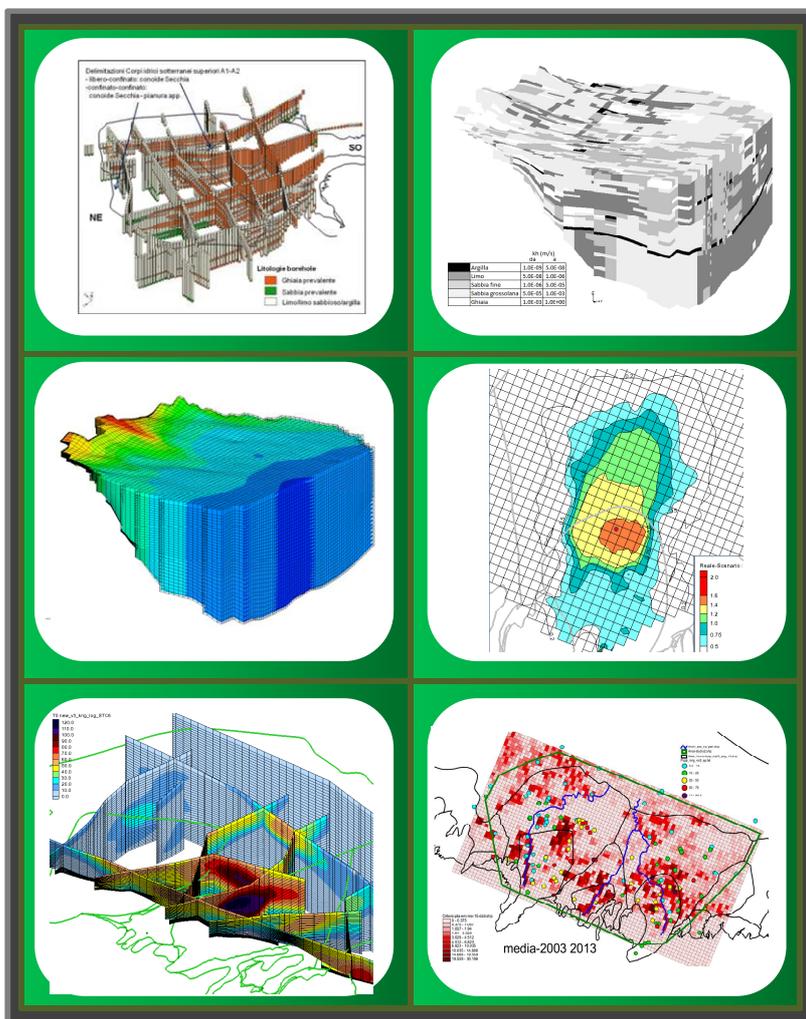


APPLICAZIONE DELLA MODELLISTICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE DELLA PROVINCIA DI MODENA: AGGIORNAMENTO DEL MODELLO DI FLUSSO, IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO DEI NITRATI E LORO APPLICAZIONE A SUPPORTO DI SPECIFICI OBIETTIVI DI PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELLA RISORSA IDRICA.



Versione V1

Bologna, luglio 2016

ATERSIR EMILIA-ROMAGNA

Agenzia Territoriale dell'Emilia-Romagna per i Servizi Idrici e Rifiuti

Ing. Vito Belladonna – Direttore

Ing. Marco Grana Castagnetti – Responsabile Area Servizio Idrico Integrato

Dott. Pier Luigi Maschietto – Responsabile Servizio Pianificazione e regolamentazione tecnica

ARPAE

Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia

Arpae Direzione Tecnica – Centro Tematico Regionale Sistemi Idrici

Dott.ssa Donatella Ferri – Responsabile del CTR Sistemi Idrici

Ing. Andrea Chahoud – Responsabile di progetto

Dott. Luca Gelati

Arpae Sezione Provinciale di Modena

Dott. Stefano Forti – Direttore di Arpae Sezione Provinciale di Modena

Dott.ssa Daniela Sesti – Responsabile Servizio Sistemi Ambientali

Dott.ssa Anna Maria Manzieri – Responsabile di progetto

Si ringraziano per la collaborazione prestata e/o i dati forniti:

Dott. Marco Marcaccio – ARPAE DT

Dott. Giacomo Zaccanti – ARPAE DT

Ing. Daniele Cristofori – ARPAE DT

Dott. William Pratzzoli – ARPAE SIMC

Ing. Silvano Pecora – ARPAE SIMC

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	1
2	AGGIORNAMENTO E VERIFICA PERIODICA DEL MODELLO DI FLUSSO (ATTIVITÀ 1).....	1
2.1	Introduzione	1
2.2	Discretizzazione spaziale e discretizzazione temporale	2
2.3	Dati piezometrici	4
2.4	Dati sui prelievi di acque sotterranee	11
2.4.1	I prelievi civili acquedottistici.....	11
2.4.2	I prelievi complessivi.....	14
2.5	Dati di ricarica zenitale (fiumi e pioggia).....	16
2.6	Verifica della calibrazione del modello numerico di flusso	18
2.7	Assetto delle permeabilità	26
2.8	Analisi dei risultati del modello	30
2.8.1	Analisi del bilancio della conoide del Secchia.....	35
2.8.2	Analisi del bilancio della conoide del Tiepido.....	39
2.8.3	Analisi del bilancio della conoide del Panaro	43
3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO (ATTIVITÀ 2).....	47
3.1	Introduzione	47
3.2	Individuazione ed analisi dei dati di nitrati disponibili per l'implementazione del modello di trasporto.....	48
3.3	Individuazione del set di dati di nitrati per la calibrazione del modello di trasporto (observations).....	52
3.4	Individuazione dei dati di nitrati disponibili per la definizione della condizione iniziale (Starting Concentration).....	69
3.5	Individuazione dello stato qualitativo delle conoidi modenesi relativamente al parametro nitrati ed a supporto della modellazione numerica di trasporto.	70
3.5.1	La conoide del Secchia	72
3.5.2	La conoide del Tiepido	87
3.5.3	La conoide del Panaro.....	94
3.5.4	Le altre conoidi ad est ed a ovest dell'area di studio	99
3.5.5	I sistemi di pianura posti a nord dell'area di studio	99
3.6	Dati di ricarica zenitale di nitrati in ingresso al modello.....	100
3.7	Parametrizzazione del modello di trasporto	103
3.7.1	Porosità	103
3.7.2	Dispersività.....	103
3.8	Verifica della calibrazione del modello numerico di trasporto	108
3.9	Il bilancio di massa di nitrati elaborato dal modello numerico	116
4	UTILIZZO DEL MODELLO NUMERICO E SVILUPPO DI SCENARI DI SIMULAZIONE (ATTIVITÀ 3).....	119
4.1	Introduzione	119
4.2	Valutazioni propedeutiche all'analisi delle simulazioni di scenario	119
4.2.1	Analisi dei minimi piezometrici dei pozzi della Rete regionale di monitoraggio nell'areale del modello.	119

4.3	Scenario n°1: valutazioni relative all'aumento delle possibilità di prelievo di acque sotterranee dalla conoide del Panaro in zona San Cesario	121
4.3.1	Ipotesi	121
4.3.2	Impostazione della simulazione di scenario.....	123
4.3.3	Valutazione dei risultati, analisi del bilancio	123
4.3.4	Valutazione dei risultati, analisi del carico idraulico	126
4.4	Scenario n°2: valutazioni relative all'andamento delle concentrazioni di Nitrati sui pozzi di Cognento e Modena Sud in relazione alla possibile riduzione dei prelievi dal campo pozzi di Cognento.	129
4.4.1	Ipotesi	129
4.4.2	Impostazione della simulazione di scenario.....	129
4.4.3	Valutazione dei risultati, analisi del bilancio	130
4.4.4	Valutazione dei risultati, analisi delle concentrazioni dei nitrati	131
4.5	Scenario n°3: valutazioni relative al ripristino ai valori storici dei prelievi Hera del campo pozzi di Modena Sud	134
4.5.1	Ipotesi	134
4.5.2	Impostazione della simulazione di scenario.....	136
4.5.3	Valutazione dei risultati, analisi del carico idraulico	136
4.5.4	Valutazione dei risultati, analisi del bilancio	137
4.5.5	Valutazione dei risultati, analisi delle concentrazioni di nitrati	138

5 BIBLIOGRAFIA 141

1 Premessa

Il presente documento descrive le attività condotte nel 2015 e nei primi sette mesi del 2016 nell'ambito del rapporto di collaborazione fra Arpa Emilia-Romagna ed ATERSIR relativamente all'aggiornamento del modello di flusso delle acque sotterranee della provincia di Modena, al suo utilizzo a supporto di specifici obiettivi di pianificazione e gestione della risorsa idrica ed alla implementazione della associata modellistica del trasporto dei nitrati. Tale collaborazione dà seguito alla precedente, condotta principalmente nell'anno 2012 e documentata in [4] (Atersir, Arpa (2013). Implementazione della modellistica di flusso delle acque sotterranee della provincia di Modena a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica.), documento al quale verrà fatto spesso riferimento.

Il presente rapporto costituisce un suo proseguimento.

Le attività descritte nel presente rapporto sono quelle di seguito elencate:

Attività 1) Aggiornamento e verifica periodica del modello numerico;

Attività 2) Implementazione del modello di trasporto;

Attività 3) Utilizzo del modello numerico con sviluppo di scenari di simulazione.

Tali attività verranno più dettagliatamente descritte nei paragrafi che seguono.

2 Aggiornamento e verifica periodica del modello di flusso (Attività 1)

2.1 Introduzione

Questa attività prevede l'esecuzione dell'aggiornamento del modello numerico del flusso delle acque sotterranee già esistente, relativamente alle basi di dati che ne regolano il funzionamento ed in particolare:

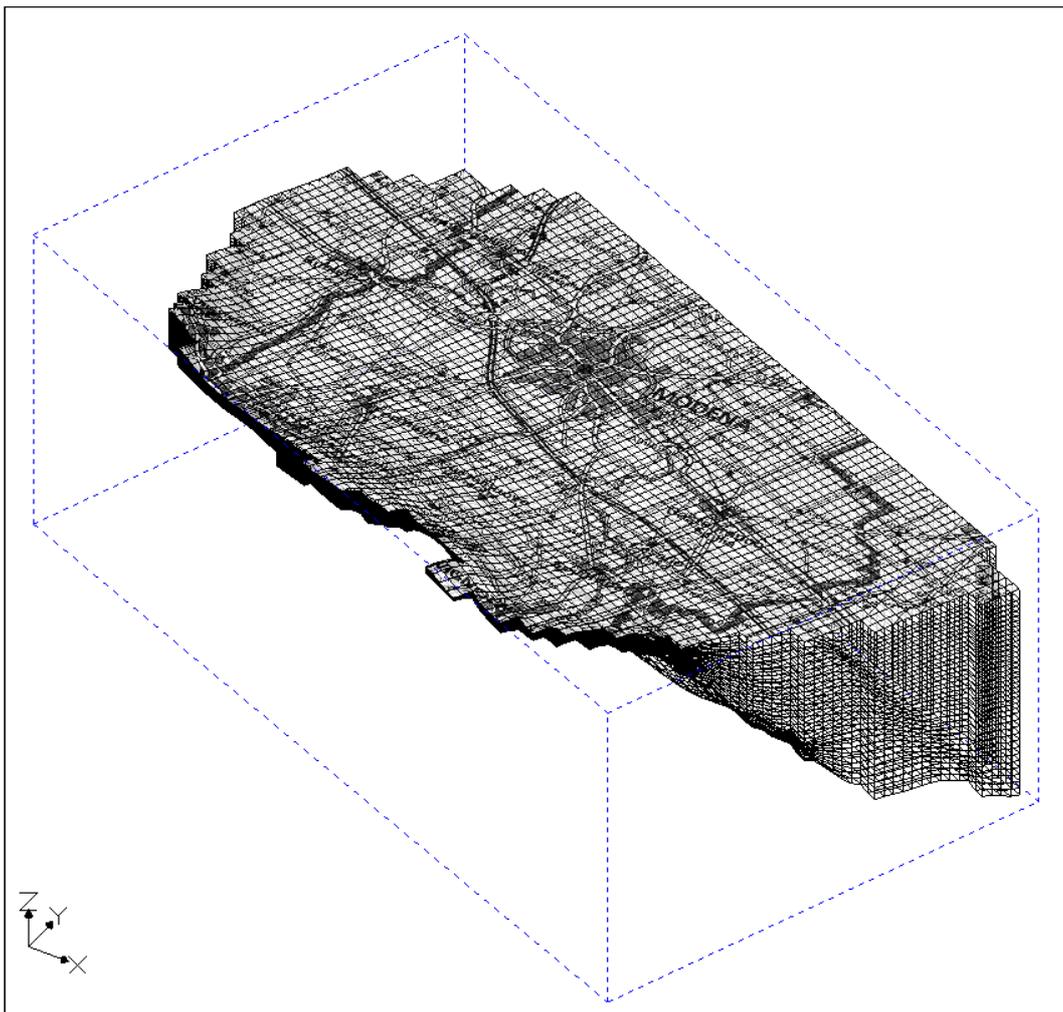
1. *dati piezometrici*: i dati piezometrici (paragrafo 2.3) sono stati inseriti all'interno del modello matematico. L'aggiornamento ha riguardato sia l'impostazione delle condizioni al contorno del modello, sia le condizioni di carico idraulico per la verifica della calibrazione del modello stesso. I pozzi disponibili per questa fase del lavoro, appartengono tutti alla Rete regionale di monitoraggio delle acque sotterranee;
2. *prelievi*: i dati di prelievo acquadottistico (paragrafo 2.4) insistenti sull'area sottesa dal modello, sono stati forniti da Atersir con passo temporale mensile e sono stati implementati all'interno del modello numerico. Per i prelievi relativi agli altri usi (industriale ed irriguo) si è fatto riferimento alle attività condotte in [7] (DGR 1781/2015 - Aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento (carichi inquinanti, bilanci idrici e stato delle acque) ai fini del riesame dei Piani di Gestione Distrettuali 2015-2021. All. 2 – Bilanci Idrici.);
3. *ricarica zenitale*: sono state effettuate le opportune valutazioni sui contributi meteorici alla ricarica nel periodo di aggiornamento del modello come descritto al successivo paragrafo 2.5.

L'aggiornamento del modello ha riguardato il periodo compreso tra 1/11/2006 e 1/1/2014 di lunghezza pari a 7 anni e tre mesi. Rispetto alle indicazioni riportate nella specifica di progetto e che prevedevano il termine dell'aggiornamento del modello al 31/12/2012, è stato effettuato l'aggiornamento per un anno in più.

2.2 Discretizzazione spaziale e discretizzazione temporale

Per la discretizzazione spaziale viene confermata quella della impostazione modellistica documentata in [4] (Atersir, Arpa (2013). Implementazione della modellistica di flusso delle acque sotterranee della provincia di Modena a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica.). La discretizzazione orizzontale rimane con celle quadrate di lato 500 m, mentre in verticale lo spessore delle celle è variabile in funzione dello spessore totale del sistema modellato che viene suddiviso in 35 layer lungo la verticale (23 layer per il Gruppo Acquifero A e 12 layer per il Gruppo Acquifero B). Il numero di celle attive nel modello è pari a 101.516. Nella Figura 2.1 viene riportata la visualizzazione tridimensionale dell'intero sistema mentre nella successiva Figura 2.2 vengono invece riportati alcuni tagli in pianta e in sezione, sia trasversale che longitudinale, operati sulla discretizzazione tridimensionale del modello.

Figura 2.1: discretizzazione spaziale del modello con orientazione OSO-ENE Vista 3-D

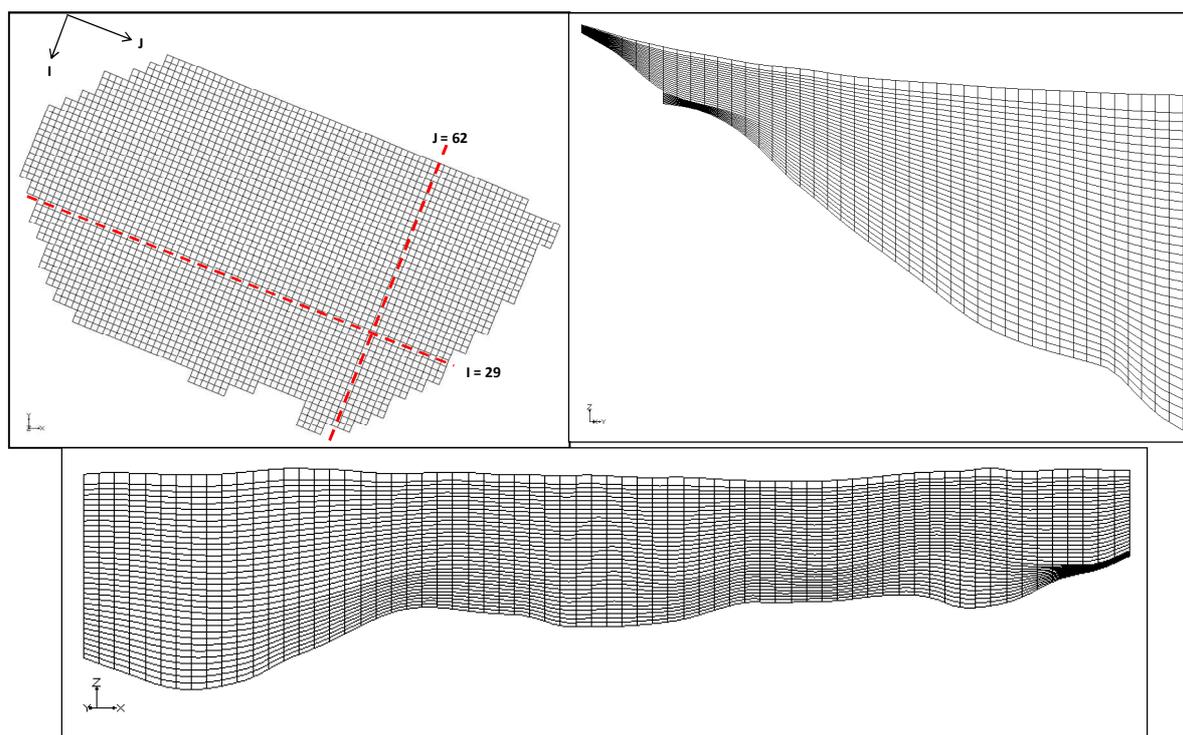


La discretizzazione temporale del modello corrisponde alla definizione dei periodi all'interno dei quali sono da considerarsi costanti le variabili esterne costituenti le sollecitazioni imposte al sistema (ricariche, prelievi, condizioni al contorno).

In Tabella 2.1 è riportato lo schema della discretizzazione temporale del modello dal quale si evince che:

1. viene mantenuta l'ampiezza trimestrale per lo stress period del modello di flusso;
2. ai primi 15 stress period del modello facenti parte della prima implementazione del modello operata nel 2013 e documentata in [4] seguono ulteriori 29 stress periods trimestrali che rappresentano la fase di aggiornamento del modello numerico qui presentata;
3. avendo verificata la disponibilità dei dati sui prelievi di acque sotterranee, l'aggiornamento è stato condotto sino a tutto il 2013, quindi per un anno in più rispetto a quanto inizialmente previsto.

Figura 2.2: a sinistra, discretizzazione orizzontale del modello (layer 1-23), maglia di lato 500 m. In tratteggio sono indicate le tracce delle sezioni verticali riportate come esempi a destra e in basso. A destra, sezione orientata in senso SO-NE, J62 (Conoide Panaro) e in basso sezione in senso NO-SE, I29 .



La copertura temporale del modello è quindi pari a 11 anni compresi tra l'inizio del 2003 e l'inizio del 2014.

Tabella 2.1: definizione della discretizzazione temporale del modello

Stress Period (SP)	data iniziale	numero di secondi	data finale	numero di giorni	
1	01/02/03	7689600	30/04/03	89	fase di calibrazione del modello
2	01/05/03	7948800	31/07/03	92	
3	01/08/03	7948800	31/10/03	92	
4	01/11/03	7948800	31/01/04	92	
5	01/02/04	7776000	30/04/04	90	fase di verifica del modello
6	01/05/04	7948800	31/07/04	92	
7	01/08/04	7948800	31/10/04	92	
8	01/11/04	7948800	31/01/05	92	
9	01/02/05	7689600	30/04/05	89	
10	01/05/05	7948800	31/07/05	92	
11	01/08/05	7948800	31/10/05	92	
12	01/11/05	7948800	31/01/06	92	

Stress Period (SP)	data iniziale	numero di secondi	data finale	numero di giorni	
13	01/02/06	7689600	30/04/06	89	
14	01/05/06	7948800	31/07/06	92	
15	01/08/06	7948800	31/10/06	92	
16	01/11/06	7948800	31/01/07	92	fase di aggiornamento del modello
17	01/02/07	7689600	30/04/07	89	
18	01/05/07	7948800	31/07/07	92	
19	01/08/07	7948800	31/10/07	92	
20	01/11/07	7948800	31/01/08	92	
21	01/02/08	7776000	30/04/08	90	
22	01/05/08	7948800	31/07/08	92	
23	01/08/08	7948800	31/10/08	92	
24	01/11/08	7948800	31/01/09	92	
25	01/02/09	7689600	30/04/09	89	
26	01/05/09	7948800	31/07/09	92	
27	01/08/09	7948800	31/10/09	92	
28	01/11/09	7948800	31/01/10	92	
29	01/02/10	7689600	30/04/10	89	
30	01/05/10	7948800	31/07/10	92	
31	01/08/10	7948800	31/10/10	92	
32	01/11/10	7948800	31/01/11	92	
33	01/02/11	7689600	30/04/11	89	
34	01/05/11	7948800	31/07/11	92	
35	01/08/11	7948800	31/10/11	92	
36	01/11/11	7948800	31/01/12	92	
37	01/02/12	7776000	30/04/12	90	
38	01/05/12	7948800	31/07/12	92	
39	01/08/12	7948800	31/10/12	92	
40	01/11/12	7948800	31/01/13	92	
41	01/02/13	7689600	30/04/13	89	
42	01/05/13	7948800	31/07/13	92	
43	01/08/13	7948800	31/10/13	92	
44	01/11/13	7948800	31/01/14	92	

2.3 Dati piezometrici

La disponibilità dei dati piezometrici è da riferirsi principalmente all'esistenza delle reti di monitoraggio regionale e provinciale. In Tabella 2.2 è riportato l'elenco dei pozzi con misure utili all'aggiornamento del modello numerico, completa delle caratteristiche costruttive note dei singoli punti di misura, mentre in Figura 2.3 ne viene rappresentata la distribuzione spaziale associata al corpo idrico assunto come riferimento per ogni singolo pozzo. Gli ultimi pozzi riportati in Tabella 2.2 ricadono appena al di fuori dell'areale modellato e sono utili per la definizione delle condizioni al contorno. L'analisi della disponibilità nel tempo dei pozzi utili per le varie fasi di calibrazione del modello è riportata in Tabella 2.3. Dei 113 pozzi complessivamente disponibili per la calibrazione, per l'ultima fase di aggiornamento del modello per il periodo 2007-2013 il numero di pozzi utile è pari a 58.

Tabella 2.2: caratteristiche costruttive dei pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio (RRM) e della Rete della Provincia di Modena (MO) e relativi periodi con misure disponibili per la costruzione, calibrazione e verifica del modello numerico.

Rete	Codice pozzo	X UTM	Y UTM	p.c. (m s.l.m.)	Prof. (m)	Filtri		Complesso/Gruppo Acquifero	Corpo Idrico	Disponibilità dati
						da (m)	a (m)			
RRM	BO11-01	669692	937518	44	175.9	84	171.44	a2-a3-a4	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	BO12-00	669039	935743	48	54			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	BO92-00	672665	937171	35.72	150	88.5	147	a2-a3-a4	Conoide Samoggia - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO13-01	647050	950640	36.5	110			a2	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO14-00	652118	953006	25.94	121	115	121	a2	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO15-01	655382	951739	29.25	120			a2	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO17-01	661528	949552	24.32	300			a3-a4	Piana alluvionale appenninica	(03-06)
RRM	MO17-02	661215	949248	26.3	320			a1-a2-a3-a4	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	(07-13)
RRM	MO19-00	642864	944166	56.9	70	17	68	a1-a2	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO20-00	651391	943770	37.16	82	64	75.5	a3-a4	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO20-02	650128	944829	36	71	61	71	a2	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO22-01	663015	943476	33.3	62			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO24-01	660849	938611	44.37	45			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO25-00	641467	934486	109.85	23.5			B	Conoide Secchia - libero	(03-13)
RRM	MO26-01	642240	935810	103.1	70	17	44	a3-a4	Conoide Secchia - libero	(03-13)
RRM	MO27-01	645348	936617	93.3	80			a3-a4	Conoide Secchia - libero	(07-13)
RRM	MO28-01	650107	936197	84	70	35	59.5	a2	Conoide Tiepido - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO29-00	657521	934145	63.84	97.5	16.5	97.5	a3-a4	Conoide Panaro - libero	(03-06)
RRM	MO29-01	657936	933172	70.8	110		42	a2	Conoide Panaro - libero	(07-13)
RRM	MO30-00	660617	932961	73	118	23	100	a1-a2-a3-a4-B	Conoide Panaro - libero	(07-13)
RRM	MO30-02	660699	931852	79.5	90			B	Conoide Panaro - libero	(03-13)
RRM	MO31-01	661634	933187	68.96	60			a2	Conoide Panaro - libero	(03-06)
RRM	MO31-02	663529	934507	58.2	57			a2	Conoide Panaro - libero	(07-13)

Rete	Codice pozzo	X UTM	Y UTM	p.c. (m s.l.m.)	Prof. (m)	Filtri		Complesso/Gruppo Acquifero	Corpo Idrico	Disponibilità dati
						da (m)	a (m)			
RRM	MO32-01	660132	930123	95	54			a3-a4	Conoide Panaro - libero	(03-13)
RRM	MO36-00	647780	942110	52	51	42	51	a1	Conoide Secchia - libero	(03-13)
RRM	MO42-00	651634	932616	115.24	90			C	Conoide Tiepido - libero	(03-13)
RRM	MO50-03	660772	929636	96	60	18	60	a3-a4	Conoide Panaro - libero	(07-13)
RRM	MO51-00	653576	934561	82	120	67	120	a3-a4-B	Conoide Tiepido - libero	(03-13)
RRM	MO53-00	662712	935249	58	40			a1	Conoide Panaro - libero	(03-13)
RRM	MO55-00	661443	936275	54	110	30	85	a3-a4	Conoide Panaro - libero	(03-13)
RRM	MO56-02	660564	941686	38	100			a2	Conoide Panaro - confinato superiore	(07-13)
RRM	MO58-00	644152	939600	72.4	138	45	133	a1-a2-a3-a4	Conoide Secchia - libero	(07-13)
RRM	MO59-00	643890	935290	105.5	93	45	93	a2-a3-a4	Conoide Secchia - libero	(03-13)
RRM	MO60-00	648573	933716	117.2	95			C	Conoide Tiepido - libero	(03-13)
RRM	MO62-00	662740	931355	81.69	108			C	Conoide Panaro - libero	(07-13)
RRM	MO63-00	655620	934000	72	156			C	Conoide Tiepido - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO64-00	664061	932914	65	73			a3-a4	Conoide Panaro - libero	(03-13)
RRM	MO65-00	651621	932837	113.6	100	67.5	73.5	a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03-13)
RRM	MO66-00	667464	933785	59.2	120			a3-a4	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO68-01	651610	939291	53.3	40	39	40	a1	Conoide Tiepido - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO69-00	645450	944102	47.3	43.5			a1	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO71-01	645325	934036	116.4	116.5			Sotto c	Conoide Secchia - libero	(03-13)
RRM	MO72-01	647830	939129	65	104	93	104	a3-a4	Conoide Secchia - libero	(03-13)
RRM	MO73-01	642352	937656	90.8	97	55	96	a3-a4	Conoide Secchia - libero	(07-13)
RRM	MO74-00	668000	939675	36	52	42	48	a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO75-00	644593	948448	46	60	37	56	a1	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO76-00	662375	939518	42	123	75	121	a1-a2	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	MO77-00	665665	936900	46.6	66			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-06)
RRM	MO77-01	666283	936239	43	30			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(07-13)

Rete	Codice pozzo	X UTM	Y UTM	p.c. (m s.l.m.)	Prof. (m)	Filtri		Complesso/Gruppo Acquifero	Corpo Idrico	Disponibilità dati
						da (m)	a (m)			
RRM	MO81-00	642684	937228	92.4	116	48	107	a3-a4	Conoide Secchia - libero	(07-13)
RRM	MO-F01-00	658925	947730	28.2	12			a0	Freatico di pianura fluviale	(07-13)
RRM	MO-F02-00	651069	949084	36.2	3.8			a0	Freatico di pianura fluviale	(07-13)
RRM	RE31-00	641973	952868	38.32	165	152.5	157.5	a3-a4	Pianura Alluvionale - confinato inferiore	(03-13)
RRM	RE38-02	641612	949322	45.35	106	100	105	a2	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-06)
RRM	RE38-03	641156	948776	46	60			a3	Conoide Secchia - confinato superiore	(07-13)
RRM	RE45-00	641834	945512	53.38	305	243	295	B	Conoide Secchia - confinato inferiore	(03-13)
RRM	RE46-00	637367	942885	67.72	48	46	48	a1-a2	Conoide Crostolo-Tresinaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	RE46-01	636587	943232	70.9	64			a2	Conoide Crostolo-Tresinaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	RE47-00	641544	942731	62.3	258	213	247	B	Conoide Secchia - confinato inferiore	(03-13)
RRM	RE48-00	637549	939646	94.07	30			a2	Conoide Crostolo-Tresinaro - confinato superiore	(03-13)
RRM	RE49-01	638544	939359	88.88	80			a3-a4	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
RRM	RE50-00	641265	939878	79.85	158	55	156	a3-a4-B	Conoide Secchia - libero	(03-13)
RRM	RE80-01	636883	939308	102.4	101			A-B	Conoide Tresinaro - libero	(07-13)
MO	MO-004	663535	930571	77.8	85			C	Conoide Panaro - libero	(03-06)
MO	MO-005	658153	931590	87.5	65			a1	Conoidi montane e Sabbie gialle	(03-06)
MO	MO-009	648428	933355	143.3	70			a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03-06)
MO	MO-010	649538	932830	124.8	43			a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03-13)
MO	MO-011	650188	933985	106	27			a2	Conoide Tiepido - libero	(03)
MO	MO-019	662678	933480	67	60			a2	Conoide Panaro - libero	(03-06)
MO	MO-021	664785	933600	63	76			a2	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-06)
MO	MO-027	652478	935690	77.5	73			a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03)
MO	MO-029	657058	935665	56	36			a2	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
MO	MO-033	660353	935310	55.9	40			a2	Conoide Panaro - libero	(03)
MO	MO-035	663528	934510	58.2	57			a2	Conoide Panaro - libero	(03-06)
MO	MO-041	649703	937230	74.4	142			B	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03)

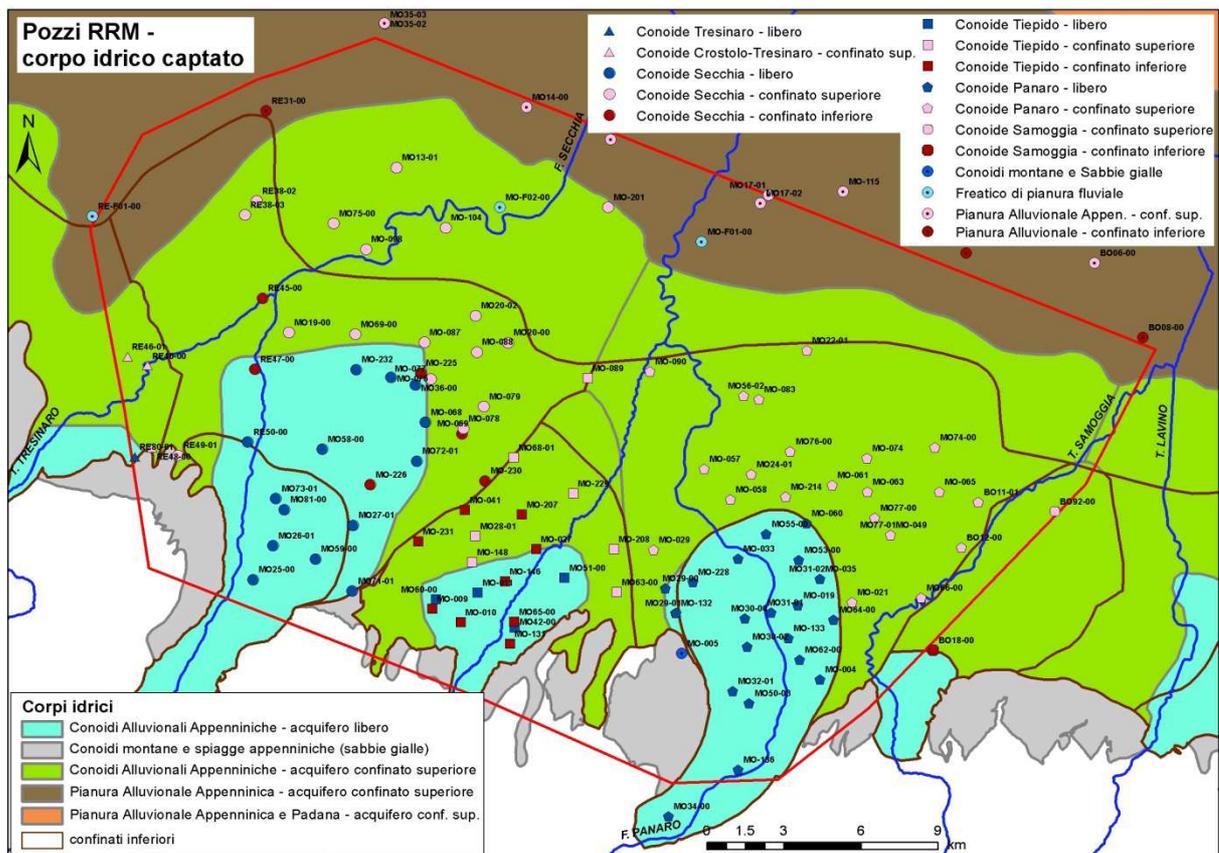
Rete	Codice pozzo	X UTM	Y UTM	p.c. (m s.l.m.)	Prof. (m)	Filtri		Complesso/Gruppo Acquifero	Corpo Idrico	Disponibilità dati
						da (m)	a (m)			
MO	MO-049	666281	936233	48.9	30			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03)
MO	MO-057	659023	938820	45.5	37			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
MO	MO-058	660051	937638	48.3	22			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03)
MO	MO-060	663008	936705	49.2	56			a1	Conoide Panaro - libero	(03)
MO	MO-061	663998	938185	45.1	24			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03)
MO	MO-063	665373	937925	42.3	27			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-13)
MO	MO-065	668173	937930	42.4	60			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03)
MO	MO-068	648163	940655	56	50			a1	Conoide Secchia - libero	(03-06)
MO	MO-069	649603	940200	52	130			a3-a4	Conoide Secchia - confinato inferiore	(03-13)
MO	MO-074	665368	939240	39.8	44			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03)
MO	MO-076	646843	942415	50.4	47.5			a1	Conoide Secchia - libero	(03-06)
MO	MO-077	648383	942350	50.5	45			a1	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-06)
MO	MO-078	649643	940405	46.5	35			a1	Conoide Secchia - confinato superiore	(03)
MO	MO-079	650443	941270	47.4	59			a2	Conoide Secchia - confinato superiore	(03)
MO	MO-083	661153	941560	37	100			a2	Conoide Panaro - confinato superiore	(03)
MO	MO-087	648133	943785	48	35			a1	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
MO	MO-088	650173	943405	42.8	35			a1	Conoide Secchia - confinato superiore	(03)
MO	MO-089	654481	942397	36.5	23.3			a1	Conoide Tiepido - confinato superiore	(03)
MO	MO-090	656918	942650	36	28			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-06)
MO	MO-098	645863	947430	43.7	30			a1	Conoide Secchia - confinato superiore	(03)
MO	MO-104	648958	948280	39.2	100			a2	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
MO	MO-131	651453	931980	122.5	63			a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03)
MO	MO-132	657923	933180	70.8	100			a3-a4	Conoide Panaro - libero	(03)
MO	MO-133	662298	932200	73.9	55			a2	Conoide Panaro - libero	(03)
MO	MO-136	660353	927040	105.7	10			a2	Conoide Panaro - libero	(03)
MO	MO-146	651261	934427	95.8	70			a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03-06)

Rete	Codice pozzo	X UTM	Y UTM	p.c. (m s.l.m.)	Prof. (m)	Filtri		Complesso/Gruppo Acquifero	Corpo Idrico	Disponibilità dati
						da (m)	a (m)			
MO	MO-148	649983	935178	92.4	40			a2	Conoide Tiepido - confinato superiore	(03)
MO	MO-201	655278	949080	31	110			a2	Conoide Secchia - confinato superiore	(03-13)
MO	MO-207	651928	937055	65	103			a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03-13)
MO	MO-208	655505	935688	56.8	30			a2	Conoide Tiepido - confinato superiore	(03-06)
MO	MO-214	662188	937735	46.5	32			a1	Conoide Panaro - confinato superiore	(03-06)
MO	MO-225	647989	942581	28.5	180			B	Conoide Secchia - confinato inferiore	(03)
MO	MO-226	646028	938208	78.8	108			B	Conoide Secchia - confinato inferiore	(03)
MO	MO-228	658593	934394	59	70			a3-a4	Conoide Panaro - libero	(03)
MO	MO-229	653918	937873	55.8	50			a1	Conoide Tiepido - confinato superiore	(03-06)
MO	MO-230	650494	938359	61.5	120			a3-a4	Conoide Secchia - confinato inferiore	(03-06)
MO	MO-231	647883	935999	90	58			a3-a4	Conoide Tiepido - confinato inferiore	(03-06)
MO	MO-232	645474	942722	52	79.5			a2	Conoide Secchia - libero	(03-13)
<i>Pozzi che ricadono subito al di fuori dell'area modellata, utili per le elaborazioni delle condizioni al contorno</i>										
RRM	BO05-00	669219	947283	22.19	177	168	172	a3-a4	Pianura Alluvionale - confinato inferiore	(03-13)
RRM	BO06-00	674216	946898	17.92	615	73.5	615.19	a1-a2-a3-a4-b-c	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	(07-13)
RRM	BO08-00	676094	943989	25.25	106	103	106	a1	Pianura Alluvionale - confinato inferiore	(03-13)
RRM	BO18-00	667927	931714	68.51	99	52	97	a2-a3-a4	Conoide Samoggia - confinato inferiore	(03-13)
RRM	MO34-00	657638	925213	128.7	8.5		8.5	a0	Conoide Panaro - libero	(03-13)
RRM	MO35-02	646582	956286	31	130			a2	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	(03-06)
RRM	MO35-03	646596	956290	31	105	100	105	a2	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	(07-13)
RRM	RE-F01-00	635214	948737	53.5	7.2			a0	Freatico di pianura fluviale	(07-13)
MO	MO-115	664428	949705	24	90			a1	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	(03)

Tabella 2.3: disponibilità di misure piezometriche in funzione delle fasi di aggiornamento del modello numerico.

Totale per periodo	97	73	58	
POZZO-RETE	CALIBRAZIONE (2003)	VERIFICA (2004-2006)	AGGIORNAMENTO (2007-2013)	Totale
Rete regionale	SI	SI	SI	42
		NO	NO	5
	SI Totale			47
	SI Totale			47
	NO	NO	SI	16
		NO Totale		
NO Totale			16	
Totale rete regionale				63
Rete provinciale	SI	NO	NO	24
		NO Totale		
	SI	NO	26	
	SI Totale			26
	SI Totale			50
Totale rete provinciale				50
Totale complessivo				113

Figura 2.3: distribuzione spaziale dei pozzi con misure piezometriche disponibili e corpo idrico captato.



2.4 Dati sui prelievi di acque sotterranee

2.4.1 I prelievi civili acquedottistici

Questa parte del lavoro ha previsto l'aggiornamento della base informativa già implementata in [4] (Atersir, Arpa (2013). Implementazione della modellistica di flusso delle acque sotterranee della provincia di Modena a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica.) ampliandone l'arco di copertura temporale a tutto il 2013. Dove necessario sono state fatte ulteriori verifiche laddove possibile a completamento della necessaria conoscenza delle caratteristiche costruttive di tutti i pozzi, anche in vista della successiva implementazione del modello di trasporto.

Ciò è stato realizzato per tutti i pozzi che abbiano avuto una attività di estrazione dal 2002 ad oggi. In tal modo il modello numerico è in grado di rappresentare i passati periodi di funzionamento di pozzi non più in uso e nello stesso tempo di poter ricevere i dati di prelievo relativi a pozzi di più recente costruzione.

L'ubicazione di tutti i pozzi acquedottistici è rappresentata nella successiva Figura 2.4. Il prelievi acquedottistici complessivi ammontano a circa 83 milioni di metri cubi all'anno (media 2002-2013) con valori leggermente inferiori (81 Mm^3) negli ultimi sei anni (2008-2013) rispetto al periodo precedente (anni 2002-2007, 85 Mm^3). Il dettaglio dei prelievi suddiviso per singoli campi pozzi e per gestore è riportato in Tabella 2.4.

Figura 2.4: ubicazione dei principali poli di approvvigionamento idropotabile inseriti all'interno del modello.

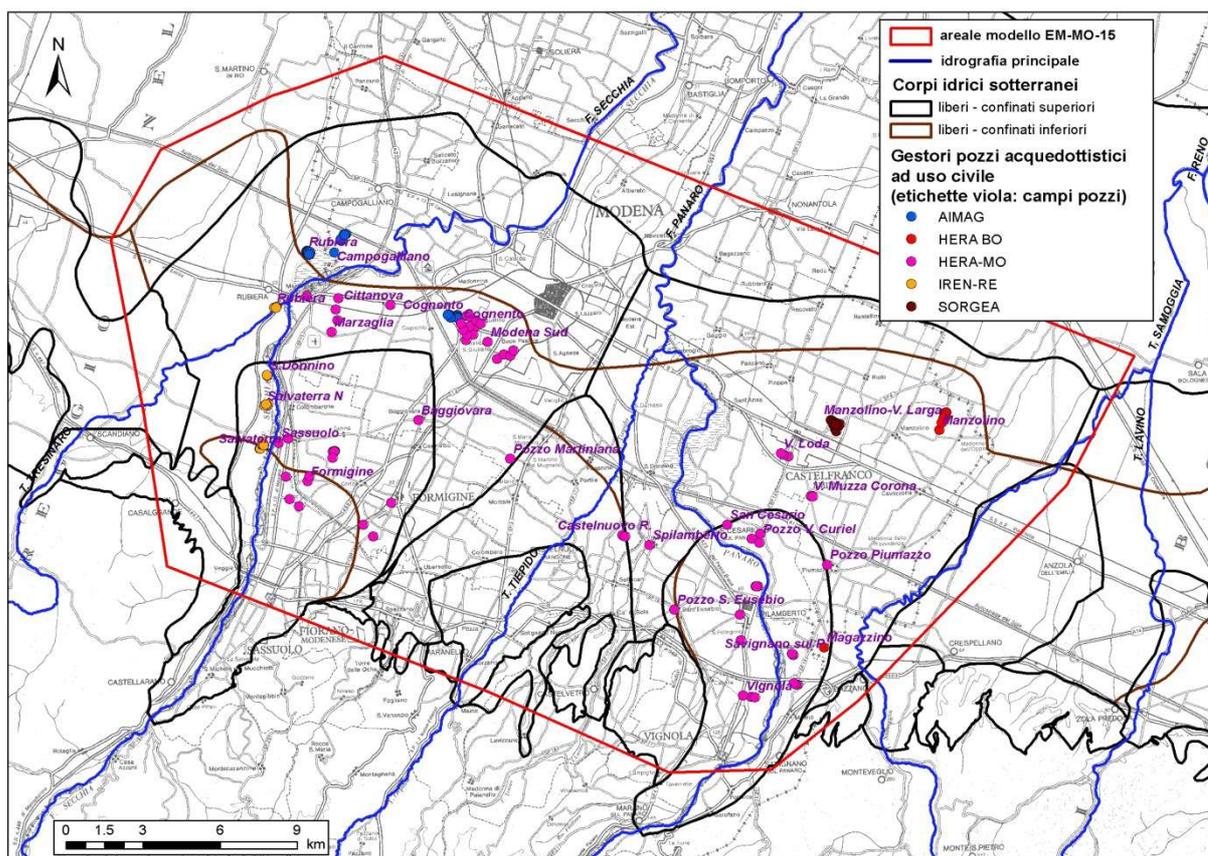


Tabella 2.4: prelievi annui di acque sotterranee a scopo acquedottistico nel periodo 2002-2013. Dati per gestore e per campo pozzi. Dati in milioni di m³.

Gestore	Impianto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Campogalliano	4.47	3.78	4.20	4.43	4.15	4.09	4.00	4.68	4.85	4.66	4.58	4.57
	Cogento AIMAG	9.39	8.94	8.66	9.17	9.51	9.56	9.43	9.62	9.08	9.21	9.36	9.70
	Rubiera AIMAG	7.61	8.21	8.57	8.00	7.52	7.21	7.14	7.81	7.26	7.44	6.94	7.55
AIMAG Totale		21.47	20.92	21.44	21.60	21.18	20.85	20.58	22.12	21.18	21.30	20.88	21.82
	Magazzino	0.34	0.43	0.41	0.45	0.54	0.67	0.71	0.70	0.88	0.84	0.84	0.93
	Manzolino-Hera	2.25	2.13	2.16	2.68	2.85	2.55	2.51	2.72	2.86	3.23	3.26	2.38
HERA BO Totale		2.59	2.55	2.58	3.14	3.39	3.23	3.22	3.42	3.75	4.08	4.10	3.30
	Baggiovara	0.01	0.01	0.004	0.001	0.000	0.02	0.01	0.11	0.25	0.24	0.20	0.10
	Castelnuovo Rangone	0.50	0.45	0.35	0.41	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Cittanova	0.01	0.09	0.20	0.19	0.00	0.17	0.18	0.20	0.21	0.18	0.18	0.08
	Cogento Hera	9.11	8.91	9.06	8.96	9.16	9.75	7.49	9.48	8.08	8.66	8.85	6.07
	Fiorano	0.00	0.20	0.19	0.24	0.31	0.00	0.24	0.11	0.11	0.05	0.16	0.01
	Formigine	7.43	8.94	8.85	8.61	9.42	9.16	9.49	8.94	8.96	9.09	8.88	8.89
	Marzaglia	9.80	10.36	10.55	10.40	10.14	10.63	9.63	8.15	7.83	9.02	9.42	11.26
	Marzaglia-Marzaglia	0.01	0.004	0.003	0.003	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
	Modena Sud	1.21	1.46	1.51	1.40	1.54	1.56	1.24	0.00	0.32	0.66	0.26	0.05
	Pozzo Martiniana	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.03	0.03	0.27	0.58	0.02
	Pozzo 1 Piumazzo	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.35	0.41	0.53	0.18	0.31	0.53	0.30
	Pozzo S. Eusebio	1.06	1.04	0.80	0.42	0.40	0.24	0.78	0.39	0.01	0.02	0.33	0.14
	Pozzo Solignani	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.08	0.03
	Pozzo via Curiel	0.21	0.21	0.22	0.25	0.20	0.17	0.31	0.37	0.36	0.33	0.28	0.21
	San Cesario	4.77	4.78	5.09	5.27	5.60	5.12	5.27	5.40	6.23	5.35	4.65	5.46
	Sassuolo	1.58	2.48	2.38	2.41	2.40	2.38	2.28	2.16	2.13	2.14	2.12	2.50
	Savignano Sul Panaro	0.75	0.75	0.69	0.80	0.76	0.74	0.91	0.89	0.89	0.91	0.92	0.71
	Spilamberto	1.79	1.63	1.51	1.77	1.54	1.53	1.00	2.52	2.69	2.60	2.79	2.40
	Via Loda	2.56	2.42	2.52	2.47	2.48	1.33	1.44	1.42	1.35	1.25	1.38	1.40
	Via Muzza Corona	0.49	0.47	0.49	0.48	0.48	1.24	1.05	0.95	1.32	1.50	1.38	1.34

Gestore	Impianto	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	Vignola	2.10	2.10	2.03	2.40	2.30	2.17	1.45	1.26	1.62	1.62	1.25	0.96
HERA-MO Totale		43.57	46.46	46.63	46.66	47.21	46.89	43.24	42.99	42.63	44.27	44.25	41.92
	Rubiera	1.32	1.28	1.52	1.42	1.31	1.44	1.43	1.60	1.39	1.57	1.69	1.76
	S.Donnino	1.67	1.60	1.45	1.38	1.36	1.26	1.41	1.42	1.46	1.44	1.33	1.34
	Salvaterra	1.70	1.68	1.86	1.41	2.00	2.15	2.19	1.82	2.09	1.44	1.30	1.74
	Salvaterra nord	3.16	3.11	3.04	3.35	2.83	2.10	2.39	3.08	2.60	3.01	2.86	1.97
IREN-RE Totale		7.85	7.67	7.87	7.55	7.51	6.95	7.42	7.93	7.54	7.46	7.18	6.81
	Manzolino SORGEA - via Larga	7.00	7.15	7.30	7.45	7.11	6.30	6.03	5.59	5.48	5.44	5.68	5.69
SORGEA Totale		7.00	7.15	7.30	7.45	7.11	6.30	6.03	5.59	5.48	5.44	5.68	5.69
Totale complessivo		82.48	84.75	85.82	86.40	86.39	84.22	80.49	82.04	80.57	82.56	82.09	79.54

Tabella 2.5: prelievi annui di acque sotterranee per i diversi usi nel periodo 2002-2013. Dati in milioni di m³.

Anno	CIVILE	INDUSTRIALE (AZIENDE)	INDUSTRIALE (COMUNALE)	IRRIGUO	ZOOTECNICO	TOTALE
2003	85.5	11.8	7.9	19.8	2.1	127.1
2004	86.1			13.8		121.6
2005	85.7			14.0		121.5
2006	85.5			13.6		120.8
2007	82.8			17.5		121.8
2008	79.6	15.1	2.6	12.5	1.8	113.7
2009	81.0			16.0		116.7
2010	79.5			10.7		109.8
2011	81.9			18.3		119.9
2012	81.1			16.1		116.8
2013	79.1			12.5		111.2

2.4.2 I prelievi complessivi

Per i prelievi relativi agli altri usi, industriali ed irrigui principalmente, i volumi e l'attribuzione spaziale sono quelli dell'ultimo aggiornamento del modello di flusso regionale Emiro-II condotto in [7] (DGR 1781/2015 - Aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento (carichi inquinanti, bilanci idrici e stato delle acque) ai fini del riesame dei Piani di Gestione Distrettuali 2015-2021. All. 2 – Bilanci Idrici.) opportunamente trasferite nella nuova discretizzazione spazio-temporale del modello Emiro-MO-15.

In Tabella 2.5 ed in Figura 2.5 vengono riportati i prelievi complessivi suddivisi per le diverse tipologie di utilizzo e per gli anni compresi nel periodo 2003-2013. La successiva Figura 2.6 fornisce invece l'indicazione dell'incidenza media dell'uso rispetto al totale, evidenziando che mediamente il 70% dei prelievi delle acque sotterranee nell'areale di interesse sono relativi ai prelievi civili acquedottistici. Nella Tabella 2.6 i prelievi totali vengono invece ripartiti tra i diversi corpi idrici.

Figura 2.5: prelievi annui di acque sotterranee suddivisi per i diversi usi. Dati in Mm³.

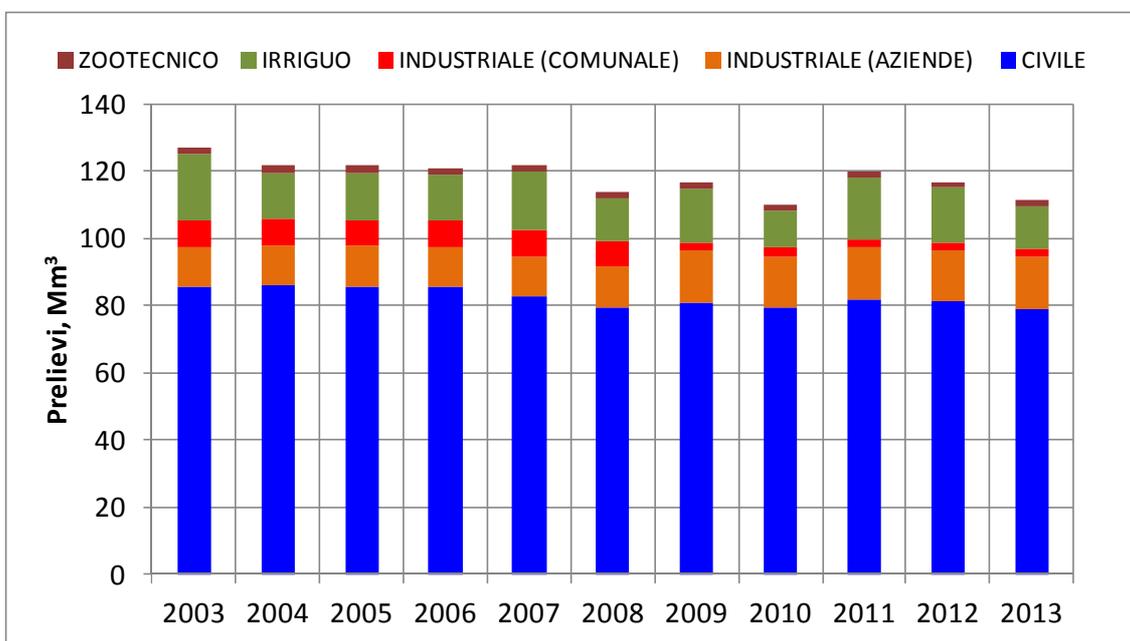


Figura 2.6: incidenza dei prelievi di acque sotterranee per i diversi usi rispetto al totale complessivo.

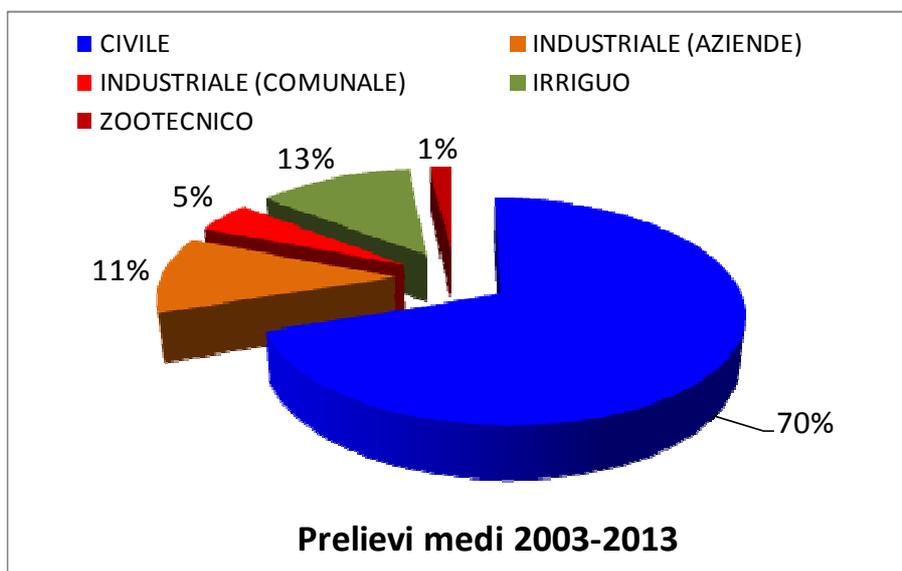


Tabella 2.6: prelievi annui di acque sotterranee complessivi suddivisi per corpo idrico. Dati in milioni di m³.

