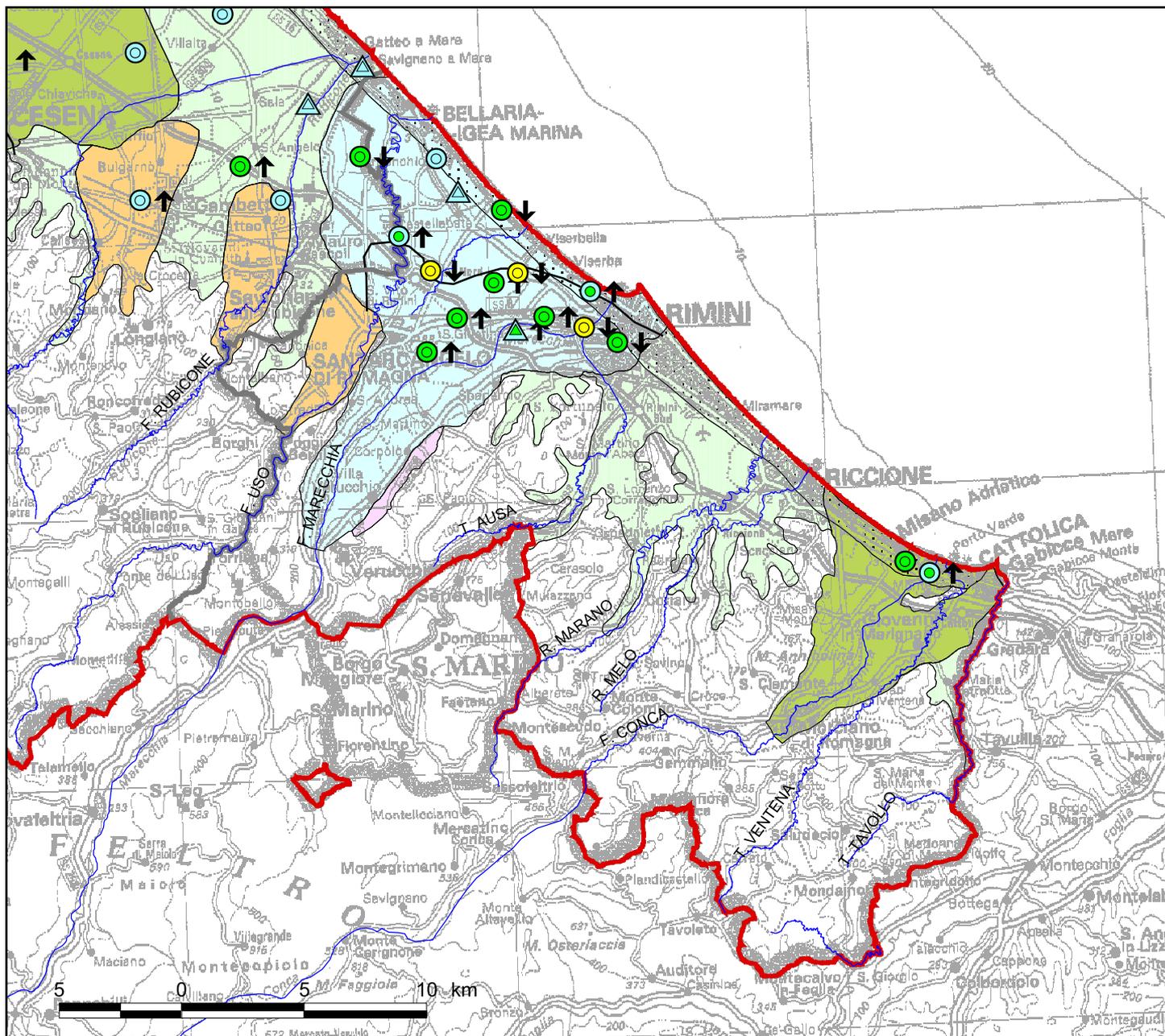
- |   |   |   |                                     |
|---|---|---|-------------------------------------|
|  | Confine regionale   | <b>Concentrazione NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>   |                                     |
|  | Confine provinciale   |  | 0 - 5 (classe 1)                    |
|  | Rete idrografica  |  | 5 - 25 (classe 2)                   |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |  | 25 - 30 (classe 3)                  |
|  | Conoidi maggiori  |  | > 50 (classe 4)                     |
|  | Conoidi intermedie  |  | stato 2005                          |
|  | Conoidi minori  |  | scenario 2016                       |
|  | Conoidi pedemontane   |  | Tendenza<br>aumento dal 2005 a 2016 |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali |  | diminuzione dal 2005 al 2016        |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   | <b>Stazioni della rete</b>  |                                     |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   |  | Gruppo acquifero A                  |
|  | Distribuzione dei depositi sabbiosi costieri nel complesso acquifero A0   |  | Gruppo acquifero B                  |