CORPO IDRICO	ID_wb (codice water budget modello)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Conoide Tresinaro - libero	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Conoide Secchia - libero	2	13.5	12.7	12.7	12.4	11.6	11.1	12.5	11.5	12.5	12.2	11.0
Conoide Tiepido - libero	3	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
Conoide Panaro - libero	4	15.2	14.6	15.1	15.1	15.6	14.5	15.9	15.9	16.6	15.3	14.7
Conoide Samoggia - libero	5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Conoidi montane e Sabbie gialle	7	1.6	1.3	1.4	1.3	1.4	1.2	1.5	1.3	1.6	1.5	1.3
Conoide Tresinaro - confinato superiore	11	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	0.3	0.3	0.1
Conoide Secchia - confinato superiore	22	37.5	36.7	37.0	36.2	37.1	35.2	36.8	34.5	37.2	36.2	34.4
Conoide Tiepido - confinato superiore	33	1.5	1.2	1.1	1.1	1.2	1.0	1.5	1.3	1.6	1.5	1.4
Conoide Panaro - confinato superiore	44	18.7	18.0	17.8	17.7	18.5	16.9	17.1	15.9	18.6	18.1	16.4
Conoide Samoggia - confinato superiore	55	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6
Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	99	2.1	1.5	1.8	1.6	1.5	1.3	1.5	1.2	1.6	1.5	1.3
Conoide Tresinaro - confinato inferiore	111	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Conoide Secchia - confinato inferiore	222	27.6	27.5	26.5	27.3	27.5	25.3	22.7	22.1	22.9	22.7	24.3
Conoide Tiepido - confinato inferiore	333	3.1	2.8	2.8	2.7	2.6	2.2	2.0	1.8	2.4	2.5	1.9
Conoide Panaro - confinato inferiore	444	3.2	2.7	2.6	2.6	2.1	2.7	2.6	2.2	2.3	2.7	2.4
Conoide Samoggia - confinato inferiore	555	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Pianura Alluvionale - confinato inferiore	888	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.2	1.0	1.1	1.0	1.0
	TOTALE	127.1	121.6	121.5	120.8	121.8	113.7	116.7	109.8	119.9	116.8	111.2

2.5 Dati di ricarica zenitale (fiumi e pioggia)

Per i dati di ricarica zenitale, sia per il contributo da suolo che per quello da fiume, sono state confermate le metodologie di stima già adottate in [7] (DGR 1781/2015 - Aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento (carichi inquinanti, bilanci idrici e stato delle acque) ai fini del riesame dei Piani di Gestione Distrettuali 2015-2021. All. 2 – Bilanci Idrici.). In Figura 2.7 sono riportate le celle del modello a cui sono state attribuite la ricarica dei corsi d'acqua.

Figura 2.7: attribuzione alle celle del modello della ricarica dei corsi d'acqua .

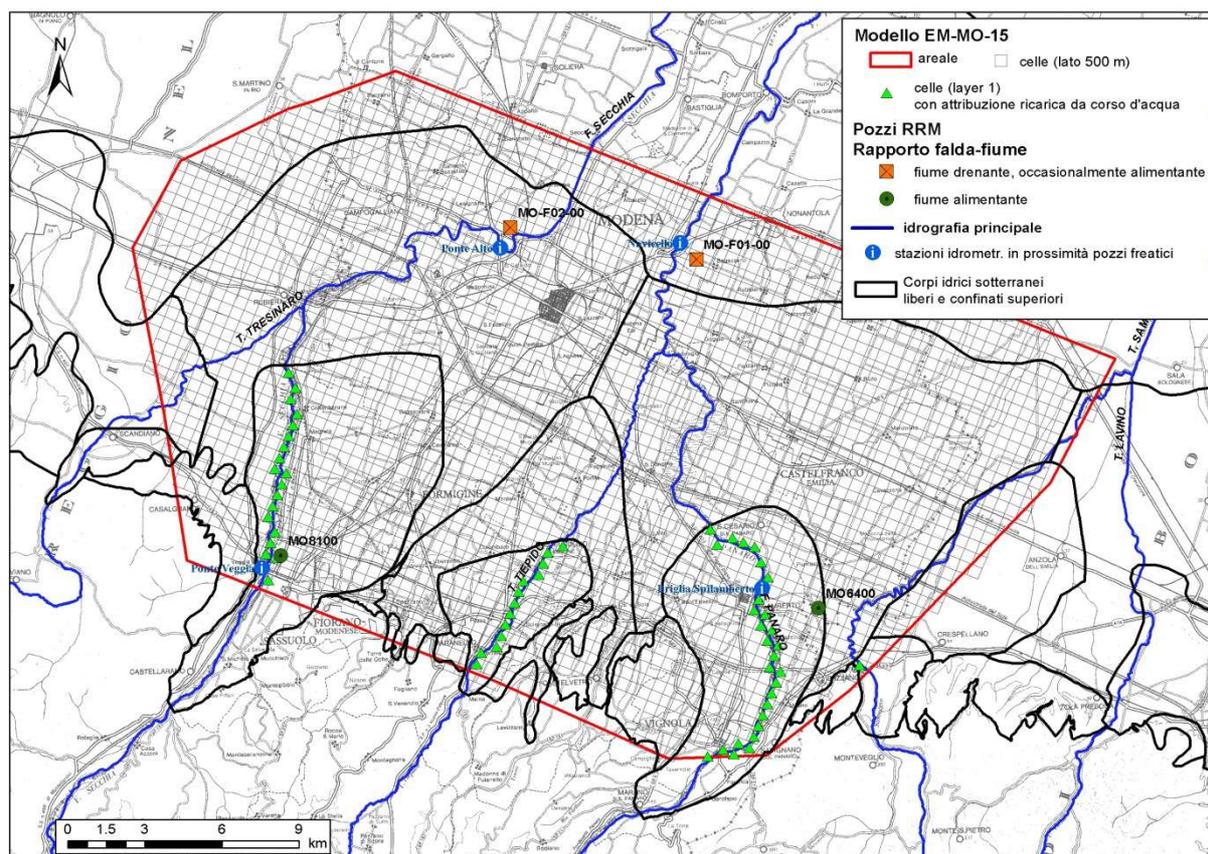


Figura 2.8: Dati di ricarica fluviale imposti al modello di flusso, dati annuali.

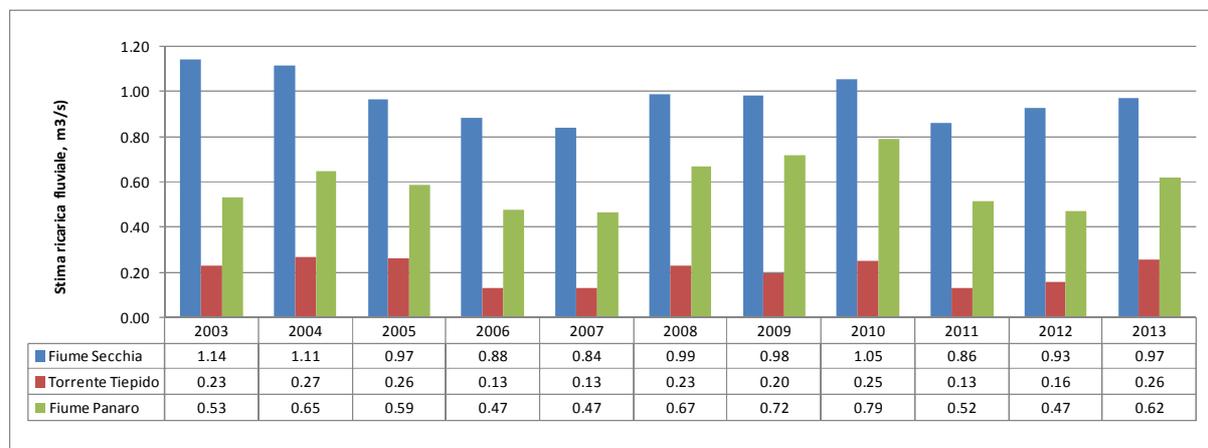


Figura 2.9: Fiume Secchia, stima della ricarica verso le falde acquifere e confronto con le quote della falda in corrispondenza del fiume e con i valori di portata fluente in alveo (dati in m³/s).

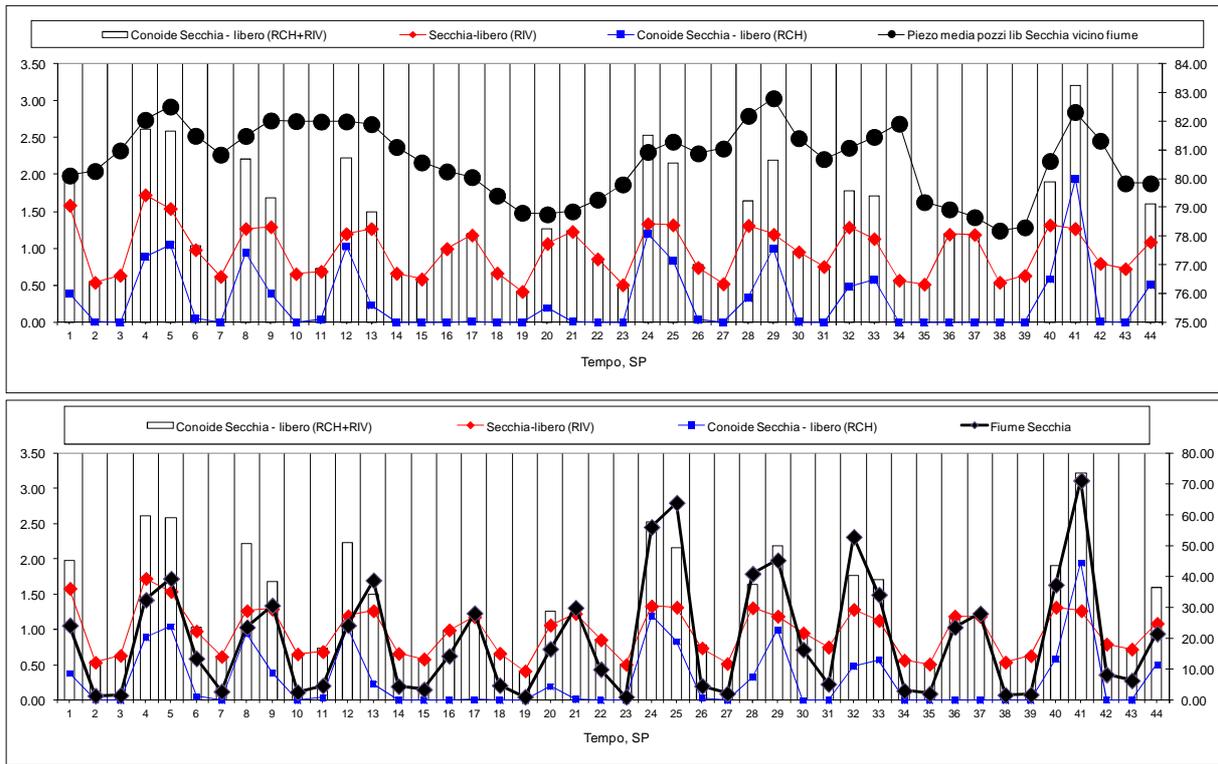


Figura 2.10: Torrente Tiepido, stima della ricarica verso le falde acquifere e confronto con le quote della falda in corrispondenza del fiume e con i valori di portata fluente in alveo (dati in m³/s).

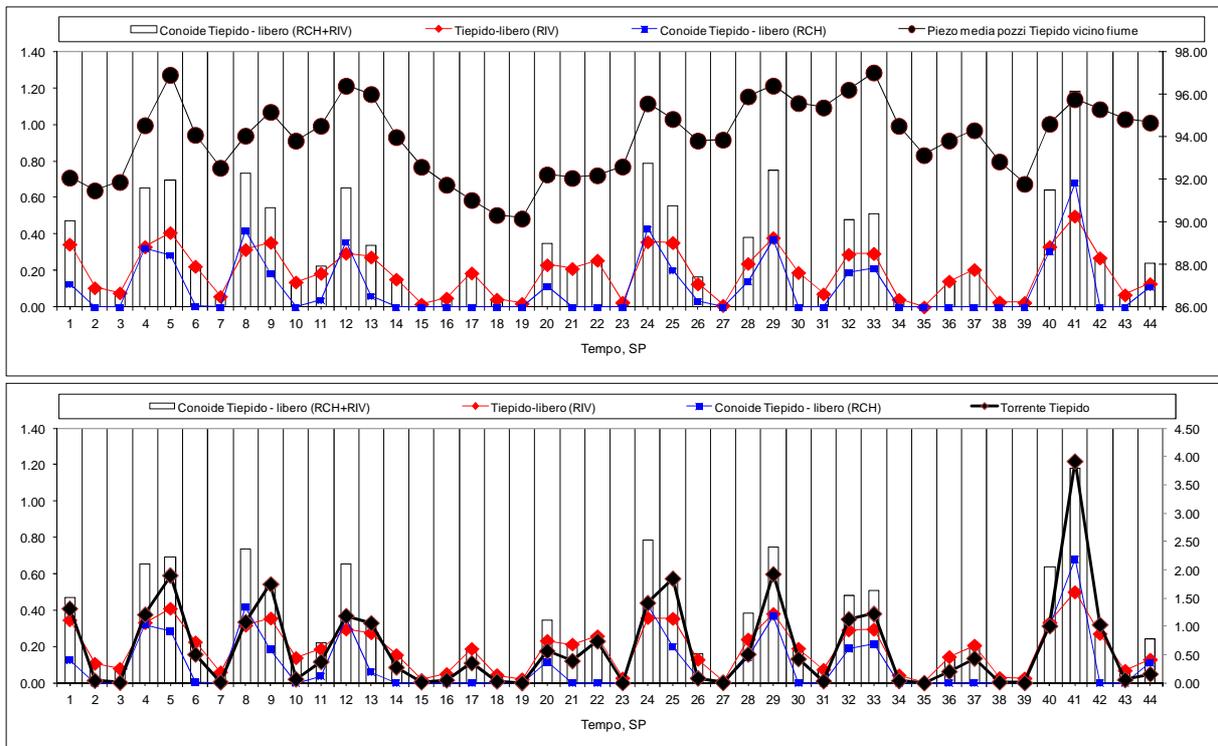
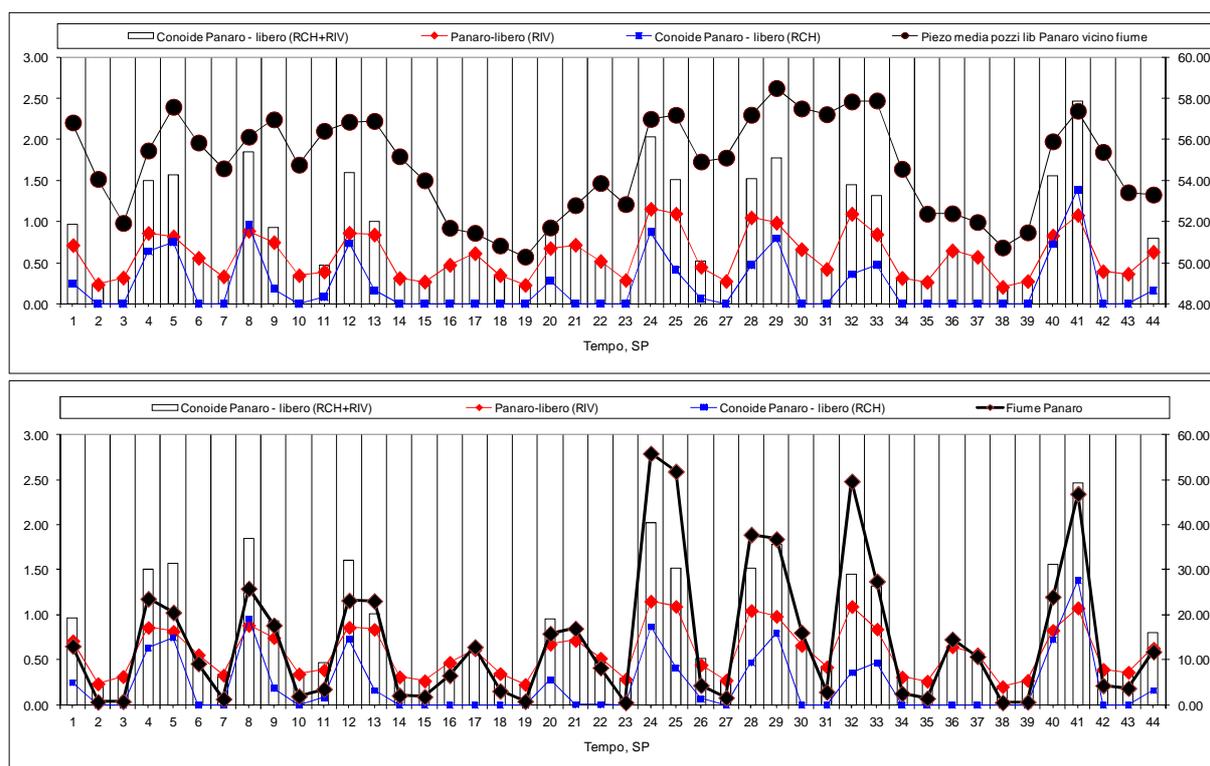


Figura 2.11: Fiume Panaro, stima della ricarica verso le falde acquifere e confronto con le quote della falda in corrispondenza del fiume e con i valori di portata fluente in alveo (dati in m³/s).



La valutazione della ricarica dovuta alle piogge avviene attraverso opportune elaborazioni dei risultati del modello di bilancio idrico del suolo CRITERIA elaborato da Arpa Servizio Idro-Meteo-Clima ([13], [16], [17]). Il modello calcola, in funzione del tipo di suolo presente ed in base all'andamento giornaliero della precipitazione e delle temperature i quantitativi di acqua disponibili per il drenaggio verso il basso e quindi l'alimentazione della falda acquifera sottostante. Per la ricarica operata dal fiume sono stati invece utilizzati i valori di Figura 2.8.

Le figure da Figura 2.9 a Figura 2.11 sintetizzano i valori così ottenuti ed imposti al modello di flusso come ricarica sia da suolo sia da fiume, relativamente alle porzioni libere delle conoidi del Secchia, del Tiepido e del Panaro. Tali valori vengono posti a confronto sia con l'andamento del livello della falda (su un pozzo vicino al fiume ed in conoide libera, figure in alto), sia con quello della portata fluente in alveo (figure in basso).

2.6 Verifica della calibrazione del modello numerico di flusso

La verifica della calibrazione del modello di flusso avviene attraverso il confronto tra valori calcolati ed valori osservati nel tempo sui punti del modello assunti ad obiettivo della calibrazione. Nelle successive figure (da Figura 2.12 a Figura 2.16) sono riportati i classici grafici valori calcolati/valori osservati per tutti i pozzi obiettivo della calibrazione ed in riferimento ad alcuni stress periods scelti del modello. Nelle figure successive (da Figura 2.17 a Figura 2.32) la medesima analisi è condotta per tutti gli stress periods del modello in riferimento ad alcuni pozzi scelti. In ciascun grafico sono contenute le informazioni relative al corpo idrico di appartenenza delle acque captate dal pozzo, come pure i gruppi o complessi acquiferi captati ed i periodi di disponibilità dei dati.

Figura 2.12: Confronto tra i carichi idraulici osservati e calcolati dal modello (scatter plot): istanti T01 (feb-mar-apr 2003), T02 (mag-giu-lug 2003), T03 (ago-set-ott 2003), T04 (nov-dic 2003-gen 2004).

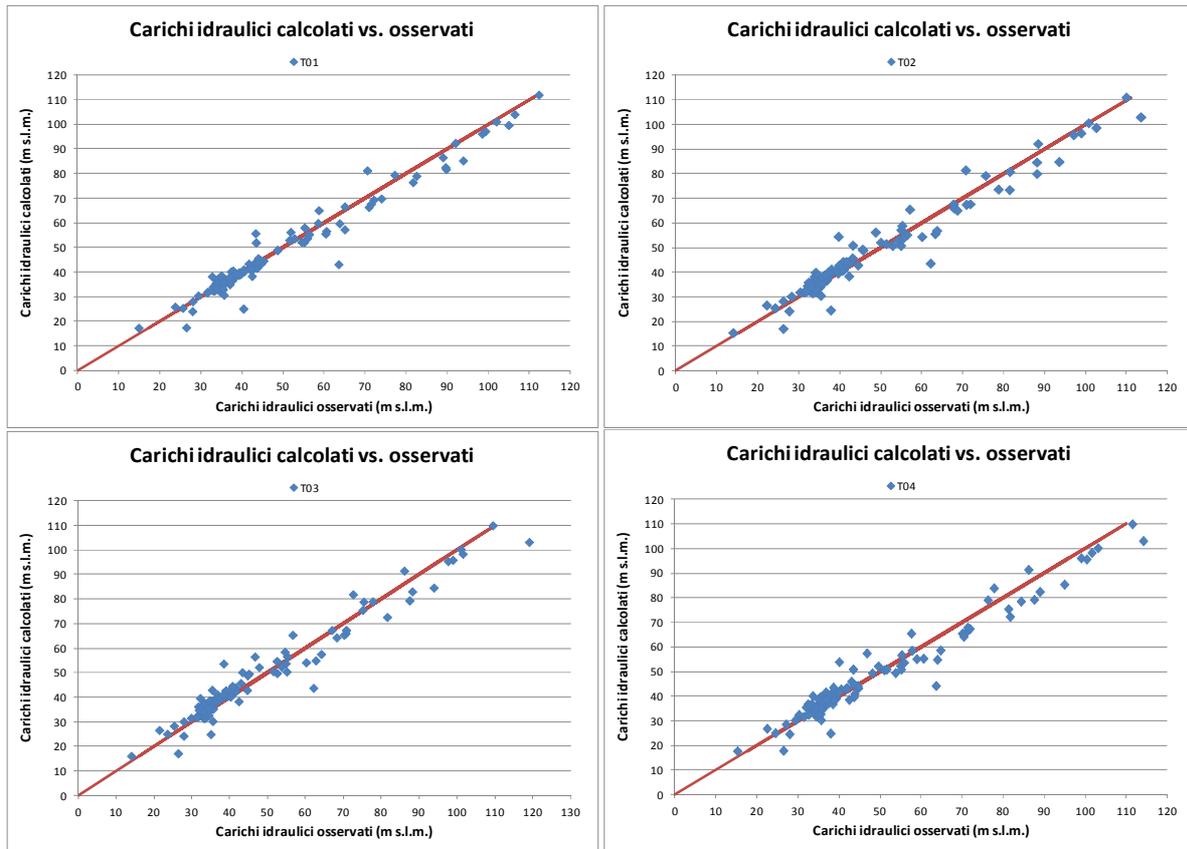


Figura 2.13: Confronto tra i carichi idraulici osservati e calcolati dal modello (scatter plot): istanti T13 (feb-mar-apr 2006) e T15 (ago-set-ott 2006).

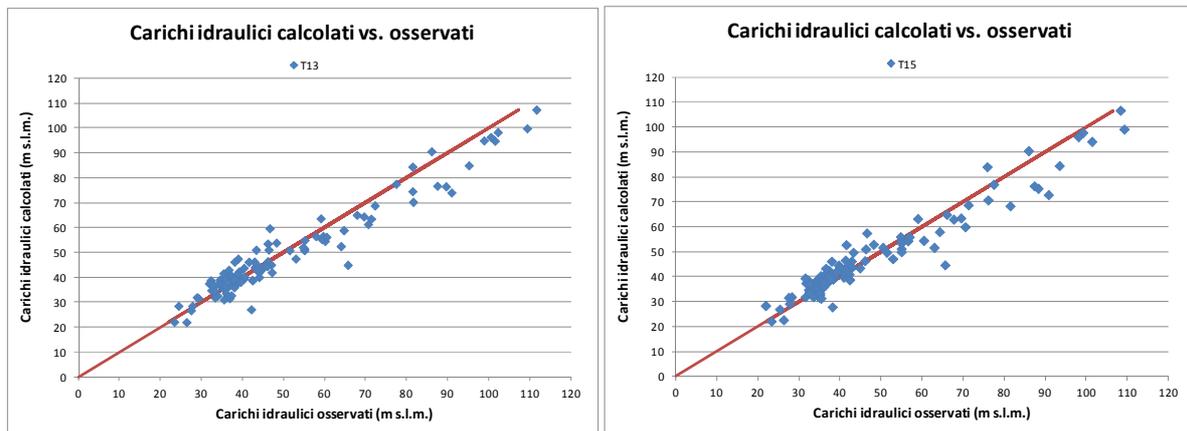


Figura 2.14: Confronto tra i carichi idraulici osservati e calcolati dal modello (scatter plot): istanti T21 (feb-mar-apr 2008) e T23 (ago-set-ott 2008).

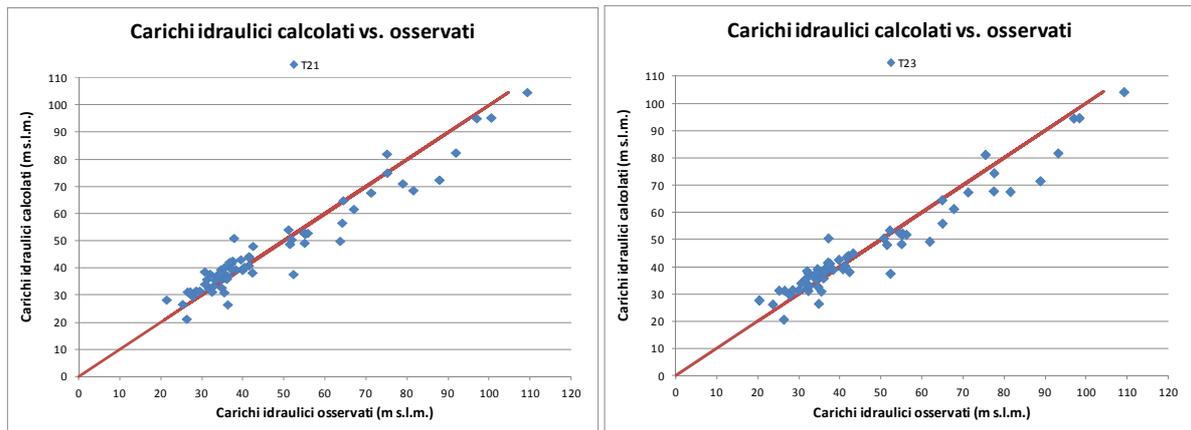


Figura 2.15: Confronto tra i carichi idraulici osservati e calcolati dal modello (scatter plot): istanti T33 (feb-mar-apr 2011) e T39 (ago-set-ott 2012).

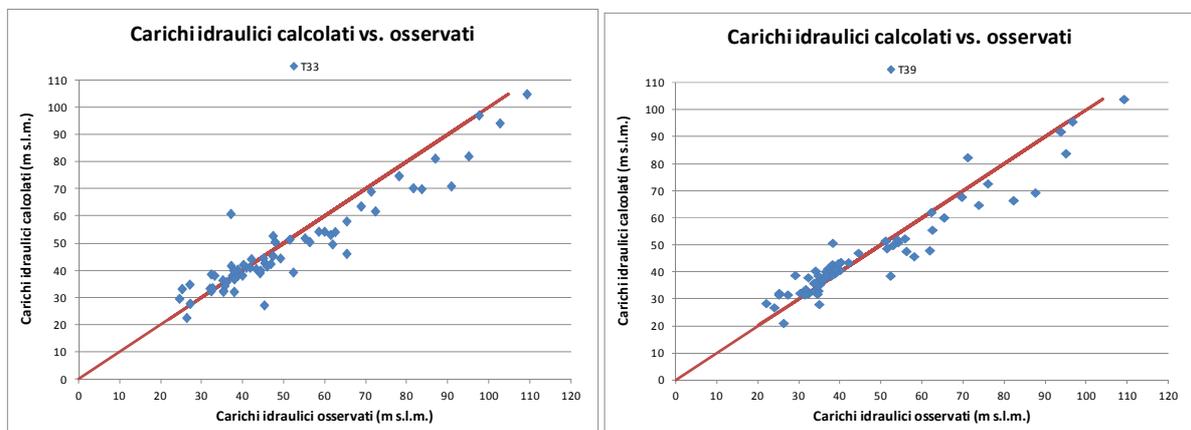


Figura 2.16: Confronto tra i carichi idraulici osservati e calcolati dal modello (scatter plot): istanti T41 (feb-mar-apr 2013) e T43 (ago-set-ott 2013).

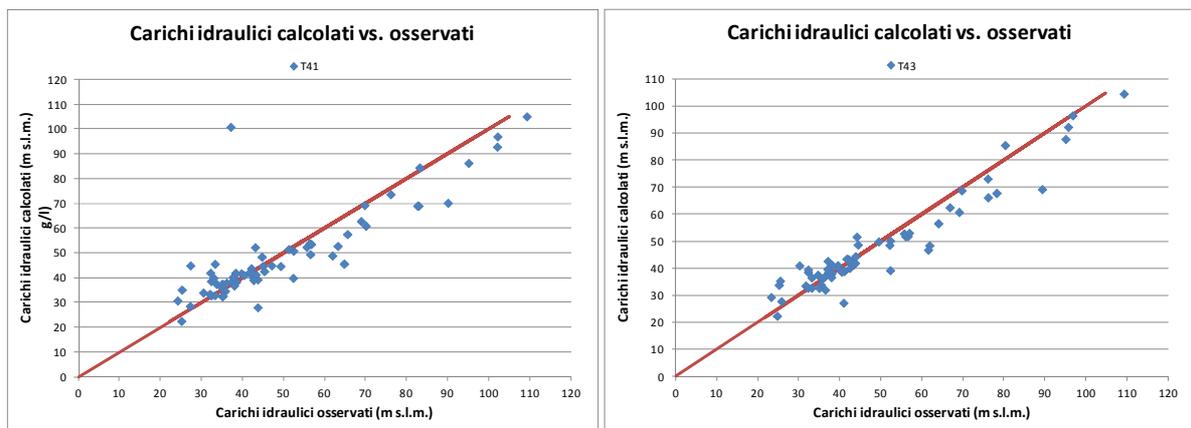


Figura 2.17: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo RE80-01

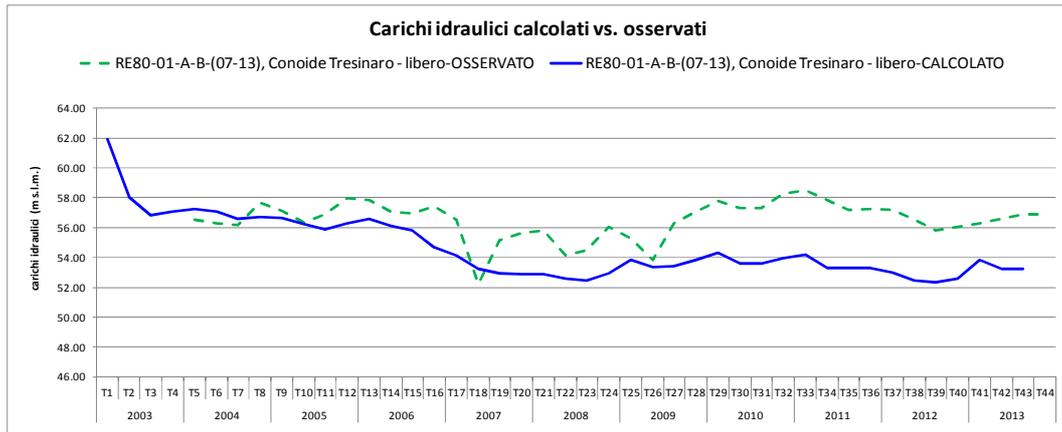


Figura 2.18: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo RE46-01

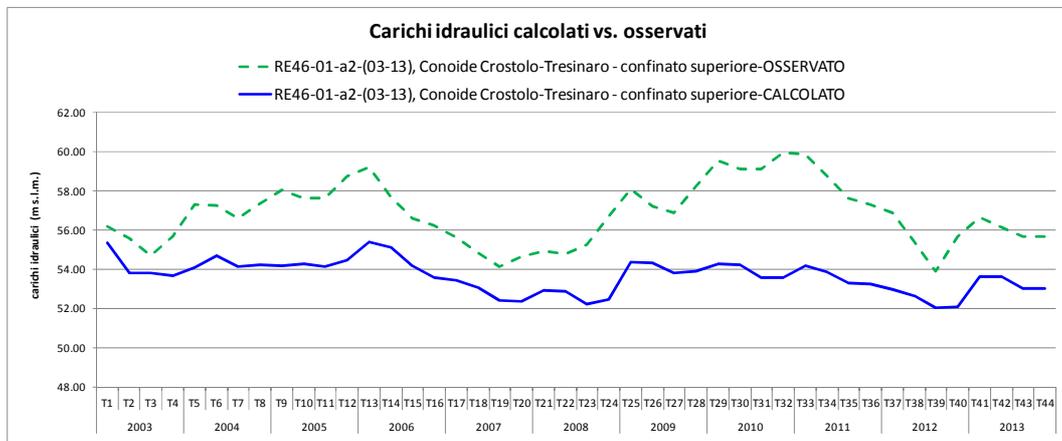


Figura 2.19: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO25-00

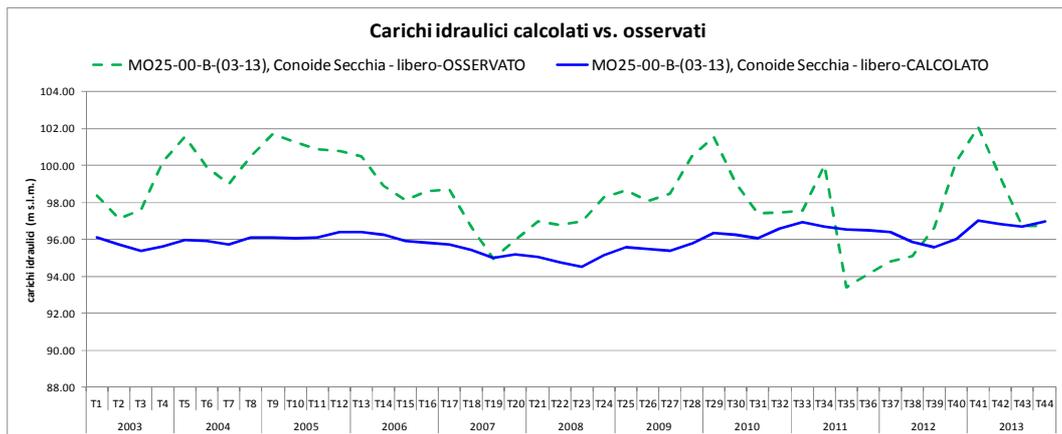


Figura 2.20: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo RE50-00

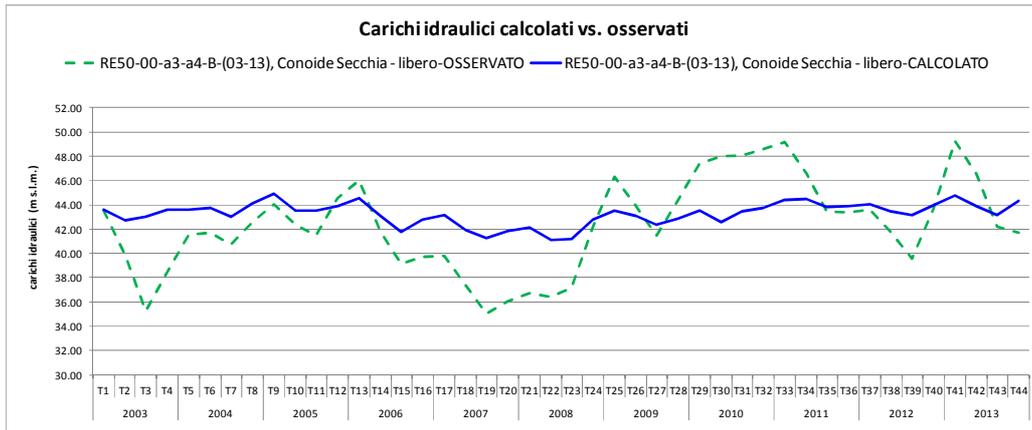


Figura 2.21: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO19-00

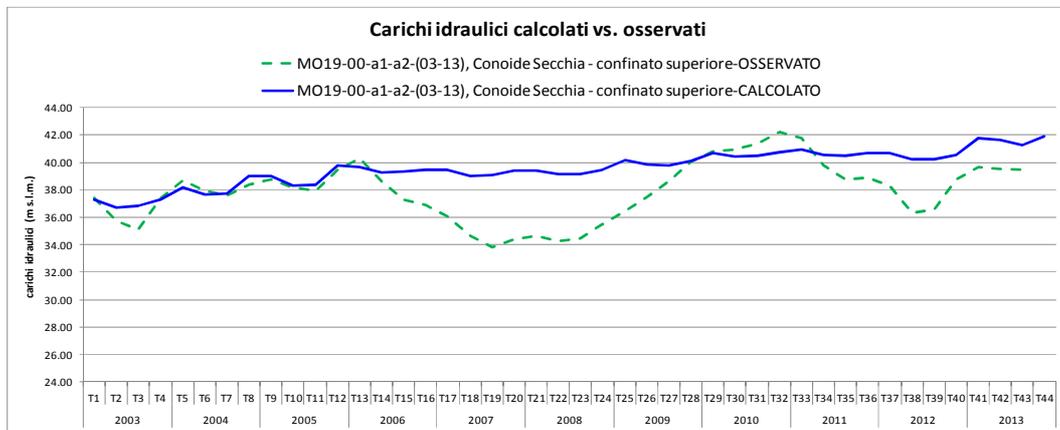


Figura 2.22: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO69-00

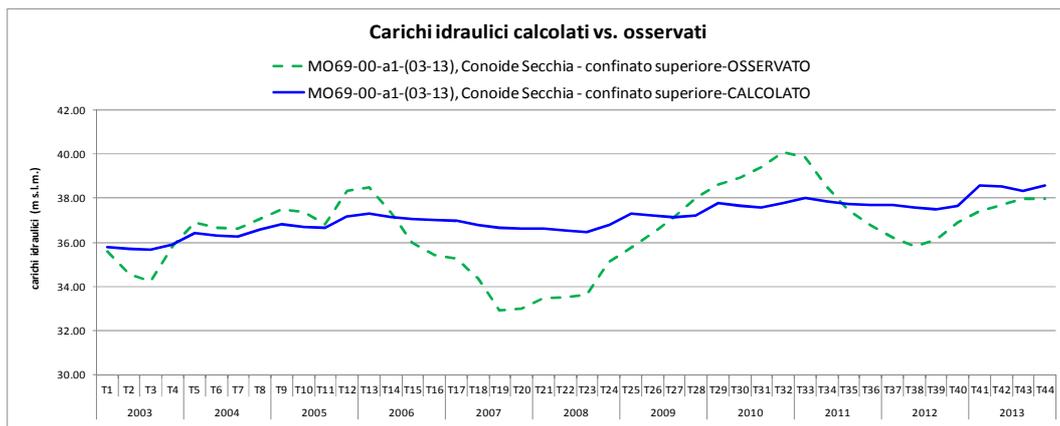


Figura 2.23: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo RE45-00

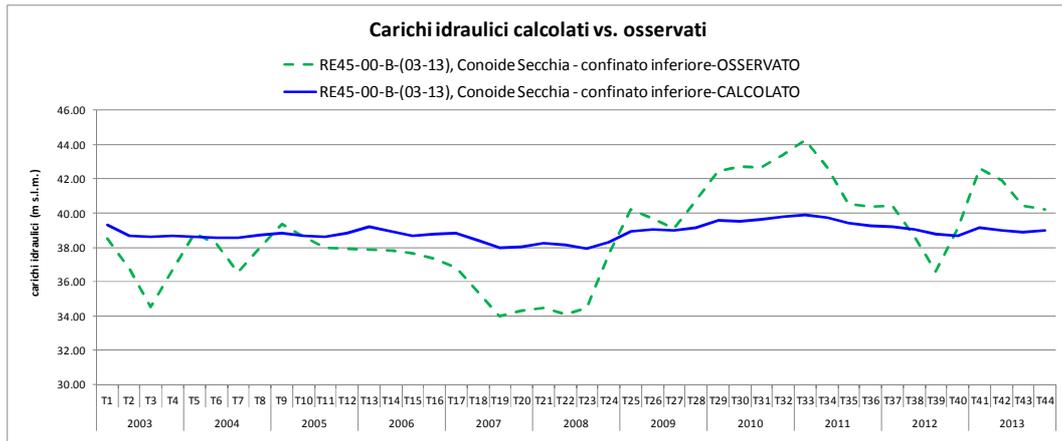


Figura 2.24: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO60-00

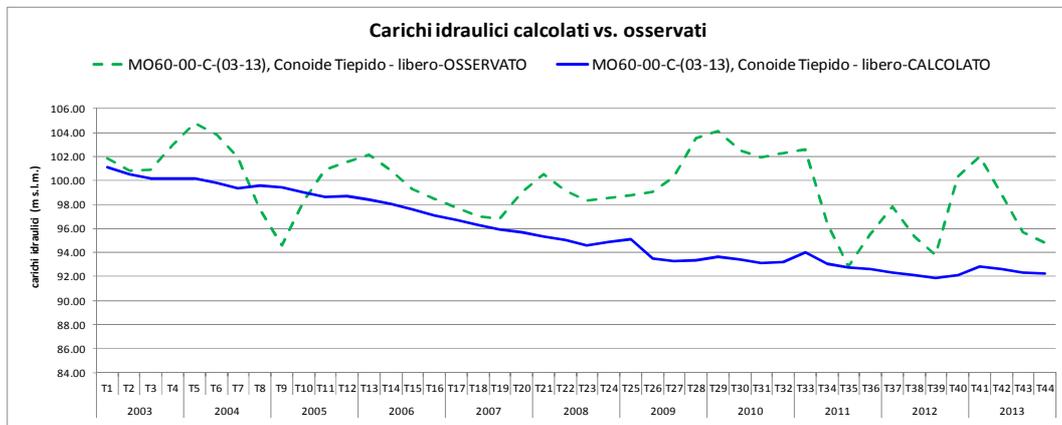


Figura 2.25: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO68-01

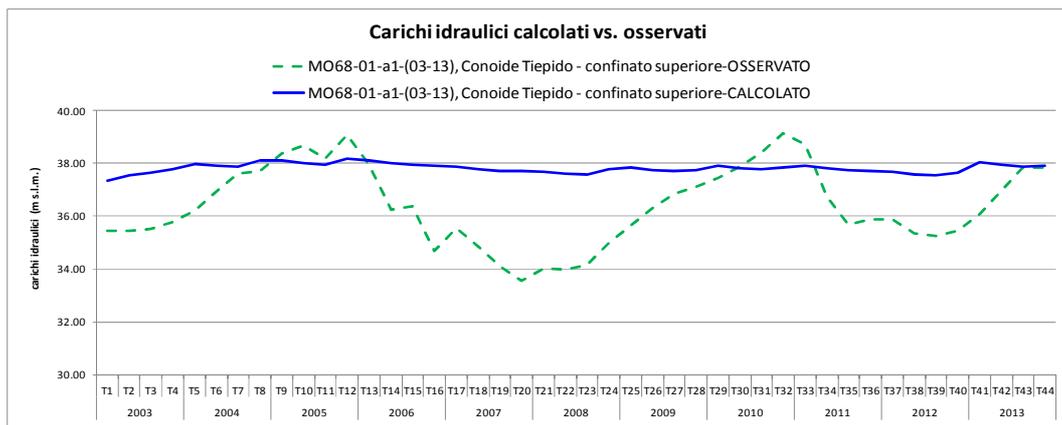


Figura 2.26: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO65-00

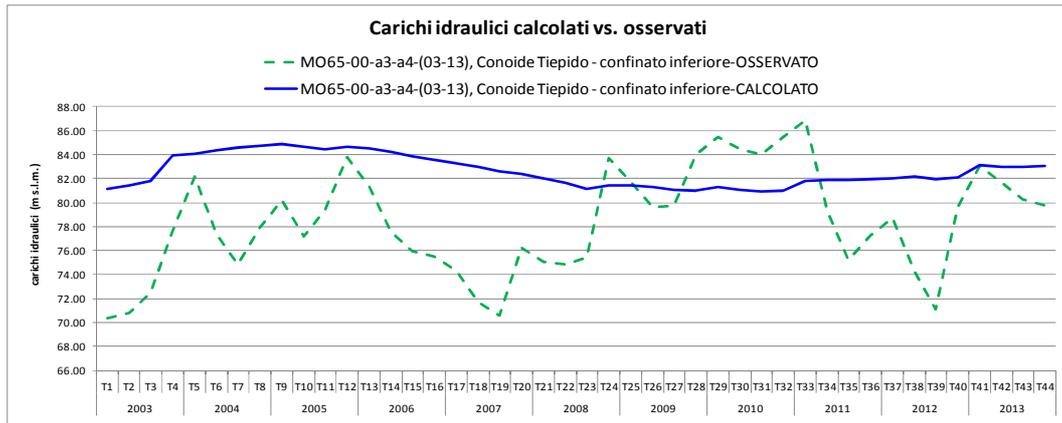


Figura 2.27: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO53-00

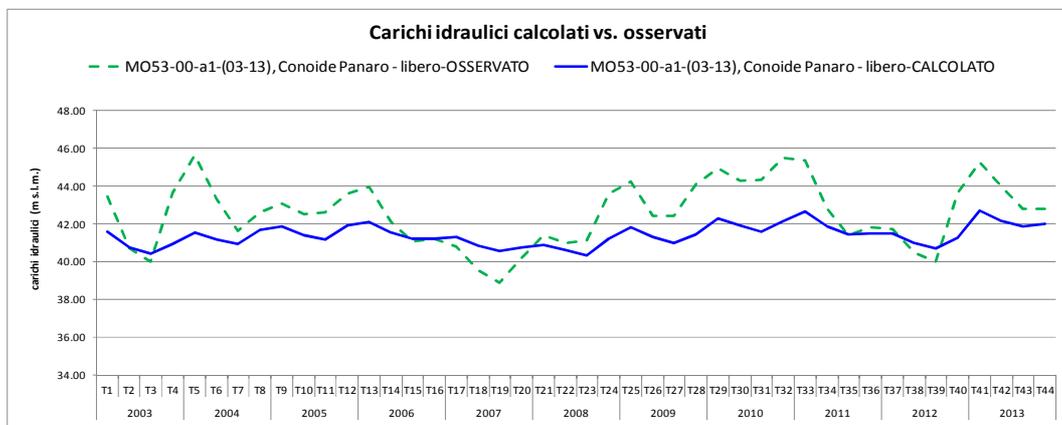


Figura 2.28: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO64-00

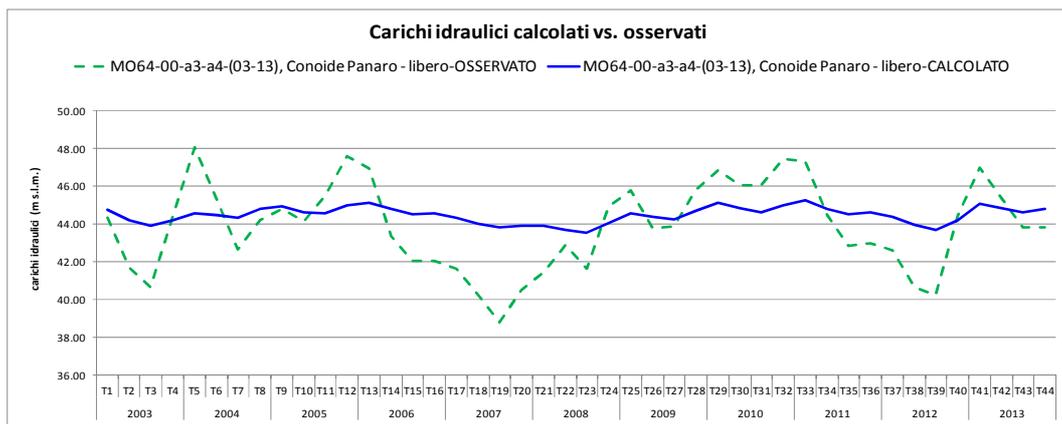


Figura 2.29: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo BO11-01

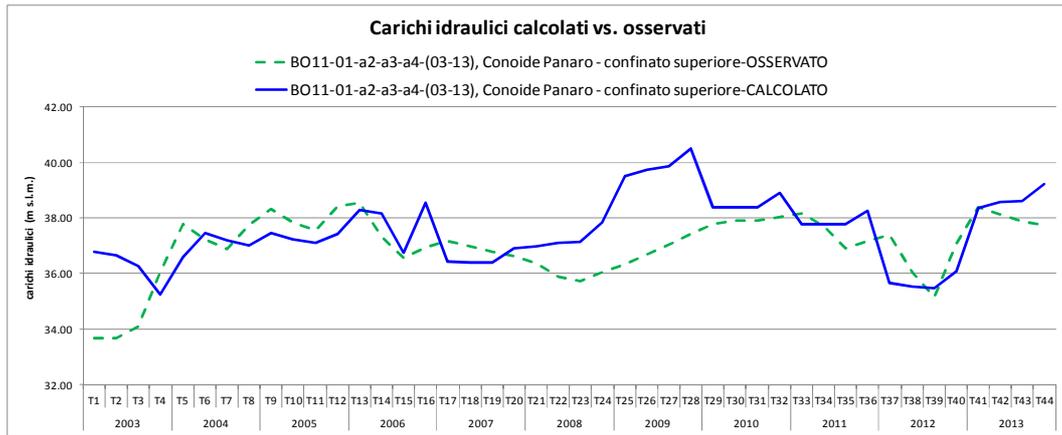


Figura 2.30: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO24-01

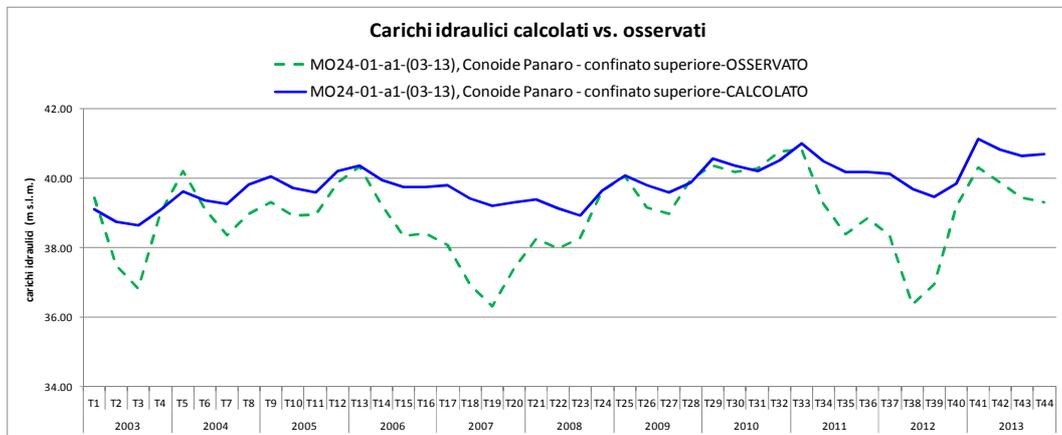


Figura 2.31: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo MO15-01

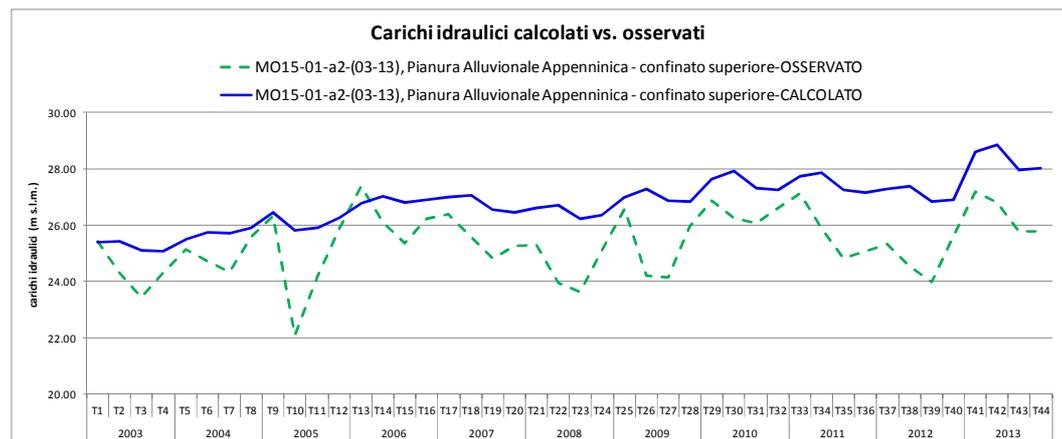
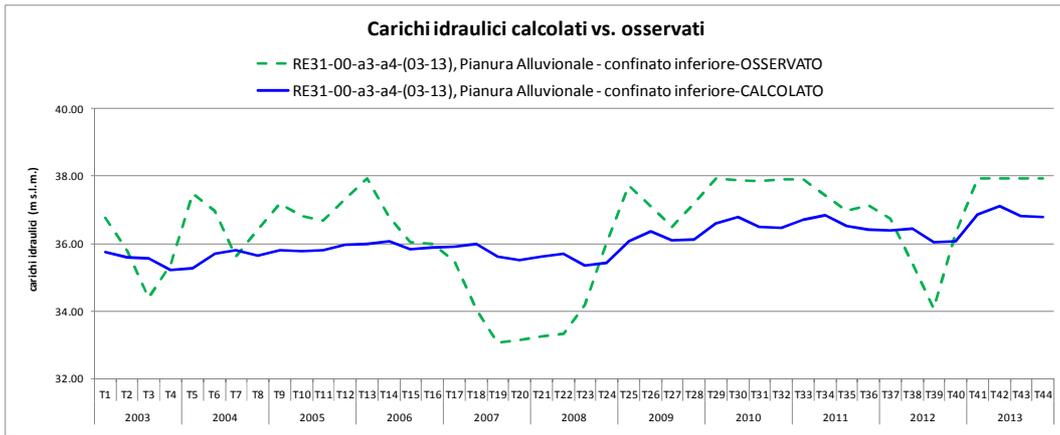


Figura 2.32: Confronto fra i carichi idraulici calcolati dal modello di flusso e quelli osservati per il pozzo RE31-00



2.7 Assetto delle permeabilità

Nella Figura 2.33 è riportata la frequenza di distribuzione dei coefficienti di permeabilità orizzontale (k_h) al termine della taratura, in funzione delle 5 principali classi di aggregazione delle litologie utilizzate nel modello: argilla (A), limo (L), sabbia fine (SF), sabbia grossolana (SG) e ghiaia (G).

Nella Figura 2.34 viene invece riportata la distribuzione dei coefficienti di immagazzinamento specifico (s_s).

Tali distribuzioni fanno riferimento in entrambi i casi all'intero modello di flusso comprendendo quindi l'intera estensione territoriale dello stesso ed in senso verticale entrambi i Gruppi Acquiferi A e B. Nelle successive figure (Figura 2.35 e Figura 2.36) le stesse distribuzioni di permeabilità orizzontali e di coefficienti di immagazzinamento specifico sono state rielaborate in relazione al solo Gruppo Acquifero A (corrispondente ai 23 layers più superficiali del modello).

Figura 2.33: frequenza di distribuzione delle permeabilità orizzontali (m/s) a fine taratura (intero modello, Gruppi Acquiferi A e B).

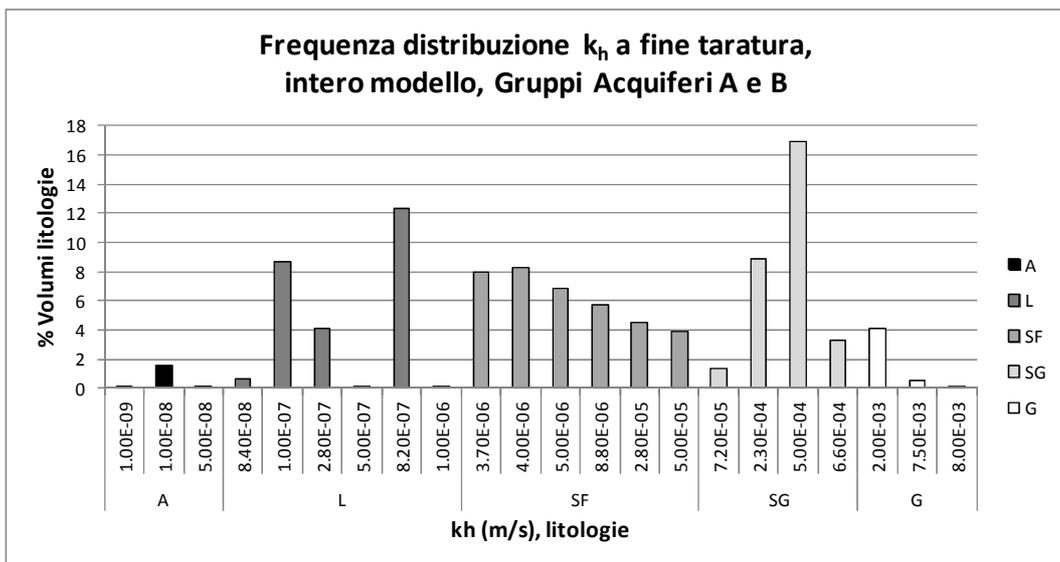


Figura 2.34: frequenza di distribuzione dei coefficienti di immagazzinamento specifico (1/m) a fine taratura (intero modello, Gruppi Acquiferi A e B).