Figura 4.10 Confronto dei valori di concentrazione di nitrati osservati al 2005 e calcolati dalla simulazione al 2016, provincia di Rimini



**LEGENDA**

- |   |   |   |                              |
|---|---|---|------------------------------|
|  | Confine regionale   |   |                              |
|  | Confine provinciale   |   |                              |
|  | Rete idrografica  |   |                              |
| <b>Distribuzione dei complessi idrogeologici</b>                                    |   |   |                              |
| Complesso idrogeologico delle conoidi alluvionali appenniniche                      |   |   |                              |
|  | Conoidi maggiori  |   |                              |
|  | Conoidi intermedie  |   |                              |
|  | Conoidi minori  |   |                              |
|  | Conoidi pedemontane   |   |                              |
|  | L'area compresa tra tale limite e la chiusura a nord delle conoidi appenniniche individua in prima approssimazione l'areale delle conoidi distali |   |                              |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale appenninica   |   |                              |
|  | Complesso idrogeologico della pianura alluvionale e deltizia padana   |   |                              |
|  | Distribuzione dei depositi sabbiosi costieri nel complesso acquifero A0   |   |                              |
|   |   | <b>Concentrazione NO<sub>3</sub> (mg/l)</b>   |                              |
|   |   |  | 0 - 5 (classe 1)             |
|   |   |  | 5 - 25 (classe 2)            |
|   |   |  | 25 - 30 (classe 3)           |
|   |   |  | > 50 (classe 4)              |
|   |   |  | stato 2005                   |
|   |   |  | scenario 2016                |
|   |   |   | <b>Tendenza</b>              |
|   |   |  | aumento dal 2005 a 2016      |
|   |   |  | diminuzione dal 2005 al 2016 |
|   |   |   | <b>Stazioni della rete</b>   |
|   |   |  | Gruppo acquifero A           |
|   |   |  | Gruppo acquifero B           |

#### 4.2.3 Stima dell'evoluzione delle masse residenti di nitrati al 2016

Uno dei risultati del modello consiste nella possibilità di disaggregare i bilanci di massa su basi di dettaglio maggiore di quello globale; così facendo, è possibile identificare con maggiore chiarezza i comportamenti delle parti di acquifero che presentano una qualche omogeneità strutturale o gestionale. Si tratta di gradi di omogeneità del tutto relativa, ma che comunque possono dare una maggiore specificità ai risultati ottenuti.

Nell'analisi che segue si è fatto riferimento alle variazioni medie annue di masse residenti nel sistema, dato calcolabile a partire dalla distribuzione dei nitrati calcolate annualmente dal modello nella simulazione di scenario, e disaggregabile ad una scala di maggior dettaglio rispetto al bilancio di nitrati globale per l'intero sistema.

Nella Tabella 4.2 viene riportata la variazione media annua di massa residente di nitrati all'interno dei complessi idrogeologici associando questa alle principali voci di ingresso (ricarica dalla superficie) e di uscita (pozzi). Nella Tabella 4.3 invece la disaggregazione è stata effettuata per gruppi di conoidi, in modo da offrire una lettura più dettagliata. Le considerazioni che se ne possono trarre sono le seguenti:

- in termini di masse residenti, tutti i gruppi tendono a diminuire (come media) la massa presente ad eccezione del bacino del Reno; tali valutazioni si riferiscono ad un valore medio sull'insieme delle conoidi costituenti il gruppo e quindi possono venire compensate situazioni locali di segno opposto;
- i sistemi "virtuosi" sono quelli che mostrano un saldo negativo tra ingressi e uscite (dal Tidone al Panaro ed il sistema Marecchia), mentre gli altri (conoidi pedemontane e Reno, i fiumi romagnoli dal Lamone al Rubicone sono pressoché in pareggio. Questo indica che, nonostante le politiche di risparmio idrico, che frenano la capacità di far uscire i nitrati dalla falda, si ha comunque un effetto positivo. Ciò è confermato dall'analisi nel tempo del bilancio di nitrati che vede la diminuzione delle uscite con i pozzi (circa 2000 t in meno nel 2016 rispetto al 2003 per le conoidi) comunque inferiore alla diminuzione degli ingressi dalla superficie (circa 2500 t in meno nel 2016 rispetto al 2003 per le conoidi).

Tabella 4.2 Variazioni medie annue nel periodo 2003-2016 delle masse residenti e termini del bilancio di nitrati in riferimento ai complessi idrogeologici

Complesso idrogeologico	Variazione media annua masse residenti nel periodo 2003-2016 (t/y)	Uscita da pozzo media nel periodo 2003-2016 (t/y)	Masse in ingresso dalla superficie (t/2003)	Superficie (km <sup>2</sup> )
Appennino	4985	-226	4918	2794
Po	12027	-656	12366	5653
Conoidi	-6496	-10491	8501	3768

Tabella 4.3 Principali termini del bilancio per gruppi di conoidi

Complesso idrogeologico	Variazione media annua delle masse residenti nel periodo 2003-2016 (t/y)	Uscita da pozzo media nel periodo 2003-2016 (t/y)	Masse in ingresso dalla superficie (t/2003)	Superficie (km <sup>2</sup> )
Conoidi pedemontane	-678	-342	1103	426
Dal Tidone all'Arda	-1859	-1706	1618	596
Dal Taro all'Enza	-568	-3102	2716	790
Secchia e Panaro	-2647	-3108	848	727
Reno e affluenti	257	-950	1315	747
Dal Lamone al Rubicone	-400	-446	477	326
Uso, Marecchia e Conca	-601	-1283	420	482

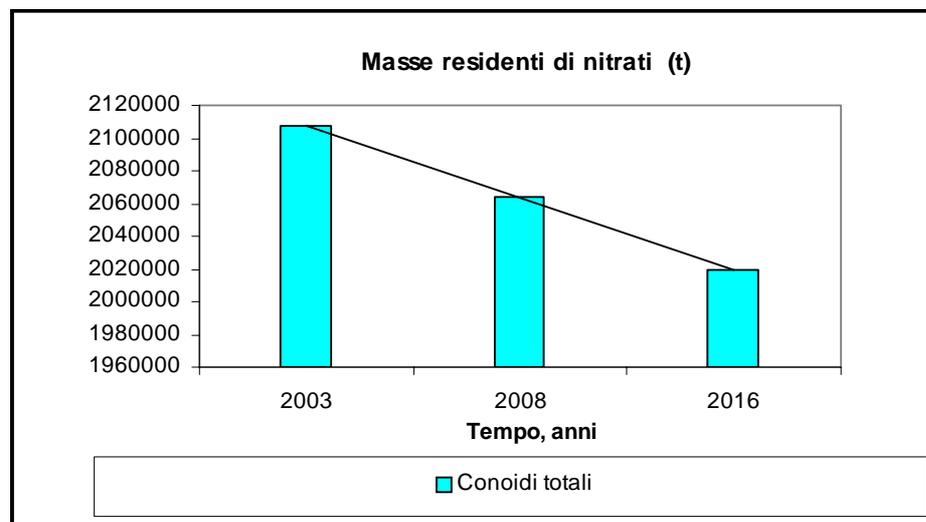
L'analisi complessiva permette di confermare nel lungo periodo le dinamiche di miglioramento qualitativo (o di scadimento) già evidenziate nel paragrafo 3.2.3 relativamente al bilancio di massa di nitrati per l'anno 2003.

Esiste quindi una forte correlazione tra la dinamica del flusso all'interno delle conoidi e la variazione delle masse residenti di nitrati che assume un effetto via via migliore nelle zone e nelle fasce di profondità maggiormente interessate al prelievo idrico.

Situazione particolare è rappresentata da sistemi di pianura alluvionale appenninica e padana dove l'aumento registrato delle masse residenti rimane localizzato nei primi layer del modello (acquiferi freatici di pianura).

Come sintesi generale dello studio e delle simulazioni si può utilizzare la stima della variazione media della massa residente di nitrati nelle aree di conoide, che è pari a circa 6.500 t/anno in diminuzione. La Figura 4.11 riporta la dinamica della massa residente stimata nel corso della simulazione tra il 2003 ed il 2016, limitatamente al sottoinsieme dell'area delle conoidi, che tuttavia rappresenta la gran parte del problema.