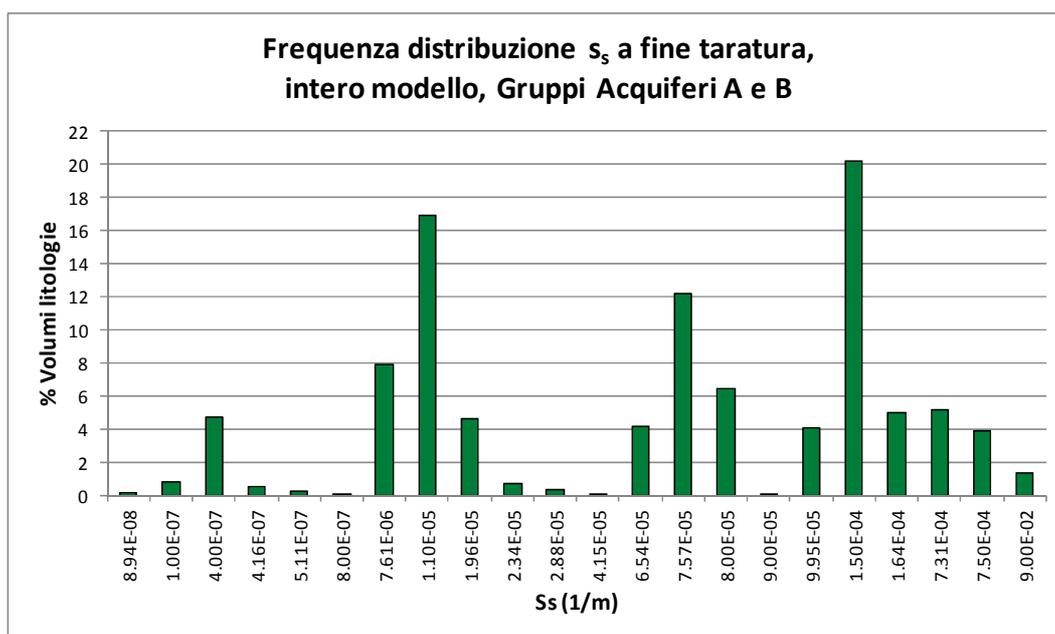
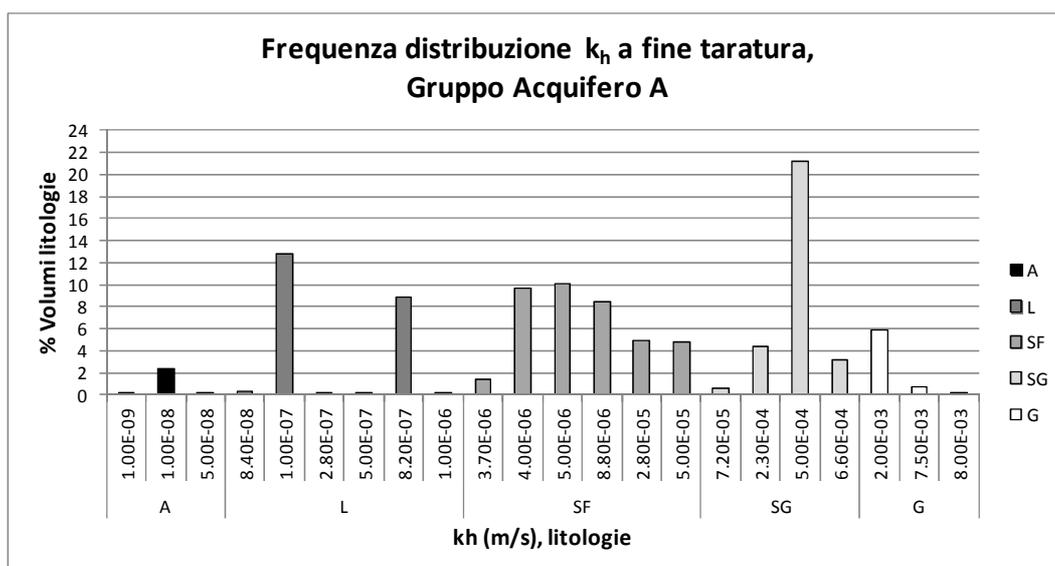


Figura 2.35: frequenza di distribuzione delle permeabilità orizzontali (m/s) a fine taratura (Gruppo Acquifero A)



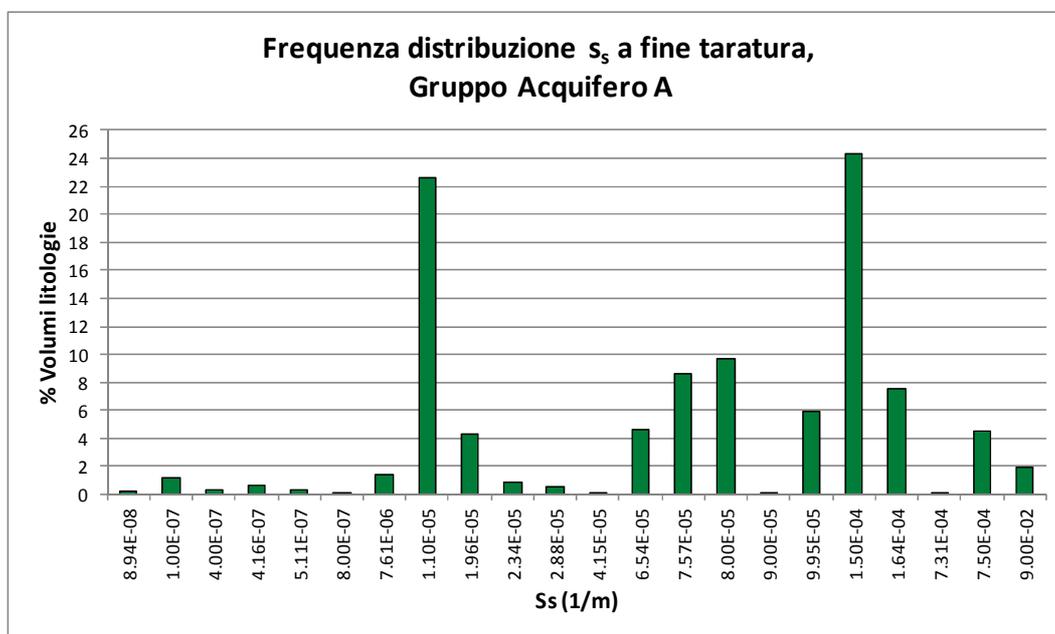
L'analisi della distribuzione litologica del modello a fine taratura, permette di effettuare alcune considerazioni di massima riguardanti la ripartizione delle ghiaie, delle sabbie, dei limi e delle argille nei principali sistemi idrogeologici, sedi degli acquiferi di interesse.

Complessivamente il 67.7% del volume degli acquiferi del modello risulta essere occupato da litologie riconducibili alle sabbie, di cui il 37.2% sono sabbie fini (k_h compresi fra $4e^{-6}$ e $5e^{-5}$ m/s) e il 30.5% sono sabbie grossolane (k_h compresi fra $7e^{-5}$ e $7e^{-4}$ m/s).

Le litologie asserite a litotipi limosi (k_h fra $8e^{-8}$ e $1e^{-6}$ m/s) occupano il 25.9% del volume totale, le ghiaie (k_h fra $2e^{-3}$ e $8e^{-3}$ m/s) il 4.6% e infine le argille (k_h fra $1e^{-9}$ m/s e $5e^{-8}$ m/s) solo l'1.8%.

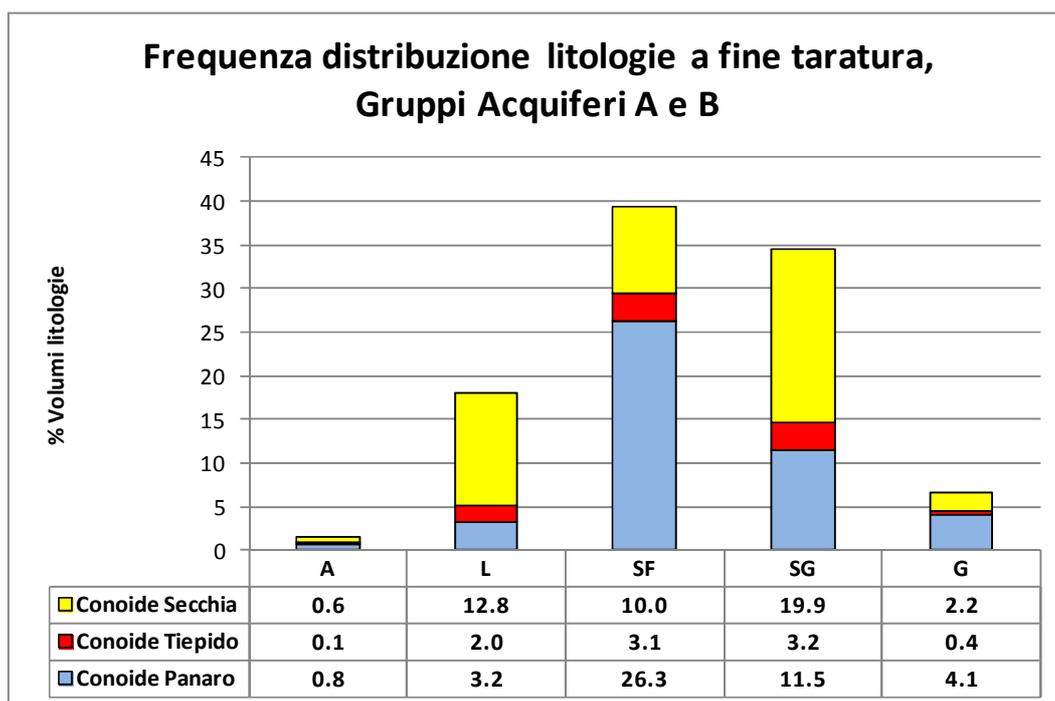
Il volume occupato dai tre principali sistemi idrogeologici del modello: conoide del Secchia, conoide del Tiepido e conoide del Panaro, è pari al 57 % del modello stesso preso in toto; nel dettaglio circa il 26 % è attribuito alla conoide del Secchia, come pure circa un altrettanto 26 % alla conoide del Panaro e un 5 % alla conoide del Tiepido.

Figura 2.36: frequenza di distribuzione dei coefficienti di immagazzinamento specifico (s_s) a fine taratura (Gruppo Acquifero A).



La Figura 2.37 mostra la ripartizione litologica per i tre principali suddetti sistemi idrogeologici del modello, graficata come percentuali relative rispetto al volume complessivo delle tre medesime conoidi.

Figura 2.37: distribuzione litologica per le conoidi del Secchia, del Tiepido e del Panaro (Gruppi Acquiferi A e B): percentuali relative rispetto al volume complessivo delle tre conoidi.



In Figura 2.39 vengono invece confrontate fra di loro le litologie dei tre sistemi di conoide del modello, normalizzando a 100 i loro volumi per ciascuna conoide.

Figura 2.38: distribuzione litologica per le conoidi del Secchia, del Tiepido e del Panaro: percentuali relative rispetto al volume complessivo del Gruppo Acquifero A delle tre conoidi.

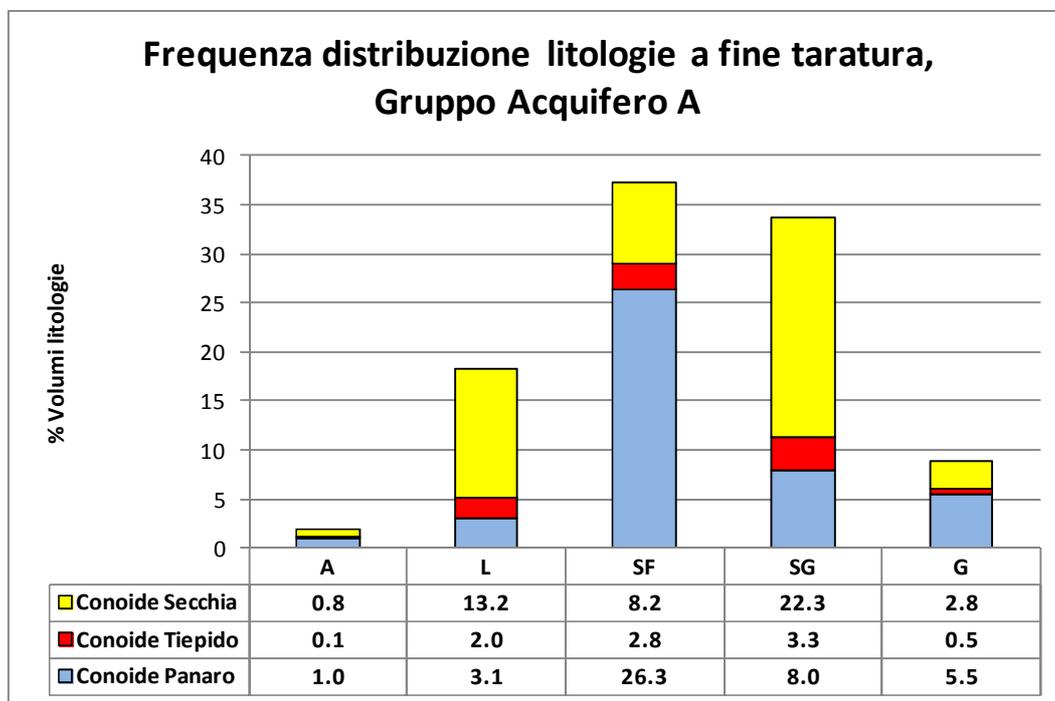


Figura 2.39: distribuzione litologica relativa rispetto a ciascuna delle tre conoidi del Secchia, del Tiepido e del Panaro e per l'intero modello (Gruppi acquiferi A e B).

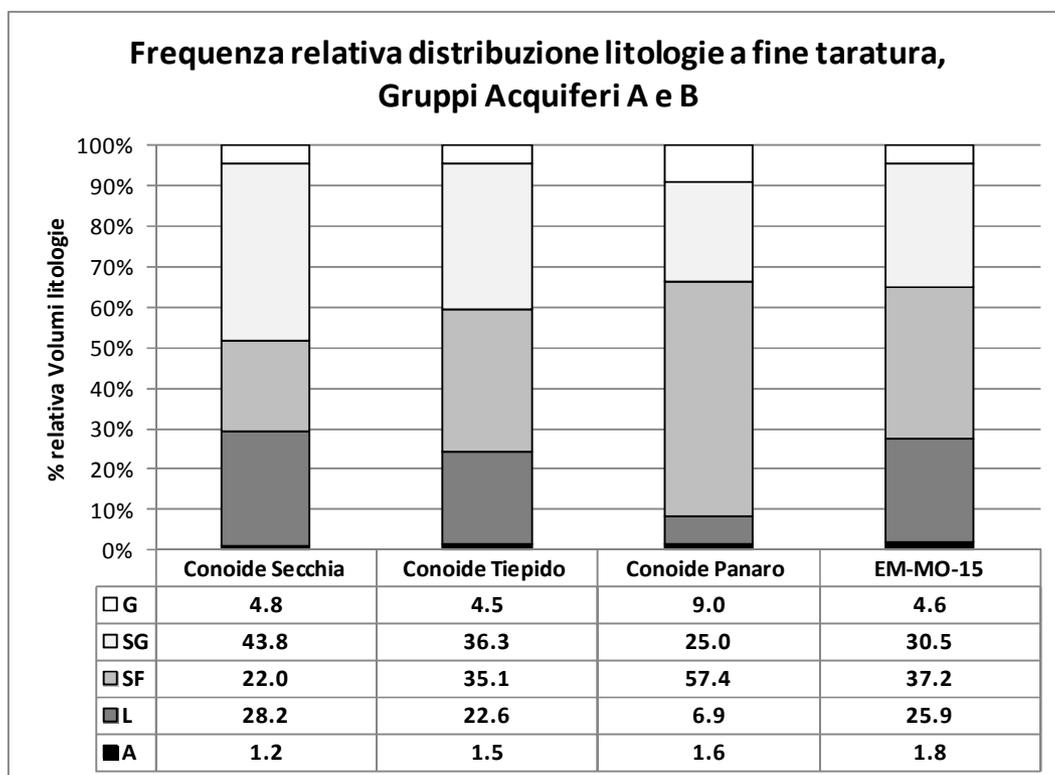
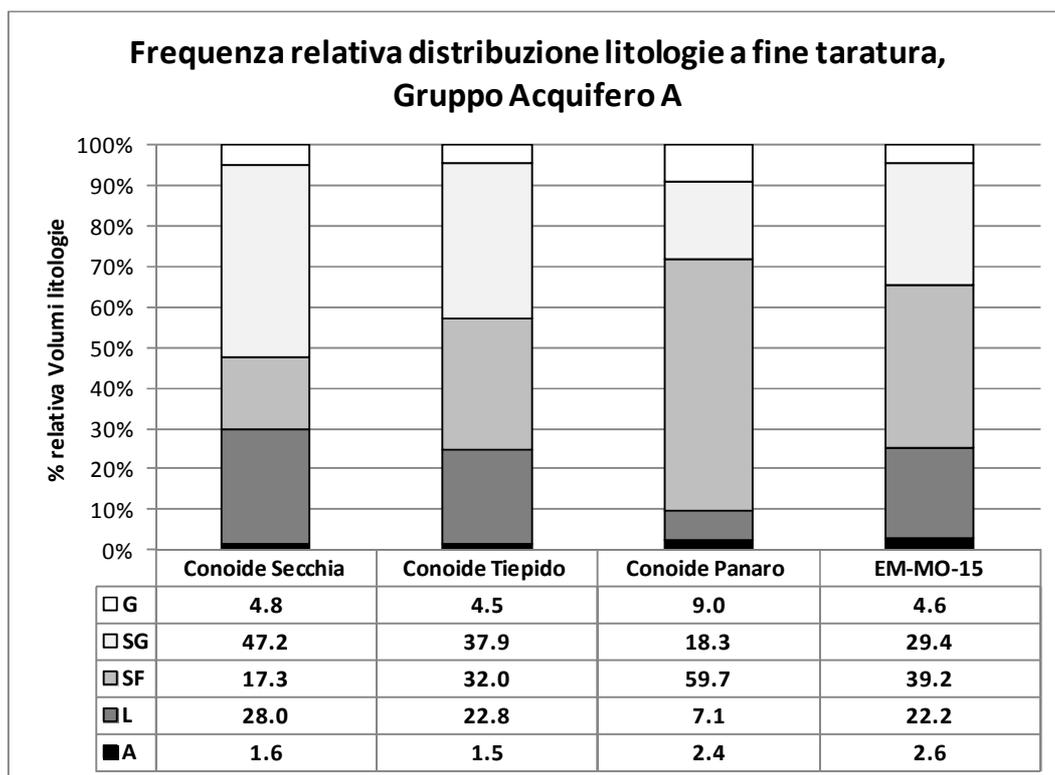


Figura 2.40: distribuzione litologica relativa rispetto a ciascuna delle tre conoide del Secchia, del Tiepido e del Panaro e per l'intero modello (Gruppo Acquifero A).



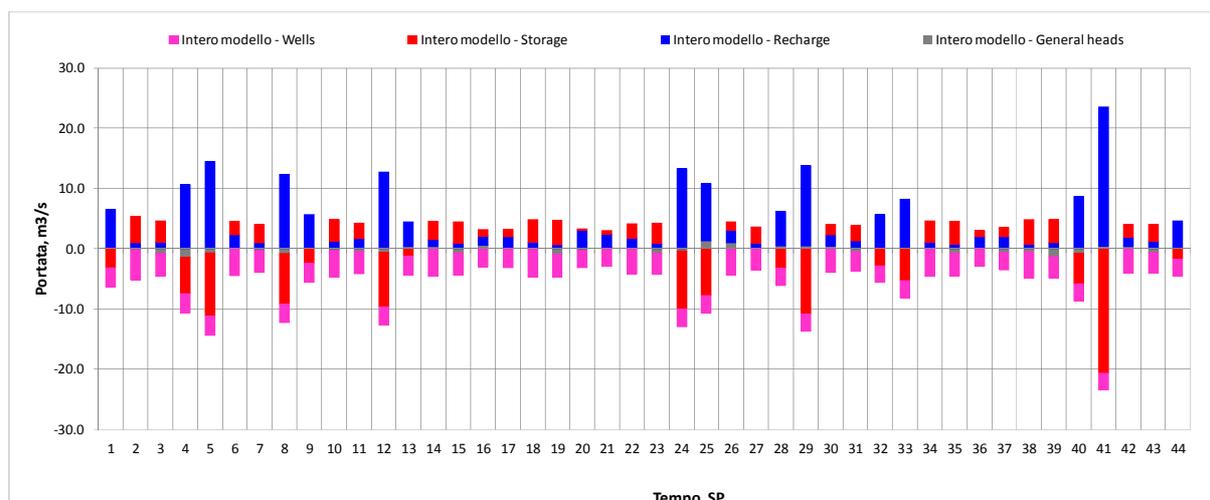
Dalle due figure risulta che gli acquiferi della conoide del Panaro sono composti da litotipi più fini rispetto a quelli della conoide del Secchia. La conoide del Tiepido, in posizione mediana rispetto a quella del Panaro e del Secchia presenta valori intermedi fra le due. Nel dettaglio, considerando da una parte le litologie più fini prese assieme (sabbie fini, limi e argille) e dall'altra l'insieme di quelle più grossolane (sabbie grossolane e ghiaie), si vede infatti che per la conoide del Panaro la percentuale relativa delle litologie fini è del 66 % contro il 34 % delle grossolane, mentre per la conoide del Secchia le due percentuali sono all'incirca equivalenti e per la conoide del Tiepido si osservano percentuali intermedie fra quelle del Panaro e del Secchia: 59 % litologie fini contro 41 % grossolane.. La Figura 2.38 e la Figura 2.40 sono le figure corrispettive rispettivamente della Figura 2.37 e della Figura 2.39, elaborate invece che sui volumi dei Gruppi Acquiferi A e B, solo su quelli del Gruppo Acquifero A. I rapporti relativi percentuali fra le diverse litologie per i tre principali sistemi idrogeologici sono molto simili a quelli già menzionati nell'analisi sui Gruppi Acquiferi A e B presi insieme ed anche le considerazioni da fare ricalcano pressoché quelle sopra menzionate.

2.8 Analisi dei risultati del modello

Un ulteriore controllo della bontà del modello matematico si effettua verificando il bilancio idrogeologico. In Figura 2.41 è riportata la rappresentazione del bilancio complessivo dell'intero modello nella sua evoluzione temporale in corrispondenza dei 44 stress period (SP) del modello, che corrispondono a 11 anni, da febbraio 2003 a gennaio 2014.

I dati di Figura 2.41 rappresentano direttamente i flussi netti ovvero il saldo tra le voci in ingresso (IN) e quelle in uscita (OUT), che meglio evidenziano il comportamento stagionale del sistema nella sua alternanza tra periodi a prevalente ricarica e periodi invece a prevalente consumo della risorsa idrica sotterranea.

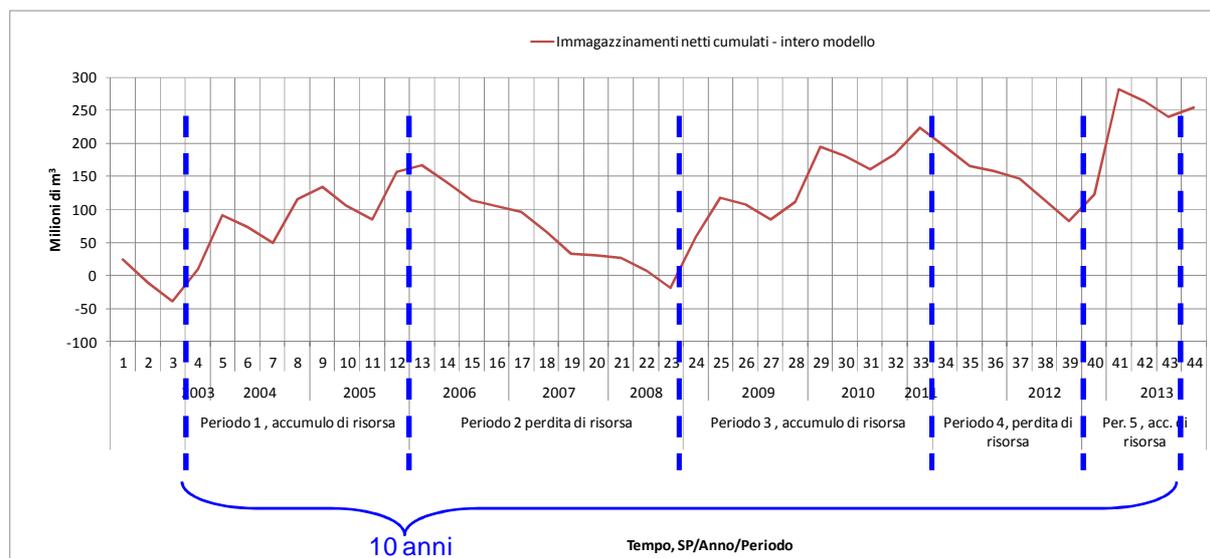
Figura 2.41: bilancio idrogeologico dell'intero modello, flussi netti. Dati in m³/s



Nel dettaglio le singole voci costituenti il bilancio sono:

- *Recharge* (Ricarica): rappresenta il termine di alimentazione dell'intero sistema dovuta alla pioggia ed ai fiumi;
- *Wells* (Prelevi): rappresenta l'estrazione di acqua sotterranea dovuta alla presenza di prelievi da pozzo;
- *General heads* (Condizione al contorno): rappresenta il termine di scambio attraverso il contorno dell'intero sistema;
- *Storage* (Immagazzinamento): rappresenta la variazione di acqua presente all'interno del sistema. I valori positivi dello storage evidenziano una diminuzione della risorsa idrica immagazzinata; i valori negativi viceversa ne evidenziano un aumento. Di conseguenza il segno del saldo tra i due valori (IN-OUT) evidenzia se mediamente nel periodo si assiste ad una diminuzione ($\Delta S > 0$) o ad un accumulo ($\Delta S < 0$) di risorsa idrica immagazzinata.

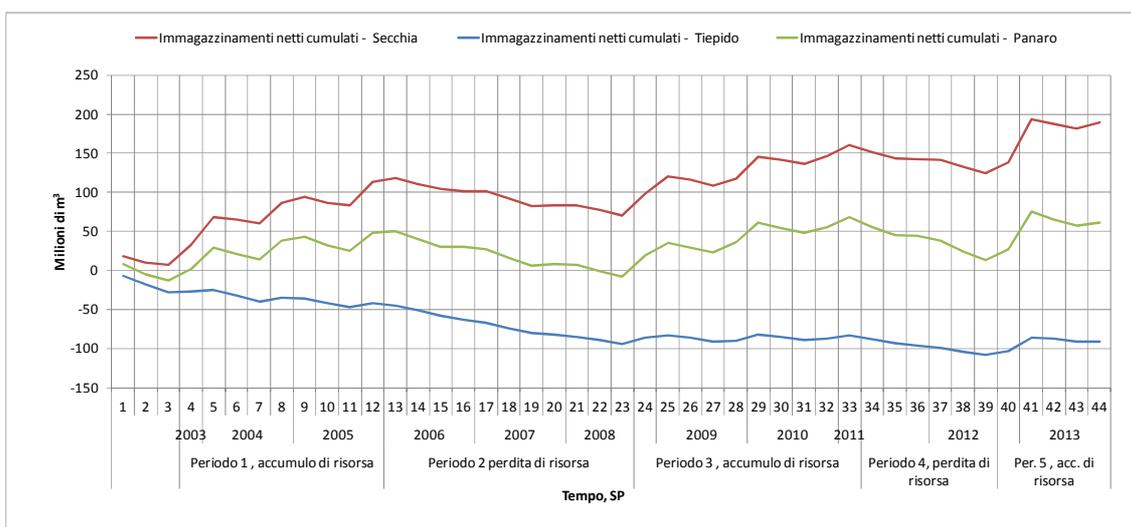
Figura 2.42: analisi degli immagazzinamenti di risorsa idrica sotterranea nel tempo. Valori cumulati in milioni di m³.



I valori degli immagazzinamenti riportati in Figura 2.41 possono essere restituiti in termini cumulati nella forma di Figura 2.42 che evidenzia, oltre al classico andamento stagionale estate/inverno, 5 fasi alterne di prevalente accumulo (periodi 1, 3, 5)/perdita (periodi 2, 4) di risorsa idrica sotterranea dagli immagazzinamenti dell'intero sistema. Tale andamento degli immagazzinamenti, evidente per l'intero

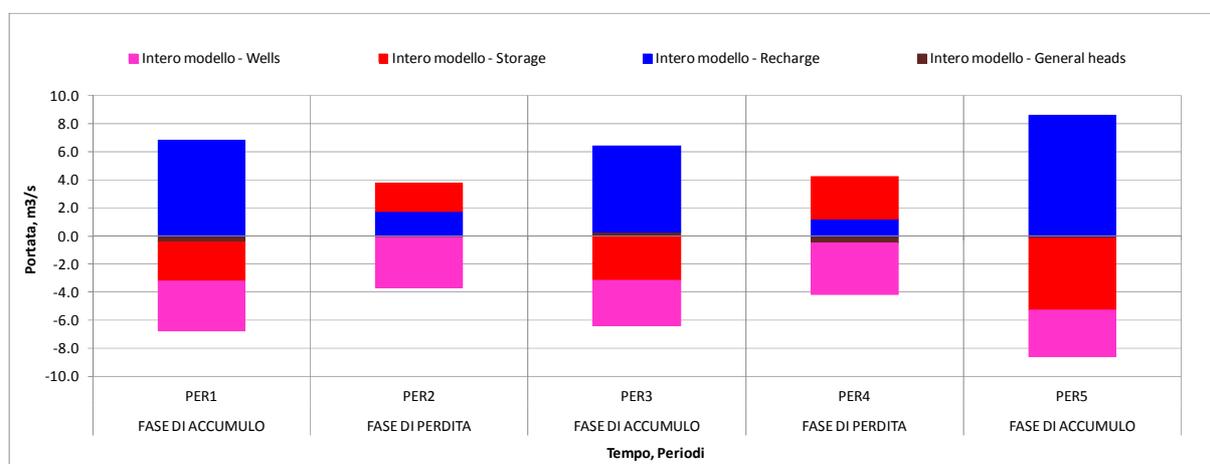
modello numerico, è osservabile anche dall'analisi del bilancio effettuato singolarmente per le due principali conoidi modenesi del Secchia e del Panaro (Figura 2.43). Tutto ciò è rilevabile anche nella conoide del Tiepido anche se le 5 fasi alterne risultano parzialmente mascherate dalla pronunciata dinamica di flusso della conoide descritta al successivo paragrafo 2.8.2. Il periodo di 10 anni indicato in figura (stress period 4 – stress period 43) comprende quindi 10 anni completi ed è stato utilizzato come periodo di riferimento per le analisi che seguono.

Figura 2.43: analisi degli immagazzinamenti di risorsa idrica sotterranea nel tempo, acquiferi della conoide del Secchia, del Tiepido e del Panaro. Valori cumulati in milioni di m³.



Le voci del bilancio idrogeologico dell'intero modello riportate nella precedente Figura 2.41 sono state mediate all'interno dei cinque periodi di alternanza tra prevalente accumulo e prevalente perdita di risorsa dal sistema. Il risultato così ottenuto è riportato in Figura 2.44, dove la voce del bilancio relativa all'immagazzinamento (storage) assume valori mediamente negativi, nelle fasi a prevalente ricarica del sistema, o positivi, nelle fasi di prevalente perdita di acqua dal sistema, e dove il ruolo assunto dagli immagazzinamenti corrisponde ad una compensazione delle voci di prelievo non bilanciato dalle ricariche dalla superficie.

Figura 2.44: bilancio idrogeologico dell'intero modello, flussi netti medi nei periodi di accumulo e perdita della risorsa indicati nella precedente Figura 2.42. Dati in m³/s



Attraverso l'utilizzo dello strumento del water budget applicato ai risultati della simulazione numerica ottenuta dal modello è possibile inoltre evidenziare le singole voci costituenti il bilancio per le singole

celle del modello e di conseguenza in forma aggregata per un insieme prestabilito di esse. Risulta quindi possibile aggregare le celle del modello sulla base delle geometrie dei corpi idrici sotterranei presenti all'interno dell'area di studio e calcolarne il relativo bilancio.

In questo caso verranno evidenziati sia i termini "esterni" (ricarica, prelievi, immagazzinamenti), già presenti come voci del bilancio totale, sia quelli "interni" costituenti i flussi di scambio tra le varie parti del sistema ed in definitiva tra i vari corpi idrici sotterranei.

In Figura 2.45 sono riportati i flussi di scambio tra le varie porzioni del sistema rispettivamente per la parte superiore (acquifero libero e Complessi Acquiferi A1 ed A2) ed inferiore (acquifero libero e Complessi Acquiferi A3-A4 e Gruppo Acquifero B) del modello. Le successive figure (Figura 2.46, Figura 2.50 e Figura 2.54) collegano in senso verticale le rappresentazioni planimetriche relativamente alle conoidi del Secchia del Tiepido e del Panaro. I valori riportati sulle figure sono rappresentativi delle portate medie 2004-2013 dei 10 anni di simulazione compresi fra lo SP4 e lo SP43.

In tutte le figure è riportato un numero identificativo per ciascun corpo idrico sotterraneo dell'area di studio secondo lo schema riportato in Tabella 2.7.

In tutte le figure le portate sono espresse in m^3/s , mentre le frecce indicano la direzione prevalente del flusso dell'acqua. I termini di ricarica sono comprensivi delle precipitazioni efficaci, della ricarica da parte del fiume e degli apporti idrogeologici derivanti dal margine collinare e sono schematizzati con le frecce blu. I prelievi sono indicati con la lettera W in fucsia; gli immagazzinamenti sono schematizzati con la sigla ΔS in rosso.

Inoltre gli scambi di flusso fra acquiferi liberi e acquiferi confinati di conoide sono schematizzati con frecce orizzontali il cui colore è determinato dal corpo idrico destinatario del flusso (azzurro, blu e rosso rispettivamente per corpi idrici liberi, confinati superiori e confinati inferiori), mentre quelli fra questi ultimi e gli acquiferi confinati della pianura alluvionale appenninica sono schematizzati con le frecce verdi orizzontali. Nelle rappresentazioni in sezione gli apporti laterali provenienti dalle conoidi adiacenti sono complessivamente ed idealmente rappresentati da un unico valore che accompagna una freccia bianca con bordo in tratteggio.

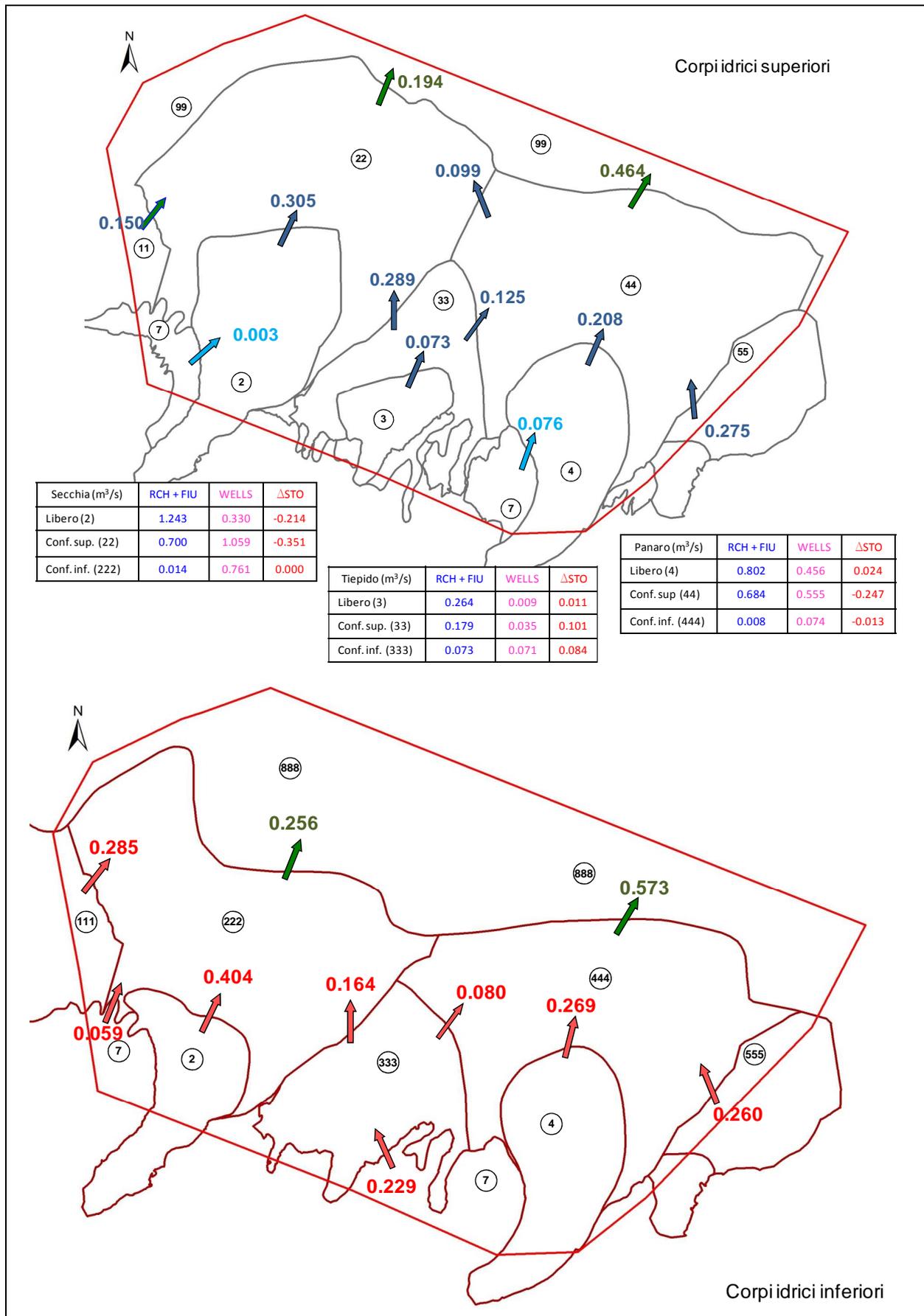
Tabella 2.7: codici identificativi dei corpi idrici sotterranei necessari per la lettura del bilancio idrogeologico.

	libero	confinato superiore	confinato inferiore
Conoide Tresinaro	1	11	111
Conoide Secchia	2	22	222
Conoide Tiepido	3	33	333
Conoide Panaro	4	44	444
Conoide Samoggia	5	55	555
Conoidi montane e Sabbie gialle	7		
Pianura Alluvionale Appenninica		99	
Pianura Alluvionale			888

In linea generale l'analisi del bilancio consente di:

- valutare la consistenza delle voci del bilancio tra e per i diversi corpi idrici sotterranei;
- verificare la dinamica generale dell'acqua all'interno delle intere conoidi, evidenziando e quantificando gli scambi idrici tra i corpi idrici individuati al loro interno con particolare interesse agli scambi tra le porzioni di acquifero libero e le porzioni confinate superiori ed inferiori ed agli scambi di queste ultime con i sistemi di pianura situati più a valle;
- evidenziare la pressione dei prelievi idrici nella intera conoide ed all'interno dei corpi idrici che la costituiscono, ed il relativo rapporto sia con le variazioni stagionali degli immagazzinamenti al fine di individuare l'eventuale sofferenza stagionale del sistema, sia con i trasferimenti di fluido da altre porzioni del sistema;

Figura 2.45: bilancio idrogeologico ottenuto dal modello numerico: portate medie 2004-2013 (SP4-SP43). Dati in m³/s. Vista in pianta dei corpi idrici superiori (in alto) ed inferiori (in basso).



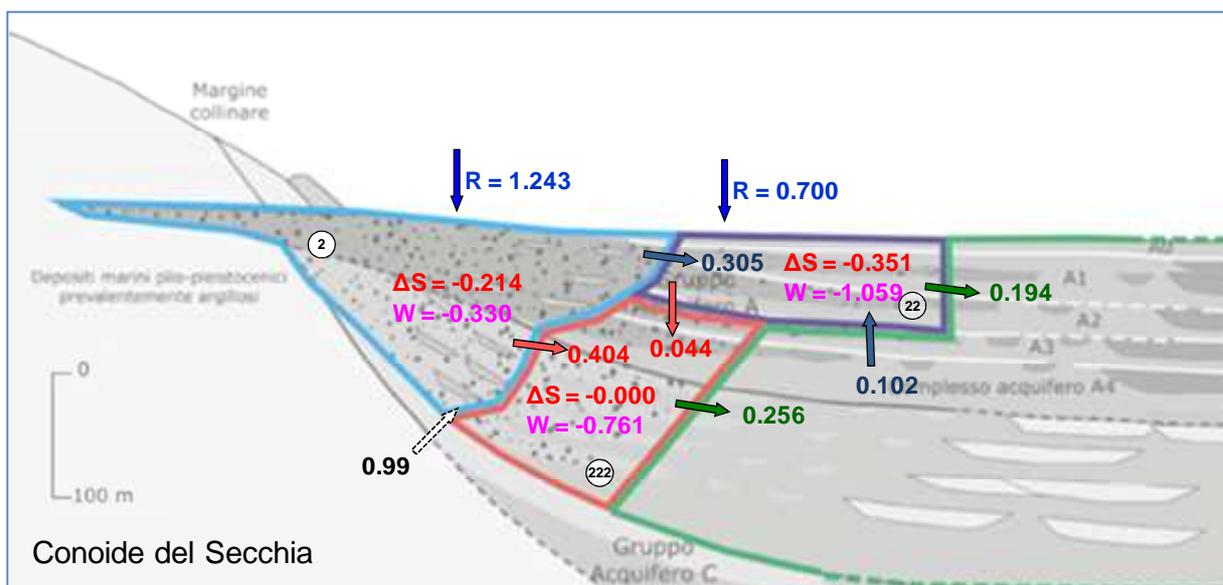
- evidenziare il rapporto tra le capacità di immagazzinamento delle alimentazioni del sistema ed i conseguenti trasferimenti di fluido verso altre zone;
- effettuare l'analisi delle variazioni temporali degli immagazzinamenti netti ($\Delta S = \text{Storage IN} - \text{Storage OUT}$) nel periodo 2004-2013 al fine di evidenziare i corpi idrici che manifestano un deficit idrico ($\Delta S > 0$) nei 10 anni di simulazione analizzati e la dinamica stagionale di accumulo e rilascio di acqua dallo storage.

2.8.1 Analisi del bilancio della conoide del Secchia

La Figura 2.46 mostra lo schema di flusso della conoide del Secchia. Analizzando i singoli termini di bilancio di tale conoide, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- i termini di ricarica della conoide che alimentano l'acquifero libero sono pari a $1.24 \text{ m}^3/\text{s}$;
- i prelievi idrici della conoide complessivamente ammontano a circa $2.15 \text{ m}^3/\text{s}$; negli acquiferi confinati sono circa $1.80 \text{ m}^3/\text{s}$ (confinato superiore $1.06 \text{ m}^3/\text{s}$, confinato inferiore $0.76 \text{ m}^3/\text{s}$), mentre nell'acquifero libero sono pari a $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$;
- analizzando gli immagazzinamenti (ΔS) si evidenzia un surplus idrico medio a carico dell'intero sistema pari a $0.56 \text{ m}^3/\text{s}$; tale immagazzinamento avviene prevalentemente nell'acquifero libero ($0.21 \text{ m}^3/\text{s}$) e nell'acquifero confinato superiore ($0.35 \text{ m}^3/\text{s}$); trascurabile risulta il contributo dell'acquifero confinato inferiore;
- il deflusso idrogeologico principale della conoide presenta una direzione monte-valle con $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ al passaggio fra acquifero libero e acquiferi confinati e $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ al passaggio fra gli acquiferi confinati di conoide e gli acquiferi confinati della pianura alluvionale appenninica;
- localmente si osserva un flusso idrogeologico dovuto ai richiami idrici dei prelievi, con direzione verticale, dal basso verso l'alto, dagli acquiferi della pianura appenninica verso gli acquiferi confinati superiori della conoide e pari a $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$,
- il deflusso idrogeologico della conoide del Secchia è inoltre alimentato lateralmente da $0.99 \text{ m}^3/\text{s}$, somma del contributo proveniente dal margine occidentale (conoide del Tresinaro e conoidi montane) $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ e dal margine orientale (conoide del Tiepido e bordo NO della conoide del Panaro) $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 2.46: Sezione schematica di flusso della conoide del Secchia: bilancio idrogeologico ottenuto dal modello numerico, portate medie 2004-2013 (m^3/s).



Le successive figure da Figura 2.47 a Figura 2.49 riportano invece l'analisi del bilancio nell'evoluzione temporale prodotta dai singoli Stress Period del modello nel periodo 2004-2013 (SP4-SP43) relativamente ai tre corpi idrici (libero, confinato superiore e confinato inferiore), costituenti la conoide del Fiume Secchia nel suo complesso.

Figura 2.47: Bilancio idrogeologico della conoide del Secchia, acquifero libero, flussi netti. (2=libero; 22=confinato superiore; 222=confinato inferiore). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.

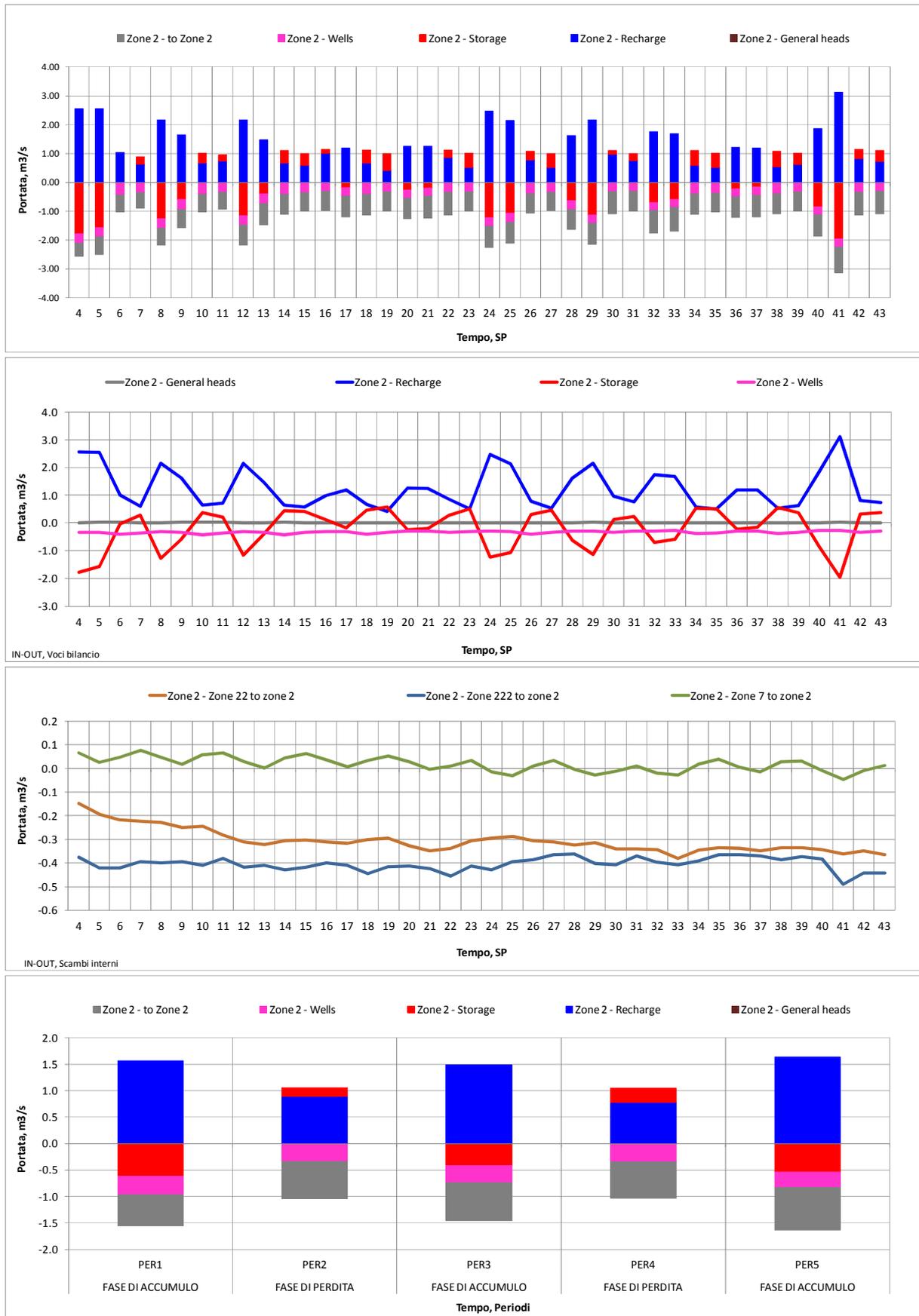


Figura 2.48: Bilancio idrogeologico della conoide del Secchia, acquifero confinato superiore, flussi netti. (2=lib.; 22=conf. sup.; 222=conf. inf.). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s), e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.

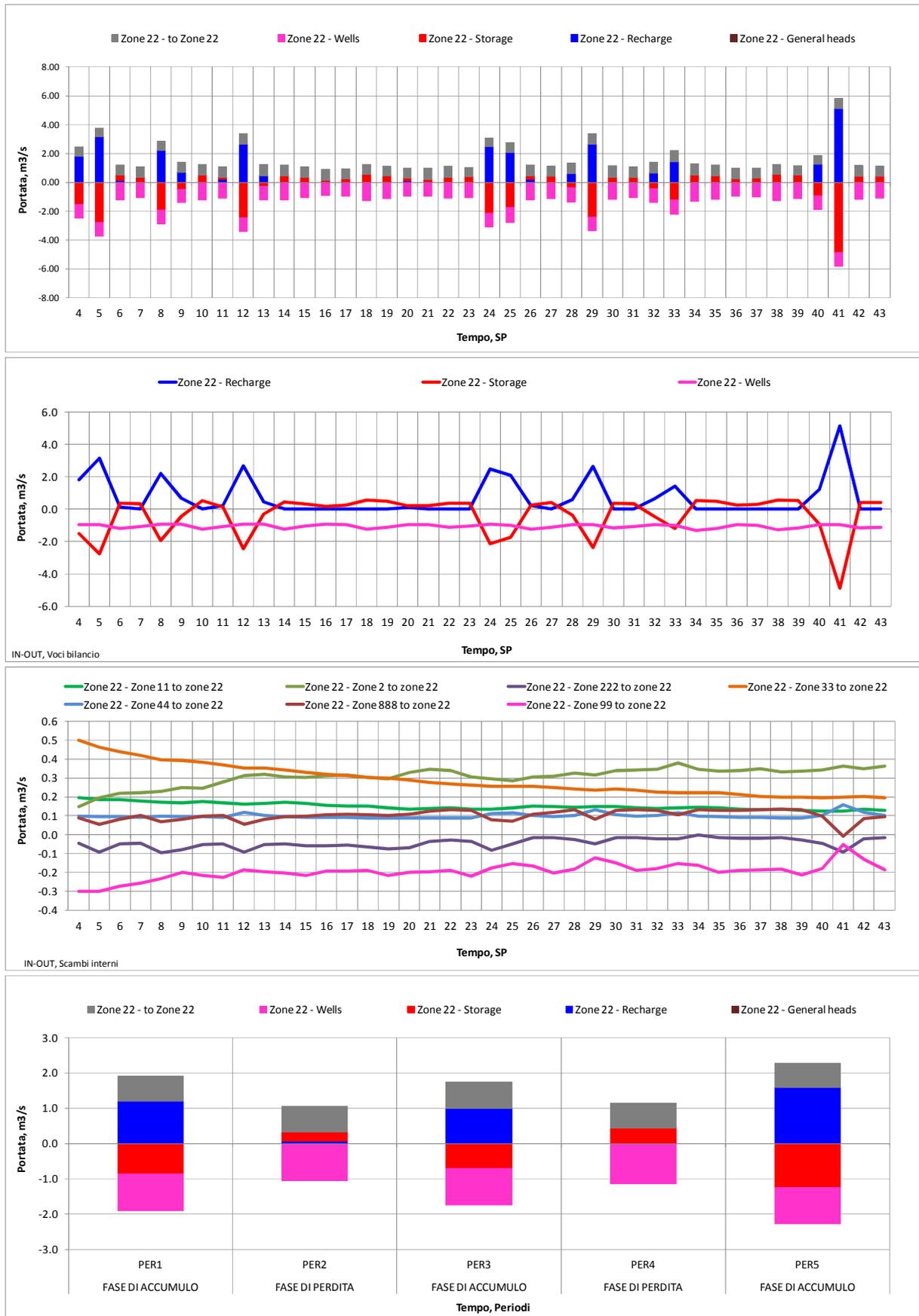
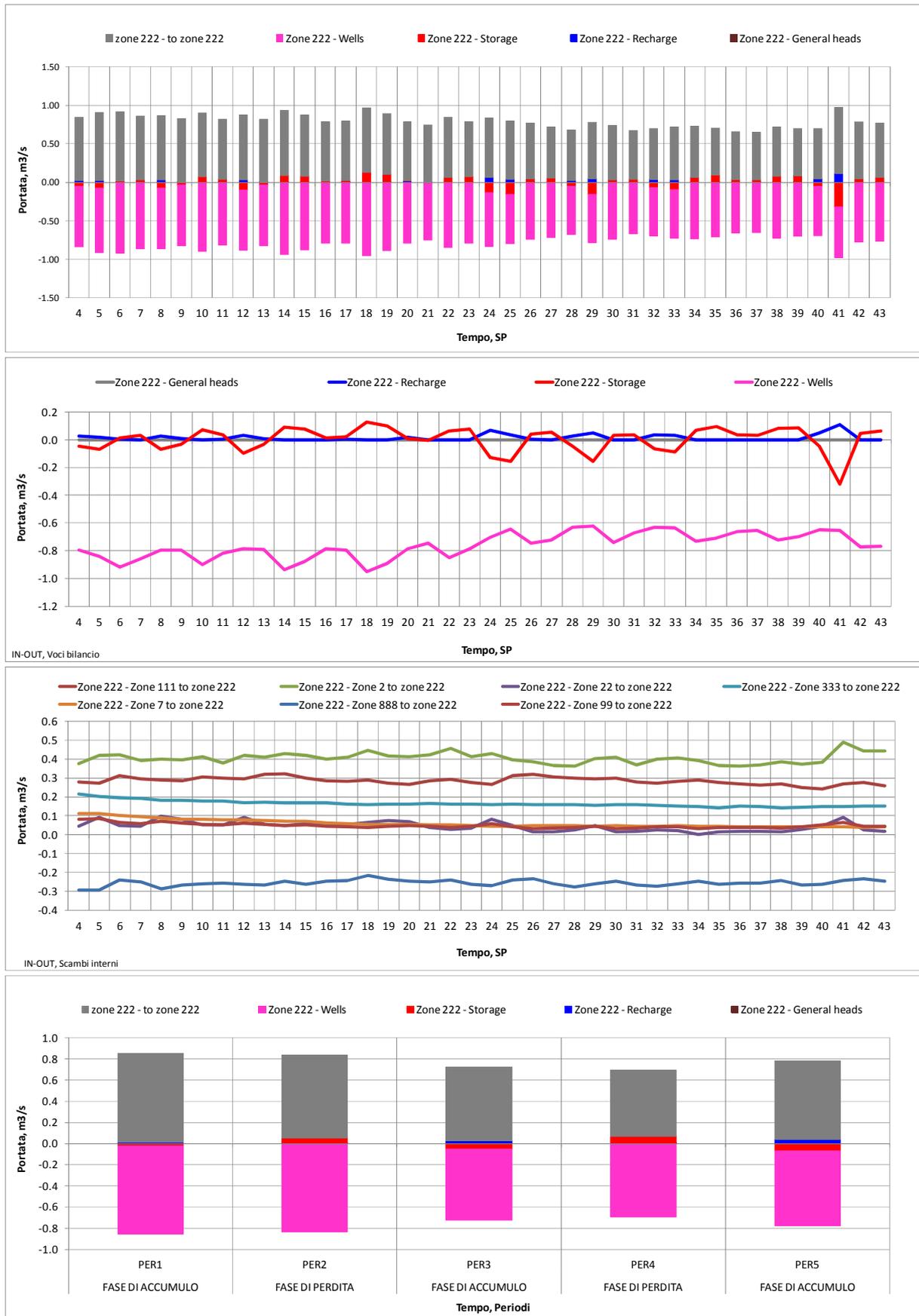


Figura 2.49: Bilancio idrogeologico della conoide del Secchia, acquifero confinato inferiore, flussi netti. (2=lib.; 22=conf. sup.; 222=conf. inf.). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.



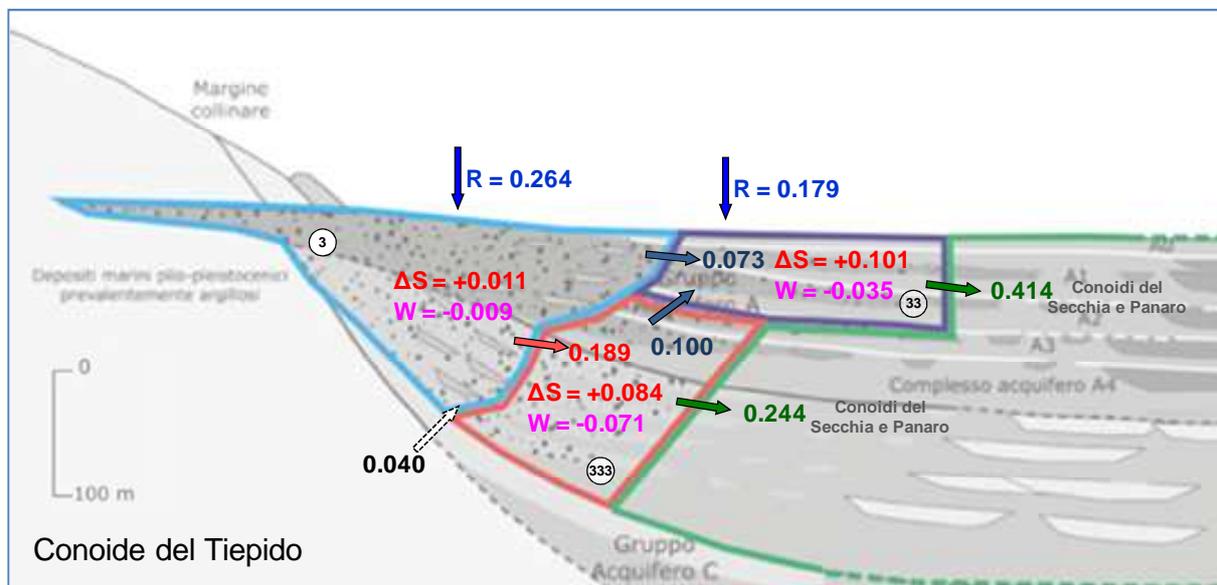
Nei tre principali corpi idrici costituenti gli acquiferi della conoide del Secchia, i termini di ricarica e gli immagazzinamenti mostrano la consueta ciclicità stagionale caratterizzata dall'alternanza dei periodi a prevalente ricarica (primo ed ultimo trimestre di ogni anno) con quelli a prevalente consumo della risorsa idrica (trimestri centrali); questo è evidente sia per gli acquiferi liberi e confinati presi singolarmente, sia nel loro insieme. Il bilancio viene inoltre mediato suddividendolo nei 5 periodi di prevalente accumulo e perdita di risorsa idrica sotterranea precedentemente descritti ed evidenziati in Figura 2.42, fornendo per ciascun corpo idrico sotterraneo il corrispondente grafico riportato in Figura 2.44 per l'intero modello.

2.8.2 Analisi del bilancio della conoide del Tiepido

La Figura 2.50 mostra lo schema di flusso della conoide del Tiepido. Analizzando i singoli termini di bilancio di tale conoide, si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- i termini di ricarica della conoide, che alimentano l'acquifero libero sono di $0.26 \text{ m}^3/\text{s}$;
- i prelievi idrici della conoide sono relativamente esigui e ammontano a $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ e sono prevalentemente concentrati negli acquiferi confinati;
- a differenza della conoide del Secchia, analizzando gli immagazzinamenti (ΔS) della conoide del Tiepido si evidenzia un deficit idrico medio pari a circa $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$;
- il deflusso idrogeologico principale della conoide presenta una direzione monte-valle con $0.26 \text{ m}^3/\text{s}$ al passaggio fra acquifero libero e acquiferi confinati e $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ al passaggio fra gli acquiferi confinati della conoide e gli acquiferi confinati delle conoidi del Secchia e del Panaro che vengono alimentate rispettivamente da $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ e da $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$;
- localmente, si osserva un flusso idrogeologico dovuto ai richiami idrici dei prelievi, con direzione verticale, dal basso verso l'alto, dall'acquifero confinato inferiore della conoide del Tiepido verso quello confinato superiore e pari a $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$;
- il deflusso idrogeologico della conoide del Tiepido è inoltre alimentato lateralmente (conoidi montane e sabbie gialle) da $0.04 \text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 2.50: Sezione schematica di flusso della conoide del Tiepido: bilancio idrogeologico ottenuto dal modello numerico, portate medie 2004-2013 (m^3/s).



Le successive figure da Figura 2.51 a Figura 2.53 riportano invece l'analisi del bilancio nell'evoluzione temporale prodotta dai singoli Stress Period del modello nel periodo 2004-2013 (SP4-SP43) relativamente ai tre corpi idrici (libero, confinato superiore e confinato inferiore) costituenti la conoide del Tiepido nel suo complesso.

Figura 2.51: Bilancio idrogeologico della conoide del Tiepido, acquifero libero, flussi netti. (3=libero; 33=confinato superiore; 333=confinato inferiore). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.

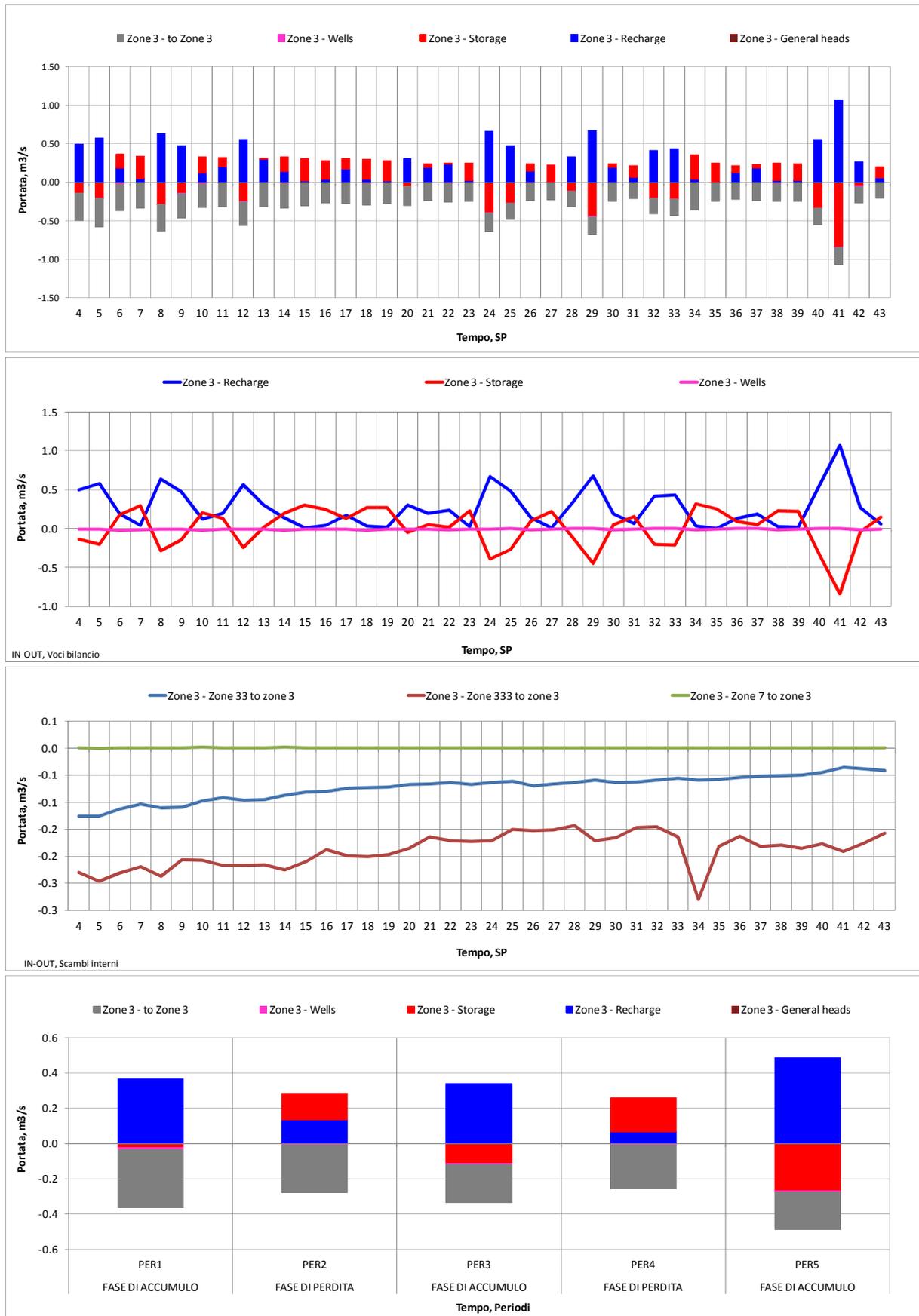


Figura 2.52: Bilancio idrogeologico della conoide del Tiepido, acquifero confinato superiore, flussi netti. (3=lib.; 33=conf. sup.; 333=conf. inf.). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.

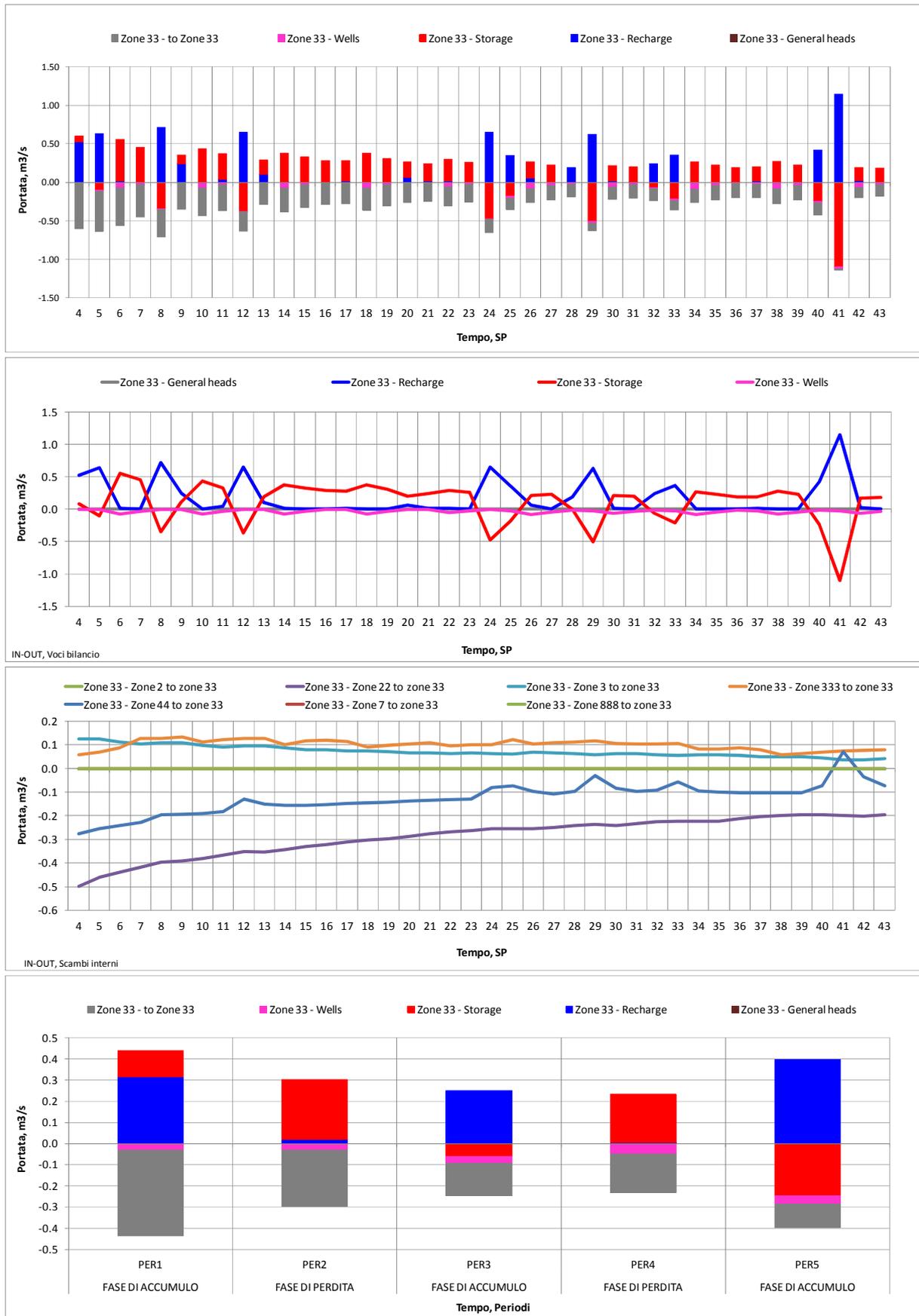
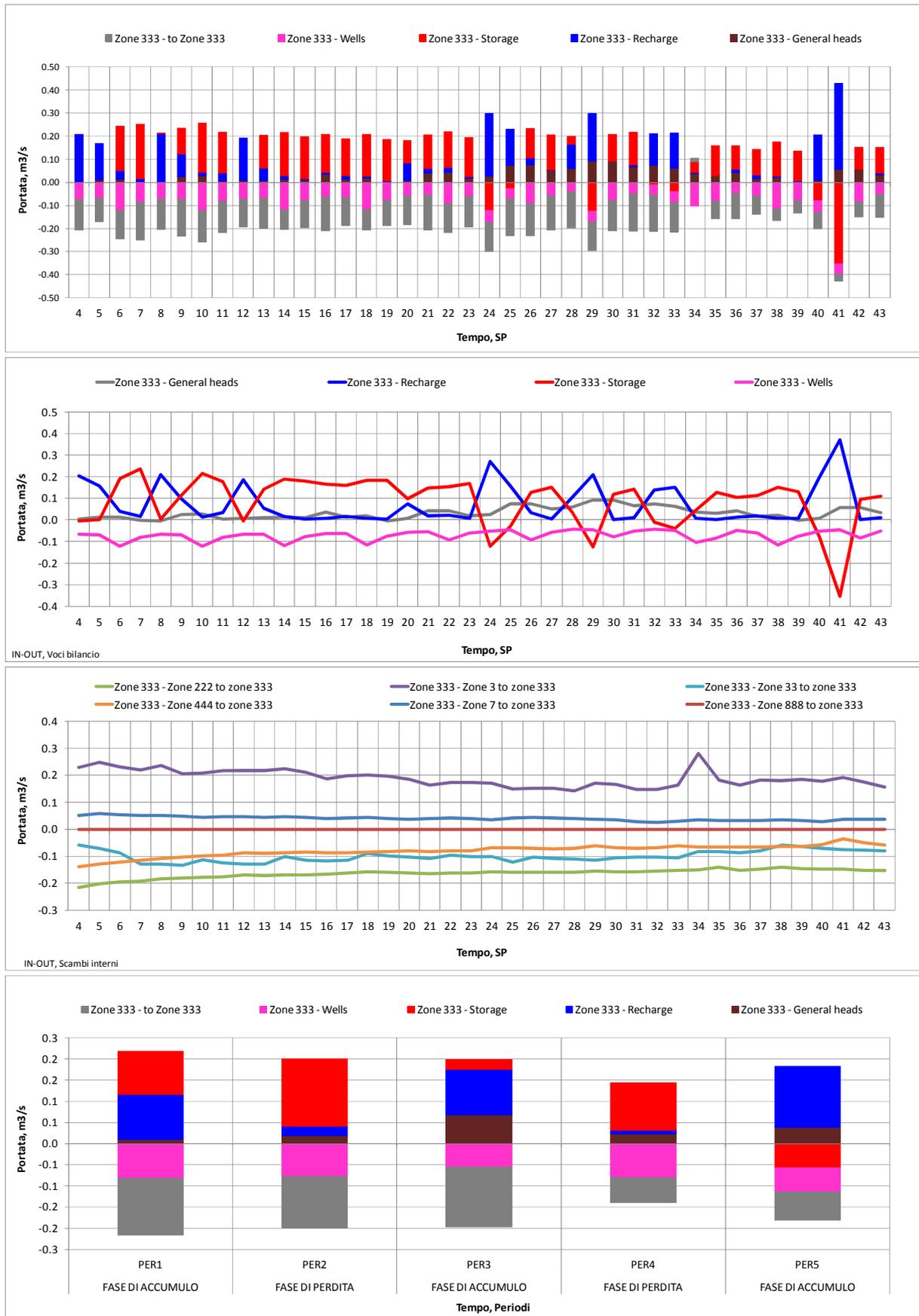


Figura 2.53: Bilancio idrogeologico della conoide del Tiepido, acquifero confinato inferiore, flussi netti. (3=lib.; 33=conf. sup.; 333=conf. inf.). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.



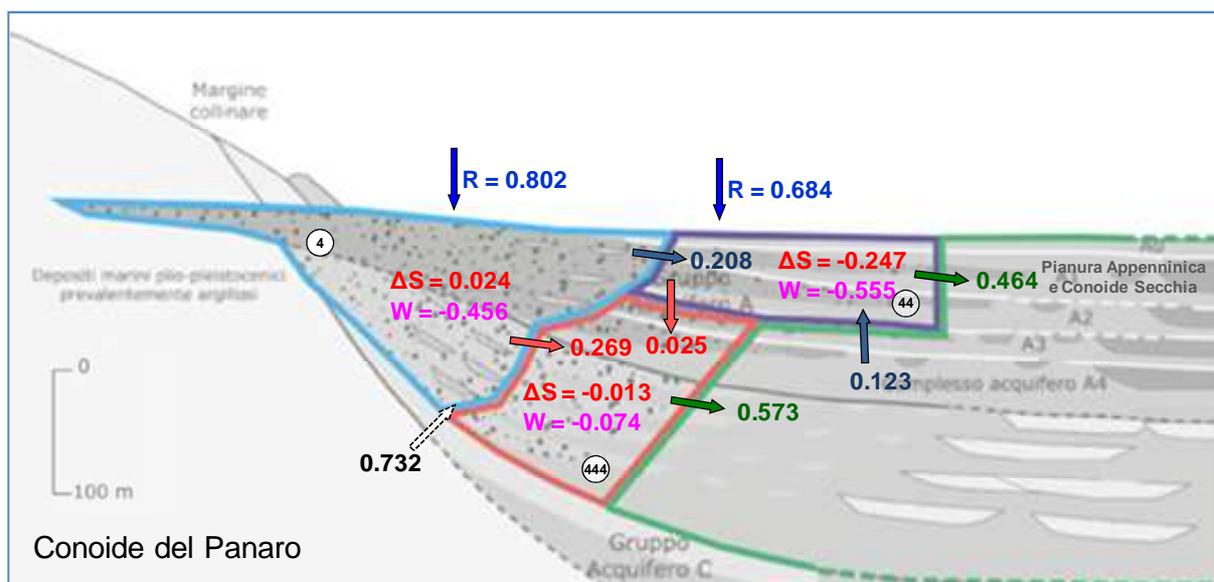
Nei tre principali corpi idrici costituenti gli acquiferi della conoide del Tiepido, i termini di ricarica e gli immagazzinamenti mostrano la consueta ciclicità stagionale caratterizzata dall'alternanza dei periodi a prevalente ricarica (primo ed ultimo trimestre di ogni anno) con quelli a prevalente consumo della risorsa idrica (trimestri centrali); questo è evidente sia per gli acquiferi liberi e confinati presi singolarmente, sia nel loro insieme. Il bilancio viene inoltre mediato suddividendolo nei 5 periodi di prevalente accumulo e perdita di risorsa idrica sotterranea precedentemente descritti ed evidenziati in Figura 2.42, fornendo per ciascun corpo idrico sotterraneo il corrispondente grafico riportato in Figura 2.44 per l'intero modello.

Il deficit idrico osservato nei termini di immagazzinamento negli acquiferi costituenti la conoide del Tiepido non è relazionabile ai prelievi idrici, esigui in questa porzione di territorio, ma piuttosto ad una dinamica di deflusso idrico sotterraneo monte-valle abbastanza pronunciata, probabilmente imputabile alla posizione mediana e topograficamente rialzata della conoide del Tiepido, rispetto alle due conoidi "maggiori" del Secchia e del Panaro.

2.8.3 Analisi del bilancio della conoide del Panaro

La Figura 2.54 mostra lo schema di flusso della conoide del Panaro.

Figura 2.54: Sezione schematica di flusso della conoide del Panaro: bilancio idrogeologico ottenuto dal modello numerico, portate medie 2004-2013 (m^3/s).



Analizzando i singoli termini di bilancio di tale conoide si possono effettuare le seguenti considerazioni:

- i termini di ricarica della conoide, che alimentano l'acquifero libero sono di $0.80 m^3/s$;
- i prelievi idrici della conoide complessivamente ammontano a $1.09 m^3/s$ e sono distribuiti principalmente nell'acquifero confinato superiore ($0.56 m^3/s$) e nell'acquifero più apicale libero ($0.46 m^3/s$);
- analizzando gli immagazzinamenti (ΔS) si evidenzia mediamente un surplus idrico a carico dell'intero sistema pari a $0.24 m^3/s$; tale immagazzinamento avviene principalmente negli acquiferi confinati mentre l'acquifero libero chiude in un sostanziale pareggio, con un deficit medio pari a $0.02 m^3/s$;

Figura 2.55: Bilancio idrogeologico della conoide del Panaro, acquifero libero, flussi netti. (4=libero; 44=confinato superiore; 444=confinato inferiore). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.

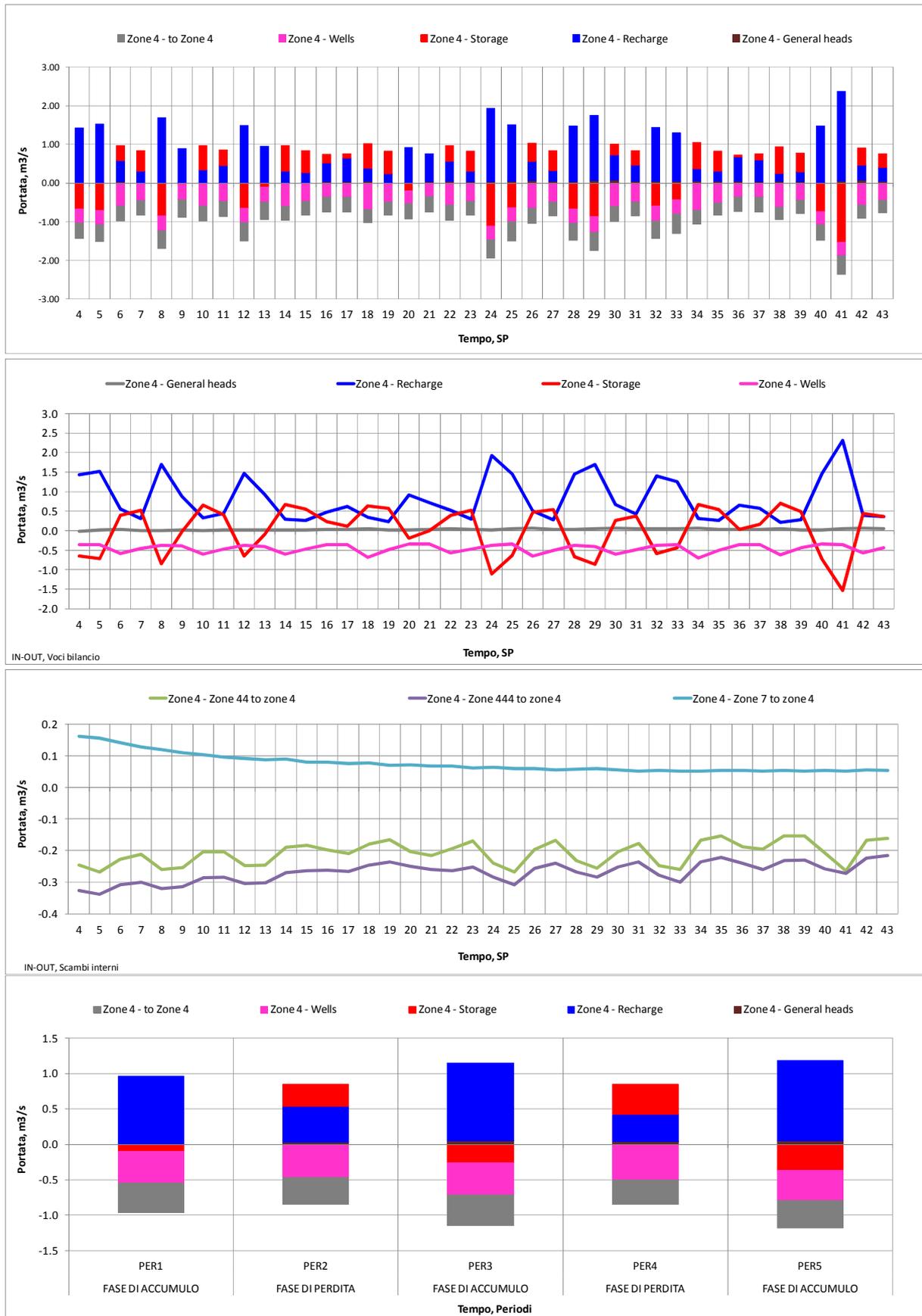


Figura 2.56: Bilancio idrogeologico della conoide del Panaro, acquifero confinato superiore, flussi netti. (4=lib.; 44=conf. sup.; 444=conf. inf.). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.

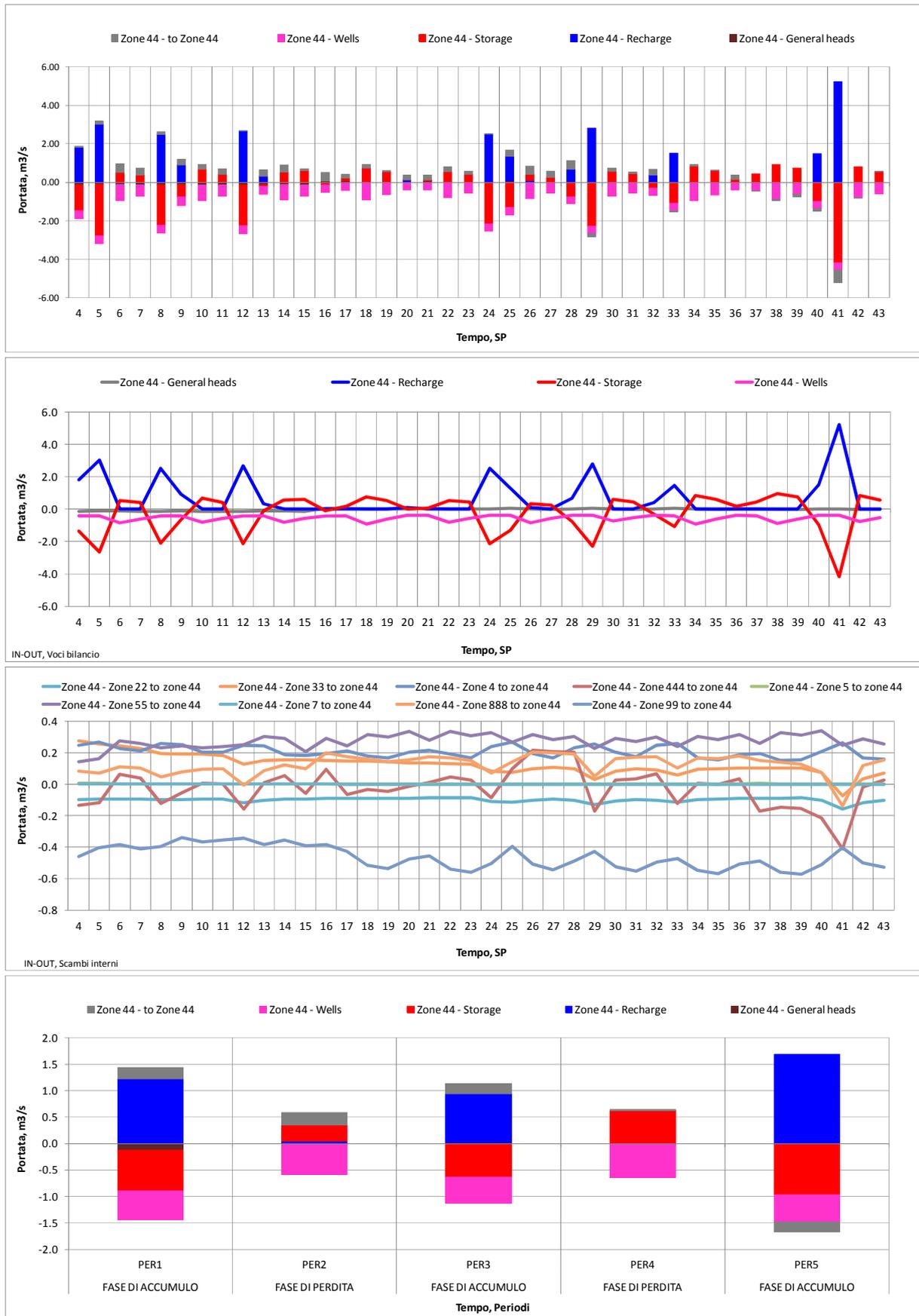
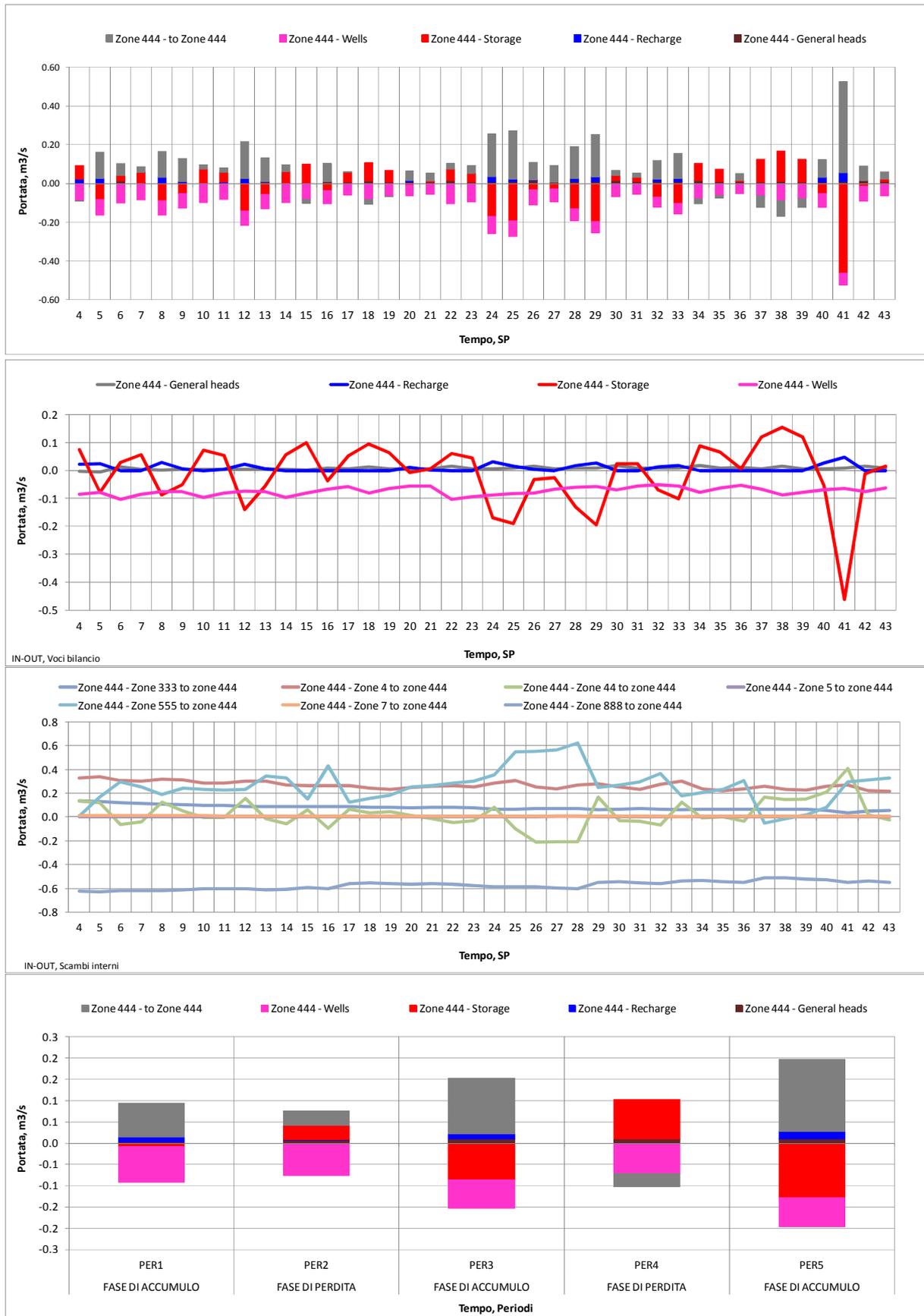


Figura 2.57: Bilancio idrogeologico della conoide del Panaro, acquifero confinato inferiore, flussi netti. (4=lib.; 44=conf. sup.; 444=conf. inf.). Portate medie degli Stress Period (SP) nel periodo 2004-2013 (m³/s) e dettaglio degli scambi interni tra corpi idrici. Nota voci legenda: il trattino separa la zona di bilancio dalla voce di bilancio.



- il deflusso idrogeologico principale della conoide presenta una direzione naturale monte valle con $0.48 \text{ m}^3/\text{s}$ al passaggio fra acquifero libero e acquiferi confinati e $1.04 \text{ m}^3/\text{s}$ al passaggio fra gli acquiferi confinati della conoide e gli acquiferi confinati della pianura alluvionale appenninica; una ulteriore portata pari $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ evidenzia un flusso tra i corpi idrici confinati superiori, dalla conoide del Panaro a quella del Secchia;
- localmente, si osserva un flusso idrogeologico dovuto ai richiami idrici dei prelievi, con direzione verticale, dal basso verso l'alto, dagli acquiferi confinati inferiori di pianura verso gli acquiferi confinati superiori della conoide e pari a $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$;
- il deflusso idrogeologico della conoide del Panaro è inoltre alimentato lateralmente da $0.74 \text{ m}^3/\text{s}$, somma del contributo proveniente dal margine orientale dalla conoide (sistema Samoggia Lavino Reno) $0.54 \text{ m}^3/\text{s}$ e dal margine occidentale (conoide del Tiepido) $0.20 \text{ m}^3/\text{s}$.
- le conoidi montane forniscono un apporto medio da monte pari a $0.09 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le figure da Figura 2.55 a Figura 2.57 riportano invece l'analisi del bilancio nell'evoluzione temporale prodotta dai singoli Stress Period del modello nel periodo 2004-2013 (SP4-SP43) relativamente ai tre corpi idrici (libero, confinato superiore e confinato inferiore costituente la conoide del Fiume Panaro nel suo complesso).

Nei 3 principali corpi idrici costituenti gli acquiferi della conoide del Panaro, i termini di ricarica e gli immagazzinamento mostrano la consueta ciclicità stagionale caratterizzata dall'alternanza dei periodi a prevalente ricarica (primo ed ultimo trimestre di ogni anno) con quelli a prevalente consumo della risorsa idrica (trimestri centrali); questo è evidente sia per gli acquiferi liberi e confinati singolarmente sia nel loro insieme.

Il bilancio viene inoltre mediato suddividendolo nei 5 periodi di prevalente accumulo e perdita di risorsa idrica sotterranea precedentemente descritti ed evidenziati in Figura 2.42 fornendo per ciascun corpo idrico sotterraneo il corrispondente grafico riportato in Figura 2.44 per l'intero modello.

3 Implementazione del modello di trasporto (Attività 2)

3.1 Introduzione

Lo scopo del modello di trasporto è quello di ricostruire le complesse dinamiche causa-effetto tra le possibili pressioni incidenti sul territorio e gli impatti che queste possono esercitare sul sistema acqua sotterranea. Questi effetti dipendono dalle dinamiche del flusso (intensità e modalità di prelievo e possibilità di ricarica) integrate con gli aspetti qualitativi (dispersione/diffusione/trasformazione) dell'inquinante considerato, in questo caso i nitrati.

Propedeutica all'implementazione modellistica è stata l'accurata analisi dei dati disponibili relativamente al parametro nitrati. Verrà in primo luogo individuato lo stato qualitativo (per i soli nitrati) delle acque sotterranee delle conoidi modenesi (Secchia, Panaro e Tiepido), con particolare attenzione per le falde captate per usi idropotabili, sulla base della lettura di tutte le analisi chimiche disponibili dalle reti di monitoraggio esistenti e dai dati acquisiti dai Gestori.

Il modello matematico per il trasporto degli idroinquinanti (Nitrati) all'interno delle conoidi modenesi è stato quindi implementato sulla base della modellistica di flusso già disponibile ed opportunamente verificata ed aggiornata secondo quanto descritto al precedente paragrafo 2. La modellistica del flusso determina il campo di moto dell'acqua sul quale i meccanismi di dispersione idrodinamica (dispersione meccanica e diffusione molecolare) determinano il trasporto dei nitrati.

L'implementazione del modello di trasporto degli inquinanti prevede oltre alla predisposizione ed alla discretizzazione dei parametri necessari alla simulazione del trasporto (porosità e parametri di dispersione), l'elaborazione delle seguenti basi di dati:

1. *concentrazione dei nitrati*: i dati di concentrazione di nitrati (paragrafi 3.3 e 3.4) sono stati inseriti all'interno del modello matematico. L'aggiornamento ha riguardato sia l'impostazione delle condizioni iniziali ed al contorno del modello, sia le condizioni necessarie alla verifica della calibrazione del modello stesso. I pozzi disponibili appartengono alla rete regionale di monitoraggio delle acque sotterranee opportunamente integrati con i dati dei pozzi acquedottistici forniti dai Gestori;
2. *ricarica zenitale*: la stima dei carichi di azoto in ingresso in falda come contributo sia dai principali corpi idrici superficiali sia dal suolo (paragrafo 3.6), è stata implementata come condizione al contorno del modello di trasporto (concentrazione di nitrati associata alla ricarica meteorica e da fiume).

L'equazione del trasporto di nitrati nelle acque sotterranee è stata risolta sulla base del modello di flusso precedentemente descritto e sempre all'interno del sistema modellistico denominato Groundwater Modeling System. È stato utilizzato il codice di calcolo alle differenze finite denominato MT3D nella versione correntemente in uso all'interno di GMS e che richiede il campo di moto dell'acqua generato dalla soluzione del codice di calcolo MODFLOW.

3.2 Individuazione ed analisi dei dati di nitrati disponibili per l'implementazione del modello di trasporto

I dati analitici relativi alle concentrazioni di nitrati misurate nel periodo di interesse 2002-2013 nelle acque sotterranee del territorio su cui ricade il modello di flusso e di trasporto di nitrati delle acque sotterranee delle conoidi modenesi (denominato EM-MO-15), derivano da due fonti:

1. misure effettuate da ARPA sui pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio delle Acque Sotterranee (di seguito indicata con RRM);
2. misure effettuate dai singoli Gestori sui pozzi ad uso acquedottistico (AIMAG, HERA, IREN, SORGEA).

La RRM dispone di 82 pozzi che ricadono all'interno dell'area di studio; di questi, 70 ricadono all'interno del territorio coperto dal modello ed altri 12 pozzi sono ubicati fuori, ma nelle immediate vicinanze dei bordi del modello stesso. La consistenza delle misure appartenenti alla rete di monitoraggio è riportata in Tabella 3.1, dove vengono distinti i dati appartenenti ai pozzi ad uso acquedottistico facenti anche parte della rete di monitoraggio.

Tabella 3.1: disponibilità di misure di nitrati dalle analisi effettuate dalla RRM

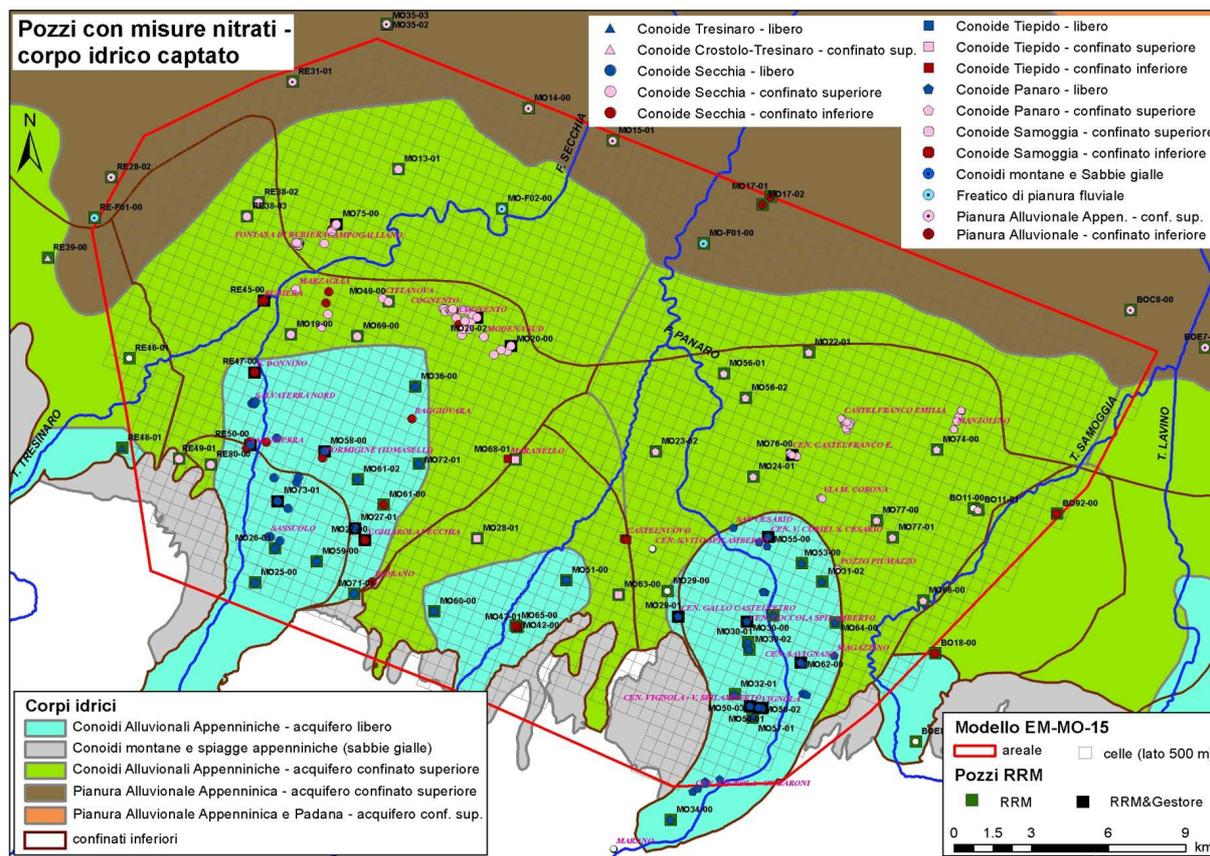
	anno												
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Totale
Pozzi RRM(64 pozzi)	79	101	99	91	93	95	93	94	103	101	99	100	1148
Pozzi acquedottistici RRM (18 pozzi)	24	96	96	82	75	81	103	147	99	113	119	107	1142
Totale (82 pozzi)	103	197	195	173	168	176	196	241	202	214	218	207	2290

La distribuzione spaziale dei pozzi RRM è praticamente omogenea e copre abbastanza uniformemente tutto il territorio. Del resto nel 2002 la riorganizzazione della RRM è stata condotta appunto per ottimizzare il numero di pozzi nello spazio tridimensionale tali da essere rappresentativi dei diversi corpi idrici, sia liberi che confinati superiori e inferiori (Figura 3.1).

La distribuzione temporale delle misure per tali pozzi nel periodo 2003-2013 (2002 per la condizione iniziale) di modellazione di EM-MO-15, non è omogenea nel tempo in quanto non per tutti i pozzi sono disponibili le serie storiche complete che coprono l'intero periodo. Inoltre dal grafico di Figura

3.2, si può osservare che la frequenza delle misure durante l'anno presenta una distribuzione bimodale, che rispecchia la pianificazione delle attività di monitoraggio, dove le stagioni in cui vengono effettuate il maggior numero di misure sono la primavera e l'autunno ed in particolare nei mesi di aprile e settembre-ottobre, ovvero nei due periodi dell'anno in cui le falde acquifere sono caratterizzate da un assetto piezometrico rispettivamente di alto idrologico e viceversa di basso idrologico.

Figura 3.1 distribuzione dei pozzi della RRM e dei Gestori con disponibilità di misure di nitrati. Indicazione del corpo idrico captato.



La seconda fonte di informazioni è costituita dalle analisi effettuate dai Gestori sui loro punti di approvvigionamento idropotabile che sono state reperite attraverso specifica richiesta rivolta agli stessi Gestori. Le informazioni raccolte sono state assemblate a formare il quadro che viene di seguito descritto.

I pozzi dei Gestori sono in totale 139 e cadono all'interno del territorio coperto dal modello (. Fanno eccezione solo i 5 pozzi del campo pozzi "Cen. Vignola - Cc Baroni", che sono ubicati immediatamente all'esterno del modello (bordo sud-orientale) nell'apice della conoide del F. Panaro (Figura 3.4).

Gli Enti gestori sono complessivamente quattro: AIMAG, HERA (Bologna e Modena, quest'ultima comprendente i pozzi ex SAT), IREN e SORGEA. In particolare, AIMAG dispone di 29 pozzi distribuiti in 3 campi pozzi, HERA dispone di 83 pozzi distribuiti in 27 campi pozzi, IREN dispone di 16 pozzi distribuiti in 4 campi pozzi e infine SORGEA dispone di 11 pozzi distribuiti nell'unico campo pozzi di Castelfranco Emilia.

La distribuzione spaziale di tali pozzi non è omogenea sul territorio. Ricadono infatti nelle due conoidi maggiori del F. Secchia e del F. Panaro, ovvero in corrispondenza degli acquiferi strategici per l'approvvigionamento idropotabile. Inoltre tali pozzi sono raggruppati in campi pozzi, quindi esistono

zone con un'alta concentrazione di pozzi a poca distanza l'uno dall'altro intervallate invece da zone prive di pozzi. La consistenza dei dati della banca dati così ricostruita è riportata in Tabella 3.2.

La distribuzione temporale delle misure per tali pozzi nel periodo 2002-2013, non è omogenea nel tempo in quanto non per tutti i pozzi sono disponibili le serie storiche complete che coprono l'intero periodo 2002-2013. Dal grafico di Figura 3.3, si può osservare però che la frequenza delle misure durante l'anno presenta una distribuzione abbastanza uniforme in tutte le stagioni.

Tabella 3.2: disponibilità di misure di nitrati dalle analisi effettuate dai Gestori

Gestore	Campo pozzi/Pozzo	anno													Totale
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
AIMAG	Campogalliano	26	28	18	19	23	26	25	18	18	24	19	21	265	
	Coggento	61	62	88	83	87	81	82	84	88	79	78	80	953	
	Fontana di Rubiera	60	81	89	76	75	76	73	59	63	63	62	68	845	
HERA	Baggiovara	13	17	14	10	12	6	24	41	19	13	13	9	191	
	Castelnuovo							5						5	
	Cen. Castelfranco E.	4	6	6	6	6	7	6	6	2	4	6	6	65	
	Cen. Coccola Spilamberto	2	2	2	2	2	15	33	35	30	51	41	38	253	
	Cen. Gallo Castelvetro					1	2	14	50	18	20	27	19	151	
	Cen. S.Vito Spilamberto						1	2	5	12	14	19	12	65	
	Cen. Savignano	2	2	2	2	2	7	10	10	10	10	11	9	77	
	Cen. V. Curiel S. Cesario	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24	
	Cen. Vignola - Cc Baroni						6	10	10	10	10	10	8	64	
	Cen. Vignola - V. Spilamberto						1	2	2	7	12	10	5	39	
	Cittanova	14	14	13	9	8	2	12	12	12	12	13	11	132	
	Coggento	182	178	152	136	132	126	134	133	132	134	88	68	1595	
	Fiorano							2	2	1	2	1	1	9	
	Formigine (Magreta)							3	2	2	2	2	5	16	
	Formigine (Tomaselli)	2	2	2	2	2	2	12	46	36	36	44	47	233	
	Magazzino						2	2	2	2	2	2	2	14	
	Manzolino						8	8	9	10	13	11	11	70	
	Maranello							2	2	13	12	11	11	51	
	Marano											2		2	
	Marzaglia	65	67	55	49	46	37	54	60	45	47	30	8	563	
	Modena Sud	204	254	260	232	220	139	121	113	16	12	14	12	1597	
	Pozzo Piumazzo	2	2	2	2	2	3	3	4	12	13	13	12	70	
	San Cesario	77	78	52	45	47	12	48	47	36	36	27	17	522	
Sassuolo		2	2	2	2	2	19	20	20	30	29	25	153		
V.Ghiarola Vecchia	2	2	2	2	2						4	12	26		
Via M. Corona	5	5	4	8	6		5	4	4	4	3	4	52		
Vignola				1	2	4	5	3	6				21		
IREN	Rubiera	8	12	12	12	13	12	12	12	11	15	16	16	151	
	S. Donnino	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	114	
	Salvaterra	20	22	22	22	21	22	23	22	22	22	22	21	261	
	Salvaterra Nord	16	16	16	16	16	16	16	16	15	16	16	16	191	
SORGEA	Castelfranco Emilia	9	9	9	20	20	21	28	49	55	31	27	29	307	
Totale	(139 pozzi)	780	873	834	768	759	648	807	890	739	751	683	615	9147	

Un passo successivo nell'analisi dei dati è consistito nella sovrapposizione delle due banche dati (RRM e Gestori), che ha permesso di individuare i pozzi appartenenti ad entrambe le banche dati ma in realtà coincidenti tra loro.

Figura 3.2 distribuzione temporale mensile dei pozzi della Rete regionale di monitoraggio delle acque sotterranee con misure di nitrati disponibili dal 2002 al 2013

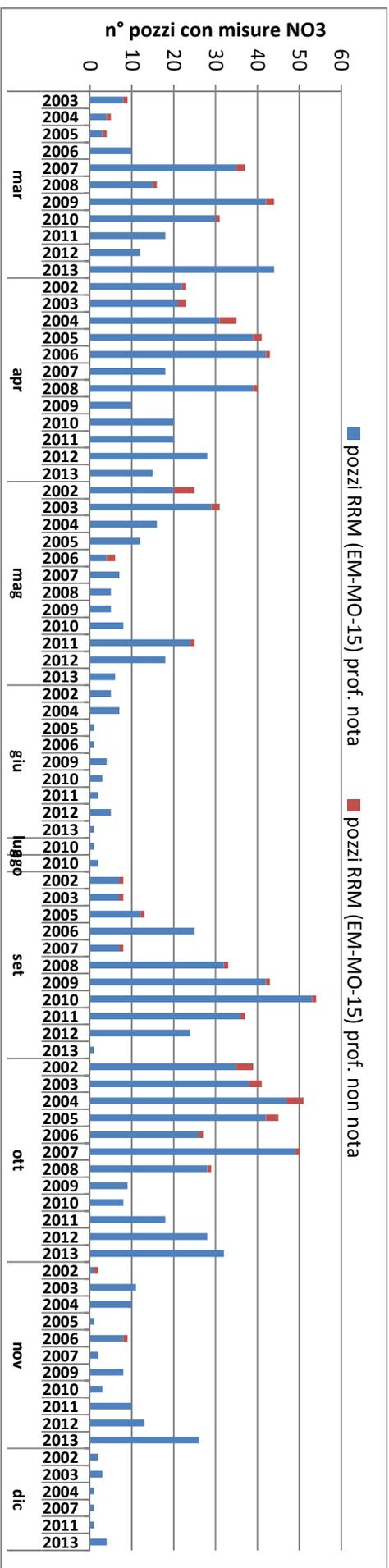
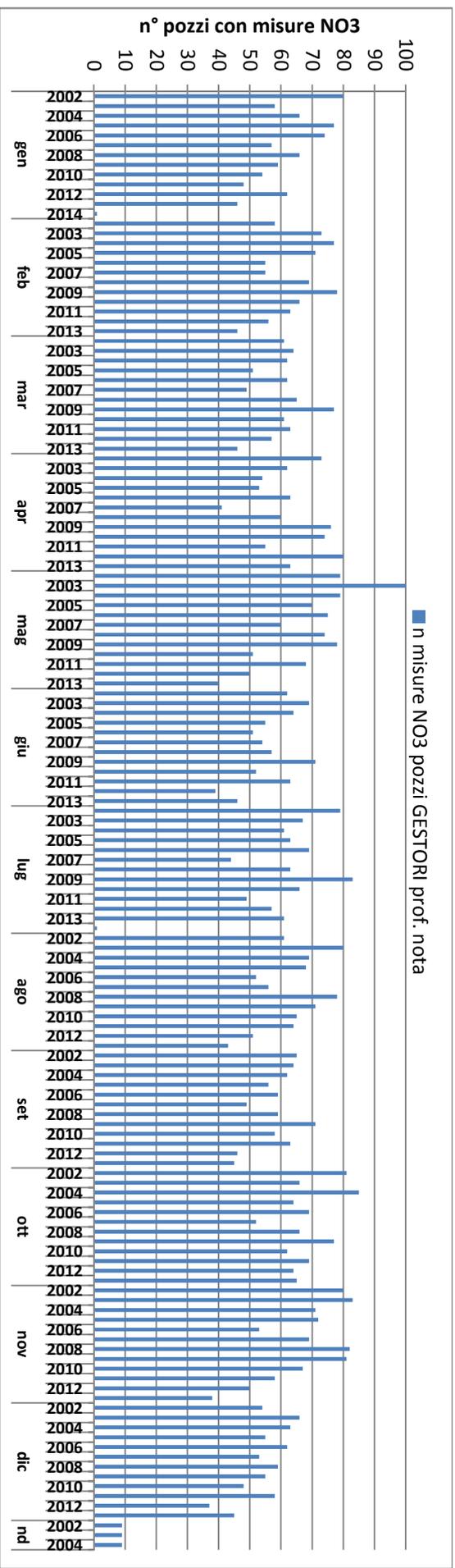


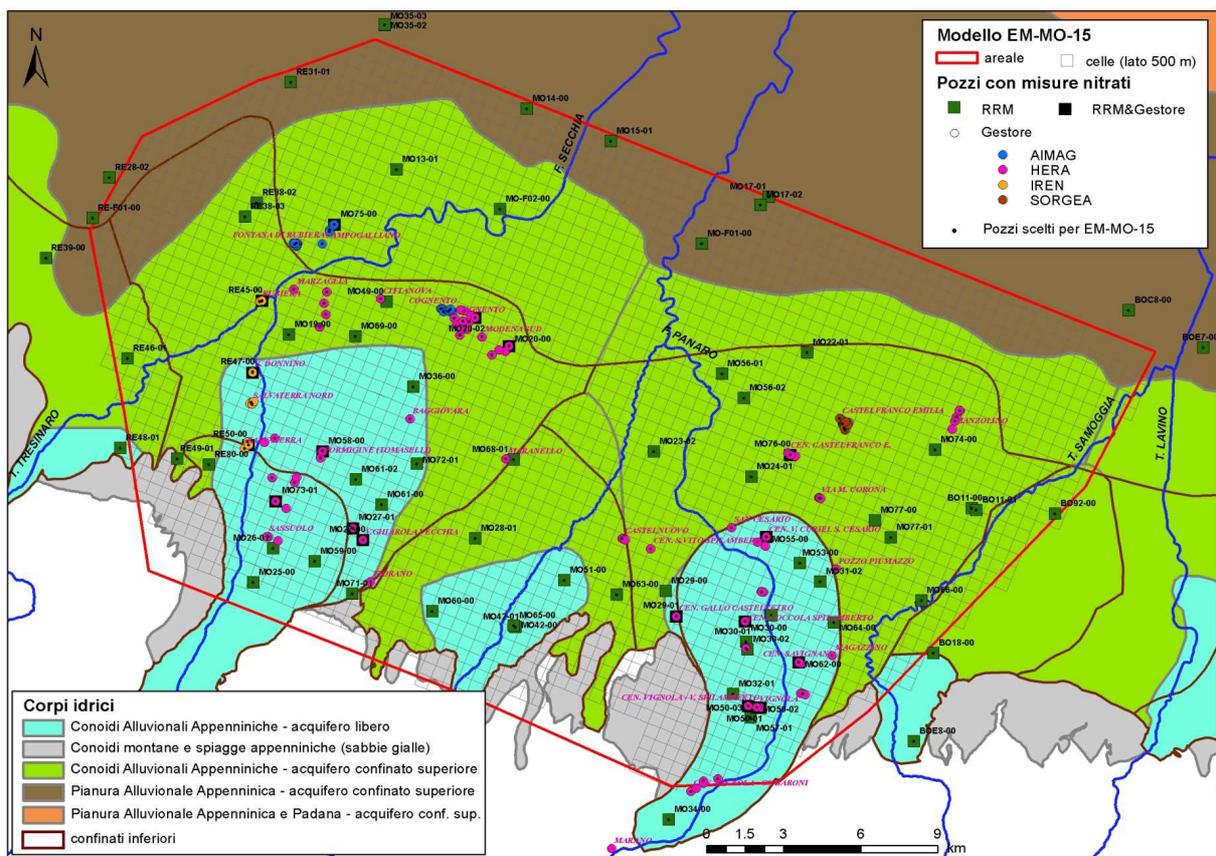
Figura 3.3 distribuzione temporale mensile dei pozzi ad uso acquedottistico dei Gestori con misure di nitrati disponibili dal 2002 al 2013



Questa verifica è stata condotta incrociando prima le informazioni disponibili relative alla loro ubicazione nello spazio tridimensionale (longitudine, latitudine, profondità, numero e spessore dei filtri) e successivamente le serie storiche dei dati di nitrati misurati.