Figura 4.11 Dinamica della massa residente dei nitrati nello scenario al 2016 (conoidi)



#### 4.2.4 Bilancio idrogeologico nel periodo 2003-2016

Nel precedente paragrafo 2.2.4 è stato analizzato il bilancio idrogeologico relativo al periodo di taratura del modello. In maniera del tutto analoga risulta ora possibile effettuare alcune considerazioni sui termini costituenti il bilancio di acqua associato alle simulazioni di scenario del modello di flusso.

Nelle figure successive (Figura 4.12, Figura 4.13, Figura 4.14) sono riportati gli andamenti nel tempo dei termini di bilancio nella ormai usuale suddivisione in termini in ingresso, in uscita e flussi netti.

Stante la invarianza della ricarica zenitale (ipotesi di scenario) i principali termini di interesse sono i prelievi le cui misure di Piano portano da un valori di circa 20 m<sup>3</sup>/s a valori di circa 17 m<sup>3</sup>/s, e rispettivamente gli immagazzinamenti in uscita ed in ingresso. I primi (immagazzinamenti in uscita), a fronte della costanza della ricarica tendono a stabilizzarsi su valori di circa 1.2 m<sup>3</sup>/s mentre i secondi (immagazzinamenti in ingresso) si portano a valori di circa 6.5 m<sup>3</sup>/s seguendo una dinamica che rispecchia la variabilità dei prelievi nel periodo di osservazione.

Figura 4.12 Bilancio idrogeologico complessivo (m<sup>3</sup>/s), termini in ingresso

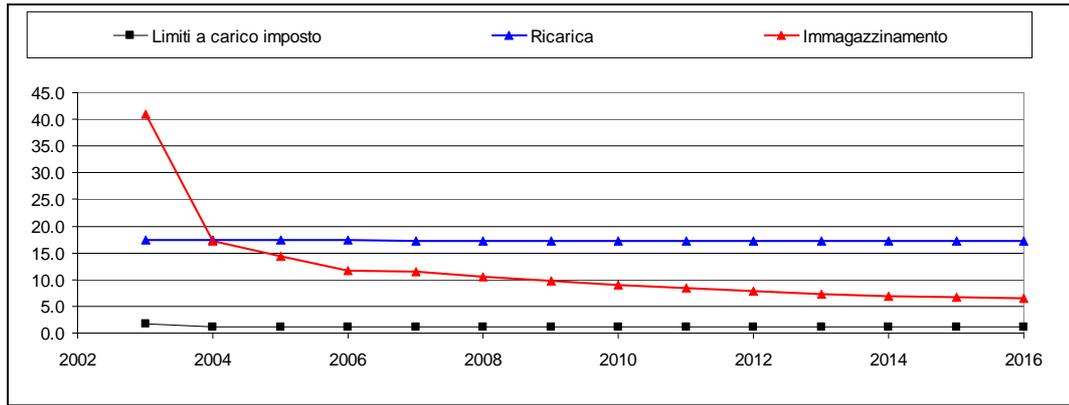


Figura 4.13 Bilancio idrogeologico complessivo (m<sup>3</sup>/s), termini in uscita