Una volta verificata la corrispondenza di un pozzo fra le due banche dati, le relative misure dei valori di nitrati presenti nell'una e nell'altra banca dati sono state messe insieme a formare un'unica serie storica. A memoria di ciò alla serie storica è stato associato un codice che mantiene traccia dell'appartenenza del pozzo ad entrambe le banche dati (Tabella 3.5). I pozzi in comune alle due banche dati sono risultati essere 18. I dati relativi alle concentrazioni di nitrati appartenenti a questi punti di misura sono complessivamente quelli già riportati nella precedente Tabella 3.1.

Figura 3.4 distribuzione dei pozzi della RRM e dei Gestori con disponibilità di misure di nitrati. Indicazione del gestore.



3.3 Individuazione del set di dati di nitrati per la calibrazione del modello di trasporto (observations)

L'analisi della disponibilità spazio-temporale dei dati per la costruzione del modello di trasporto è stata condotta nel paragrafo precedente ed ha evidenziato una forte polarizzazione dell'informazione su alcuni areali per lo più in prossimità dei principali campi pozzi acquedottistici che a volte ospitano loro stessi un pozzo della rete regionale di monitoraggio. Può infatti verificarsi il caso di pozzi limitrofi che captando i medesimi acquiferi sono caratterizzati dai medesimi valori di concentrazione di nitrato, o viceversa il caso di pozzi sempre limitrofi ma che captando acquiferi diversi sono caratterizzati da concentrazioni di nitrato diverse. La prima situazione rappresenta di fatto una ridondanza di informazione che può essere quindi eliminata, viceversa la seconda situazione

rappresenta invece un chiaro esempio di integrazione dell'informazione ed analisi della stessa lungo la terza dimensione verticale.

Per le finalità dell'applicazione modellistica in fase di implementazione si è ritenuto opportuno effettuare una analisi di dettaglio di tutte le situazioni del tipo appena descritto in modo da ottimizzare l'informazione ovvero mantenere il più alto livello di informazione (nello spazio tridimensionale e nel tempo) col minor numero di punti di misura possibile. Saranno questi i punti da porre ad obiettivo della calibrazione (*Observations*) confrontando con questi i dati calcolati dal modello numerico. È infatti opportuno che i pozzi inseriti nel modello come Observation siano ben distribuiti sul territorio e siano rappresentativi delle porzioni circostanti il punto di controllo.

L'analisi complessivamente effettuata su tutti i pozzi con misure di nitrati disponibili (dati dei gestori e della rete di monitoraggio) ha portato all'individuazione di 33 raggruppamenti di pozzi e sono stati utilizzati i seguenti criteri per individuare, all'interno di ciascuno di questi, i pozzi del gruppo con caratteristiche simili:

- distanza planimetrica: pozzi rientranti all'interno di un raggio di ricerca di circa 1 km, tenendo presente che le maglie del modello sono quadrate con lato di 500 m, quindi considerando distanze dei pozzi compresi per lo più in una o due celle adiacenti;
- distanza in verticale: pozzi aventi fasce di profondità/filtri confrontabili tra loro;
- presenza di nitrati: andamenti simili delle serie storiche delle misure di nitrati (valor medio e trend).

Per una migliore comprensione dei suddetti criteri utilizzati, si riportano due esempi esplicativi:

- da uno sguardo in pianta in una cella i-j ricadono più pozzi, se questi hanno profondità/filtri confrontabili, viene scelto quello più rappresentativo e possibilmente con una buona copertura dati; se invece le profondità/filtri risultano significativamente diversi, vengono presi entrambi i pozzi; nel primo caso si opera quindi una semplificazione non considerando misure giudicate ridondanti
- se vi sono due pozzi alla stessa fascia di profondità/filtri, ma ubicati in celle i-j adiacenti, vengono presi entrambi solo se le misure di nitrati sono confrontabili, se no viene scelto soltanto quello maggiormente rappresentativo, considerando anche il contesto degli altri eventuali sottoinsiemi di pozzi adiacenti; in questo caso si opera una semplificazione non considerando le misure di un pozzo in disaccordo con il contesto dei pozzi limitrofi (in questo caso può essere necessario un ulteriore approfondimento).

In sintesi l'obiettivo di questa operazione di individuazione dei pozzi da utilizzare come Observation è quello di ottenere una distribuzione dei punti di controllo e dei relativi dati di nitrati più uniforme rispetto al punto di partenza: da un lato sono stati scremati i pozzi con i relativi dati ritenuti ridondanti che ricadevano in porzioni adiacenti dello stesso acquifero, dall'altro lato sono stati eliminati quei pozzi i cui valori di nitrati restituivano informazioni anche abbastanza diverse da quelle fornite dal contesto dei pozzi circostanti, che sembravano essere quindi situazioni spiccatamente locali, le quali potranno essere oggetto di futuri approfondimenti.

Quest'ultimo aspetto è di fondamentale importanza ai fini dell'implementazione del modello di trasporto dei nitrati, che non sarà mai in grado di riprodurre concentrazioni discordanti nell'ambito di una stessa cella, o anche in celle limitrofe.

Quanto appena descritto è fondamentale anche per le successive fasi del lavoro che richiedono l'interpolazione spaziale dei dati (Kriging, si veda il successivo paragrafo 3.4). È quindi chiaro che valori di nitrati molto diversi in corrispondenza di pozzi molto vicini portano innanzitutto a kriging poco attendibili e nello stesso tempo a dover confrontare i valori calcolati dal modello in una posizione con osservazioni molto diverse tra loro.

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	AIMAG-CAMPOGALLIANO-POZZO 4	CIV_50136	MO75-00	60	6.8	4.8	4.0	3.3	3.0	3.5	3.0	1.7	1.5	2.5	4.0	5.0	3.6	1	a1	57-60
SI	AIMAG-CAMPOGALLIANO-POZZO 3 BIS	CIV_50135		57	7.5	6.1	5.5	5.8	5.4	5.2	5.6	6.5	6.0	6.0	6.2	8.9	6.2	1	a1	57-60
no	AIMAG-CAMPOGALLIANO-POZZO 1	CIV_50133		140	4.8	5.0	4.8	5.5	5.0	5.0	3.3						4.8	1	b	140
SI	AIMAG-CAMPOGALLIANO-POZZO 2	CIV_50134		140	6.2	5.4	5.5	5.2	5.2	5.2	5.6	6.0	5.0	6.0	6.3	6.8	5.7	1	b	140
no	AIMAG-CAMPOGALLIANO-POZZO 6	CIVN-033		140							4.0	4.3	4.3	5.0	5.1	5.0	4.6	1	b	140
SI	AIMAG-CAMPOGALLIANO-POZZO 5	CIVN-004		57	15.8	15.7	16.0	16.5	18.2	16.3	16.2	17.5	18.5	19.6	20.8	23.0	17.8	1	a2	57-60

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	AIMAG-COGNENTO-POZZO 1	CIV_50123		50	17.3	18.7	19.9	22.6	26.9	28.9	30.1	30.4	30.5	31.4	31.9	31.6	26.7	2	a1	45-50
no	AIMAG-COGNENTO-POZZO 2	CIV_50124		45	22.2	22.0	25.6	25.8	28.9	29.8	32.6	35.4	35.4	32.8	32.9	33.6	29.7	2	a2	45-50
no	AIMAG-COGNENTO-POZZO 7	CIV_50129		45	39.0	41.2	42.6	45.3	50.5	53.4	58.6	56.5	51.5	63.5	76.4	82.0	55.0	2	a2	45-50
SI	AIMAG-COGNENTO-POZZO 8	CIV_50130		45	27.1	24.9	31.8	33.3	33.6	33.8	31.1	26.0	34.2	45.8	49.6	53.3	35.4	2	a2	45-50
no	AIMAG-COGNENTO-POZZO 4	CIV_50126		50	27.3	27.2	32.9	31.1	34.0	33.0	36.1	42.4	42.2	44.9	50.5	57.3	38.2	2	a2	45-50
no	AIMAG-COGNENTO-POZZO 6	CIV_50128		108				13.0									13.0	2	c	108-130
SI	AIMAG-COGNENTO-POZZO 5	CIV_50127		109	9.7	11.0	11.1	12.2	13.5	12.9	13.8	17.7	26.1	21.9	27.1	30.3	17.3	2	c	108-130
no	AIMAG-COGNENTO-POZZO 10	CIV_50132		127	23.2	27.0	27.3	28.3	32.2	30.8	31.8	34.2					29.3	2	c	108-130
no	AIMAG-COGNENTO-POZZO 11	CIVN-037		130	6.2	6.5	7.4	6.9	7.1	6.3	6.6	7.0	6.9	7.3	7.5	7.4	6.9	2	c	108-130
SI	AIMAG-COGNENTO-POZZO 13	CIVN-039		92.5									5.6	5.9	5.8	5.9	5.8	2	b	92.5
SI	AIMAG-COGNENTO-POZZO 3	CIV_50125		50	36.8	36.5	37.0	41.3	40.8	43.5	46.4	47.1	52.0	51.3	49.4	47.6	44.1	2	a3	45-50
SI	AIMAG-COGNENTO-POZZO 12	CIVN-038		150	7.2	7.8	8.4	8.1	8.6	8.0	8.7	9.0	10.0	10.6	11.5	12.6	9.2	2	d	150

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 16	CIVN-137												16.0	15.1	12.4	14.5	3	a	44-51
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 8	CIV_50441		44	14.3	10.7	13.3	10.5	11.8	8.9	7.3	11.0	17.8	23.8	20.8	22.8	14.4	3	a	44-51
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 1	CIV_50437		50	5.9	4.5	8.5	8.6	8.2	5.3	5.5	9.2	10.2	13.4	11.7	12.6	8.6	3	a	44-51
SI	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 4	CIV_50438		51	7.2	7.6	7.8	9.4	9.3	6.8	6.7	11.0	13.0	13.6	8.0	7.4	9.0	3	a	44-51
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 15	CIVN-040		80									19.7	19.5	17.2	18.2	18.6	3	b	80-81
SI	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 6	CIV_50439		81	17.8	17.3	17.4	16.4	16.8	13.8	14.2	16.0	18.8	21.1	20.0	20.0	17.5	3	b	80-81
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 11	CIV_50440		107	13.0	16.3	13.1	13.0	15.3	17.0	17.9	17.5	15.7	15.0	14.5	14.5	15.2	3	c	107-119
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 12	CIV_50444		107	19.7	20.3	21.9	24.3	27.5	19.7	21.3	22.8	26.7	28.0	24.5	26.7	23.6	3	c	107-119
SI	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 13	CIV_50445		107	19.2	20.4	22.4	23.0	24.7	18.8	19.2	19.0	24.7	25.5	25.0	22.2	22.0	3	c	107-119
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 14	CIV_50446		107	23.2	23.1	25.4	25.7	26.5	21.9	18.9	21.3	24.3	25.3	23.5	23.8	23.6	3	c	107-119
no	AIMAG-FONTANA DI RUBIERA-POZZO 10	CIV_50443		119	17.4	17.2	16.9	15.8	17.4	15.8	17.7	17.5	19.0				17.2	3	c	107-119

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 13	CIV_50066		100	13.4	13.1	14.2	14.6	15.1	15.3	14.6	15.4	17.0	19.3	14.8	17.0	15.3	4	a1	80-100
no	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 10	CIV_50063		96	7.7	8.3	8.8	9.0	9.4	9.6	12.9	14.0	15.9	14.8	15.7	15.0	11.7	4	a2	80-100
no	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 9	CIV_50062		85.1	12.7	14.0	14.4	11.5	12.7	11.5	13.8						12.9	4	a2	80-100
SI	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 11	CIV_50064		96.65	11.0	11.4	11.4	12.4	12.6	14.0	13.7	15.4	17.0	15.0	18.4	14.0	13.8	4	a2	80-100
no	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 12	CIV_50065		100	10.2	10.7	11.0	13.3	13.5	15.9	13.8	17.0	18.1	18.0	16.5	15.3	14.4	4	a2	80-100
no	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 15	CIVN-042		80									21.4	12.2	13.0	13.5	15.0	4	a2	80-100
SI	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 6	CIV_50059		87.07	18.6	19.0	19.4	20.1	23.0	23.4	19.7	21.7	21.5	21.0	21.4	17.3	20.5	4	a3	80-100
no	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 8	CIV_50061		87.07	21.0	22.1	23.2	24.2	25.3	25.9							23.6	4	a3	80-100
no	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 14	CIVN-041		80								27.8	27.6	23.0	24.8	23.3	25.3	4	a3	80-100
no	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 7	CIV_50060		87.07	19.7	23.4	24.0	24.6	17.2	25.4	27.3	25.8	29.8	32.0	31.4	26.3	25.6	4	a3	80-100
SI	SORGEA-CASTELFRANCO EMILIA -POZZO 5	CIV_50058		80	26.0	26.3	27.2	28.4	22.1	29.4	32.3	33.4	33.0	28.7	30.8	27.5	28.8	4	a4	80-100

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	IREN-RUBIERA-RUBIERA 1	CIV_50432		195	12.6	13.8	6.6	12.2	9.7	7.1	7.1	5.2	5.3	2.5	2.8	4.0	7.4	5	a1	162-195
SI	IREN-RUBIERA-RUBIERA 3	CIV_50434		162	21.2	21.4	22.9	21.7	23.8	23.5	23.6	22.0	24.3	27.0	24.5	26.5	23.5	5	a2	162-195
no	IREN-RUBIERA-RUBIERA 4	CIVN-138											16.0	16.7	16.5	16.8	16.5	5	a2	
SI	IREN-RUBIERA-RUBIERA 2	CIV_50433	RE45-00	305	25.0	23.3	24.8	20.7	24.2	30.4	32.1	29.8	34.4	32.5	31.3	35.5	28.6	5	b	305

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	IREN-S. DONNINO-S. DONNINO 1	CIV_50424		200	6.5	4.8	7.6	8.2	8.5	8.5	6.8	6.7	6.8	7.8	6.8	7.0	7.1	6	a	200
SI	IREN-S. DONNINO-S. DONNINO 2	CIV_50425	RE47-00	258	5.9	3.4	4.3	4.5	5.1	4.8	4.8	4.4	4.2	5.0	4.5	5.3	4.5	6	b	258

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	IREN-SALVATERRA-SALVATERRA 6	CIV_50410		123	6.9	7.5	7.5	7.7	8.3	7.9	6.7	8.6	8.8	10.3	8.8	6.8	8.0	7	a	123
SI	IREN-SALVATERRA-SALVATERRA 3	CIV_50407		154	5.0	4.8	6.7	7.1	8.1	6.3	5.7	7.1	7.6	6.5	4.0	6.0	6.2	7	b1	154-160
no	IREN-SALVATERRA-SALVATERRA 5	CIV_50409		154	6.1	6.6	6.5	6.9	7.8	6.4	5.8	7.1	7.8	8.8	8.0	6.5	7.0	7	b1	154-160
no	IREN-SALVATERRA-SALVATERRA 4	CIV_50408		160	6.0	5.8	8.8	7.5	9.0	6.5	5.7	7.1	7.8	5.5	5.8	6.7	6.8	7	b1	154-160
SI	IREN-SALVATERRA-SALVATERRA 2	CIV_50406	RE50-00	128	8.6	5.1	8.5	7.5	6.5	5.0	5.0	10.5	9.5	7.0	4.5	10.0	7.3	7	b2	154-160
no	IREN-SALVATERRA-SALVATERRA 1	CIV_50405		158	3.6	4.9	8.3	8.4	8.2	4.1	6.8	10.4	8.7	5.5	3.5	6.3	6.6	7	b2	154-160

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	IREN-SALVATERRA NORD-SALVATERRA NORD 1	CIV_50411		70	3.8	3.8	4.8	5.3	5.8	3.4	3.6	3.5	4.3	3.8	3.5	3.0	4.0	8	a	70-74
no	IREN-SALVATERRA NORD-SALVATERRA NORD 2	CIV_50412		74	5.5	6.1	7.4	9.6	9.9	6.8	4.9	5.7	7.4	6.5	5.3	4.8	6.6	8	a	70-74
SI	IREN-SALVATERRA NORD-SALVATERRA NORD 3	CIV_50413		105	3.7	4.1	4.3	4.9	5.6	4.5	4.3	4.7	4.6	4.3	4.0	4.4	4.4	8	b	105
no	IREN-SALVATERRA NORD-SALVATERRA NORD 4	CIV_50414		105	3.7	4.0	4.2	4.9	5.5	4.5	2.8	4.0	3.2	3.5	4.0	2.9	3.9	8	b	105

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-BAGGIOVARA-POZZO FRAZIONALE	CIV_50120		114	38.5	38.9	39.8	39.3	41.0	41.4	41.9	40.5	45.5	53.4	56.3	43.5	43.3	9	a	114

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-CASTELNUOVO-POZZO 1	CIV_50072		163							1.9					1.9	10	a1	163-166	
no	HERA-CASTELNUOVO-POZZO 3	CIV_50074		166							0.5					0.5	10	a1	163-166	
no	HERA-CASTELNUOVO-POZZO 4	CIV_50075		166							23.6					23.6	10	a2	163-166	

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
no	HERA-CEN. CASTELFRANCO E.-POZZO 1 LODA	CIVN-010		122.87	8.7	11.0	11.1	11.4	11.9	16.4	11.5	8.7	12.5	13.1	13.9	13.2	11.9	11	a	123-124
SI	HERA-CEN. CASTELFRANCO E.-POZZO 2 LODA	CIVN-011	MO76-00	123	15.3	11.9	11.4	12.9	12.1	15.0	13.9	13.7		12.7	14.6	14.0	13.4	11	a	123-124
no	HERA-CEN. CASTELFRANCO E.-POZZO 3 LODA	CIVN-012		124	19.4	18.7	20.2	21.2	19.7	18.7	17.9	16.6		20.5	20.9	22.7	19.7	11	a	123-124

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
no	HERA-CEN. COCCOLA SPILAMBERTO-POZZO 5 S3	CIV_50081		65						22.7	4.2	6.7	5.9	5.9	4.3	8.0	8.2	12	a2	65
no	HERA-CEN. COCCOLA SPILAMBERTO-POZZO 6 S2	CIV_50080		65						6.7	31.8	39.9	44.1	46.3	23.4	34.2	32.3	12	a1	65
SI	HERA-CEN. COCCOLA SPILAMBERTO-POZZO 9 S1	CIV_50079		65						33.5	30.1	28.3	28.8	29.6	29.0	34.5	30.5	12	a1	65
SI	HERA-CEN. COCCOLA SPILAMBERTO-POZZO 2 CARMINE	CIV_50082	MO30-00	70	41.7	50.6	48.0	49.2	52.0	60.5	52.0	47.7	42.4	37.8	38.6	37.7	46.5	12	b1	70-79
SI	HERA-CEN. COCCOLA SPILAMBERTO-POZZO 1 COCCOLA	CIV_50083		79						41.1	45.6	42.5	40.6	39.3	32.0	37.6	39.8	12	b2	70-79

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-CEN. GALLO CASTELVETRO-POZZO S. EUSEBIO	CIV_50077	MO29-01	120					38.0	37.0	39.8	45.4	39.5	42.9	45.2	44.6	41.6	13	a	120

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-CEN. S.VITO SPILAMBERTO-POZZO 1	CIVN-001		83						29.2	23.9	33.8	44.6	55.8	54.2	52.6	42.0	14	a	83.0

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-CEN. SAVIGNANO-POZZO 5	CIV_50088	MO62-00	86	9.5	9.8	12.5	14.0	12.5	12.0	14.0	9.5	15.0	14.0	16.5	12.5	12.6	15	a	86
no	HERA-CEN. SAVIGNANO-POZZO 6	CIV_50089		86						19.6	11.8	13.3	13.0	12.7	13.0	15.6	14.1	15	a	86
no	HERA-CEN. SAVIGNANO-POZZO 1	CIV_50084		106						5.8	5.9	15.4	10.8	10.8	9.4	17.0	10.7	15	b	
SI	HERA-CEN. SAVIGNANO-POZZO 2	CIV_50085		106						14.1	14.4	16.0	22.3	24.4	19.4	22.5	19.0	15	b	
no	HERA-CEN. SAVIGNANO-POZZO 3	CIV_50086		106						26.6	20.6	28.3	31.0	34.5	29.8	44.2	30.7	15	b	

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													d gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-SAN CESARIO-POZZO D5	CIV_50118		130	90.1	69.3	56.5	59.0	57.9	56.0	51.2	49.3	49.1	53.0	52.9	49.1	57.8	16	a	130
SI	HERA-SAN CESARIO-POZZO D6	CIV_50119		107	17.3	17.4	17.8	18.1	19.2	20.3	18.1	17.5	20.1	17.2	17.2	17.0	18.1	16	b	107
no	HERA-SAN CESARIO-POZZO D1	CIV_50117		138.5	6.4	6.4	7.1	6.9	7.1	6.1	5.3	5.6	5.9	6.3	6.5	6.8	6.4	16	c	138.5-160
SI	HERA-CEN. V. CURIEL S. CESARIO-POZZO COMUNALE	CIV_50052	MO55-00	160	5.7	4.6	5.0	8.5	5.5	7.0	5.0	5.5	5.0	5.0	5.5	6.5	5.7	16	c	138.5-160

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
START_CONC	HERA-CEN. VIGNOLA - CC BARONI-POZZO 1	CIVN-024		8						13.1	14.4	13.7	14.7	13.9	15.2	22.6	15.4	17	a1	8
no	HERA-CEN. VIGNOLA - CC BARONI-POZZO 8	CIVN-025		8						14.4	15.4	18.0	19.2	20.3	12.6	22.5	17.5	17	a1	8
START_CONC	HERA-CEN. VIGNOLA - CC BARONI-POZZO 2	CIVN-027		8						15.3	12.8	18.4	19.0	17.6	19.2	21.2	17.6	17	a2	8
no	HERA-CEN. VIGNOLA - CC BARONI-POZZO 3	CIVN-026		8						27.5	18.1	20.0	21.5	19.1	16.0		20.3	17	a2	8
START_CONC	HERA-CEN. VIGNOLA - CC BARONI-POZZO 4	CIV_50097		8						14.7	18.1	14.9	16.0	18.6	14.9	22.6	17.1	17	a3	8

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-CEN. VIGNOLA - V. SPILAMBERTO-POZZO 7	CIV_50090	MO50-03	60						26.4	27.6	38.4	39.3	35.3	30.8	35.4	33.3	18	a1	60
SI	HERA-VIGNOLA -POZZO SEGA 2	CIV_50096	MO50-02	60						24.1	25.5	28.6	32.2				27.6	18	a2	60
no	HERA-VIGNOLA -POZZO SEGA 1	CIV_50095	MO50-01	60				14.0	13.0	22.7	22.6	24.3					19.3	18	a2	60

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-CITTANOVA-POZZO FRAZIONALE	CIV_50121		30	23.6	22.3	23.2	22.4	15.1	26.5	25.0	21.0	22.7	24.7	31.5	27.2	23.8	19	a	27-30
no	MO49-00			27	34.9	31.2	35.0	34.3	28.5	29.0	36.0	39.5	36.0	29.5	32.5	39.0	33.8	19	a	27-30

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
no	HERA-COGNENTO-POZZO A6	CIV_50102		82	28.9	31.1	34.8	38.0	38.2	35.4	40.2	38.4	41.3	45.9	46.5	50.1	39.1	20	a1	71-95
SI	HERA-COGNENTO-POZZO A5	CIV_50101		93	33.3	38.5	42.0	44.4	45.7	46.6	46.3	47.8	49.8	50.7	49.7	51.2	45.5	20	a1	71-95
no	HERA-COGNENTO-POZZO A2	CIV_50099		71.3	48.3	51.0	55.1	57.8	58.9	58.3	56.7	60.9	63.3	57.5	59.9	59.7	57.3	20	a2	71-95
SI	HERA-COGNENTO-POZZO A1	CIV_50098	MO20-02	71.7	55.8	54.1	61.1	57.1	63.1	66.0	67.3	68.3	69.5	64.0	58.4	66.2	62.6	20	a2	71-95
SI	HERA-COGNENTO-POZZO A8	CIV_50104		88.5	53.1	56.1	58.2	56.8	54.5	51.5	57.1	56.9	60.0	67.6	68.0	71.6	59.3	20	a3	71-95
no	HERA-COGNENTO-POZZO A9	CIV_50105		211	38.7	40.1	42.2	44.7	47.1	48.1	50.9	52.9	52.2	52.4	56.7	58.5	48.7	20	a3	71-95
SI	HERA-COGNENTO-POZZO A3	CIV_50100		122	48.0	50.6	55.3	57.7	58.6	61.0	60.4	62.4	61.9	65.2	70.6	80.5	61.0	20	b	122-130
no	HERA-COGNENTO-POZZO A7	CIV_50103		130	21.3	24.0	26.0	26.8	29.1	31.5	36.0	33.9	32.6	32.4	37.7	38.6	30.8	20	b	122-130
SI	HERA-COGNENTO-POZZO A11	CIV_50107		92	45.7	45.5	47.9	50.2	50.5	50.3	51.5	55.1	58.7	59.1	58.5	60.7	52.8	20	a4	71-95
no	HERA-COGNENTO-POZZO A10	CIV_50106		95	44.3	44.9	50.8	55.2	56.7	55.0	59.6	64.9	62.7	60.2	63.9	69.2	57.3	20	a4	71-95
SI	HERA-COGNENTO-POZZO A12	CIV_50108		84	43.5	43.3	47.1	48.1	48.0	53.1	54.1	54.6	55.4	56.1	63.5	65.2	52.7	20	a4	71-95

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
no	HERA-FIORANO-PZ.CAMEAZZO	CIVN-008		99.4							0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.9	0.7	21	a	99.4
SI	MO71-01			116.5		50.3	45.5	54.1	46.0	49.0	45.5	26.0	42.0	37.5	40.0	42.0	43.4	21	b	116

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)												gruppi pozzi x scelta OBS			
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-FORMIGINE (MAGRETA)-PZ.MAGRETA	CIV_50039		128							4.1	4.8	5.4	5.4	7.4	6.3	5.5	22	a	128
no	HERA-FORMIGINE (MAGRETA)-PZ.MAGRETA 2	CIVN-139		(vuoto)												4.7	4.7	22	a	128

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)												gruppi pozzi x scelta OBS			
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-FORMIGINE (TOMASELLI)-POZZO 1 TOMASELLI	CIV_50032	MO58-00	138	46.6	57.7	40.0	46.6	54.5	67.5	58.0	67.7	67.1	67.3	67.4	70.7	63.5	23	a1	131-145
no	HERA-FORMIGINE (TOMASELLI)-POZZO 2 TOMASELLI	CIV_50033		140							56.8	66.1	64.3	62.0	66.4	69.8	64.2	23	a1	131-145
no	HERA-FORMIGINE (TOMASELLI)-POZZO 4 TOMASELLI	CIV_50036		131.2							25.5	26.8	23.3	24.2	24.6	27.0	25.2	23	a2	131-145
no	HERA-FORMIGINE (TOMASELLI)-POZZO 3 TOMASELLI	CIV_50038		145							28.8	28.3	26.2	26.0	28.9	30.6	28.1	23	a2	131-145
SI	HERA-FORMIGINE (TOMASELLI)-POZZO 5 TOMASELLI	CIVN-006		135							9.0	8.5	9.3	11.2	12.6	11.3	10.3	23	a3	131-145

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)												gruppi pozzi x scelta OBS			
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-MAGAZZINO-POZZO 1	CIV_49919		70						20.6	17.9	23.2	25.1	21.7	20.5	30.8	22.8	24	a	70

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-MANZOLINO-POZZO 7	CIVN-043		107								10.0	10.9	11.8	13.6	14.9	12.2	25	a	97-110
no	HERA-MANZOLINO-POZZO 3	CIV_50069		110						18.6	16.7	19.1	19.1	19.4	20.8	21.2	19.2	25	a	97-110
SI	HERA-MANZOLINO-POZZO 1	CIV_50067		97						11.9	8.4	11.2	12.4	8.0	10.2	13.0	10.7	25	a	97-110
no	HERA-MANZOLINO-POZZO 6	CIV_50071		106						2.1	1.3	1.4	1.5	0.3	0.6	0.4	1.1	25	a	97-110
SI	HERA-MANZOLINO-POZZO 4	CIV_50070		200						1.0	1.7	1.1	0.6	3.1	10.4	11.9	4.3	25	b	200

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-MARANELLO-POZZO MARTINIANA	CIVN-035		120							115.0	129.9	133.6	145.1	151.1	162.8	139.6	26	a	120
SI	MO68-01			40		51.6	51.5	39.2	54.5	56.5	57.0	64.0	62.5	49.0	53.5	59.0	54.4	26	b	40

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													dati "medi" sottogruppo pozzi		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
no	HERA-MARANO-POZZO SOLIGNANI	CIVN-028													8.4		8.4	27	a	

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													dati "medi" sottogruppo pozzi		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-POZZO PIUMAZZO-POZZO PIUMAZZO	CIV_50056		85	35.5	36.1	35.4	33.6	38.3	32.1	40.4	42.6	38.0	39.3	40.8	41.0	37.8	30	a	85

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-MARZAGLIA-POZZO FRAZIONALE	CIV_50122		92	4.7	4.0	4.1	5.1	5.5	7.5	4.9	5.5					5.2	28	a	92
SI	HERA-MARZAGLIA-POZZO C4	CIVN-005		145	5.4	5.2	5.2	5.5	4.9		4.0	7.2	4.5	4.9	5.8	6.8	5.4	28	b	145-161
SI	HERA-MARZAGLIA-POZZO C3	CIV_50116		161	7.9	7.5	7.4	7.4	7.5	8.3	7.8	8.2	7.7	7.8	9.1	10.4	8.1	28	b	145-161
SI	HERA-MARZAGLIA-POZZO C2	CIV_50115		210	6.9	7.0	6.9	6.5	6.6	7.0	9.2	5.7	5.8	6.5	7.1	7.8	6.9	28	c	210-226
SI	HERA-MARZAGLIA-POZZO C1	CIV_50114		226	10.5	10.5	10.3	10.2	10.2	10.3	8.8	8.9	9.3	9.7	10.2	10.5	10.0	28	c	210-226

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-MODENA SUD-POZZO B2	CIV_50110	MO20-00	81.5	52.8	47.4	51.2	52.6	54.5	55.3	53.2	58.5	63.9	65.4	73.0	81.5	59.1	29	a	81
SI	HERA-MODENA SUD-POZZO B5	CIV_50113		91	65.4	65.8	67.8	67.7	69.6	70.6	67.9	69.1	73.2	68.5	74.2	82.1	70.2	29	b1	91-130
no	HERA-MODENA SUD-POZZO B4	CIV_50112		94	62.8	65.9	69.2	70.2	70.8	71.5	67.2	72.3	76.4	72.5	71.2	72.5	70.2	29	b1	91-130
no	HERA-MODENA SUD-POZZO B3	CIV_50111		106.5	58.6	58.8	62.4	64.7	65.3	62.2	61.0	67.1	68.0	67.0	70.3	76.4	65.1	29	b1	91-130
SI	HERA-MODENA SUD-POZZO B1	CIV_50109		130	56.0	56.9	60.8	60.0	58.8	62.7	61.1	63.3	61.6	63.9	62.6	69.2	61.4	29	b2	91-130

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS		
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)
SI	HERA-V.GHIAROLA VECCHIA-POZZO C6	CIV_50035	MO27-00	83.3	38.9	31.8	30.5	29.8	28.5						28.5	30.9	31.3	32	a	83.3

Tabella 3.3 Analisi dei dati di nitrati per gruppi e sottogruppi. Scelta dei pozzi rappresentativi per ognuno dei raggruppamenti, segue

OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													gruppi pozzi x scelta OBS			
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)	
SI	HERA-SASSUOLO-POZZO A16	CIV_50051		110								15.8	13.4	15.3	15.8	16.6	16.7	15.6	31	a1	80-119
no	HERA-SASSUOLO-POZZO A17	CIVN-007		117								10.3	8.7	10.2	11.3	12.1	12.3	10.8	31	a1	80-119
SI	HERA-SASSUOLO-POZZO A15	CIV_50050		119								5.5	5.5	5.9	5.4	5.6	7.5	5.9	31	a2	80-119
SI	HERA-SASSUOLO-POZZO A14	CIV_50049	MO73-01	97		4.6	6.3	9.4	8.0	2.3		6.0	12.5	15.5	12.5	7.0	6.5	8.2	31	a3	80-119
no	HERA-SASSUOLO-POZZO A12	CIV_50048		87.5								11.6	17.4	21.1	23.5	21.6	24.2	19.9	31	a3	80-119
SI	HERA-SASSUOLO-POZZO V.PER SASSUOLO	CIV_50037	MO27-01	80								39.4	38.2	36.8	36.8	37.6	36.9	37.6	31	a4	80-119
SI	HERA-SASSUOLO-POZZO A5	CIV_50045		83								10.4	7.5	8.4	8.7	9.5	11.3	9.3	31	a5	80-119
no	HERA-SASSUOLO-POZZO A6	CIV_50046		83.5								6.6	5.6	6.4	6.6	7.1	7.8	6.7	31	a5	80-119
no	HERA-SASSUOLO-POZZO A3	CIV_50043		86								11.2	9.2	10.9	11.4	11.4	12.9	11.1	31	a5	80-119
OBS scelto	Gestore-Campo pozzi- Pozzo/ Pozzo RRM	Nome Well	RRM	Prof.	NO3 media annua (mg/l)													dati "medi" sottogruppo pozzi			
					2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2002-2013	gruppi	sotto-gruppi	fascia prof (m)	
SI	HERA-VIA M. CORONA-POZZO RURALE 2	CIVN-021		34.2	55.3	47.4	62.3											55.0	33	b	34.2
SI	HERA-VIA M. CORONA-POZZO RURALE 3	CIVN-022		75	16.3	16.9	19.0	20.1	20.3			16.4	19.3	21.3	25.0	26.5	24.0	20.5	33	a	75-91.3
no	HERA-VIA M. CORONA-POZZO RURALE 1	CIVN-020		91.3		20.2	20.3	24.2	22.0			34.5	26.1	24.2	25.4	24.9	24.3	24.6	33	a	75-91.3

Viene quindi riportata la Tabella 3.3 che rappresenta il risultato del lavoro di selezione dei gruppi e dei sottogruppi di pozzi individuati per la scelta degli Observation da utilizzare nel modello. L'individuazione dei gruppi e dei sottogruppi di pozzi (evidenziati con diversa colorazione in tabella) è stata effettuata confrontandone le caratteristiche ed i relativi attributi (posizione i-j in pianta delle celle, posizione delle celle con i filtri, ovvero k minima e k massima, spessore del tratto con i filtri, profondità, quota del piano campagna, valori medi annui delle concentrazioni di nitrati dal 2002 al 2013).

Tabella 3.4 Confronto fra i conteggi dei pozzi scelti per il modello EM-MO-15 e quelli disponibili sia della RRM che dei Gestori

Appartenenza pozzi	Nome Gestore	Campo pozzi	n° pozzi disponibili	n° pozzi scelti
RRM			64	62
RRM&Gestore			18	18
Gestore	AIMAG	Campogalliano	5	3
		Cogmento	12	6
		Fontana Di Rubiera	11	3
	AIMAG Totale		28	12
	HERA	Baggiovara	1	1
		Castelnuovo	3	1
		Cen. Castelfranco E.	2	0
		Cen. Coccola Spilamberto	4	2
		Cen. S.Vito Spilamberto	1	1
		Cen. Savignano	4	1
		Cen. Vignola - Cc Baroni	5	3
		Cittanova	1	1
		Cogmento	10	5
		Fiorano	1	0
		Formigine (Magreta)	2	1
		Formigine (Tomaselli)	4	1
		Magazzino	1	1
		Manzolino	5	3
		Maranello	1	1
		Marano	1	0
		Marzaglia	5	5
		Modena Sud	4	2
		Pozzo Piumazzo	1	1
		San Cesario	3	2
		Sassuolo	7	3
	Via M. Corona	3	2	
	HERA Totale		69	37
	IREN	Rubiera	3	2
		S. Donnino	1	1
		Salvatera	5	2
		Salvatera Nord	4	2
	IREN Totale		13	7
	SORGEA	Castelfranco Emilia	11	4
Gestore TOTALE		121	60	
TOTALE complessivo		203	140	

I sottogruppi dei pozzi sono stati evidenziati con colori diversi l'uno dall'altro ed inoltre gli attributi più confrontabili nell'ambito di uno stesso gruppo/sottogruppo sono stati evidenziati con un riquadro dal bordo nero in grassetto al fine di fare risaltare maggiormente alcuni criteri presi in considerazione nell'individuazione dei pozzi con caratteristiche simili, per arrivare alla scelta finale degli Observation. Nella Viene quindi riportata la Tabella 3.3 che rappresenta il risultato del lavoro di selezione dei gruppi e dei sottogruppi di pozzi individuati per la scelta degli Observation da utilizzare nel modello. L'individuazione dei gruppi e dei sottogruppi di pozzi (evidenziati con diversa colorazione in tabella) è stata effettuata confrontandone le caratteristiche ed i relativi attributi (posizione i-j in pianta delle celle, posizione delle celle con i filtri, ovvero k minima e k massima, spessore del tratto con i filtri, profondità, quota del piano campagna, valori medi annui delle concentrazioni di nitrati dal 2002 al 2013).

Tabella 3.4 è invece riportato il risultato complessivo del lavoro di scelta dei pozzi utili alla calibrazione del modello di trasporto, pozzi che vengono elencati nella successiva Tabella 3.5 unitamente agli anni di disponibilità dei dati ed al ruolo di utilizzo degli stessi per l'implementazione del modello.

Si precisa che i pozzi indicati come pozzi "gcb" (general concentration boundary) in Tabella 3.5 ricadono subito al di fuori dell'areale del modello e vengono utilizzati per una migliore definizione delle distribuzioni spaziali del dato ottenibili dalle operazioni di interpolazione mediante kriging. Questi dati sono stati al momento utilizzati solamente per la determinazione della condizione iniziale di concentrazione dei nitrati (starting concentration).

Una volta completata la fase di analisi di sovrapposizione fra i pozzi della RRM e quelli dei Gestori, e la successiva analisi di rappresentatività dei pozzi con individuazione degli Observation, è stata costituita un'unica banca dati in cui risultano 64 pozzi della RRM, 121 pozzi dei Gestori e 18 pozzi appartenenti sia alla RRM che ai Gestori.

Tabella 3.5 Elenco dei pozzi scelti della RRM e dei Gestori e loro utilizzo nel modello EM-MO-15

Appartenenza Pozzo (RRM/ Gestore)	GESTORE			RRM	Ubicazione pozzo (dentro/ fuori modello)	Utilizzo pozzo per modello	Anno da	Anno a
	Gestore	Campo pozzi	Nome pozzo	Pozzo RRM				
RRM				BO11-00	dentro	start. conc.	1988	2002
RRM				BO11-01	dentro	Obs	2003	2013
RRM				BO18-00	fuori	start. conc./ gcb	1987	2009
RRM				BO92-00	dentro	Observation	1988	2008
RRM				BOC8-00	fuori	start. conc./ gcb	2002	2013
RRM				BOE7-00	fuori	start. conc./ gcb	1991	2013
RRM				BOE8-00	fuori	start. conc./ gcb	2002	2013
RRM				MO13-01	dentro	Obs	1987	2013
RRM				MO14-00	dentro	Obs	1987	2013
RRM				MO15-01	dentro	Obs	2003	2013
RRM				MO17-01	dentro	Obs	1987	2004
RRM				MO17-02	dentro	Obs	2007	2013
RRM				MO19-00	dentro	Obs	1987	2013
RRM				MO22-01	dentro	Obs	1990	2013
RRM				MO23-02	dentro	Obs	2003	2013

Appartenenza Pozzo (RRM/ Gestore)	GESTORE			RRM	Ubicazione pozzo (dentro/ fuori modello)	Utilizzo pozzo per modello	Anno da	Anno a
	Gestore	Campo pozzi	Nome pozzo	Pozzo RRM				
RRM				MO24-01	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO25-00	dentro	Obs	1987	2013
RRM				MO26-01	dentro	Obs	2002	2013
RRM				MO28-01	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO29-00	dentro	Obs	1987	2006
RRM				MO30-01	dentro	start. conc.	2002	2002
RRM				MO30-02	dentro	Obs	2003	2013
RRM				MO31-01	dentro	Obs	1988	2005
RRM				MO31-02	dentro	Obs	2006	2013
RRM				MO32-01	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO34-00	fuori	start. conc./ gcb	1987	2013
RRM				MO35-02	fuori	start. conc./ gcb	1992	2005
RRM				MO35-03	fuori	gcb	2006	2013
RRM				MO36-00	dentro	Obs	1987	2013
RRM				MO42-00	dentro	Obs	1987	2011
RRM				MO42-01	dentro	Obs	2013	2013
RRM				MO51-00	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO53-00	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO56-01	dentro	Obs	2003	2005
RRM				MO56-02	dentro	Obs	2007	2013
RRM				MO57-01	dentro	Obs	1995	2013
RRM				MO59-00	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO60-00	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO61-00	dentro	Obs	1988	2004
RRM				MO61-02	dentro	Obs	2007	2013
RRM				MO63-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM				MO64-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM				MO65-00	dentro	Obs	1995	2013
RRM				MO66-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM				MO68-01	dentro	Obs	2003	2013
RRM				MO69-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM				MO72-01	dentro	Obs	2003	2013
RRM				MO74-00	dentro	Obs	1988	2013
RRM				MO77-00	dentro	Obs	2003	2004
RRM				MO77-01	dentro	Obs	2006	2013
RRM				MO-F01-00	dentro	Obs	2010	2013
RRM				MO-F02-00	dentro	Obs	2010	2013
RRM				RE28-02	fuori	start. conc./ gcb	1988	2013
RRM				RE31-01	fuori	start. conc./ gcb	1988	2013
RRM				RE38-02	dentro	Obs	2002	2007
RRM				RE38-03	dentro	Obs	2010	2013
RRM				RE39-00	fuori	start. conc./ gcb	1987	2013
RRM				RE46-01	dentro	Obs	1988	2013

Appartenenza Pozzo (RRM/ Gestore)	GESTORE			RRM	Ubicazione pozzo (dentro/ fuori modello)	Utilizzo pozzo per modello	Anno da	Anno a
	Gestore	Campo pozzi	Nome pozzo	Pozzo RRM				
RRM				RE48-01	fuori	start. conc./ gcb	1988	2013
RRM				RE49-01	dentro	Obs	1988	2013
RRM				RE80-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM				RE-F01-00	fuori	gcb	2010	2013
RRM&Gestore	Aimag	Campogalliano	Pozzo 4	MO75-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM&Gestore	Hera	Cen. Castelfranco E.	Pozzo 2 Loda	MO76-00	dentro	Obs	2003	2013
RRM&Gestore	Hera	Cen. Coccola Spilamberto	Pozzo 2 Carmine	MO30-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM&Gestore	Hera	Cen. Gallo Castelvetro	Pozzo S. Eusebio	MO29-01	dentro	Obs	2006	2013
RRM&Gestore	Hera	Cen. Savignano	Pozzo 5	MO62-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM&Gestore	Hera	Cen. V. Curiel S. Cesario	Pozzo Comunale	MO55-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM&Gestore	Hera	Cen. Vignola - V. Spilamberto	Pozzo 7	MO50-03	dentro	Obs	2007	2013
RRM&Gestore	Hera	Cognento	Pozzo A1	MO20-02	dentro	Obs	2002	2013
RRM&Gestore	Hera	Formigine (Tomaselli)	Pozzo 1 Tomaselli	MO58-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM&Gestore	Hera	Modena Sud	Pozzo B2	MO20-00	dentro	Obs	2003	2013
RRM&Gestore	Hera	Sassuolo	Pozzo A14	MO73-01	dentro	Obs	2003	2013
RRM&Gestore	Hera	Sassuolo	Pozzo Sassuolo V.Per	MO27-01	dentro	Obs	2008	2013
RRM&Gestore	Hera	V.Ghiarola Vecchia	Pozzo C6	MO27-00	dentro	Obs	2002	2013
RRM&Gestore	Hera	Vignola	Pozzo Sega 1	MO50-01	dentro	Obs	2005	2009
RRM&Gestore	Hera	Vignola	Pozzo Sega 2	MO50-02	dentro	Obs	2007	2010
RRM&Gestore	Iren	Rubiera	Rubiera 2	RE45-00	dentro	Obs	2003	2013
RRM&Gestore	Iren	S. Donnino	S. Donnino 2	RE47-00	dentro	Obs	2003	2013
RRM&Gestore	Iren	Salvaterra	Salvaterra 2	RE50-00	dentro	Obs	2003	2013
Gestore	Aimag	Campogalliano	Pozzo 2		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Campogalliano	Pozzo 3 Bis		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Campogalliano	Pozzo 5		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Cognento	Pozzo 1		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Cognento	Pozzo 12		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Cognento	Pozzo 13		dentro	Obs	2010	2013
Gestore	Aimag	Cognento	Pozzo 3		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Cognento	Pozzo 5		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Cognento	Pozzo 8		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Fontana Di Rubiera	Pozzo 13		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Fontana Di Rubiera	Pozzo 4		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Aimag	Fontana Di Rubiera	Pozzo 6		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Baggiovvara	Pozzo Frazionale		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Castelnuovo	Pozzo 1		dentro	Obs	2008	2008
Gestore	Hera	Cen. Coccola Spilamberto	Pozzo 1 Coccola		dentro	Obs	2007	2013
Gestore	Hera	Cen. Coccola Spilamberto	Pozzo 9 S1		dentro	Obs	2007	2013
Gestore	Hera	Cen. S.Vito Spilamberto	Pozzo 1		dentro	Obs	2007	2013
Gestore	Hera	Cen. Savignano	Pozzo 2		dentro	Obs	2007	2013
Gestore	Hera	Cen. Vignola - Cc Baroni	Pozzo 1		fuori	gcb	2007	2013
Gestore	Hera	Cen. Vignola - Cc Baroni	Pozzo 2		fuori	gcb	2007	2013
Gestore	Hera	Cen. Vignola - Cc Baroni	Pozzo 4		fuori	gcb	2007	2013
Gestore	Hera	Cittanova	Pozzo Frazionale		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Cognento	Pozzo A11		dentro	Obs	2002	2013

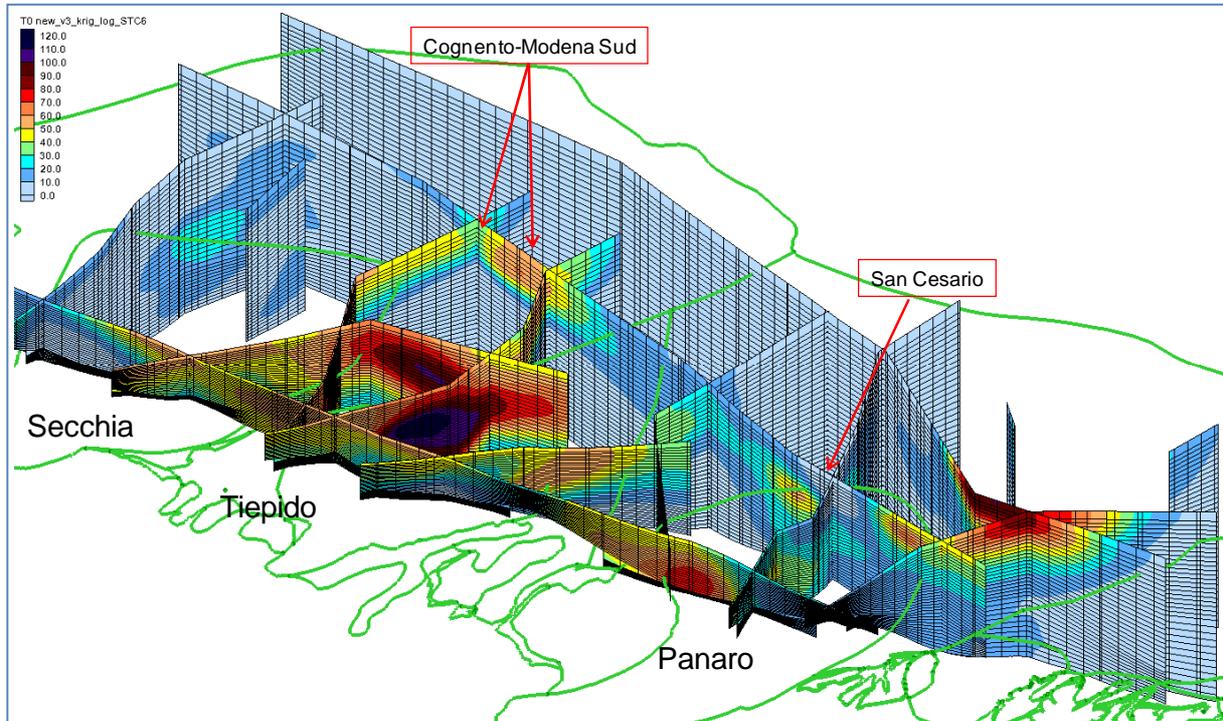
Appartenenza Pozzo (RRM/ Gestore)	GESTORE			RRM	Ubicazione pozzo (dentro/ fuori modello)	Utilizzo pozzo per modello	Anno da	Anno a
	Gestore	Campo pozzi	Nome pozzo	Pozzo RRM				
Gestore	Hera	Cognento	Pozzo A12		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Cognento	Pozzo A3		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Cognento	Pozzo A5		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Cognento	Pozzo A8		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Formigine (Magreta)	Pz.Magreta		dentro	Obs	2008	2013
Gestore	Hera	Formigine (Tomaselli)	Pozzo 5 Tomaselli		dentro	Obs	2008	2013
Gestore	Hera	Magazzino	Pozzo 1		dentro	Obs	2007	2013
Gestore	Hera	Manzolino	Pozzo 1		dentro	Obs	2007	2013
Gestore	Hera	Manzolino	Pozzo 4		dentro	Obs	2007	2013
Gestore	Hera	Manzolino	Pozzo 7		dentro	Obs	2009	2013
Gestore	Hera	Maranello	Pozzo Martiniana		dentro	Obs	2008	2013
Gestore	Hera	Marzaglia	Pozzo C1		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Marzaglia	Pozzo C2		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Marzaglia	Pozzo C3		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Marzaglia	Pozzo C4		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Marzaglia	Pozzo Frazionale		dentro	Obs	2002	2009
Gestore	Hera	Modena Sud	Pozzo B1		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Modena Sud	Pozzo B5		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Pozzo Piumazzo	Pozzo Piumazzo		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	San Cesario	Pozzo D5		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	San Cesario	Pozzo D6		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Hera	Sassuolo	Pozzo A15		dentro	Obs	2008	2013
Gestore	Hera	Sassuolo	Pozzo A16		dentro	Obs	2008	2013
Gestore	Hera	Sassuolo	Pozzo A5		dentro	Obs	2008	2013
Gestore	Hera	Via M. Corona	Pozzo Rurale 2		dentro	Obs	2002	2004
Gestore	Hera	Via M. Corona	Pozzo Rurale 3		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Iren	Rubiera	Rubiera 1		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Iren	Rubiera	Rubiera 3		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Iren	S. Donnino	S. Donnino 1		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Iren	Salvatera	Salvatera 3		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Iren	Salvatera	Salvatera 6		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Iren	Salvatera Nord	Salvatera Nord 1		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Iren	Salvatera Nord	Salvatera Nord 3		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Sorgea	Castelfranco Emilia	Pozzo 11		dentro	Obs	2002	2014
Gestore	Sorgea	Castelfranco Emilia	Pozzo 13		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Sorgea	Castelfranco Emilia	Pozzo 5		dentro	Obs	2002	2013
Gestore	Sorgea	Castelfranco Emilia	Pozzo 6		dentro	Obs	2002	2013

3.4 Individuazione dei dati di nitrati disponibili per la definizione della condizione iniziale (Starting Concentration)

L'analisi dei dati di nitrati disponibili effettuate ai precedenti paragrafi 3.2 e 3.3 ha permesso di individuare anche i pozzi che risultano utili a definire la condizione iniziale del modello di trasporto. Tale condizione rappresenta la distribuzione dei nitrati all'interno dell'intero sistema nell'istante iniziale a partire dal quale il modello numerico avvia la propria attività di calcolo e quindi saranno

questi i quantitativi di nitrati che verranno “messi in moto” dal modello di trasporto. In Figura 3.5 è riportato il risultato ottenuto dalla distribuzione mediante kriging 3D dei dati di nitrato relativi ai pozzi di Tabella 3.5. Tale distribuzione è stata inserita all’interno del modello di trasporto ed è stata successivamente oggetto di ulteriore calibrazione sulla base degli andamenti temporali delle concentrazioni sui punti di misura.

Figura 3.5: elaborazione dati di nitrati per il calcolo della distribuzione iniziale di concentrazione



3.5 Individuazione dello stato qualitativo delle conoidi modenesi relativamente al parametro nitrati ed a supporto della modellazione numerica di trasporto.

L’analisi dei dati risultanti dall’attività di raccolta ed esame preliminare descritta ai paragrafi precedenti viene ora mirata alla definizione dello stato qualitativo delle conoidi modenesi relativamente al solo parametro nitrati. Tutto ciò al fine di formare il quadro generale che sarà alla base delle attività di implementazione modellistica del trasporto che seguiranno, di fatto definendone quindi il modello concettuale di riferimento. Risulta infatti fondamentale comprendere in via preliminare le principali dinamiche evidenziabili a partire dalla distribuzione spazio/temporale dei dati di nitrato. Le medesime dinamiche diventeranno successivamente oggetto ed obiettivo della calibrazione del modello numerico di trasporto. Di fondamentale importanza sarà inoltre la ricostruzione della distribuzione iniziale dei nitrati all’interno del sistema (paragrafo 3.4). Tale configurazione guiderà anch’essa, insieme ai carichi di azoto in ingresso al sistema, la variazione delle concentrazioni di nitrati rilevabili sui punti di misura.

In questo paragrafo vengono considerate le analisi eseguite sia sui pozzi della RRM, sia su quelli dei Gestori, disponibili relativamente all’intero periodo di calibrazione del modello (2003-2013) e, dove necessario, si ricorrerà anche all’analisi dei dati antecedenti tale periodo. In alcune situazioni si farà riferimento invece alle medie dei valori di nitrato riferite al triennio 2010-2012 per consentire così un raffronto più diretto con il contesto più generale relativo alla classificazione qualitativa delle acque

sotterranee (SCAS) come risultato delle attività di monitoraggio eseguito ai sensi delle direttive 2000/60/CE e 2006/118/CE.

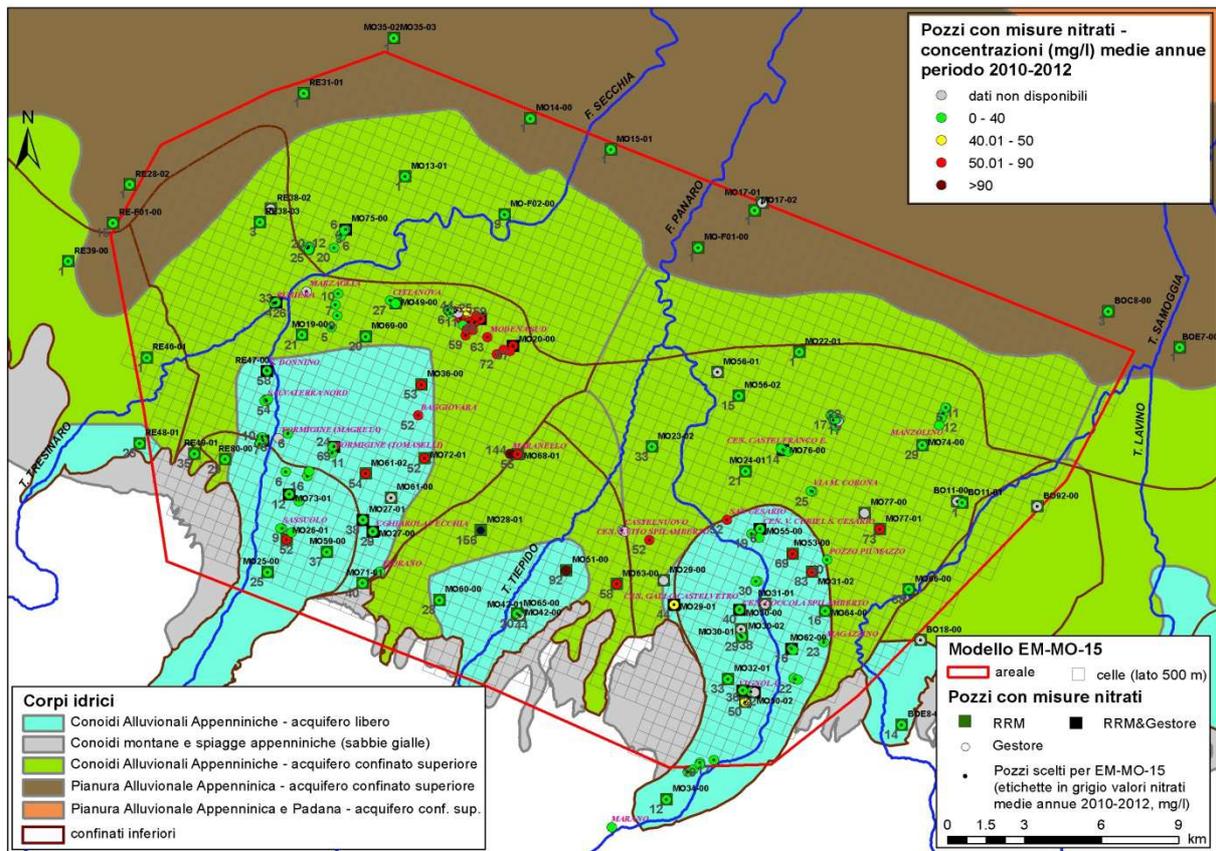
In Figura 3.6 i dati sono rappresentati per classi di valori relativi alle medie di concentrazioni di nitrati del triennio 2010-2012: in verde la classe con valori inferiori ai 40 mg/l, inferiori quindi al limite di legge per le acque sotterranee (50 mg/l), in giallo la classe con valori compresi fra 40 e 50 mg/l, quindi ancora entro il limite di legge, ma con valori che necessitano di maggior attenzione in quanto eventuali peggioramenti futuri potrebbero compromettere la qualità del corpo idrico e in rosso la classe con valori non buoni superiori a 50 mg/l, che per valori superiori ai 90 mg/l sono rappresentati da un ulteriore classe in colore marrone.

Si può notare che a grande scala, la distribuzione dei punti di controllo non assume valori omogenei su tutto il territorio del modello alternando raggruppamenti di pozzi con concentrazioni di nitrati superiori ai limiti di legge a zone dove invece si osservano valori di nitrati contenuti.

In particolare le porzioni di territorio con i valori inferiori ai limiti di legge sono: l'area occidentale del modello, quella settentrionale, quella centro-orientale e quella meridionale, mentre il territorio maggiormente interessato dalla presenza di nitrati ricade nell'area più centrale del modello: dalla porzione centro-orientale della conoide del F. Secchia, alla porzione centro-distale della conoide del T. Tiepido, fino alla porzione centrale della conoide del F. Panaro.

L'analisi deve inoltre tener conto della terza dimensione ovvero della profondità di captazione delle acque analizzate e di conseguenza del corpo idrico del quale il pozzo viene ritenuto essere rappresentativo.

Figura 3.6: distribuzione dei valori medi delle concentrazioni di nitrati nel periodo 2010-2012



Proprio per poter disporre di una maggiore mole di dati/informazioni si è quindi ritenuto opportuno integrare i dati della rete regionale di monitoraggio con le analisi chimiche effettuate dai Gestori stessi

nell'ambito delle proprie attività di gestione dell'approvvigionamento idropotabile. L'integrazione delle due banche dati ha permesso di valutare come i dati appartenenti ai pozzi dei Gestori possano, zona per zona, confermare, integrare o in alcuni casi porre nuovi interrogativi rispetto al quadro più generale descritto dalle attività di monitoraggio istituzionale.

Nei paragrafi che seguono vengono analizzate le distribuzioni dei pozzi con le relative concentrazioni di nitrati procedendo principalmente per corpo idrico e dove necessario o possibile, approfondendo l'analisi nella terza dimensione verticale, anche all'interno dello stesso corpo idrico. Nei casi particolari con disponibilità di più dati lungo la verticale (anche in caso di corpi idrici intercettati differenti, ad esempio conoide libera sovrapposta alla conoide confinata inferiore) si è preferito proporre una analisi che evidenziasse la presenza di differenze o analogie nei valori di concentrazione tra i diversi corpi idrici o all'interno dello stesso corpo idrico.

L'analisi procederà quindi per le tre principali conoidi presenti nell'area di studio (conoide del Secchia, del Tiepido e del Panaro). Per ciascuna conoide l'analisi viene condotta per corpo idrico analizzando prima il corpo idrico di conoide libera, poi quello confinato superiore. Il corpo idrico confinato inferiore non viene trattato singolarmente ma viene via via richiamato effettuando una analisi di sovrapposizione dove possibile con il corpo idrico soprastante (conoide libera o confinata superiore).

3.5.1 La conoide del Secchia

Per l'analisi della presenza dei nitrati all'interno degli acquiferi liberi della Conoide del Secchia sono disponibili 15 pozzi di cui 5 della RRM, 6 dei Gestori (HERA ed IREN) e 4 pozzi appartenenti sia alla RRM che ai Gestori. Tale corpo idrico risulta avere una buona copertura di pozzi nella porzione centro-occidentale (10), discreta in quella più centro-orientale (4). A supporto dell'analisi dei dati nella terza dimensione verticale i pozzi con misure disponibili sono stati proiettati su un certo numero di sezioni verticali (di fatto tagli in verticale del dominio del modello numerico), le cui tracce sono riportate in Figura 3.7.

Risulta così possibile evidenziare la profondità delle acque captate e le eventuali correlazioni con gli altri pozzi situati lungo la stessa sezione. Da Ovest verso Est sono state realizzate le seguenti sezioni: sezione in sinistra Secchia, sezione in destra Secchia, sezione in prossimità del campo pozzi Tomaselli, sezione lungo il lato Est della conoide libera (suddivisa in due parti, monte e valle).

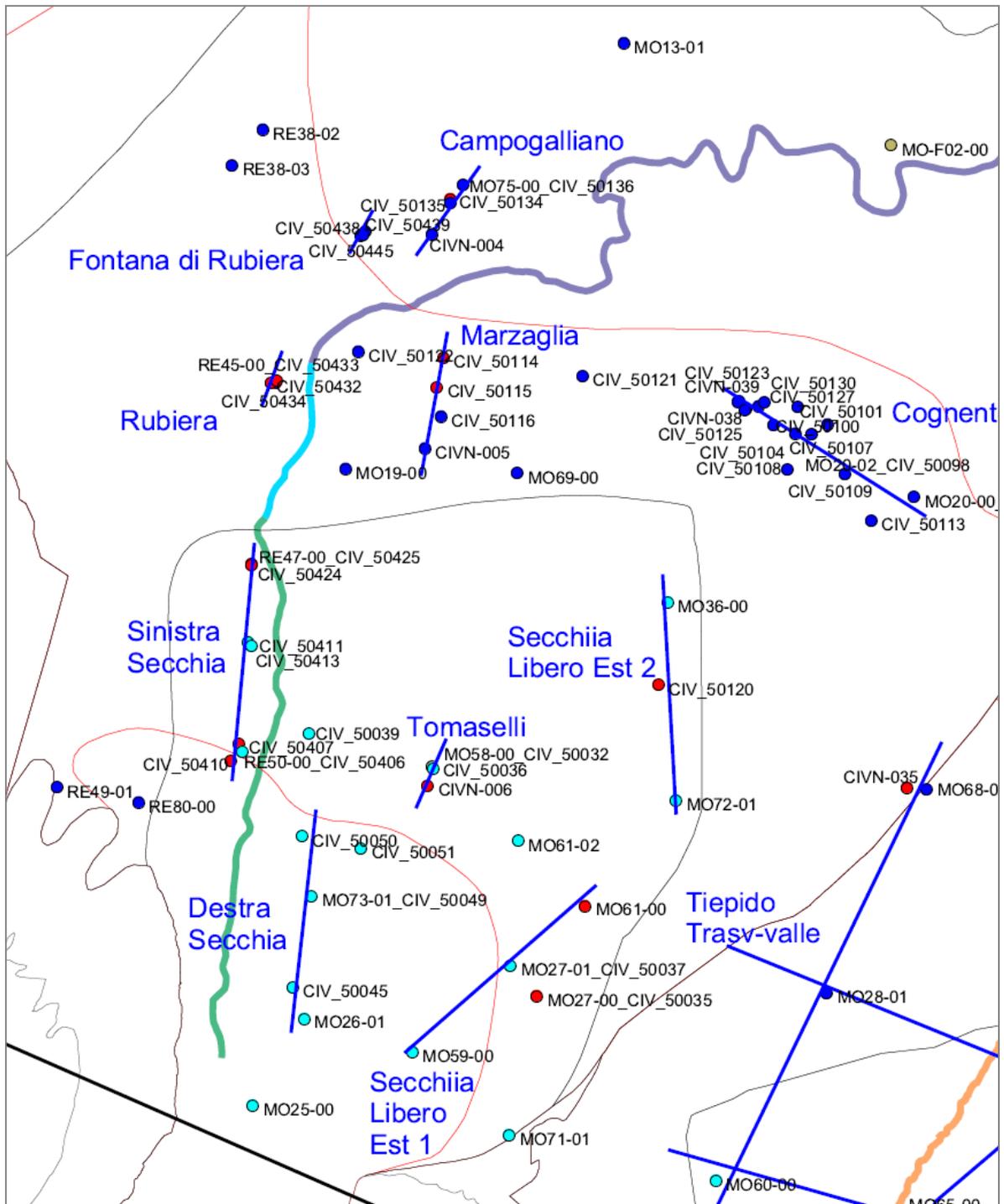
I pozzi proiettati sulle sezioni permettono di evidenziare un ulteriore aspetto, che risulterà fondamentale nelle successive fasi di implementazione modellistica, e che riguarda la profondità di attribuzione del dato di nitrato rispetto all'intero tratto filtrato del pozzo. In tal senso la scelta effettuata è stata quella, ove non espressamente evidente il contrario, di attribuire il dato all'acquifero meno profondo tra quelli intercettati dal pozzo.

La porzione centro-occidentale risulta caratterizzata da concentrazioni di nitrati inferiori al limite di legge, decrescenti da monte verso valle che passano da valori dell'ordine di grandezza di 30 mg/l della porzione centro-apicale della conoide (pozzi MO25-00 e MO59-00), ai 10 mg/l nella porzione centrale (campo pozzi Sassuolo di HERA, di cui un pozzo coincide con il MO73-01), fino a 5 mg/l nella porzione occidentale del libero (campi pozzi Salvaterra Nord e Formigine Magreta di HERA). A supporto dell'analisi sono state elaborate le due sezioni in destra e sinistra Secchia rispettivamente (Figura 3.8 e Figura 3.10).

La prima sezione (Figura 3.8) riporta il pozzo MO26-01 che appartiene alla Rete regionale di monitoraggio ed i rimanenti pozzi posti più a valle che appartengono al campo pozzi Hera di Sassuolo (ex Sat). Tutti i pozzi appartengono alla conoide libera del Secchia. La Figura 3.9 riporta l'andamento

temporale della concentrazione dei nitrati in questi pozzi (situati in destra Secchia) dove le concentrazioni maggiori si hanno nei due pozzi della rete posizionati più a monte.

Figura 3.7: pozzi utilizzati per l'analisi della concentrazione dei nitrati sulla conoide del Secchia. Pozzi appartenenti agli acquiferi liberi, confinati superiori e confinati inferiori. Tracce delle Sezioni utilizzate per la visualizzazione dei dati lungo la verticale. Legenda colori: azzurro = corpo idrico libero, blu = corpo idrico confinato superiore, rosso = corpo idrico confinato inferiore



Tutti gli altri assumono valori stabilmente contenuti entro i 10-15 mg/l. La minor concentrazione del pozzo A5 (CIV_50045) posto 500 m a valle del pozzo MO26-01 è giustificabile con la differenza di profondità delle acque captate dai due pozzi (tratti filtrati da 64 a 83 m dal p.c. per l'A5 e da 17 a 44 m

dal p.c. per il MO26-01) che individua il pozzo MO26-01 circa 40 m al di sopra del pozzo A5 di Hera, che risulta più profondo e caratterizzato quindi da concentrazioni minori. La proiezione dei pozzi del campo pozzi di Sassuolo evidenzia, all'interno dello stesso corpo idrico di conoide libera, la elevata profondità dei pozzi stessi.

Figura 3.8: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Destra Secchia" (traccia in Figura 3.7) in funzione della profondità. Vista su sezione verticale da SSO a NNE (Esagerazione verticale 25x, asse Z in m s.l.m.).

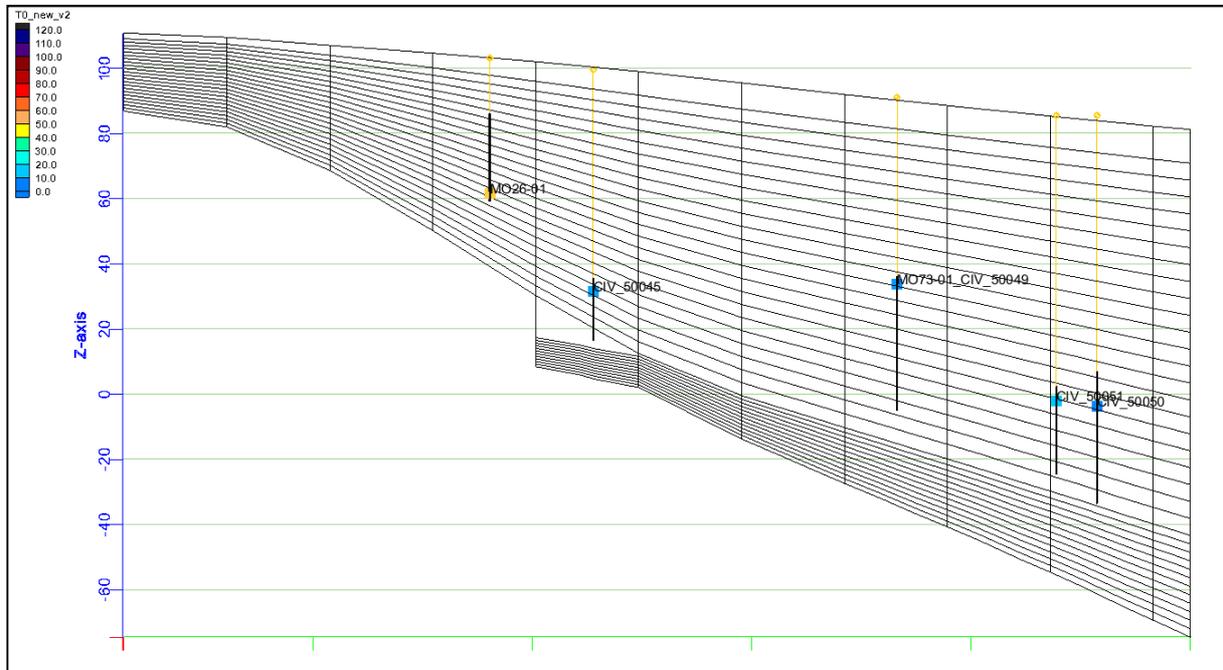
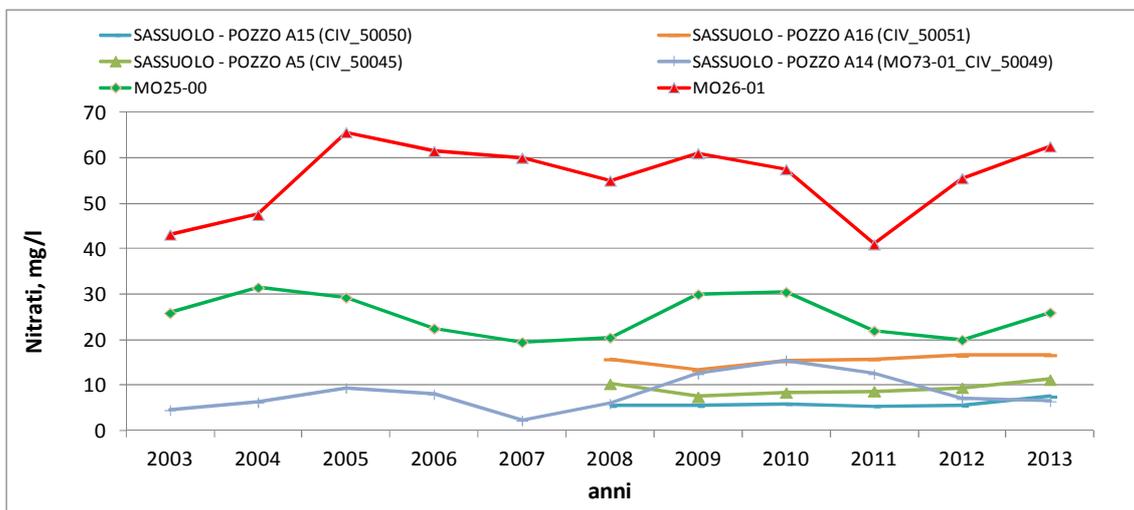


Figura 3.9: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Destra Secchia".



La seconda sezione è posta più a valle ed in sinistra Secchia ed incontra nell'ordine i campi pozzi di Salvaterra (con pozzo RE50-00 della Rete regionale di monitoraggio), Salvaterra Nord e San Donnino (con pozzo RE47-00 della Rete regionale di monitoraggio). La Figura 3.10 evidenzia le differenze nelle profondità di captazione delle acque dei tre campi pozzi che permettono di associare le acque captate sia al solo corpo idrico di conoide libera (Salvaterra Nord), sia al solo corpo idrico di conoide confinata inferiore (San Donnino) sia ad entrambi (campo pozzi Salvaterra).

Figura 3.10: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Sinistra Secchia" (traccia in Figura 3.7) in funzione della profondità. Vista su sezione verticale da Sud a Nord (Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m.).

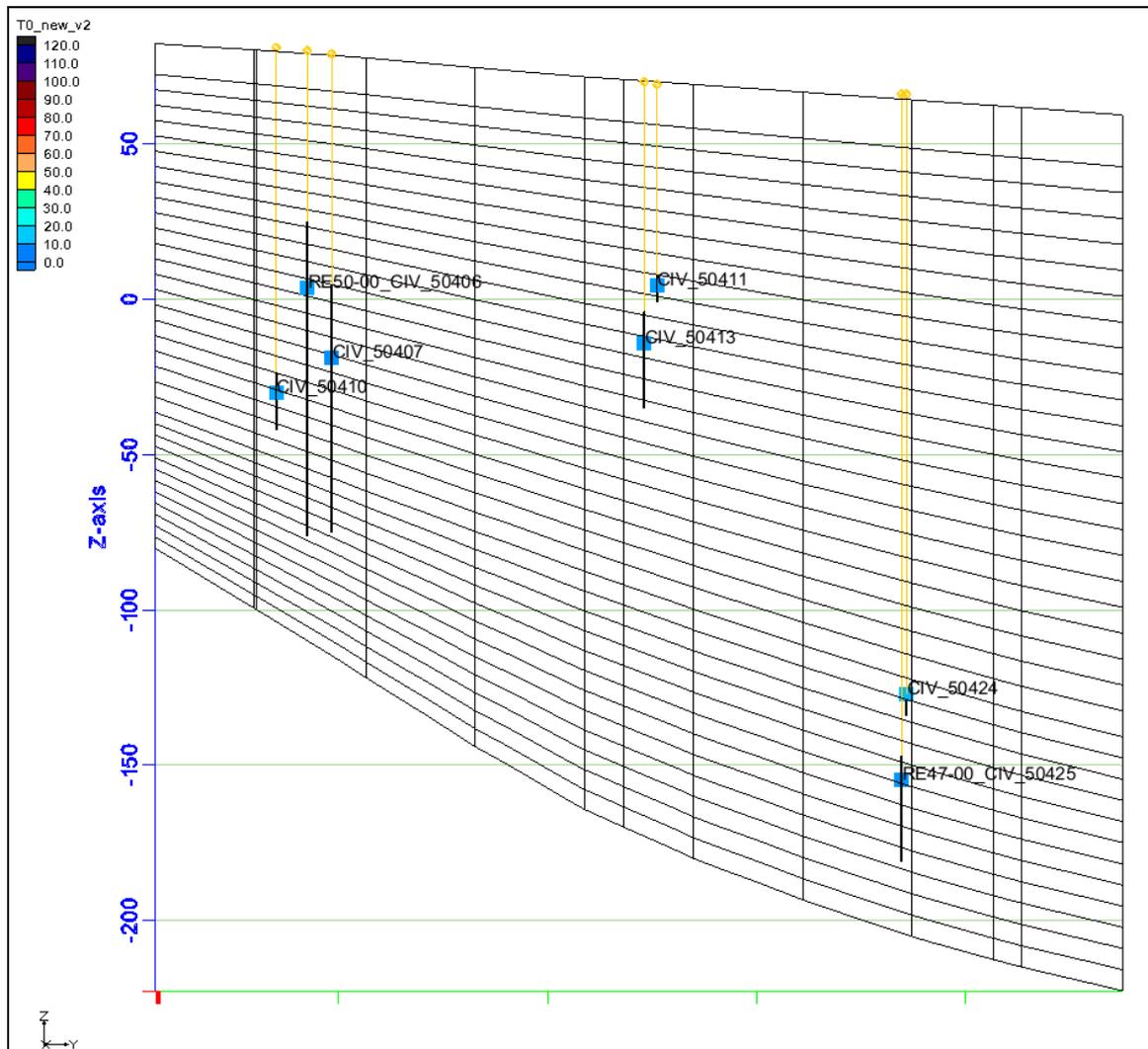
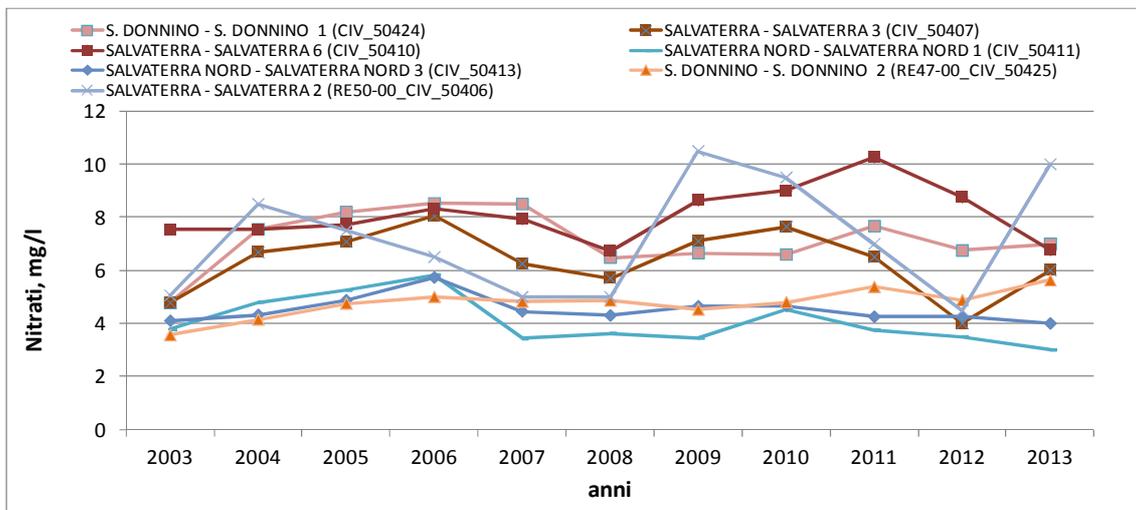


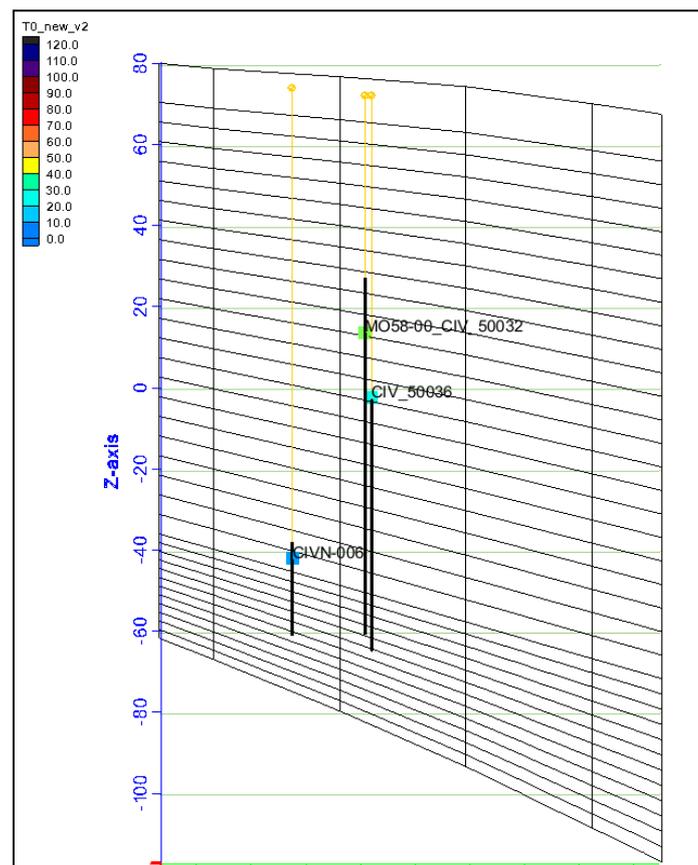
Figura 3.11: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi lungo la sezione "Sinistra Secchia".



L'analisi dei dati di nitrati nel tempo (Figura 3.11) evidenzia che tutti i valori risultano contenuti entro i 10 mg/l. Una maggiore variabilità temporale e valori medi maggiori si riscontrano nel campo pozzi di Salvaterra posizionato più a Sud. Non risultano altresì differenziazioni evidenti tra i pozzi appartenenti alle porzioni libere e confinate inferiori della conoide.

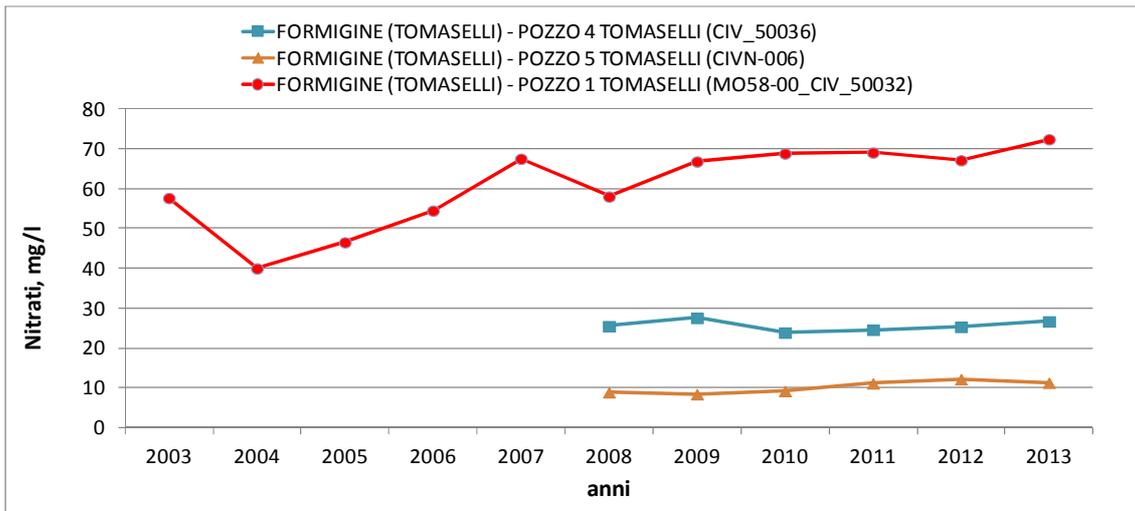
Il primo significativo esempio di integrazione dei dati della Rete regionale di monitoraggio con quelli forniti dai Gestori è dato dall'esame dei dati del campo pozzi Tomaselli costituito da 5 pozzi tra i quali il pozzo 1 (CIV_50032) coincide con il pozzo MO58-00 della Rete regionale di monitoraggio (Figura 3.12).

Figura 3.12: andamento della concentrazione dei nitrati nel campo pozzi Tomaselli, in funzione della profondità. Vista su sezione verticale "Tomaselli" (traccia in Figura 3.7) da Sud-Ovest a Nord-Est (Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m.).



L'analisi di tutti e 5 i pozzi appartenenti al campo pozzi Tomaselli permette di evidenziare che a profondità maggiori corrispondono concentrazioni di nitrati minori. Alla presenza di filtri sempre meno profondi è infatti associabile un aumento della concentrazione media dei nitrati rilevabili a profondità comprese tra i 45 ed i 70 m dal piano campagna ed associabili al corpo idrico libero di conoide. In particolare il pozzo più profondo, il 5 (CIVN-006), ricadente nel confinato inferiore, ha valori coerenti con quelli dei pozzi posti più a monte nella conoide (cfr campo pozzi San Donnino, acquifero libero ma in possibile continuità col confinato inferiore posto più a valle). Il pozzo 1 (MO58-00_CIV_50032) invece ha valori di nitrati maggiori e con chiara tendenza all'aumento da 40 mg/l a 70 mg/l (Figura 3.13). Tali valori non sembrerebbero correlabili con un inquinamento proveniente da monte ma piuttosto dalla porzione della conoide posta più ad Est (cfr dati su sezioni ad Est conoide libera).

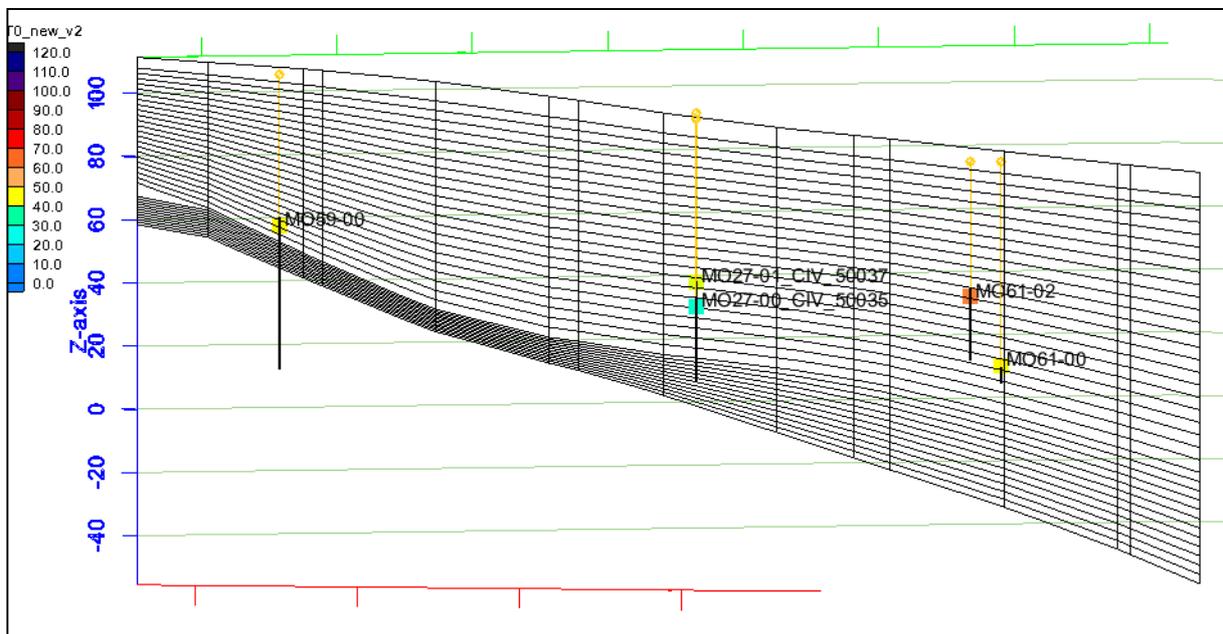
Figura 3.13: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi Tomaselli.



L'analisi della porzione centro-orientale della conoide libera può essere effettuata a partire dal pozzo MO61-02 e dai pozzi appartenenti alle due sezioni che ripercorrono il limite orientale del corpo idrico di conoide libera (denominate Secchia Libero EST 1 e Secchia Libero Est 2 in Figura 3.7).

La sezione più a monte è riportata in Figura 3.14 ed evidenzia valori di nitrati stabili attorno a 30-40 mg/l (Figura 3.15).

Figura 3.14: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Secchia Libero Est 1" (traccia in Figura 3.7) in funzione della profondità. Vista su sezione verticale da Sud-Ovest a Nord-Est. (Esagerazione verticale 25x, asse Z in m s.l.m.).



La sezione posta più a valle (Figura 3.16) evidenzia per tutti e tre i pozzi la presenza di nitrati più rilevante della zona con una tendenza all'aumento (Figura 3.17).

Il pozzo più a Sud (MO72-01) ha valori più elevati e stabili nel tempo attorno ai 50-55 mg/l ed è riferibile al corpo idrico libero di conoide ad una profondità di circa 40 m. Gli altri due sono pozzi più profondi (90-95 m) e partendo da valori del tutto analoghi nel 2003 (attorno ai 40 mg/l) evidenziano una differenziazione del trend in aumento, che risulta evidente già dal 2003 per il pozzo più a valle

(MO36-00), mentre per il pozzo frazionale di Baggiovara (CIV_50120) la discontinuità del trend si evidenzia dal 2009.

Figura 3.15: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Secchia Libero Est 1".

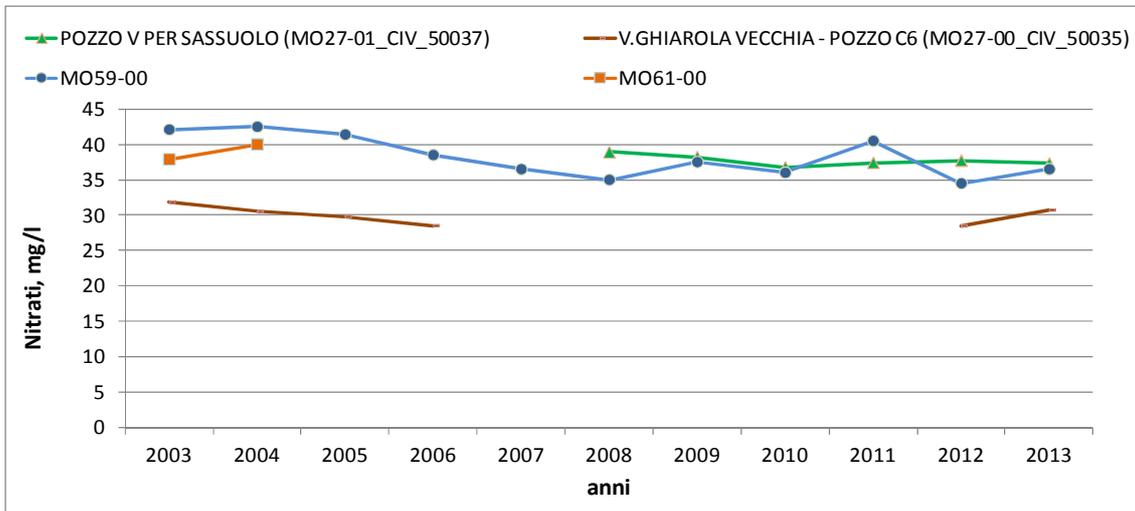
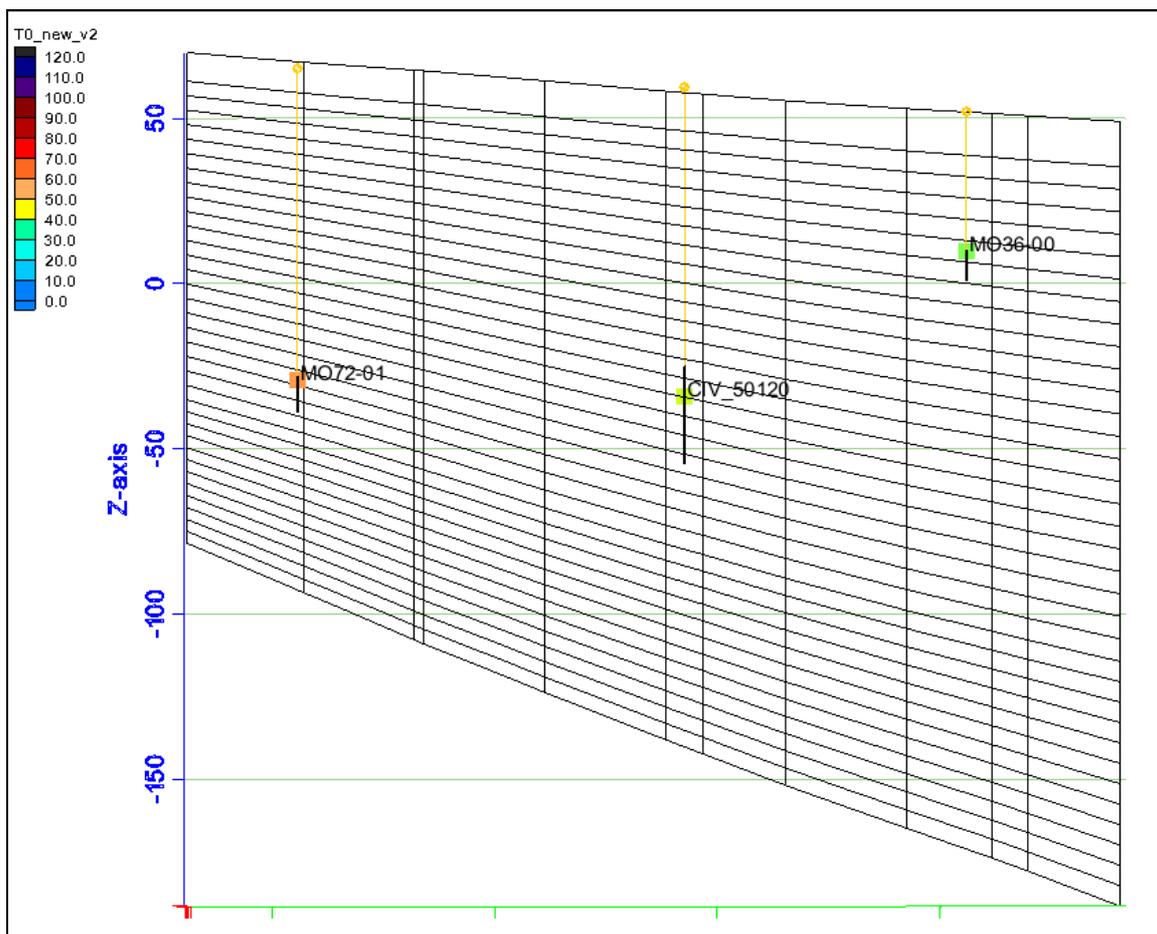


Figura 3.16: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Secchia Libero Est 2" (traccia in Figura 3.7) in funzione della profondità. Vista su sezione verticale da Sud a Nord (Esagerazione verticale 25x, asse Z in m s.l.m.).



Per l'analisi della presenza dei nitrati all'interno degli acquiferi confinati superiori della Conoide del Secchia sono disponibili 33 pozzi di cui 7 della RRM, 3 RRM&Gestore e 23 dei Gestori (HERA, AIMAG ed IREN).

Figura 3.17: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Secchia Libero Est 2".

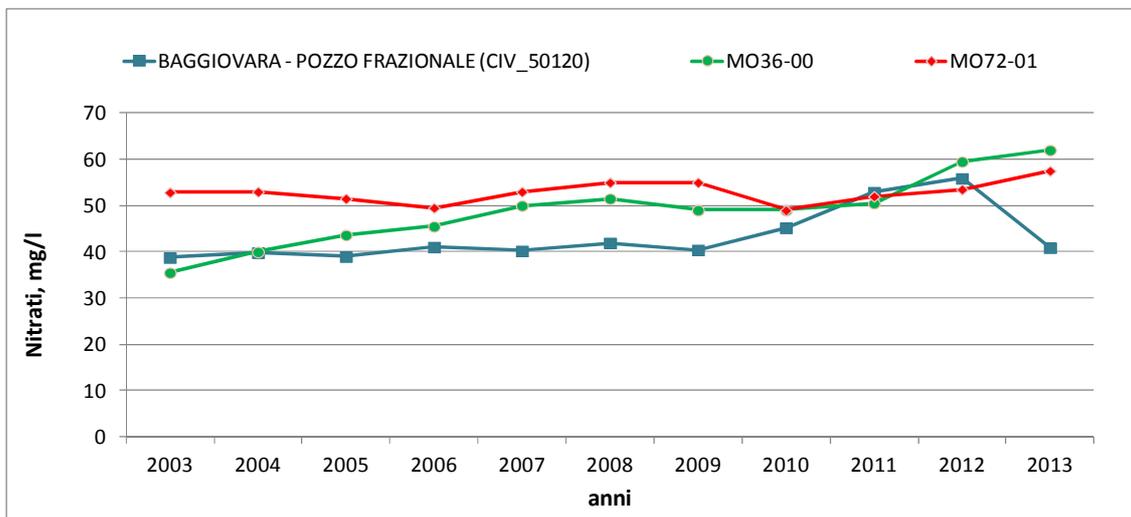
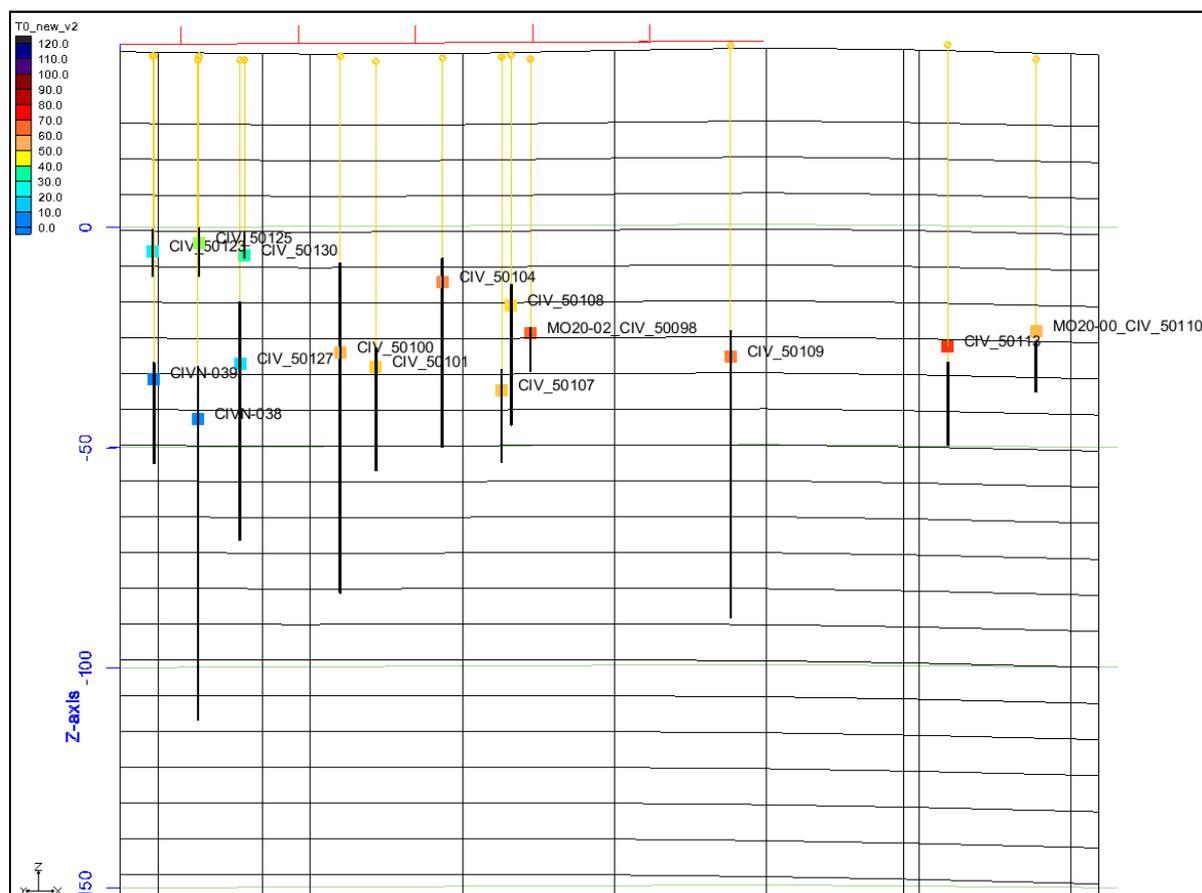


Figura 3.18: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Cognento" (traccia in Figura 3.7) in funzione della profondità. Vista su sezione verticale da NO a SE (Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m.). Da sinistra a destra: campo pozzi Aimag Cognento, campo pozzi Hera Cognento, campo pozzi Hera Modena Sud.



Nella porzione centro-orientale della conoide del Secchia, negli acquiferi confinati superiori è presente la sequenza di tre importanti campi pozzi di approvvigionamento idropotabile denominati da Ovest ad Est: campo pozzi di Cognento (gestione Aimag), campo pozzi di Cognento (gestione Hera) e campo pozzi di Modena Sud sempre di Hera.

In Figura 3.18 è riportata una sezione che taglia nella verticale alcuni dei pozzi appartenenti ai suddetti campi pozzi. La sezione evidenzia le diverse profondità dei pozzi e l'ampiezza dei tratti filtranti.

Nella successiva Figura 3.19 è riportato l'andamento della concentrazione dei nitrati a Cognento (pozzi Aimag ed Hera) ed a Modena Sud in funzione della profondità e del tempo.

Figura 3.19: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Cognento" (pozzi Aimag Cognento, Hera Cognento ed Hera Modena Sud) in funzione della profondità e del tempo.

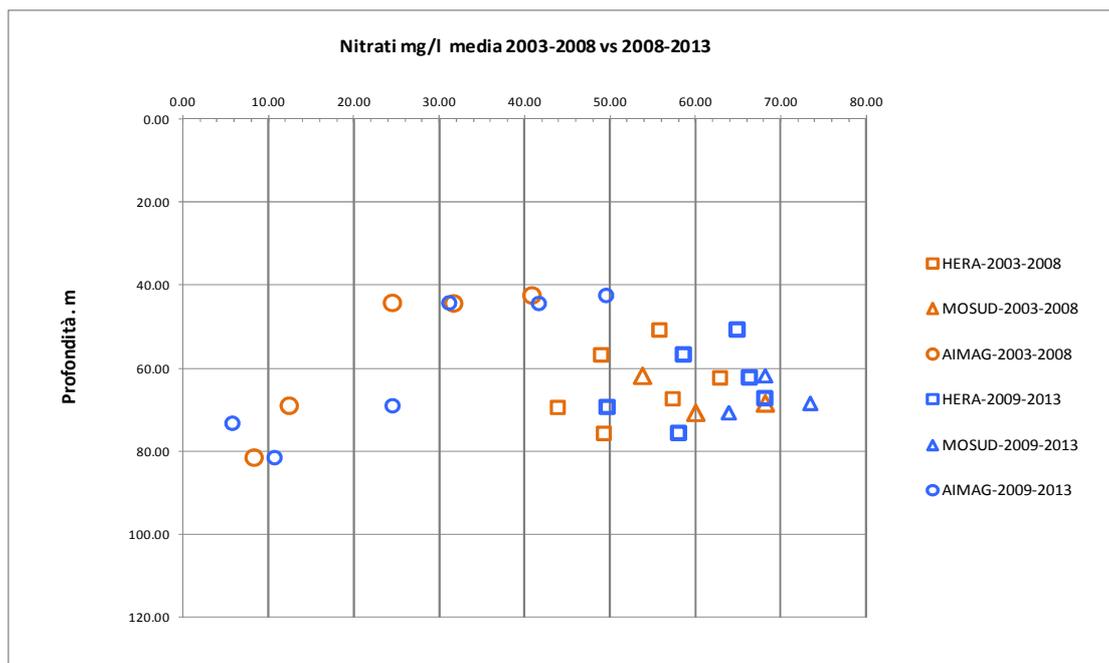
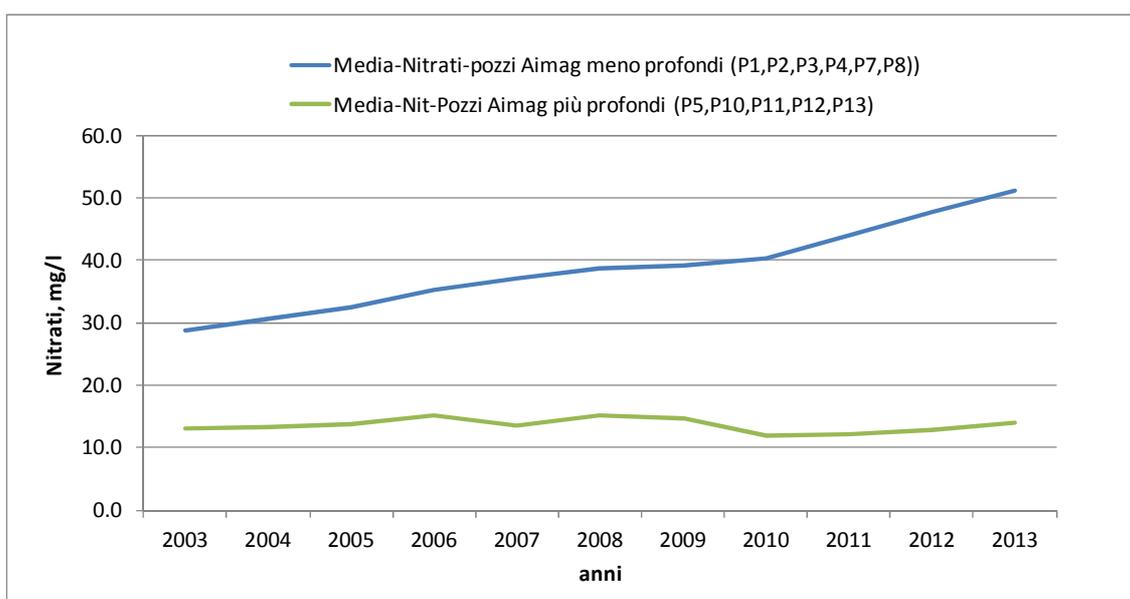


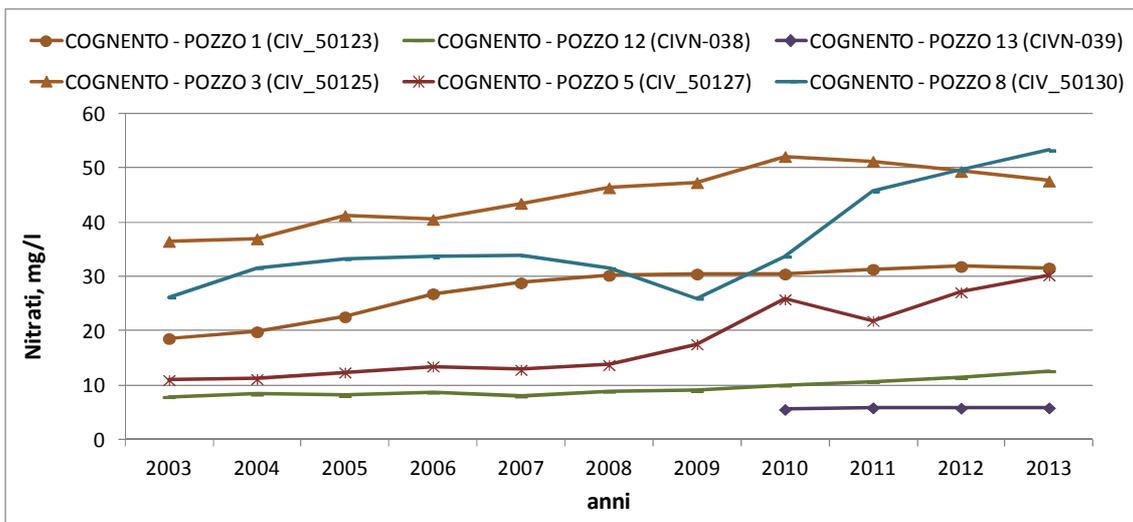
Figura 3.20: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi Aimag Cognento. Media raggruppamento pozzi a diversa profondità delle acque captate.



Si nota un progressivo aumento della concentrazione nel tempo. Il campo pozzi Aimag è quello caratterizzato dai valori più bassi di concentrazione in due fasce di profondità (poco al di sotto dei 40 m e oltre i 50 m). Gli altri pozzi di Cognento (Hera) e Modena Sud sono collocati tra i 50 e gli 80 m dal piano campagna con concentrazioni mediamente comprese tra i 45 ed i 70 mg/l nel quinquennio 2003-2008 per spostarsi mediamente di 5-10 mg/l nel quinquennio successivo.

I dati dei pozzi Aimag presentano la situazione più complessa e variegata interpretabile con una analisi che comprenda anche la terza dimensione, quella verticale che in questo caso risulta determinante. I pozzi a concentrazione più alta sono quelli meno profondi (linea pozzi meno profondi in Figura 3.20) che mediamente mostrano un trend in aumento da 30 mg/l a 50 mg/l nel periodo considerato 2003-2013). I pozzi che pescano acqua più in profondità mostrano invece concentrazioni minori con valori abbastanza stabili attorno ai 10-15 mg/l (linea pozzi più profondi sempre in Figura 3.20).

Figura 3.21: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati in singoli pozzi scelti di Aimag Cognento.



Questi ultimi pozzi sono caratterizzati inoltre dalla presenza di più filtri e quindi i bassi valori di concentrazione derivano anche dalla miscelazione di acque più profonde (Figura 3.21). Nel dettaglio anche questo gruppo di pozzi riassume nel suo valore medio valori differenti: il pozzo P5 (CIV_50127) ha infatti valori superiori e dal 2008 evidenzia un trend in aumento con valori registrati di 30 mg/l nel 2013.

Figura 3.22: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi Hera Cognento.