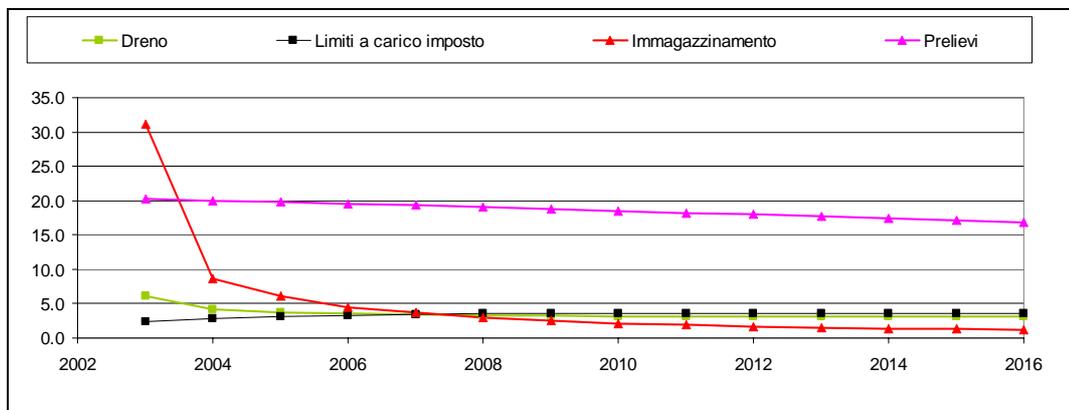
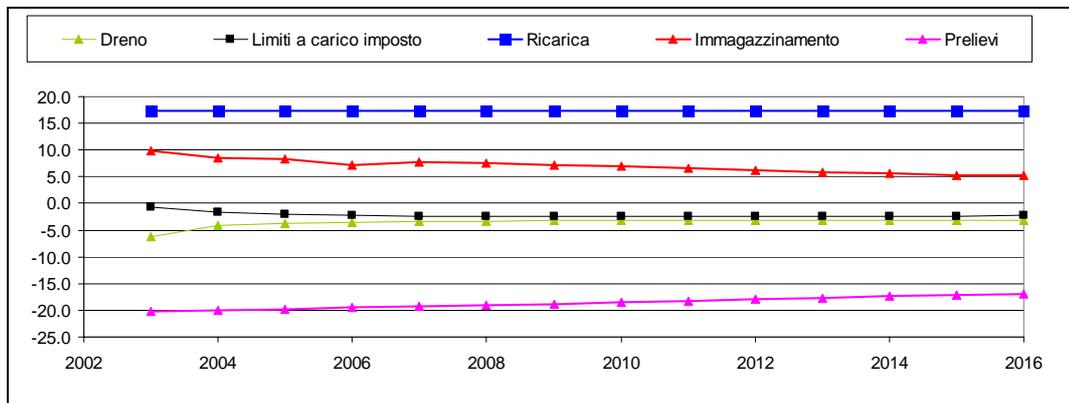


Figura 4.14 Bilancio idrogeologico complessivo (m<sup>3</sup>/s), flussi netti (ingressi-uscite)



## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) *Supporto per il bilancio idrico regionale, predisposizione di una analisi di sintesi a livello regionale, sui bilanci idrici, con disaggregazione per gli areali appartenenti alle diverse Autorità di Bacino*. Rapporto tecnico. Bologna.
- [2] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.
- [3] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, Autorità di Bacino del Reno, dicembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Reno*. Rapporto tecnico.
- [4] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, luglio 2006. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.
- [5] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, novembre 2004. *Modello matematico di simulazione del flusso delle acque sotterranee del territorio dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli della Regione Emilia-Romagna*. Rapporto tecnico.
- [6] Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*, a cura di G.Di Dio, Firenze, 120pp.
- [7] Regione Emilia-Romagna, Arpa-IA, settembre 2003. *Modello matematico di simulazione delle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna (Emiro3D)*, Elaborato di supporto alla Relazione Generale del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna.
- [8] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Individuazione e disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività G. Rapporto tecnico. Bologna.
- [9] Regione Emilia-Romagna, *Banca dati geognostica della Regione Emilia –Romagna*, ([bd2ggn0.htm](#))
- [10] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Modelli afflussi-deflussi nel reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività D. Rapporto tecnico. Bologna.
- [11] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) *Progetto Operativo Monitoraggio Acque: indagine di idrologia isotopica*. Rapporto tecnico finale. Bologna.
- [12] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, (1997). *Quadro conoscitivo a livello comunale delle acque sotterranee nei primi 100 metri di profondità*. In Supporto per la predisposizione di criteri tecnici e procedurali ai fini di una metodologia omogenea alla istruttoria dei prelievi idrici. Rapporto tecnico. Bologna.
- [13] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Le acque sotterranee della Regione Emilia Romagna: modello concettuale*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività B. Rapporto tecnico. Bologna.
- [14] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Creazione di una banca dati informatizzata per la parametrizzazione idrodinamica degli acquiferi*. In Supporto tecnico alla

Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività C. Rapporto tecnico. Bologna.

- [15] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003). *Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi e verifica ed aggiornamento del catasto degli scarichi*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività E. Rapporto tecnico. Bologna.
- [16] Regione Emilia-Romagna, Arpa Emilia-Romagna, giugno 2006. *Valutazione dei carichi massimi ammissibili sversati nei sistemi scolanti delle province di Ferrara e Ravenna nelle acque costiere. Attività di studio e ricerca a completamento del progetto di elaborazione del Piano di Tutela delle Acque. Attività 1: Individuazione delle zone vulnerabili da nitrati: verifica ed aggiornamento dell'uso del suolo, dei carichi da fonti diffuse e puntuali sversati nel reticolo di scolo delle acque superficiali*.