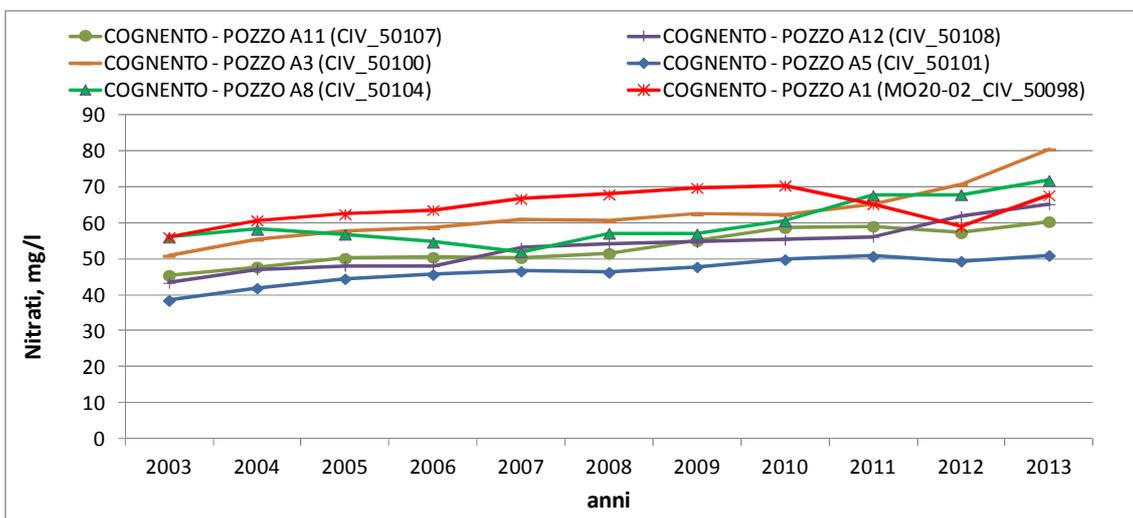
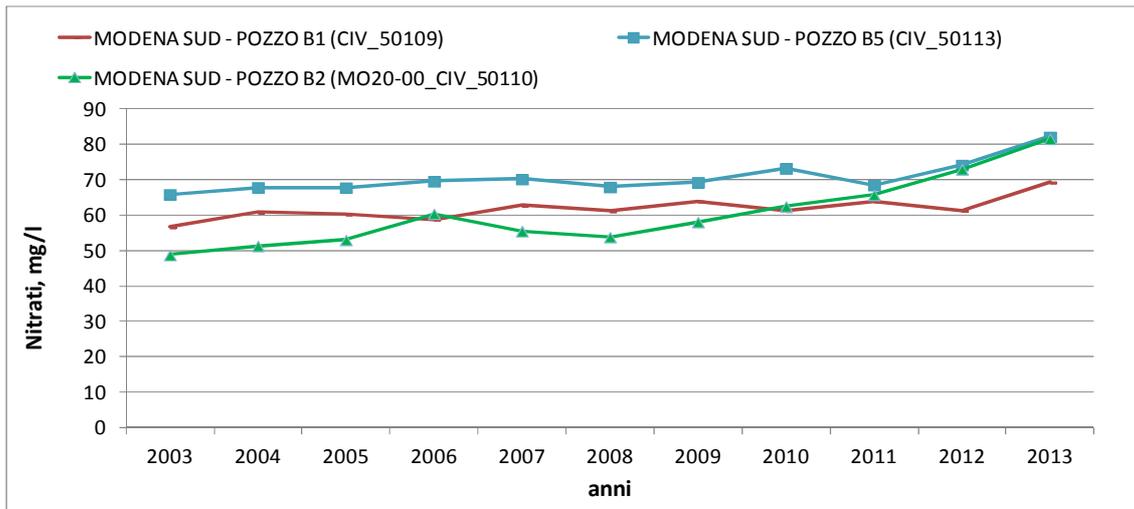


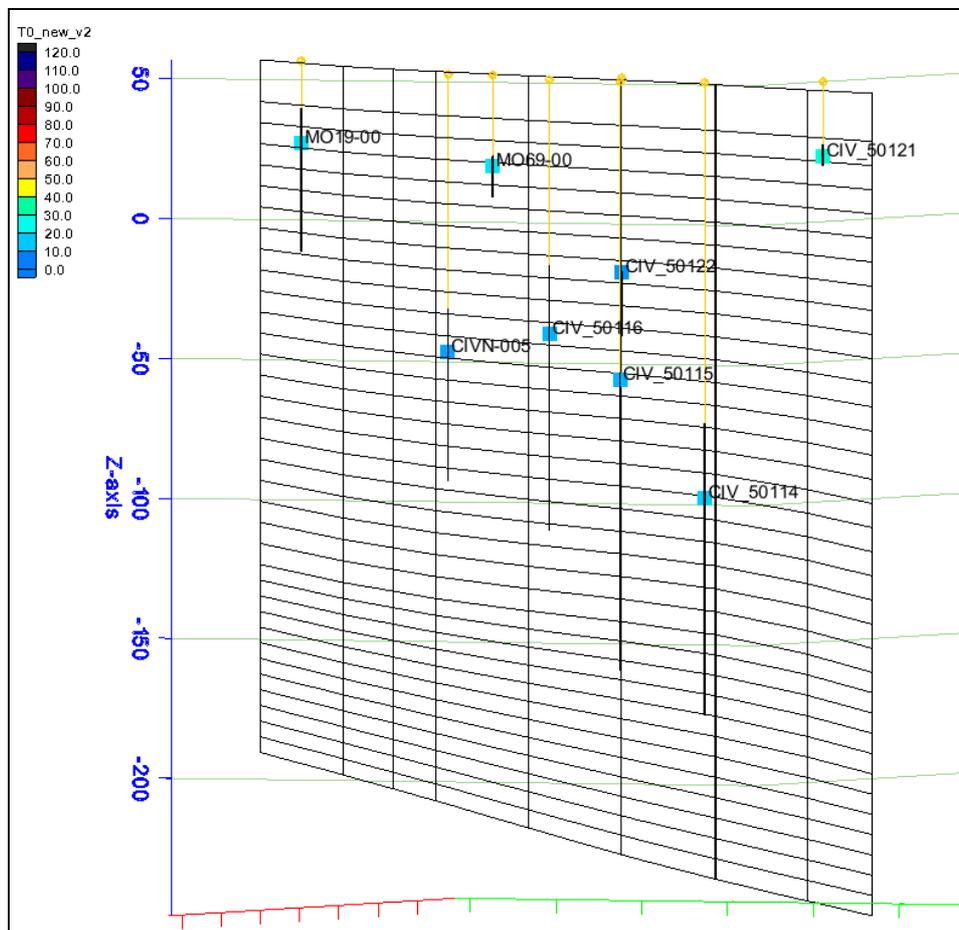
Figura 3.23: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi Hera Modena Sud.



Viceversa il pozzo 13 (CIVN-039) rimane stabilmente su valori di nitrati inferiori e attorno ai 5 mg/l. La spiegazione anche in questo caso risiede nella presenza di un filtro a profondità minori per il pozzo P5 rispetto ai pozzi P12 (CIVN-038) e P13.

Nelle figure (Figura 3.22 e Figura 3.23) sono riportati gli andamenti temporali dei pozzi appartenenti rispettivamente ai campi pozzi Hera di Cognento e di Modena Sud.

Figura 3.24: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati lungo la Sezione "Marzaglia" in destra Secchia (Campo pozzi Marzaglia e adiacenti pozzi della Rete regionale di monitoraggio). Vista dei pozzi su sezione verticale da SSO a NNE (traccia in Figura 3.7).Esagerazione verticale 25x, asse Z in m s.l.m..



Tutti i pozzi di Cognento (Hera) denotano un analogo trend in aumento delle concentrazioni di nitrati da valori di 40-60 mg/l a valori di 50-80 mg/l in riferimento all'arco temporale analizzato (2003-2013). Gli andamenti nel tempo dei pozzi di Modena Sud sono simili a quelli dei pozzi di Cognento (Hera) anche se con valori di concentrazione superiori (da 50-65 mg/l a 70-80 mg/l in riferimento all'arco temporale analizzato (2003-2013).

Spostandosi ad Ovest della zona di Cognento, l'ampia zona in destra Secchia è caratterizzata da valori di nitrati contenuti entro i 10 mg/l (Figura 3.25) in corrispondenza del campo pozzi di Marzaglia, costituito da 4 pozzi profondi dai 90 m ai 226 m con uno sviluppo dei filtri molto ampio (60-100 m, Figura 3.24).

Valori superiori di nitrati con trend in aumento si rilevano invece nei pozzi limitrofi MO19-00, MO69-00 e Cittanova Pozzo Frazionale (CIV_50121) di HERA caratterizzati però da profondità inferiori (Figura 3.24 e Figura 3.26).

Figura 3.25: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati in destra Secchia (Campo pozzi Marzaglia)

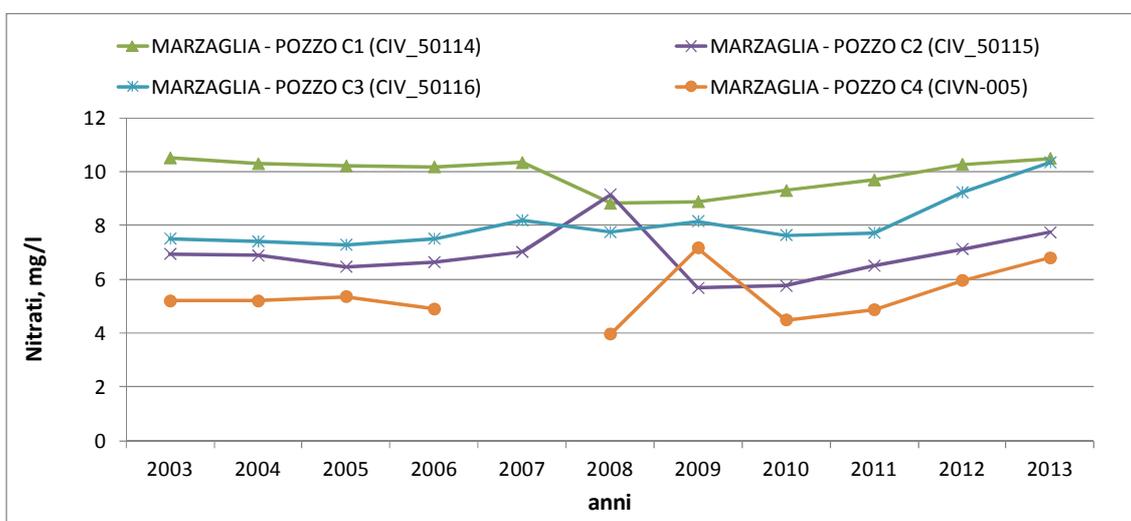
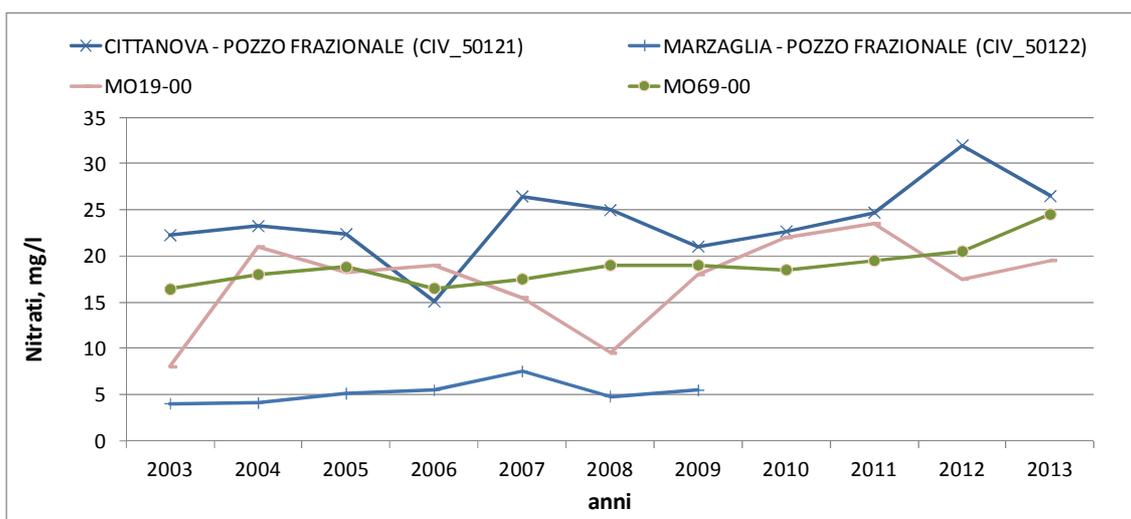


Figura 3.26: andamento temporale della concentrazione dei nitrati in destra Secchia (pozzi limitrofi al campo pozzi Marzaglia)



Passando dalla zona di Marzaglia al di là del Fiume Secchia, in sinistra Secchia sono disponibili i dati dei nitrati in corrispondenza dei tre campi pozzi allineati da Sud a Nord: Rubiera, Fontana di Rubiera e

Campogalliano. Particolare è la situazione dei primi due (campi pozzi di Rubiera e di Fontana di Rubiera) che presentano concentrazioni più elevate a profondità maggiori (Figura 3.27).

Figura 3.27: andamento della concentrazione dei nitrati in funzione della profondità: campi pozzi di Rubiera e Fontana di Rubiera nel grafico a sinistra, campo pozzi di Campogalliano nel grafico a destra

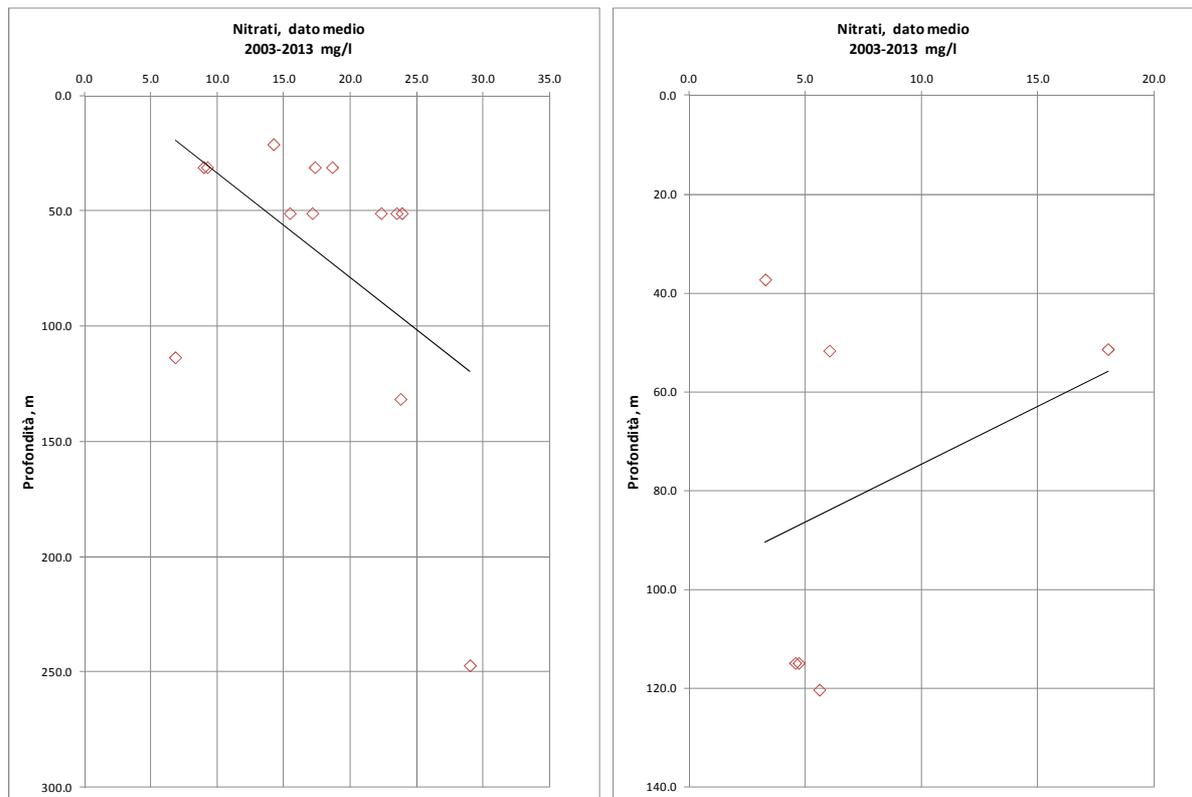
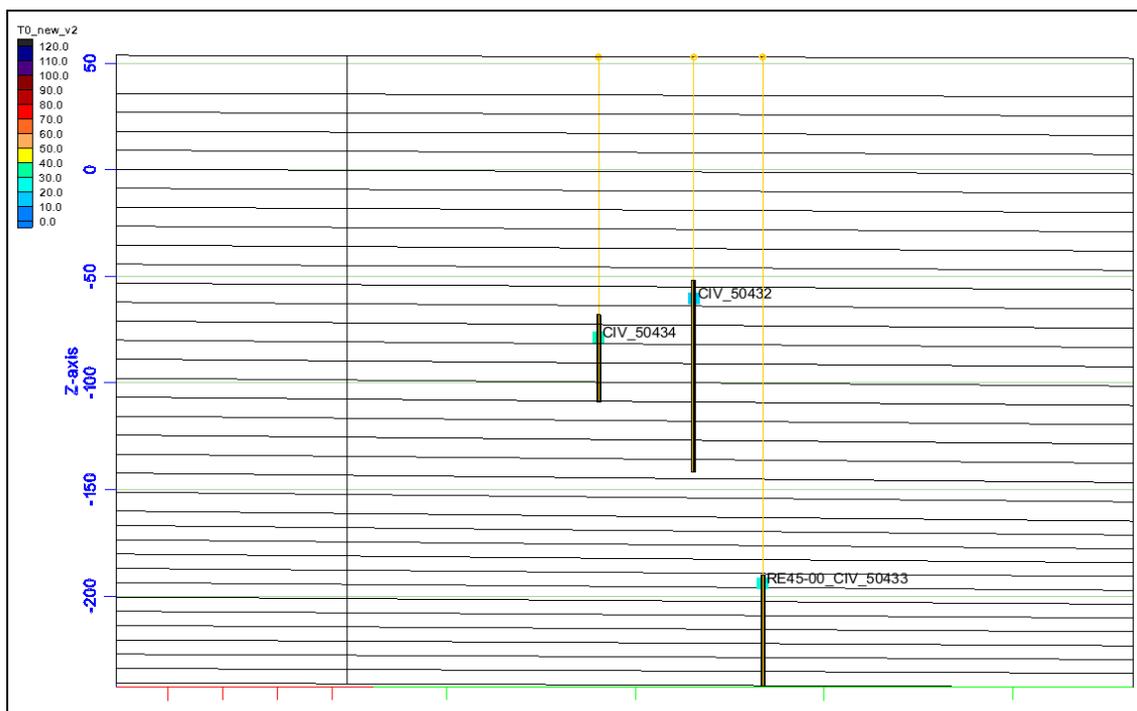
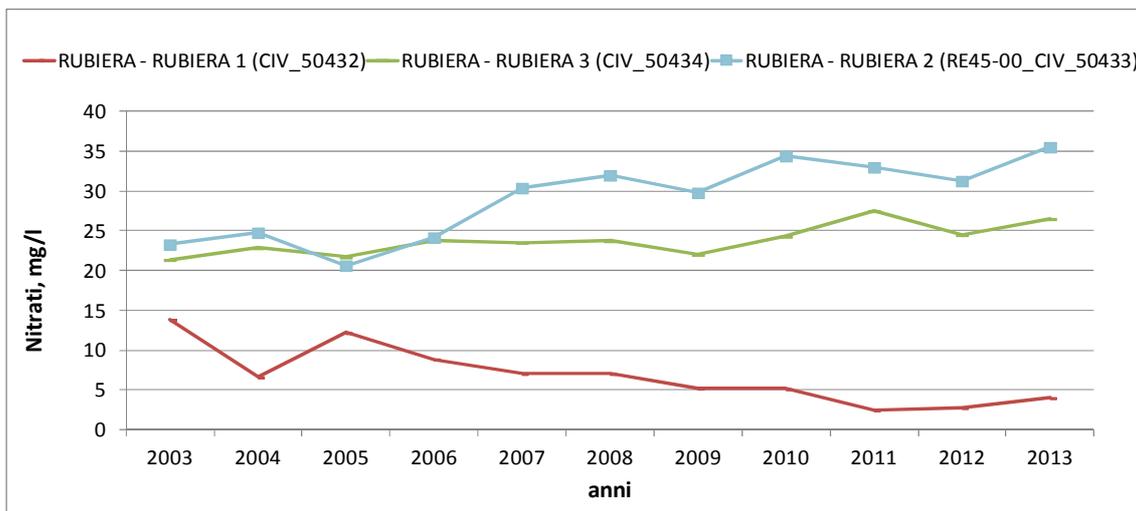


Figura 3.28: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Rubiera" in sinistra Secchia in funzione della profondità Vista su sezione verticale da SO a NE (traccia in Figura 3.7). Esagerazione verticale 1x, asse Z in m s.l.m.



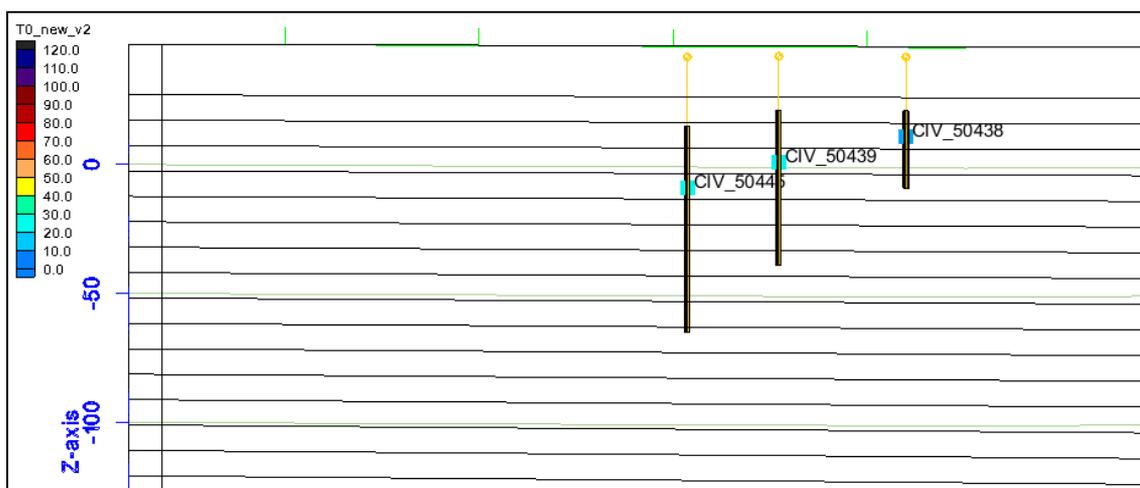
Nel dettaglio il campo pozzi di Rubiera (Figura 3.28) mostra valori più contenuti e trend in diminuzione per il pozzo meno profondo (confinato superiore) e valori più elevati per gli altri due pozzi posti più in profondità e distanti verticalmente tra loro più di 100 m. Entrambi sono però attribuibili ai sottostanti corpi idrici confinati inferiori e nel tempo assumono un trend all'aumento, differenziato tra loro. In particolare il più profondo dei due, il pozzo 2 (RE45-00_CIV_50433) assume un trend superiore all'altro pozzo, il pozzo 3 (CIV_50434) come mostrato in Figura 3.29, assumendo dopo 10 anni una concentrazione superiore di circa 10 mg/l.

Figura 3.29: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Rubiera".



Il campo pozzi di Fontana di Rubiera è formato nel suo complesso da 11 pozzi, che per profondità e valori di nitrati possono essere ben rappresentati dai tre pozzi scelti e riportati in Figura 3.30. In Figura 3.31 è evidente l'aumento dei valori lungo la verticale spostandosi in profondità e il trend in aumento nel tempo. Tutti i pozzi appartengono ai corpi idrici confinati superiori.

Figura 3.30: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Fontana di Rubiera" in sinistra Secchia in funzione della profondità. Vista su sezione verticale da SO a NE (traccia in Figura 3.7). Esagerazione verticale 1x, asse Z in m s.l.m.



Più a valle è presente il campo pozzi di Campogalliano (Figura 3.32) formato attualmente da 5 pozzi. Il pozzo 2 (CIV_50134) è il più profondo ed è attribuibile al corpo idrico confinato inferiore. Valori

più alti con tendenza al rialzo si riscontrano nel pozzo 5 (CIVN-004), che nel gruppo è il pozzo posto più a Sud.

Figura 3.31: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi Fontana di Rubiera.

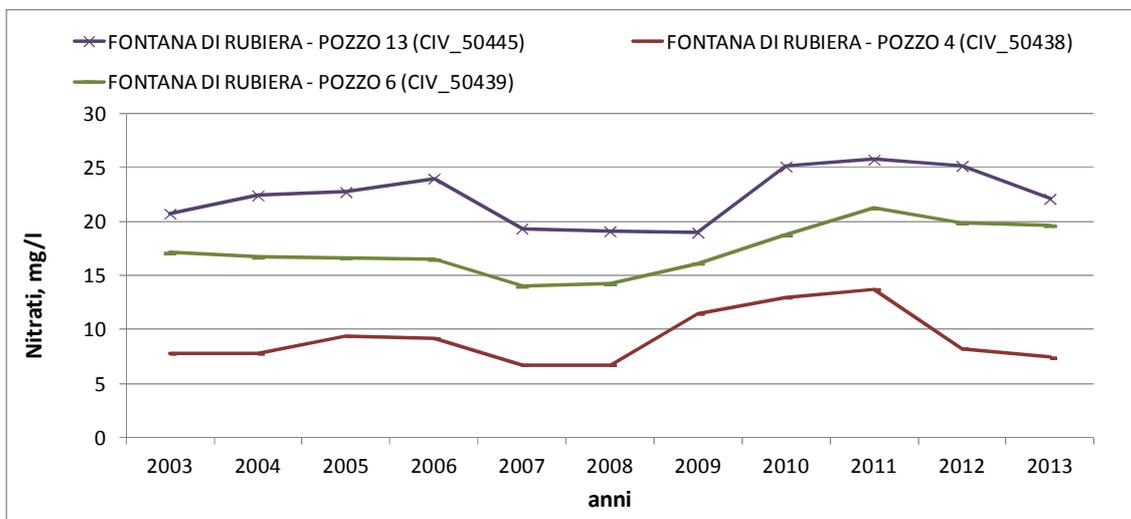
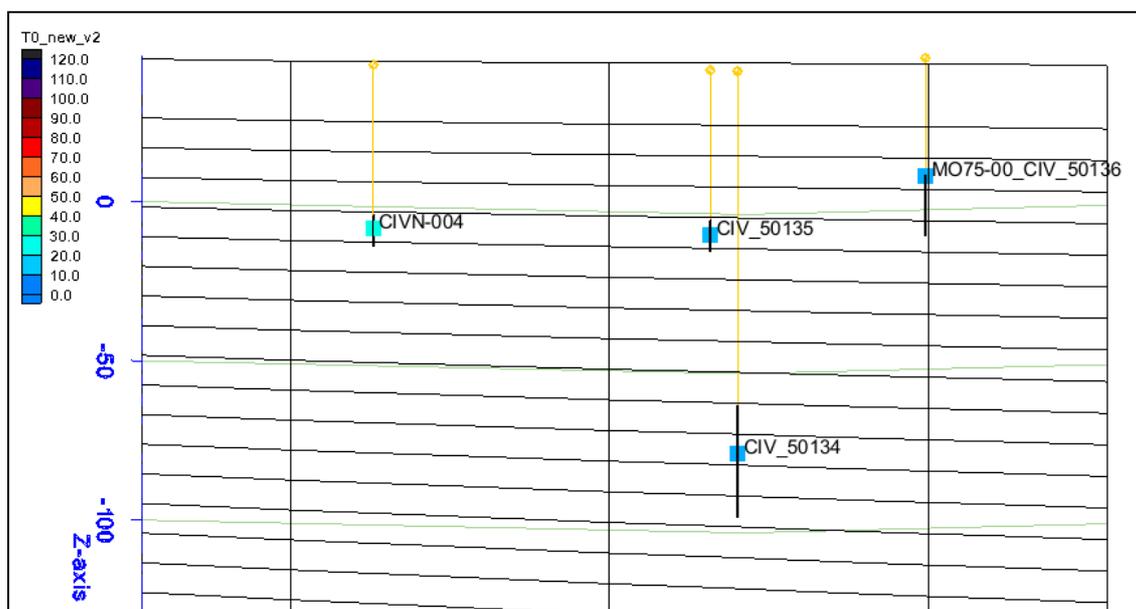


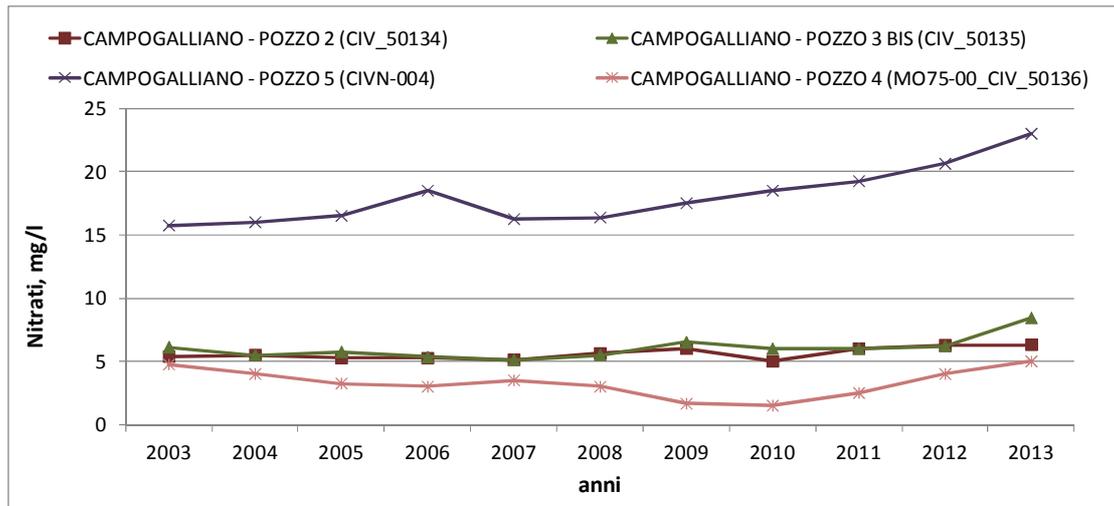
Figura 3.32: andamento della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Campogalliano" in sinistra Secchia in funzione della profondità. Vista su sezione verticale da SO a NE (traccia in Figura 3.7). Esagerazione verticale 5x, asse Z in m s.l.m.



Infine, tutta la porzione centro-occidentale e distale (a Nord del F. Secchia) si attesta su concentrazioni di nitrati tutte abbastanza contenute e variabili da 5-10 mg/l fino a 20-30 mg/l.

Esiste poi un altro pozzo, il MO68-01, ubicato sul bordo orientale al confine con la conoide del Tiepido, che mostra concentrazioni di nitrati di 55 mg/l. Tale zona inquinata da nitrati presenta valori ancora peggiori (140 mg/l) nel vicino pozzo Martiniana Maranello di HERA (CIVN-035), anche se ubicato nel corpo idrico Tiepido-confinato inferiore (si veda a tal proposito l'approfondimento dedicato descritto in Figura 3.41 e Figura 3.42)

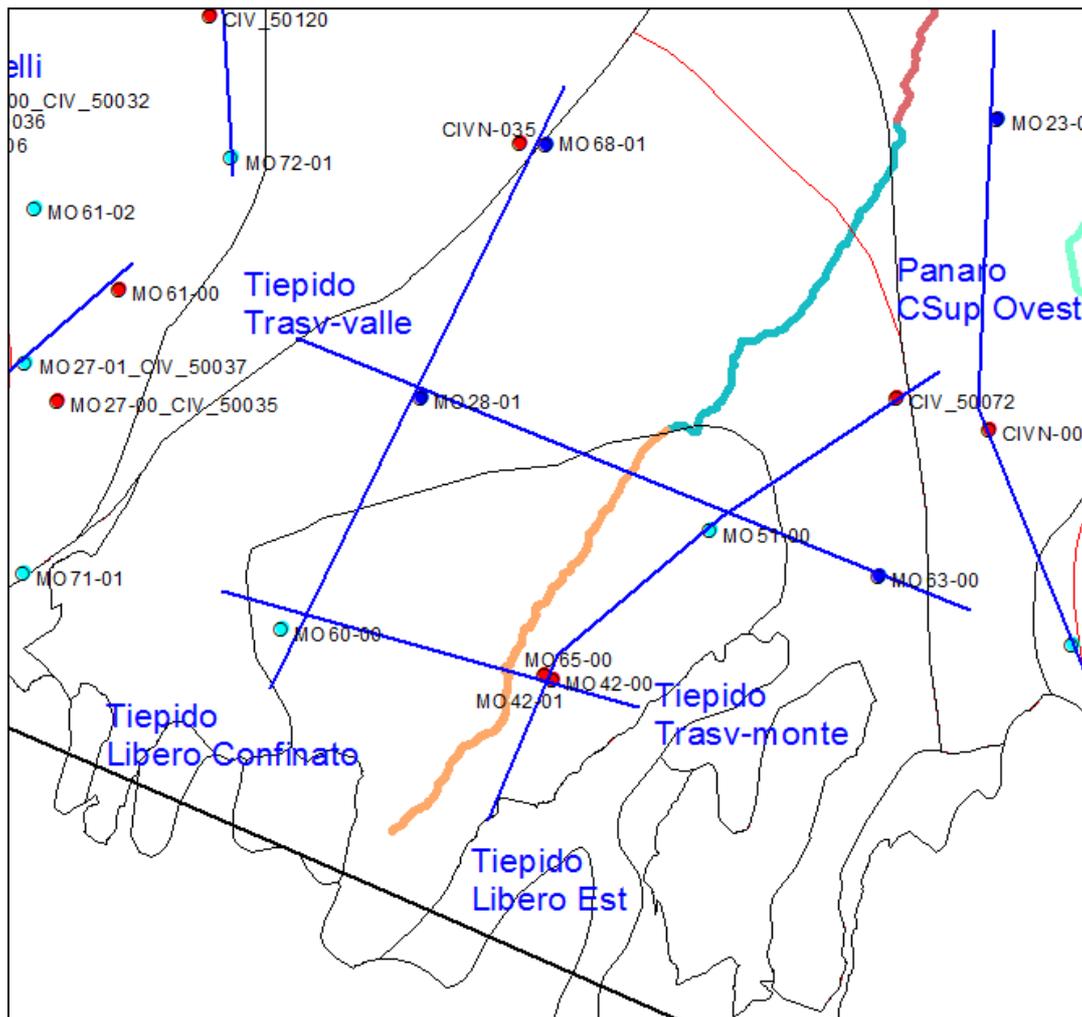
Figura 3.33: andamento nel tempo della concentrazione dei nitrati nei pozzi situati lungo la sezione "Campogalliano".



3.5.2 La conoide del Tiepido

La Figura 3.34 riporta i pozzi utilizzati per l'analisi della presenza di nitrati nella conoide del Tiepido.

Figura 3.34: pozzi utilizzati per l'analisi della concentrazione dei nitrati sulla conoide del Tiepido. Pozzi appartenenti agli acquiferi liberi, confinati superiori e confinati inferiori. Tracce delle Sezioni utilizzate per la visualizzazione dei dati lungo la verticale. Legenda colori: azzurro = corpo idrico libero, blu = corpo idrico confinato superiore, rosso = corpo idrico confinato inferiore



Nella figura sono riportate anche le tracce delle sezioni utilizzate per gli approfondimenti necessari nella terza dimensione, quella verticale.

Nel complesso gli acquiferi liberi della conoide del Tiepido sono caratterizzati, nella zona apicale da valori di nitrati (negli anni 2003-2013) relativamente più contenuti (40-50 mg/l) rispetto alle restanti porzioni della conoide. Il pozzo MO60-00, situato ad Ovest, ha valori più bassi e con chiara tendenza alla diminuzione passando dai 40 mg/l (anni 2003-2005) ai 25-30 mg/l (anni 2010-2013).

Figura 3.35: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella Sezione "Tiepido Libero Confinato" da monte a valle situata ad Ovest nella conoide del Tiepido (traccia in Figura 3.34). Esagerazione verticale 25x, asse Z in m s.l.m.).

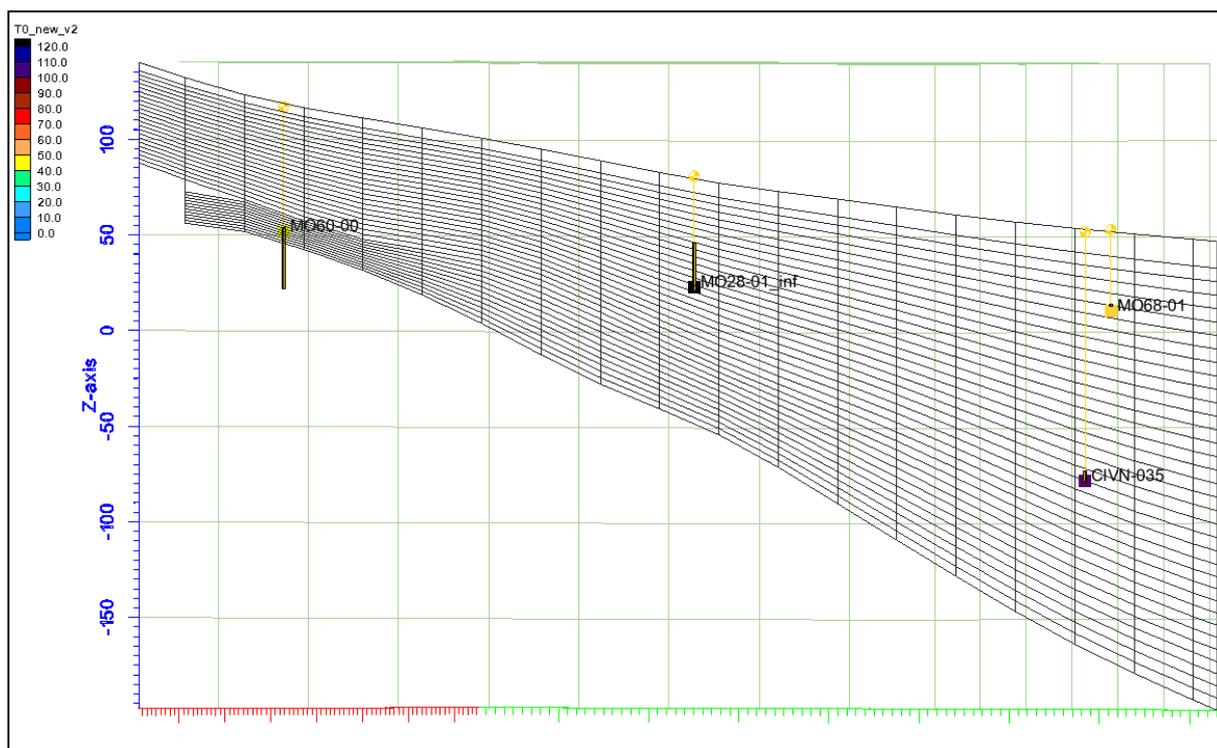
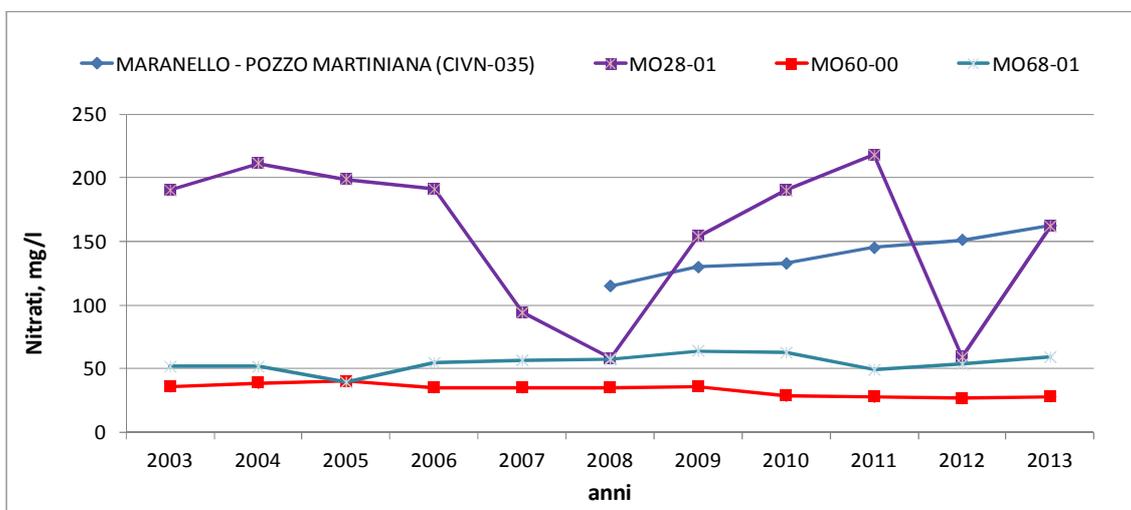


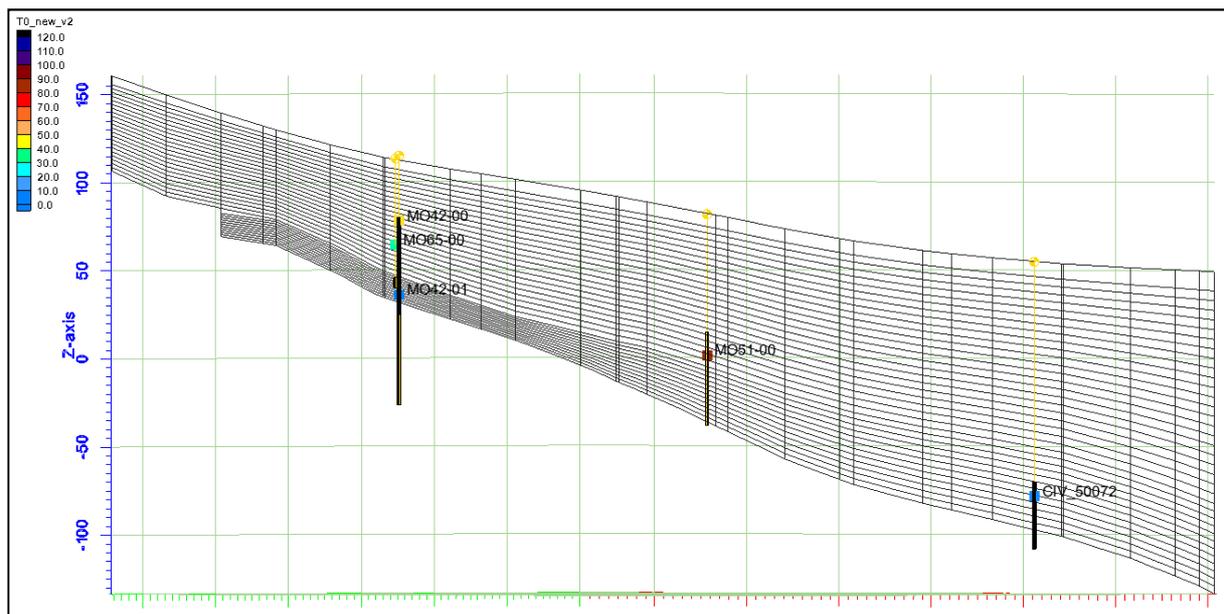
Figura 3.36: andamento della concentrazione dei nitrati in funzione del tempo nella Sezione "Tiepido Libero Confinato".



Tale pozzo è rappresentato nella Figura 3.35 che riporta la sezione verticale che, passando per tale pozzo, arriva fino al limite della conoide del Tiepido. La sezione incontra prima il pozzo MO28-01 (oggetto di un approfondimento successivo) e successivamente il pozzo MO68-01 della Rete regionale di monitoraggio, entrambi attribuiti al corpo idrico confinato superiore della conoide del Tiepido. Limitrofo al pozzo MO68-01 è il pozzo Martiniana di Hera (CIVN-035) che capta acque poste ancora più in profondità. Gli andamenti delle concentrazioni dei nitrati in questi pozzi sono riportati in Figura 3.36.

Più ad Est invece, la porzione apicale della conoide in corrispondenza della terna di pozzi MO42-00, MO65-00 e MO42-01 (questi ultimi due attribuibili agli acquiferi confinati inferiori) evidenzia una diminuzione dei valori di concentrazione dei nitrati con la profondità. In tal senso la videoispezione condotta sul pozzo MO65-00 ha evidenziato la possibile rottura della camicia ad una profondità compresa tra i 47 m ed i 50 m (quindi al di sopra dei filtri) e di conseguenza i valori di concentrazioni del pozzo sono stati attribuiti ad una profondità inferiore di circa 20 m rispetto a quella inizialmente ipotizzata in base alla semplice posizione dei filtri. Spostandosi di circa 3 km a Nord-Est del pozzo MO42-00, il pozzo MO51-00 risulta caratterizzato da concentrazioni di nitrati più alte con tendenza all'aumento variabili tra i 60 mg/l (2003) e gli oltre 100 mg/l (2013). In Figura 3.37 sono riportati in sezione verticale le proiezioni di questi pozzi i cui valori di nitrati nel tempo sono riportati in Figura 3.38.

Figura 3.37: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella Sezione "Tiepido Libero Est" da monte a valle situata ad Est nella conoide del Tiepido (traccia in Figura 3.34). Esagerazione verticale 25x, asse Z in m s.l.m..



L'analisi degli acquiferi confinati superiori della conoide del Tiepido deriva dai dati dei tre pozzi disponibili: il MO28-01, il MO68-01 di cui si è già detto in precedenza ed il pozzo MO63-00 posto ad Est verso il confine con la conoide del Panaro. Tutti e tre i pozzi hanno concentrazioni (nel periodo 2003-2013) mediamente al di sopra dei 50-60 mg/l e piuttosto variabili nel tempo con tendenza al rialzo di circa 1 mg/l/anno (Figura 3.40). Tale pozzo è raffigurato nella sezione denominata Tiepido Trasv-valle in Figura 3.34 e riportata in Figura 3.39.

Figura 3.38: andamento della concentrazione dei nitrati in funzione del tempo nella Sezione "Tiepido Libero Est".

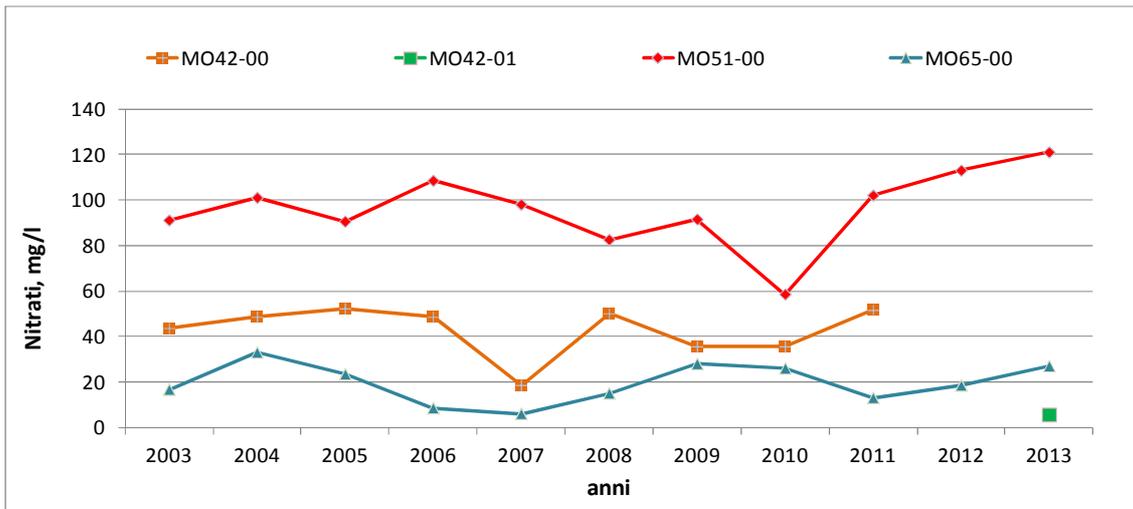


Figura 3.39: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella Sezione "Tiepido Trasv-valle" da Ovest ad Est situata nella zona centrale della conoide del Tiepido (traccia in Figura 3.34). Esagerazione verticale 25x, asse Z in m s.l.m.

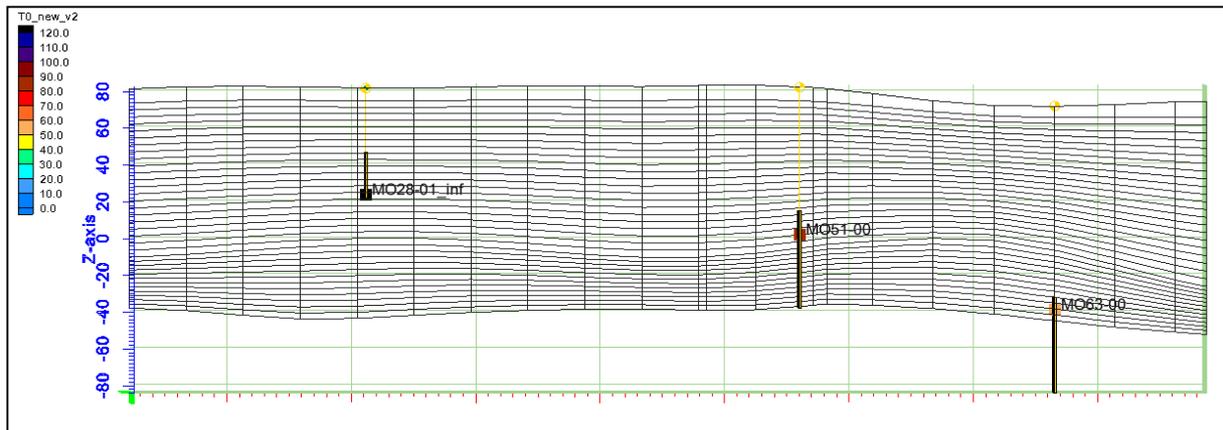
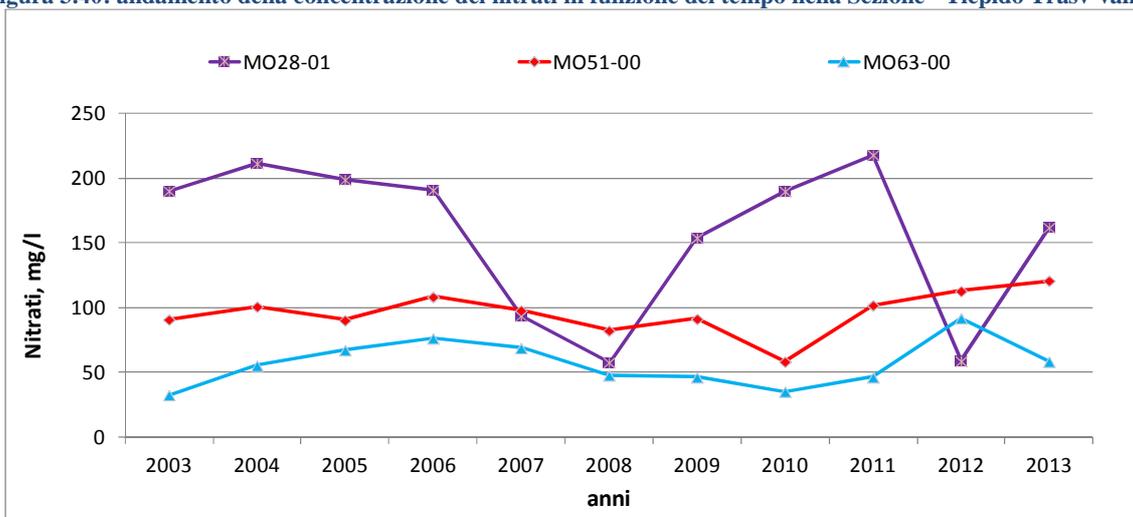


Figura 3.40: andamento della concentrazione dei nitrati in funzione del tempo nella Sezione "Tiepido Trasv-valle"

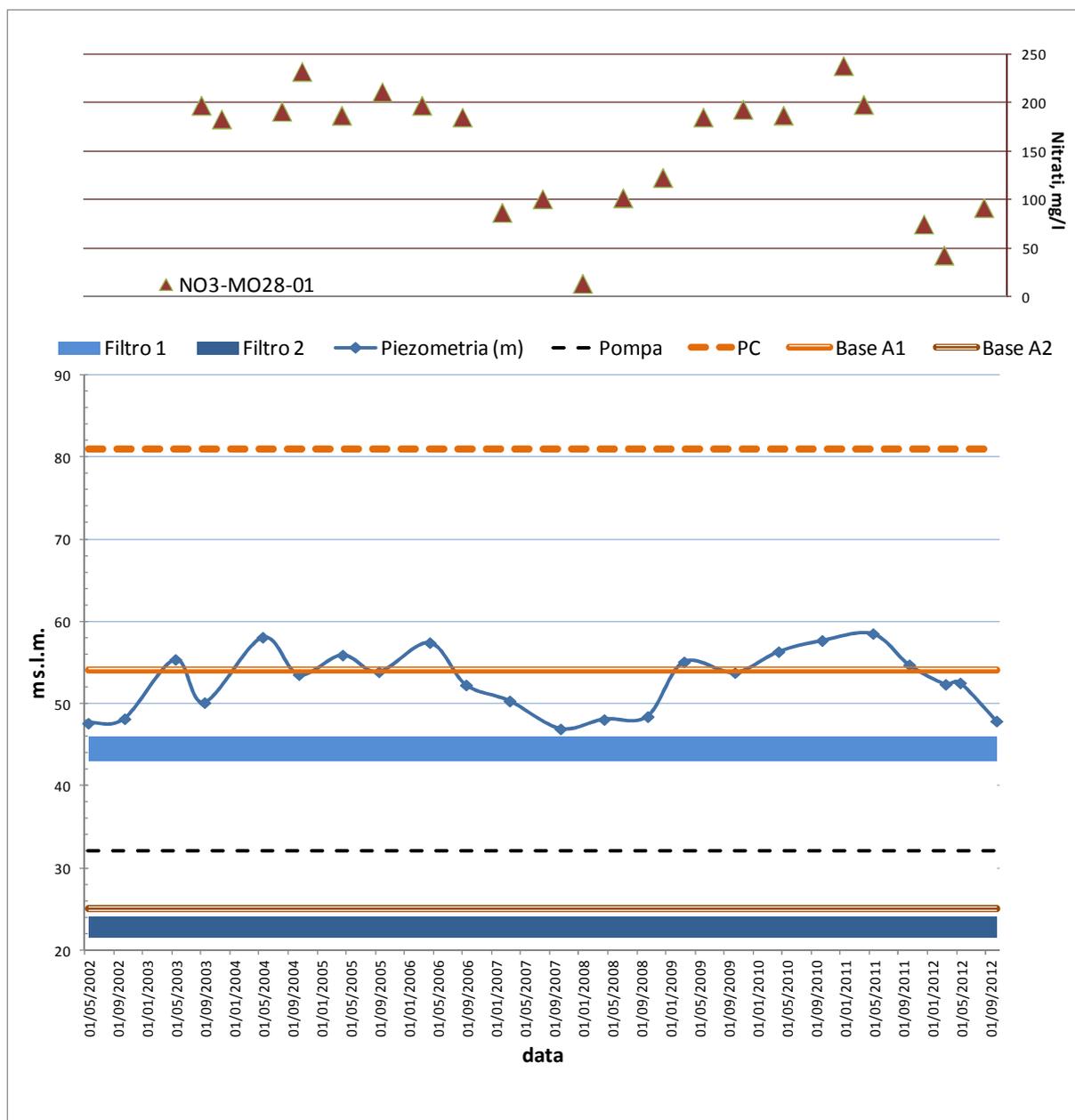


Come anticipato si è ritenuto necessario effettuare un approfondimento per il pozzo MO28-01, caratterizzato da concentrazioni di nitrati molto elevate e molto variabili nel periodo di osservazione,

da valori attorno a 60 mg/l sino a valori superiori ai 200 mg/l, quindi con andamenti definibili "anomali" che devono essere necessariamente oggetto di interpretazione. Il pozzo è stato oggetto di videoispezione dedicata (febbraio 2016) che ha escluso rotture della camicia a quote superiori a quelle del primo filtro (Filtro 1 in Figura 3.41 ed in Tabella 3.6) del pozzo collocato a 35 m dal p.c.

L'andamento delle concentrazioni dei nitrati evidenzia una significativa correlazione con l'andamento della piezometria misurata sullo stesso pozzo: concentrazioni attorno ai 200 mg/l sono associabili ai maggiori livelli piezometrici (55-60 m s.l.m.) mentre gli abbassamenti dei valori delle concentrazioni sino a circa 50 mg/l sono associabili ad una caduta della piezometrica di circa 10 m (grafici di Figura 3.41). A supporto delle possibili valutazioni nella stessa Figura 3.41 vengono evidenziate anche le quote di riferimento per le basi dei Complessi Acquiferi A1 ed A2 collocate rispettivamente a 25 m s.l.m. e 54 m s.l.m. (dati da cartografia SGSS e ben evidenziabili nel dettaglio della stratigrafia del pozzo riportata in Tabella 3.6).

Figura 3.41: pozzo MO28-01, confronto degli andamenti temporali di Piezometria e Nitrati. Posizione filtri e pompa all'interno del pozzo.



La stratigrafia del pozzo (Tabella 3.6) evidenzia a separazione dei due filtri del pozzo un unico strato di argilla compreso tra i 39 ed i 56.5 m dal piano campagna (di spessore pari a 17.5 m). Tale strato corrisponde all'acquitrando di separazione tra il Complessi Acquiferi A1 ed A2. Potrebbe quindi risiedere in questa separazione l'origine delle variabilità riscontrate sui valori di nitrati misurati, al cui valore potrebbero concorrere in maniera differenziata i due filtri collocati rispettivamente nei due Complessi Acquiferi A1 ed A2, e ciò in funzione del livello piezometrico osservato.

A supporto di ciò è stato effettuato l'ulteriore approfondimento di natura idrochimica riportato in Figura 3.42). La distribuzione statistica delle concentrazioni di nitrati, indipendentemente dal tempo, evidenzia una chiara bimodalità; a vedere bene ha anche una coda verso le basse concentrazioni quasi ad evidenziare un terzo valore modale.

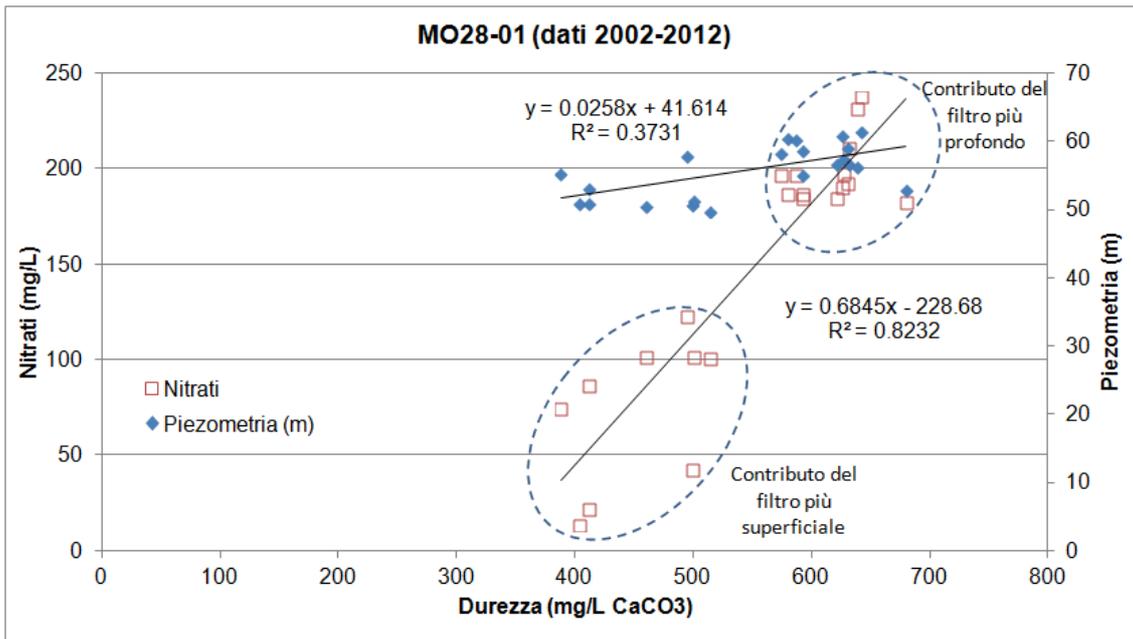
Tabella 3.6: stratigrafia del pozzo MO28-01 estratta dalla banca dati geognostica

CODICE	DA (m)	A (m)	L1	L2	L3	AQ	FL	DA (m s.l.m.)	A (m s.l.m.)	Nota
219030P683	0	13	A					84	71	
219030P683	13	13.5	G			H		71	70.5	
219030P683	13.5	21.3	A					70.5	62.7	
219030P683	21.3	29.5	G			H		62.7	54.5	
219030P683	29.5	33	A					54.5	51	Base A1
219030P683	33	35	G			A		51	49	
219030P683	35	38	G			A	A	49	46	Filtro 1
219030P683	38	39	G			A		46	45	
219030P683	39	56.5	A					45	27.5	Base A2
219030P683	56.5	57	G			A		27.5	27	
219030P683	57	59.5	G			A	A	27	24.5	Filtro 2
219030P683	59.5	60	G			A		24.5	24	
219030P683	60	70.5	A					24	13.5	
219030P683	70.5	75	S	L	GG			13.5	9	
219030P683	75	77	A	L				9	7	
219030P683	77	79	S					7	5	

La relazione della distribuzione dei nitrati con la piezometria evidenzia una relazione diretta con valori mediamente più alti di livello corrispondenti alle concentrazioni di nitrati più alte. Mettendo in relazione sia i nitrati, che la piezometria, con la durezza dell'acqua si ottiene una migliore distinzione delle due popolazioni di concentrazioni di nitrati e piezometria (Figura 3.42). La figura evidenzia che le concentrazioni più elevate di nitrati sono in relazione diretta con la durezza più elevata, ad indicare acque più profonde determinando un contributo anche in termini di pressione nel pozzo (piezometria). Si potrebbe quindi concludere che le elevate concentrazioni di nitrati derivano dai contributi dell'acquifero più profondo tra i due captati, e le concentrazioni più basse derivano dall'acquifero più superficiale.

Per l'analisi della presenza di nitrati negli acquiferi confinati inferiori della conoide del Tiepido sono disponibili 4 pozzi, di cui 2 della RRM e 2 dei Gestori (HERA). Si osservano concentrazioni di nitrati inferiori ai limiti di legge nella porzione di monte in corrispondenza del pozzo MO42-01, con valori disponibili solo nell'anno 2013 (Figura 3.40). Questo pozzo, insieme ai pozzi MO42-00 e MO65-00 forma la terna di pozzi di cui si è già discusso precedentemente.

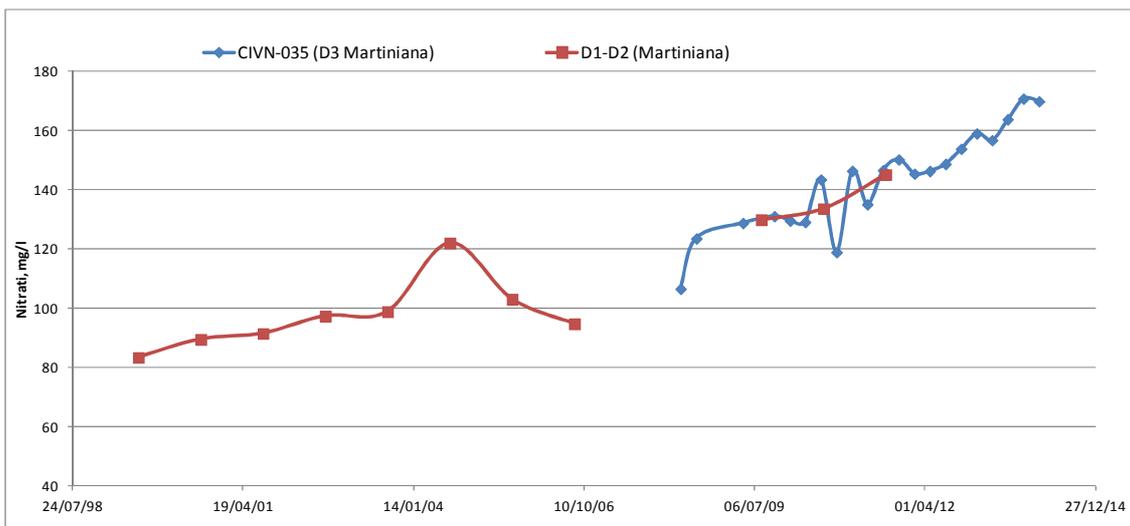
Figura 3.42: pozzo MO28-01, correlazione tra dati di Piezometria, Nitrati e Durezza.



Nella porzione centrale più orientale del corpo idrico (al confine con la conoide del Panaro) si registra una situazione con valori molto contenuti di nitrati intorno ai 2 mg/l, almeno dai pochi dati disponibili del pozzo 1 di Hera Castelnuovo (CIV_50072).

Al contrario la porzione centro occidentale del corpo idrico, al confine con la conoide del Secchia, in corrispondenza del pozzo Martiniana di Hera (CIVN-035), appare molto compromessa con valori via via in deciso aumento (+10 mg/l/anno) da oltre 100 mg/l (2008) a 170 mg/l (2013). L'aggancio dei dati pregressi dello stesso campo pozzi evidenzia valori già superiori agli 80 mg/l alla fine degli anni '90 e l'avvio del trend all'aumento già evidenziato. I pozzi del campo pozzi Martiniana hanno profondità di 135 m e filtri collocati negli ultimi 4 metri di colonna (videoispezione aprile 2016).

Figura 3.43: dati nitrati nel campo pozzi Martiniana di Hera.



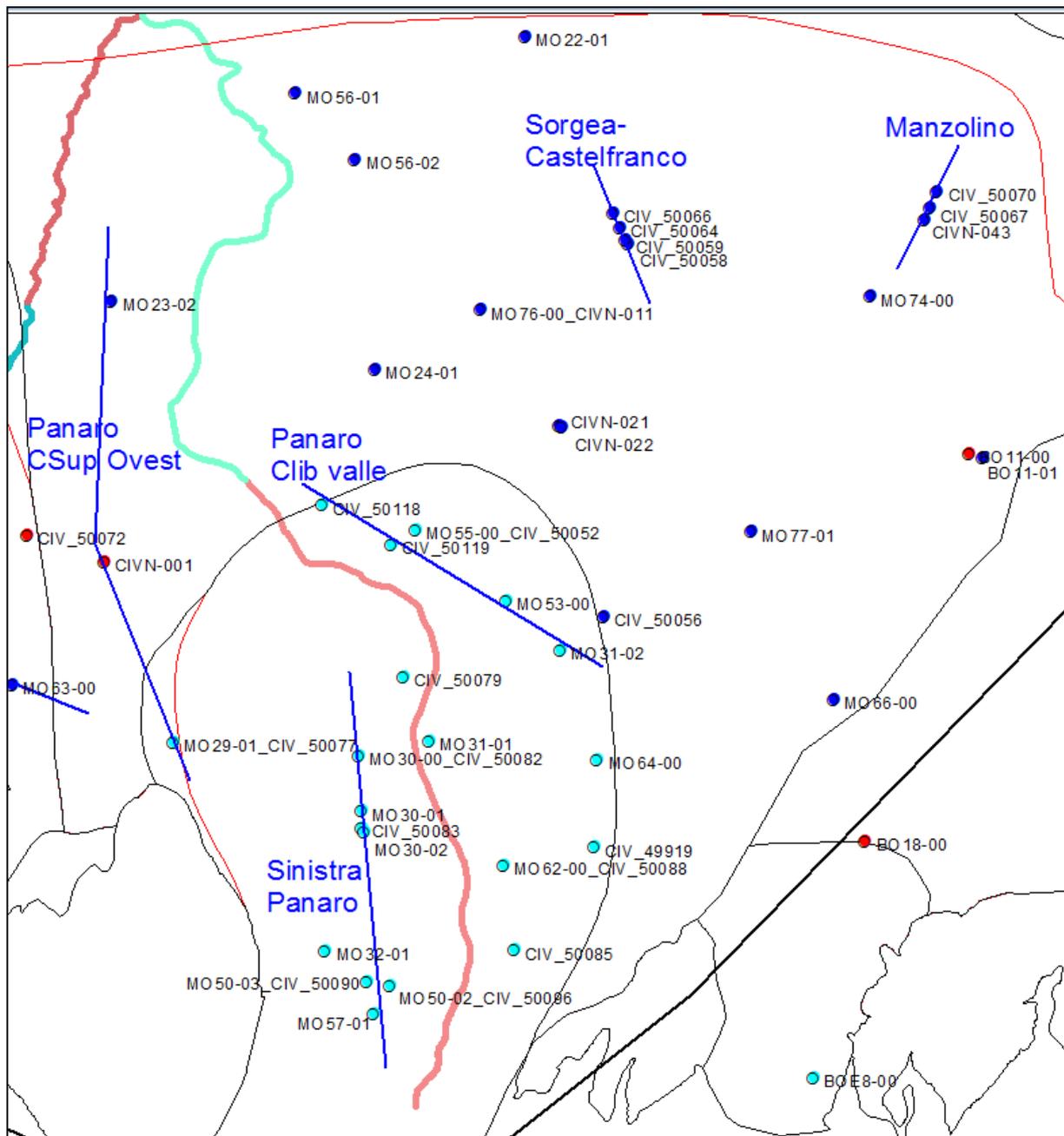
I valori più bassi di concentrazione di nitrati (50-60 mg/l) e trend in aumento, ma più contenuto del pozzo MO68-01 planimetricamente vicino ma meno profondo di circa 50 m fanno propendere per una problematica più profonda. Tale ipotesi trova conferma dalle analisi chimiche appositamente realizzate su un campione di acqua prelevato dal pozzo D2 Martiniana i cui valori di durezza attorno ai 580 mg/l

CaCO₃ e nitrati superiori a 160 mg/l bene si inseriscono nella parte alta dello schema riportato nella precedente Figura 3.42 che raggruppa i dati relativi alle acque più profonde del pozzo MO28-01 posto qualche km più a monte.

3.5.3 La conoide del Panaro

Nella Figura 3.44 sono riportati i pozzi utilizzati per l'analisi della distribuzione dei nitrati all'interno della conoide del Panaro.

Figura 3.44: pozzi utilizzati per l'analisi della concentrazione dei nitrati sulla conoide del Panaro. Pozzi appartenenti agli acquiferi liberi, confinati superiori e confinati inferiori. Tracce delle Sezioni utilizzate per la visualizzazione dei dati lungo la verticale. Legenda colori: azzurro = corpo idrico libero, blu = corpo idrico confinato superiore, rosso = corpo idrico confinato inferiore



Nella figura sono inoltre riportate le tracce delle sezioni utilizzate per gli approfondimenti condotti sulla terza dimensione.

Per gli acquiferi liberi della Conoide Panaro sono disponibili 23 pozzi di cui 8 RRM, 6 RRM&Gestore e 9 dei Gestori (HERA). Da uno sguardo d'insieme del corpo idrico, si osserva una situazione con concentrazioni di nitrati che per la maggior parte sono inferiori al limite di legge.

La porzione maggiormente compromessa è quella nord-orientale (pozzi MO53-00 e MO31-02) con valori di nitrati dell'ordine dei 60-70 mg/l. Inoltre, è da segnalare il pozzo D5 San Cesario di HERA (CIV_50118), ubicato nella porzione nord-occidentale con valori superiori ai 50 mg/l, anche se di poco.

Figura 3.45: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella Sezione "Panaro CLib Valle" NO-SE all'altezza di San Cesario (traccia in Figura 3.44). Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m..

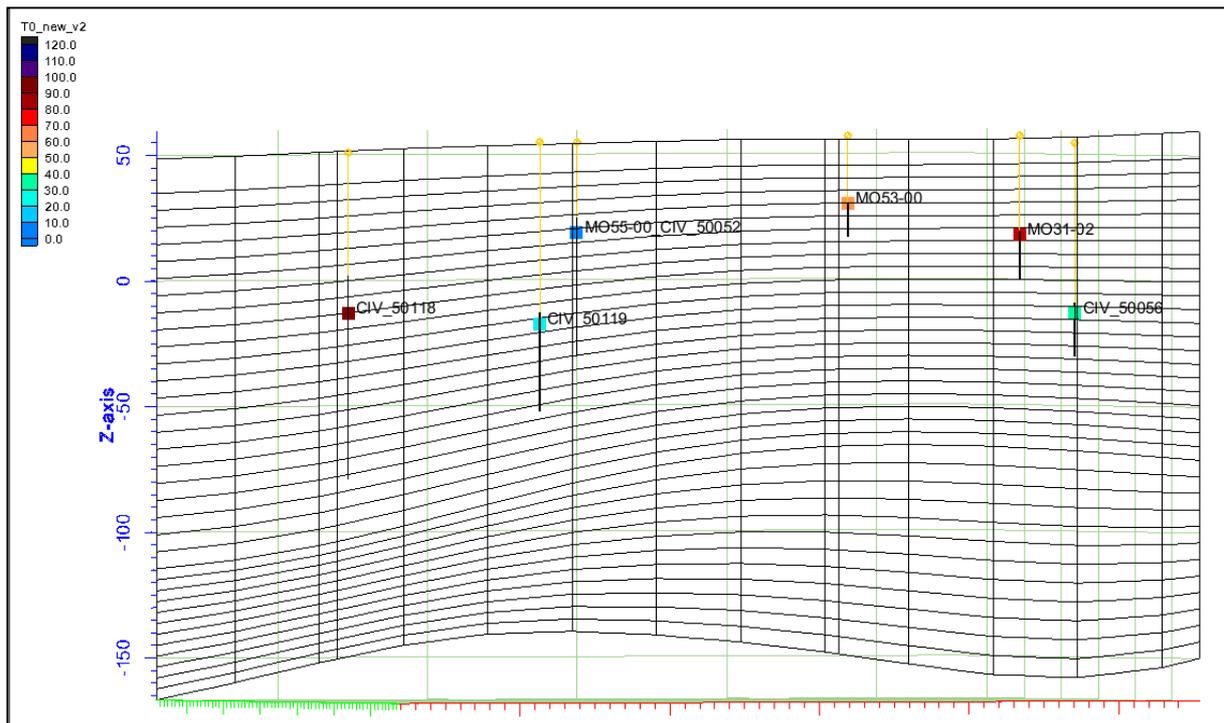
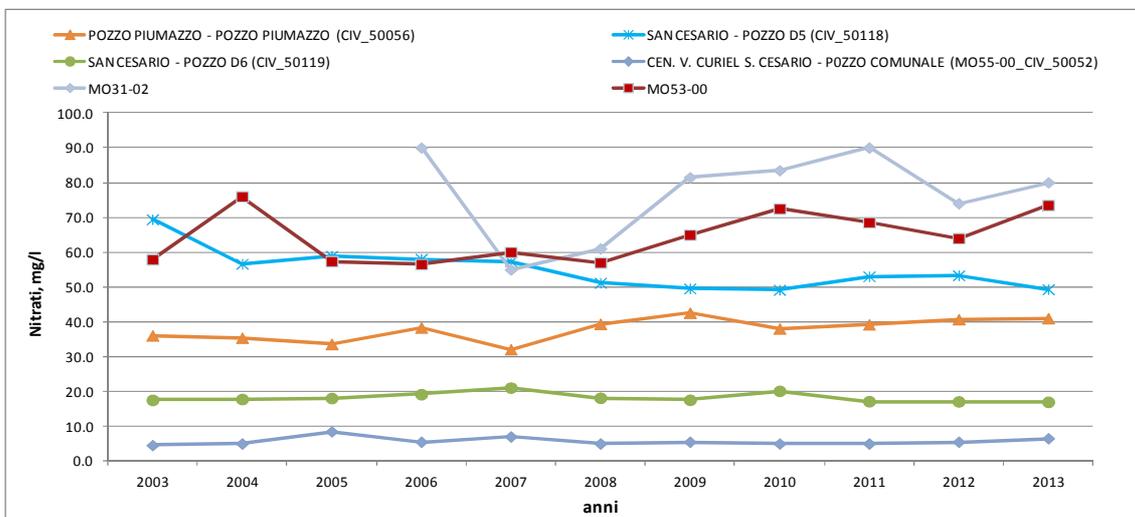


Figura 3.46: andamento della concentrazione dei nitrati nel tempo, nei pozzi situati lungo la Sezione "Panaro CLib Valle"



Questi pozzi sono stati proiettati lungo la sezione verticale raffigurata nella successiva Figura 3.45 che evidenzia i valori più bassi nella zona centrale in corrispondenza del pozzo D6 del campo pozzi di San Cesario (CIV_50119) e del pozzo di Via Curiel (MO55-00_CIV_50052) ed i valori molto più alti a Nord-Ovest e Sud Est di tale zona (Figura 3.46).

Analizzando invece i dati nella zona apicale della conoide si osservano valori contenuti dell'ordine dei 15 mg/l; spostandosi poi verso valle, nelle zone centrali del corpo idrico, in destra Panaro si registrano valori dell'ordine dei 20 mg e in sinistra Panaro intorno ai 35 mg/l, dove l'unica eccezione è il pozzo MO57-01 con valori di 50 mg/l (profondità di 30 m). L'analisi condotta lungo la sezione riportata in Figura 3.47 evidenzia le differenze tra la profondità di questo pozzo ed i tre pozzi vicini MO50-03, MO50-02 e MO50-01 con profondità doppia di 60 m. La differenza tra i valori di nitrati riportata in Figura 3.48 è quindi giustificabile dalla diversa profondità trattandosi comunque di quattro pozzi ubicati tutti in acquifero libero.

Figura 3.47: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella Sezione "Sinistra Panaro" in direzione Sud-Nord (traccia in Figura 3.44). Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m.

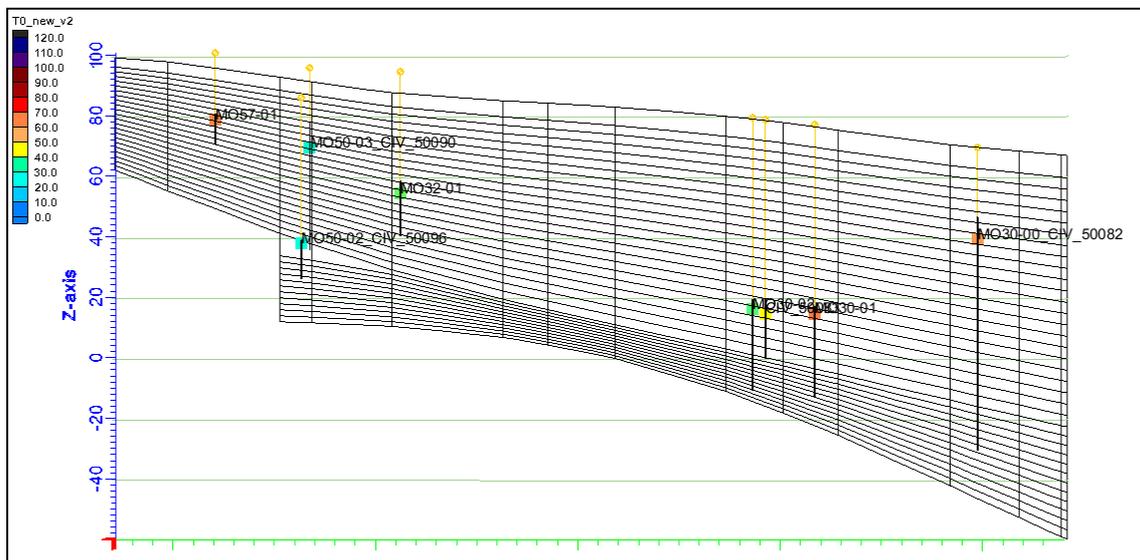
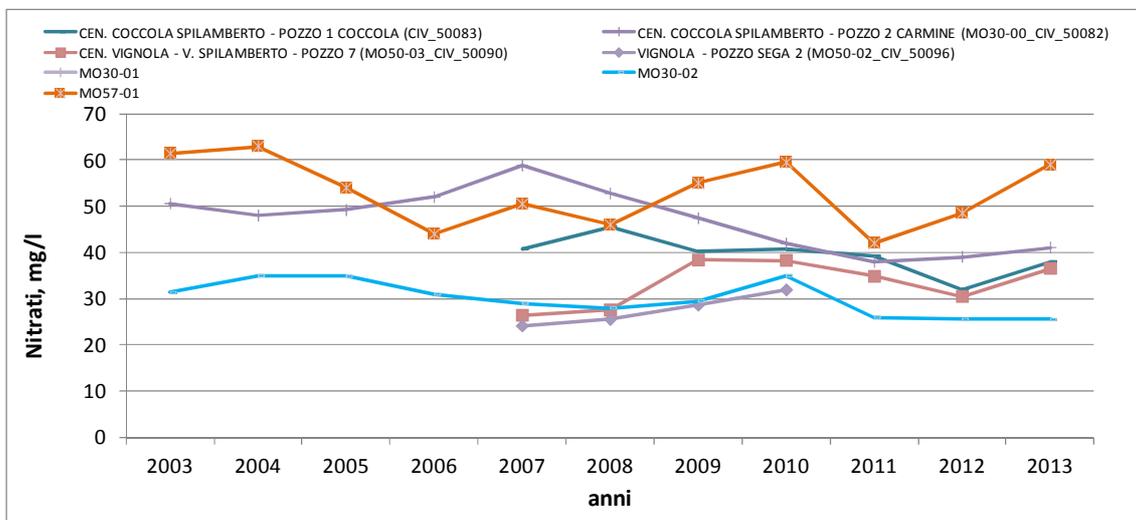


Figura 3.48: andamento della concentrazione dei nitrati nel tempo nei pozzi situati lungo la Sezione "Sinistra Panaro".



Per gli acquiferi appartenenti al corpo idrico Panaro - confinato superiore sono disponibili 20 pozzi di cui: 9 della RRM, 1 RRM&Gestore e 10 dei Gestori (HERA e SORGEA). La buona distribuzione dei punti di controllo permette di osservare una situazione caratterizzata da concentrazioni di nitrati inferiori al limite di legge ad eccezione dell'area del pozzo MO77-01, dove si osservano valori di oltre 70 mg/l, con trend in aumento nel 2013.

Da uno sguardo d'insieme del corpo idrico, si riesce ad osservare una diminuzione delle concentrazioni di nitrati spostandosi da monte verso valle con valori che passano dai 32-40 mg/l in corrispondenza della fascia di pozzi compresa fra il MO23-02 ed il MO66-00, ai 20-30 mg/l nella porzione centrale, fino a scendere in corrispondenza della fascia lungo il bordo meridionale del corpo idrico a 15 mg/l e sotto i 10 mg/l via via che ci si sposta verso valle. Alcuni approfondimenti possono essere fatti in prossimità dei campi pozzi di Castelfranco Emilia (Figura 3.49 e Figura 3.51) e di Manzolino (Figura 3.50 e Figura 3.52).

Figura 3.49: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella Sezione "Sorgea-Castelfranco" (traccia in Figura 3.44). Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m.

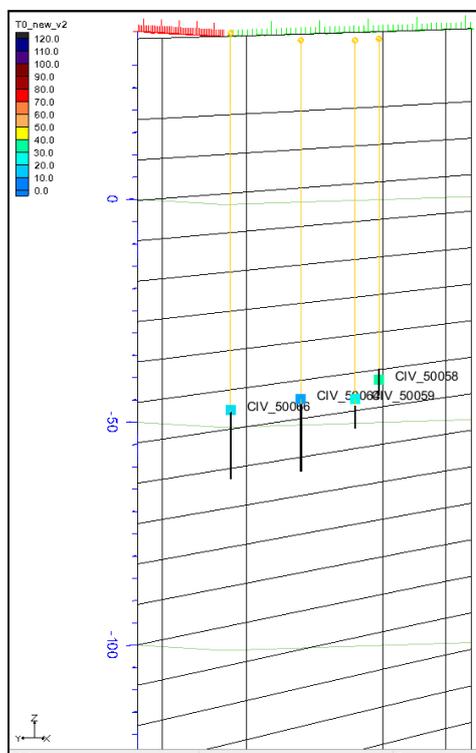
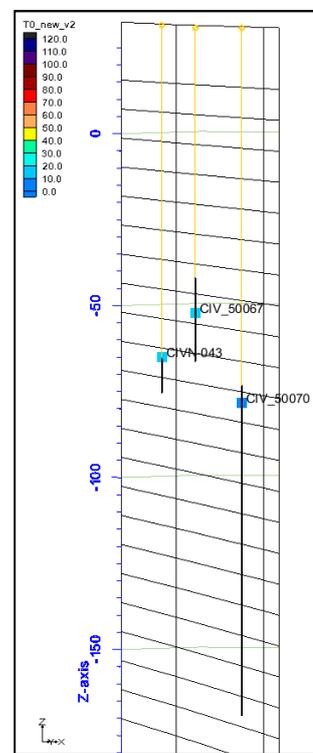


Figura 3.50: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella sezione "Manzolino" (traccia in Figura 3.44). Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m.



Per gli acquiferi appartenenti al corpo idrico Panaro - confinato inferiore sono disponibili solo 2 pozzi di cui 1 della RRM e 1 del Gestore (HERA) che non permettono di dare rappresentatività a tutto il corpo idrico in quanto localizzati alle estremità occidentale (pozzo Cen. S. Vito Spilamberto di HERA, CIVN-001, con valori da 25 mg/l a 55 mg/l nel periodo di osservazione) e orientale (BO11-00, disponibile solo un dato nel 2002 pari a 6 mg/l).

A completamento dell'analisi per la conoide del Panaro si riporta una visione di insieme dei pozzi appartenenti a corpi idrici differenti, ricadenti nella porzione occidentale della stessa e proiettati sulla sezione di Figura 3.53. Tali pozzi sono caratterizzati dagli andamenti dei nitrati riportati nella successiva Figura 3.54.

Figura 3.51: andamento della concentrazione dei nitrati nel tempo dei pozzi del campo pozzi Sorghea di Castelfranco Emilia.

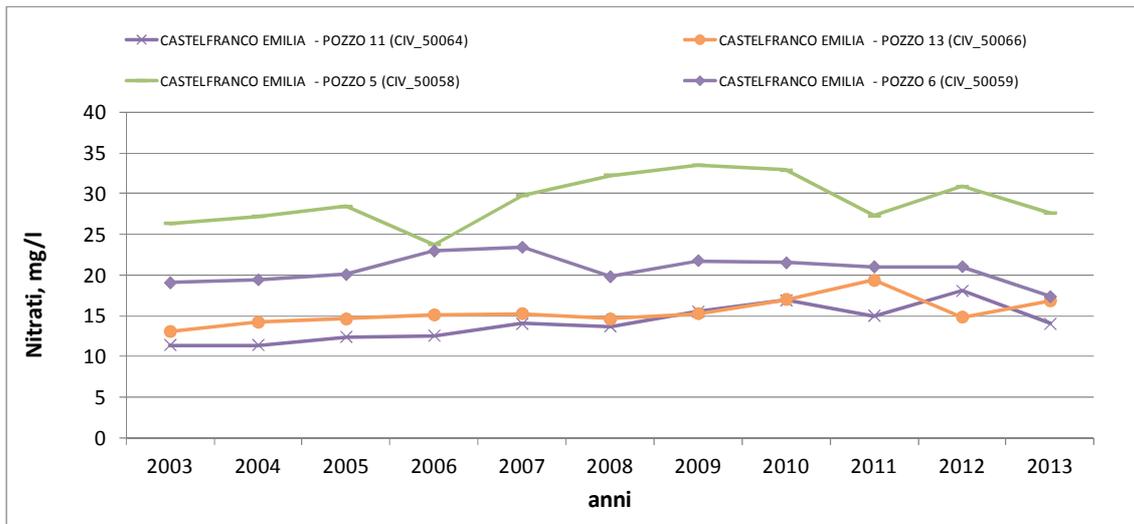


Figura 3.52: andamento della concentrazione dei nitrati nel tempo dei pozzi del campo pozzi Hera di Manzolino.

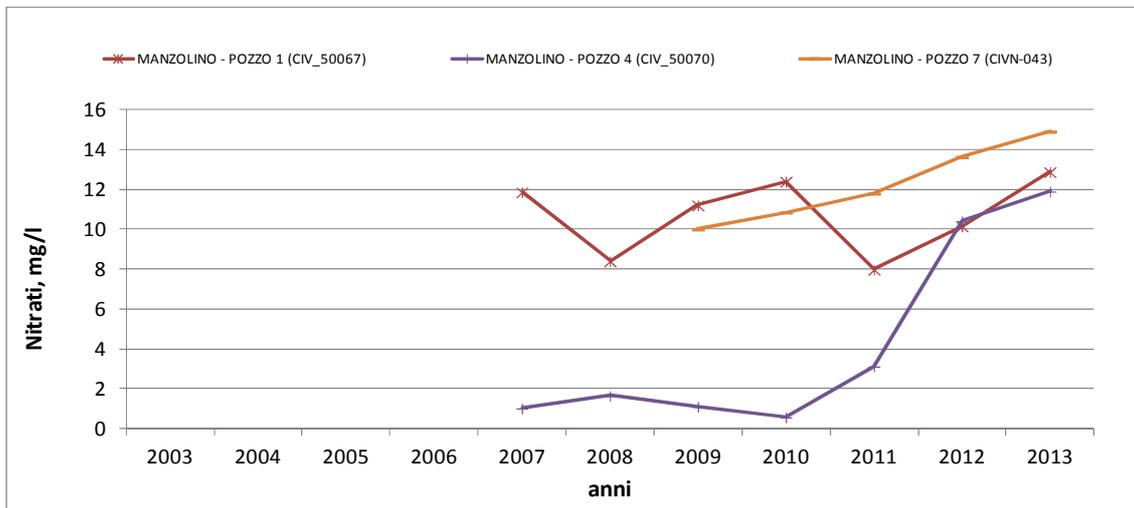


Figura 3.53: andamento in funzione della profondità della concentrazione dei nitrati nella Sezione "Panaro CSup Ovest" in sinistra Panaro al confine con la conoide del Tiepido (traccia in Figura 3.44) . Esagerazione verticale 15x, asse Z in m s.l.m.

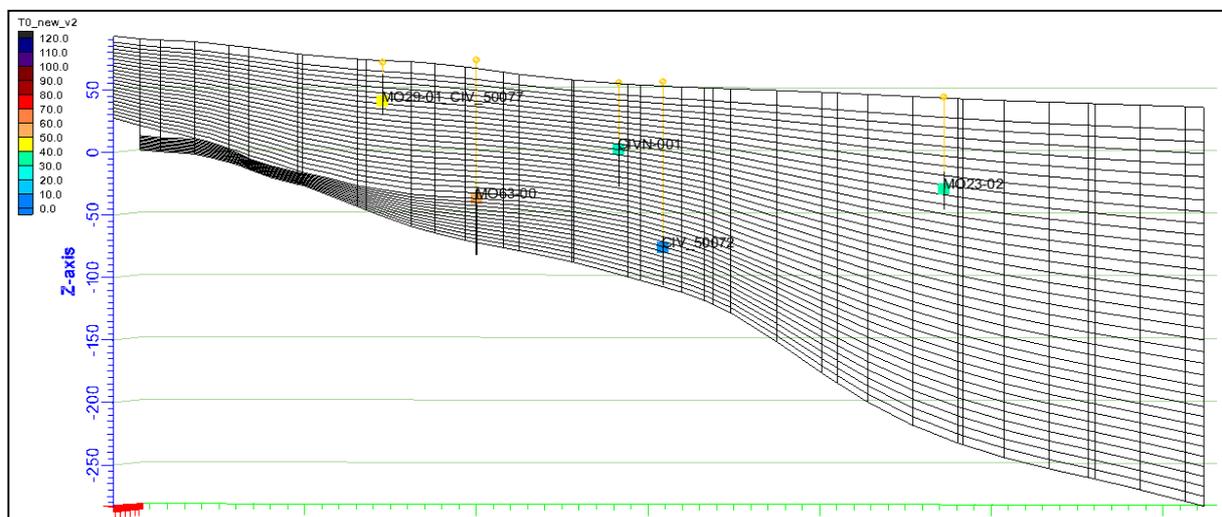
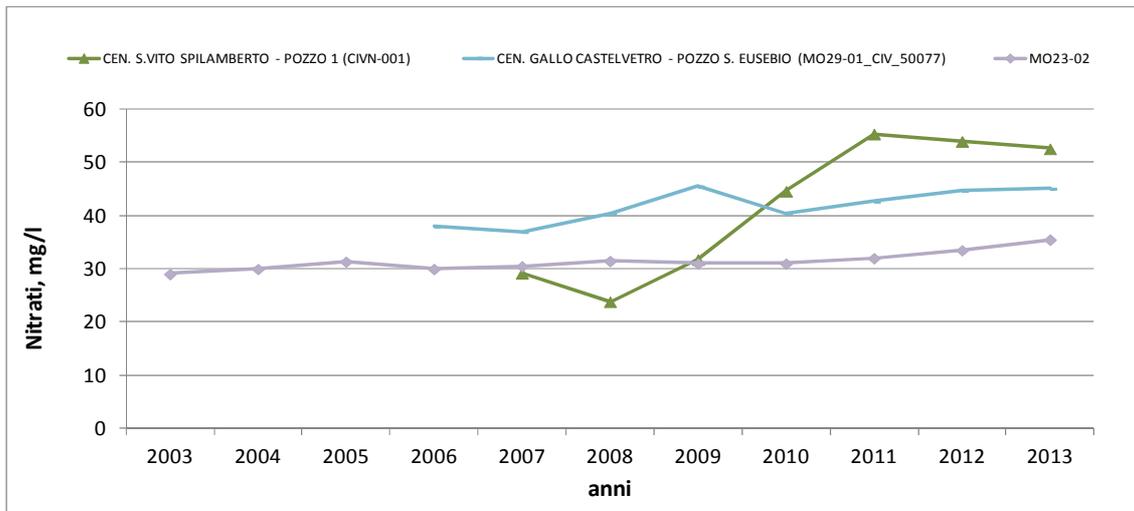


Figura 3.54: andamento della concentrazione dei nitrati nel tempo, nei pozzi situati lungo la Sezione "Panaro CSup Ovest".



3.5.4 Le altre conoidi ad est ed a ovest dell'area di studio

Conoide Tresinaro - libero: è disponibile un solo pozzo della RRM, il RE48-01, ubicato nella porzione nord-orientale con concentrazioni di nitrati dell'ordine dei 70 mg/l nel periodo 2002-2008, poi via via in diminuzione fino ai circa 30 mg/l nel 2010-2011, per poi diminuire ulteriormente fino ai 5 mg/l nel 2012-2013

Conoide Crostolo-Tresinaro - confinato superiore: sono disponibili 2 pozzi della RRM, il RE46-01 e il RE39-00, ubicati rispettivamente in sinistra idrografica del T. Tresinaro e fra il T. Crostolo ed il T. Tresinaro, con concentrazioni di nitrati molto contenute inferiori a 1 mg/l.

Conoide Samoggia - libero: è disponibile un solo pozzo della RRM, il BOE8-00, ubicato nella porzione apicale con concentrazioni di nitrati intorno ai 10 mg/l.

Conoide Samoggia - confinato inferiore: sono disponibili 2 pozzi della RRM, il BO18-00 ed il BO92-00, ubicati rispettivamente a Sud e a Nord. I due pozzi non dispongono di misure di nitrati negli ultimi anni per cui non può essere fatta una corretta valutazione sul triennio 2010-2012 come per gli altri corpi idrici, soprattutto per quanto riguarda il pozzo BO18-00, con pochi dati (solo 2002-2003 e 2009) molto variabili che passano da valori dai 37, ai 28 e poi ai 70 mg/l. L'altro pozzo (BO92-00) con dati dal 2002 al 2009 mostra concentrazioni di nitrati molto contenute inferiori a 1 mg/l.

3.5.5 I sistemi di pianura posti a nord dell'area di studio

Pianura alluvionale appenninica - confinato superiore: sono disponibili 8 pozzi della RRM, tutti con concentrazioni di nitrati basse mediamente inferiori a 1 mg/l

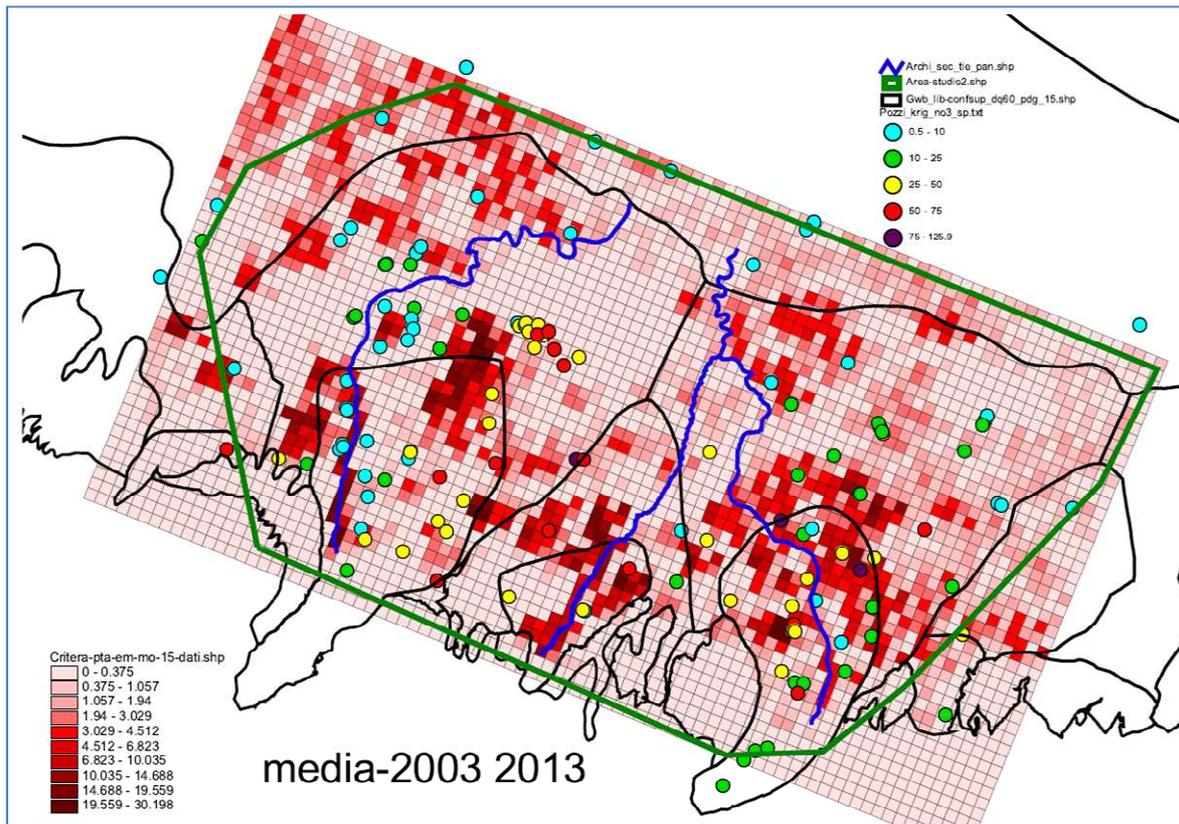
Pianura alluvionale - confinato inferiore: sono disponibili 3 pozzi, di cui 2 della RRM e 1 di AIMAG (CAMPOGALLIANO-POZZO 2), tutti con concentrazioni di nitrati basse mediamente inferiori a 1 mg/l per i pozzi RRM e inferiori a 6 mg/l per il pozzo AIMAG, quest'ultimo ubicato circa 17 km a OSO rispetto agli altri due pozzi, in una porzione del corpo idrico in oggetto più a monte

Freatico di pianura fluviale: sono disponibili 3 pozzi della RRM con concentrazioni di nitrati basse pari a 1 mg/l per il pozzo MO-F01-00 in destra Panaro, 8,5 mg/l per il pozzo MO-F02-00 in sinistra Secchia e 14 mg/l per il pozzo RE-F01-00 in corrispondenza del bordo occidentale di EM-MO-15.

3.6 Dati di ricarica zenitale di nitrati in ingresso al modello

Per la valutazione dei carichi di nitrati infiltrati in falda si è fatto riferimento alle risultanze riportate in [6] (DGR 1781/2015 - Aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento (carichi inquinanti, bilanci idrici e stato delle acque) ai fini del riesame dei Piani di Gestione Distrettuali 2015-2021. All. 1 - Carichi inquinanti puntuali e diffusi apportati ai suoli e alle acque superficiali e sotterranee.) dove l'elaborazione modellistica del bilancio dell'acqua e dell'azoto nel sistema suolo coltura (Criteria, Servizio Idro-Meteo-Clima di ARPAE) ha permesso la formulazione di una stima del'azoto in uscita dalla base del profilo di suolo simulato da Criteria e quindi di possibile alimentazione del sistema delle acque sotterranee direttamente collegato e posto più in profondità.

Figura 3.55: stima delle masse dei nitrati in ingresso al modello numerico, distribuzione spaziale, dato medio anni 2003-2013. Dati in ton NO_3 /anno.



I valori di carico di azoto disponibile da tale lavoro sono stati rielaborati e riadattati secondo le esigenze dettate dalla discretizzazione spazio-temporale del modello numerico in fase di implementazione. Si è resa quindi necessaria una rielaborazione spaziale a partire dalle celle chilometriche in uscita da Criteria con destinazione le celle di dimensioni pari a 500 m del modello numerico. Analogamente seguendo la variabile tempo il dato sintetizzato in [6] come dato medio annuo 2005-2012 è stato riassegnato ad ogni istante temporale del modello numerico partendo dalla distribuzione temporale dei dati di partenza in uscita da Criteria.

Si è fatto riferimento sempre a [6] per la stima dei dati di azoto in ingresso alle acque sotterranee attraverso l'alimentazione dei principali corsi d'acqua. Nelle figure che seguono è rappresentata l'analisi spazio temporale dei dati complessivi così ottenuti (infiltrazione da suolo e da corpo idrico superficiale).

Figura 3.56: stima delle masse dei nitrati in ingresso al modello numerico, distribuzione spaziale, dato medio anni 2003-2013, mesi da ottobre a marzo. Dati in ton NO₃.

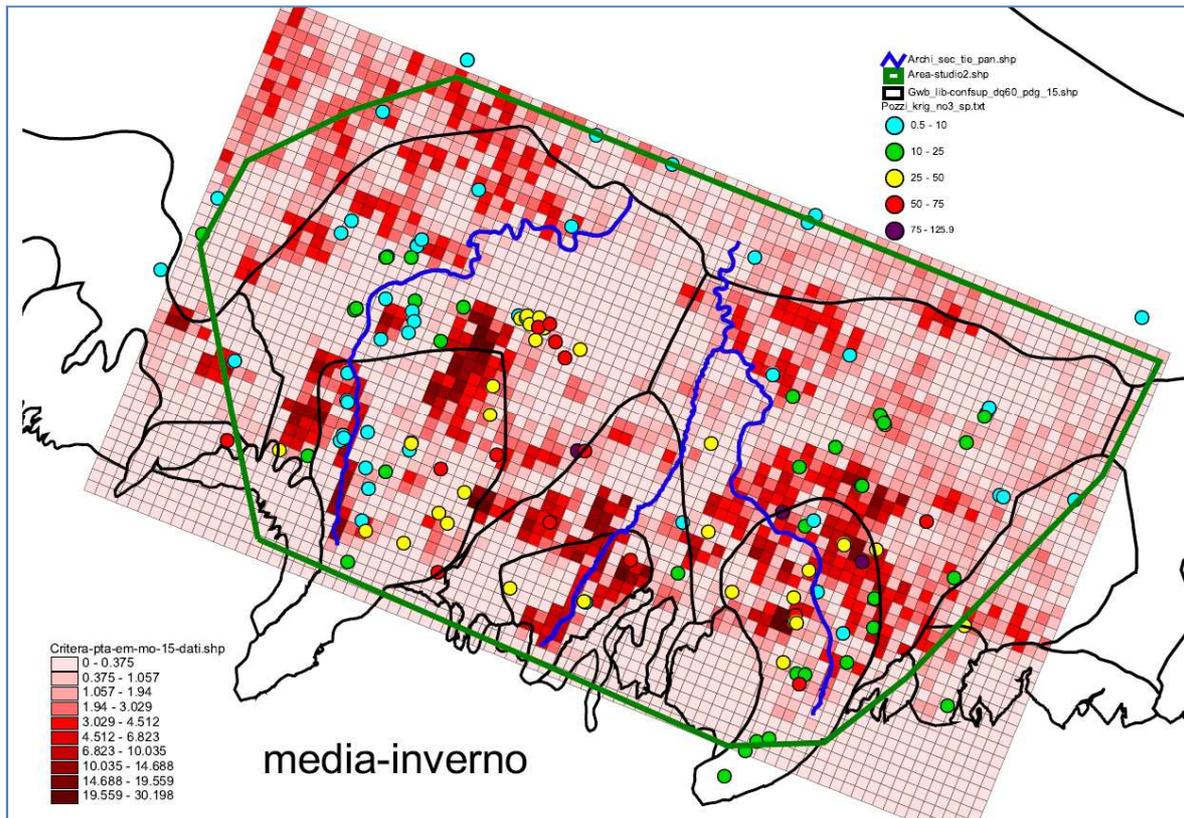


Figura 3.57: stima delle masse dei nitrati in ingresso al modello numerico, distribuzione spaziale, dato medio anni 2003-2013, mesi da aprile a settembre. Dati in ton NO₃.

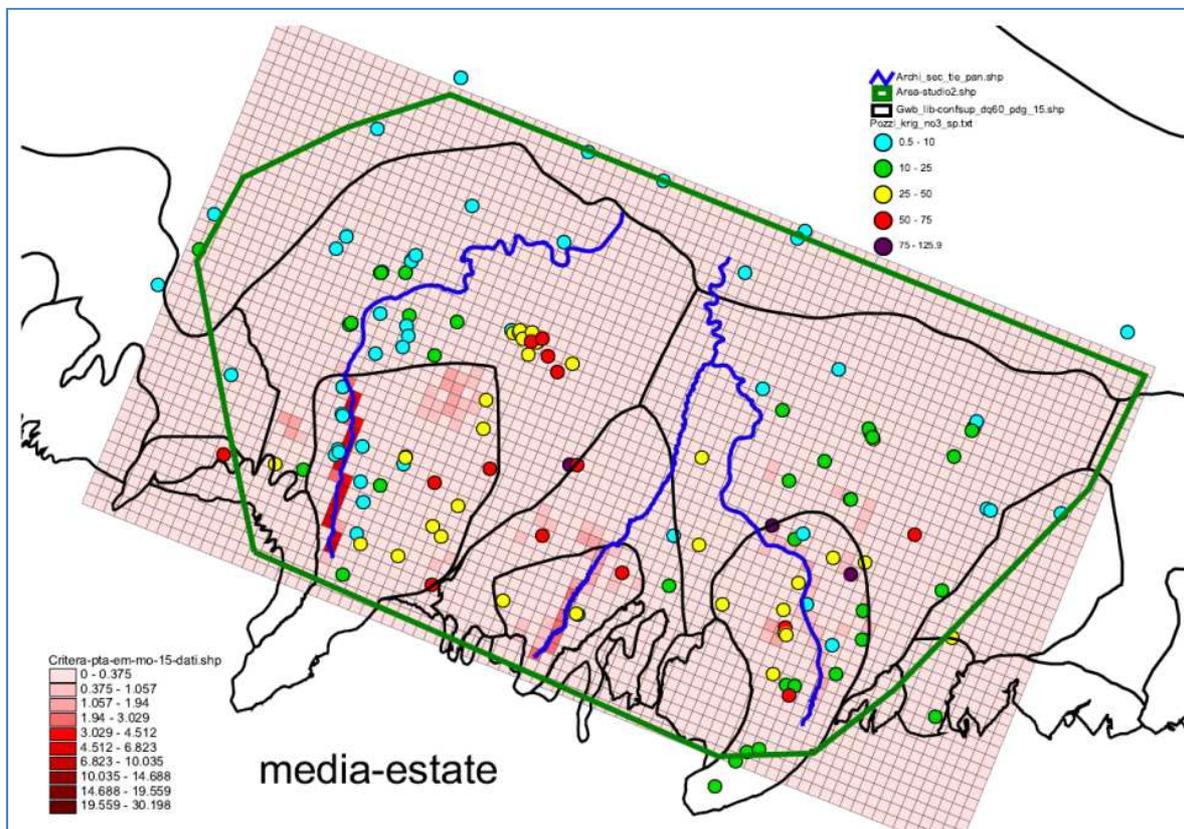


Figura 3.58: stima delle masse dei nitrati in ingresso al modello numerico, analisi temporale. Dato aggregato per corpo idrico. Dati in ton NO₃

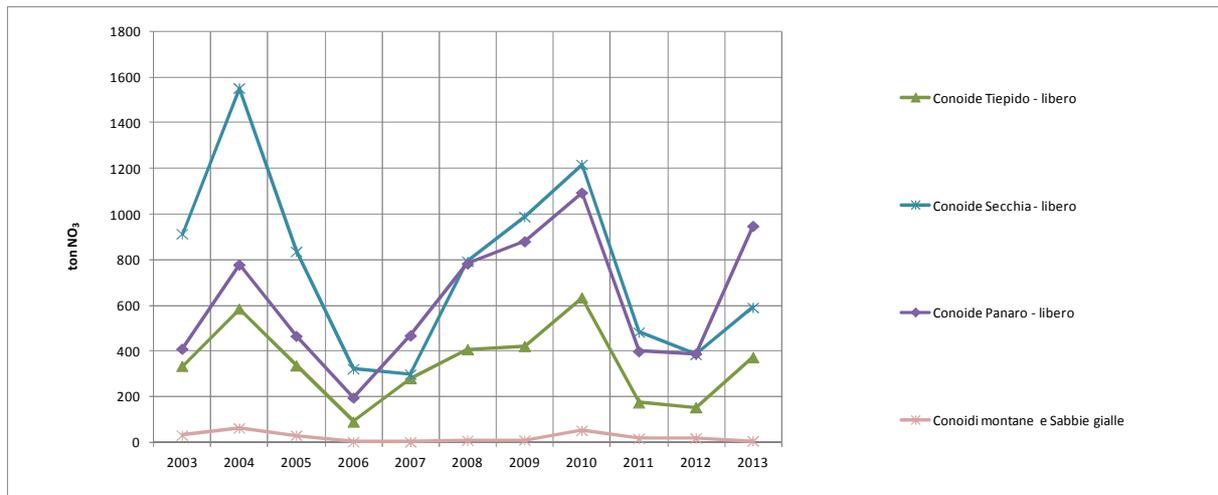


Figura 3.59: acqua in ingresso e relativa stima delle concentrazione dei nitrati in ingresso al modello numerico, analisi temporale. Dato aggregato per corpo idrico.



La mappa di Figura 3.55 evidenzia le zone di maggior carico di azoto in ingresso al sistema. Le rimanenti figure da Figura 3.56 a Figura 3.59 evidenziano il fatto che il carico di nitrato in ingresso ha la forte variabilità sia stagionale, con una netta prevalenza dei mesi invernali rispetto a quelli estivi, sia

in relazione ad un anno piovoso o secco con una netta prevalenza degli ingressi di nitrati nel primo caso rispetto al secondo.

3.7 Parametrizzazione del modello di trasporto

La modellistica adottata per il trasporto di nitrati prevede la risoluzione della classica equazione convezione-dispersione così come trattata all'interno del codice di calcolo MT3DMS documentato in [5] (Chunmiao Zheng, P. Patrick Wang (1999). MT3DMS A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide.). L'equazione del trasporto viene applicata al campo di moto dell'acqua generato dalla modellistica del flusso (Modflow) e, nelle ipotesi adottate di assenza di reazione chimica e di fenomeni di interazione con la matrice, prevede l'assegnazione e quindi la regolazione di due parametri: la porosità, da intendersi come porosità efficace, e la dispersività. La scelta dei valori di riferimento per tali parametri è stata effettuata come di seguito descritto.

3.7.1 Porosità

I valori di riferimento per le porosità sono quelli riportati nella Tabella 3.7 aggregati per valori minimi/massimi in funzione della categoria litologica di appartenenza. Come anticipato, il modello di trasporto prevede l'attribuzione di un solo valore di porosità per ciascuna cella del modello. Tale valore coincide con la porosità efficace già parte della implementazione modellistica del flusso.

Tabella 3.7: valori di porosità adottati

Litologia	Porosità (Valore minimo)	Porosità (valore massimo)
ghiaia	0.16	0.2
sabbia grossolana	0.27	0.32
sabbia fine	0.2	0.29
limo	0.1	0.19
argilla	0.04	0.065

3.7.2 Dispersività

Per dispersione (idrodinamica) si intende la possibilità di una sostanza di distribuirsi all'interno dell'acquifero su di una regione più ampia rispetto a quella che occuperebbe semplicemente muovendosi alla velocità media dell'acqua. La dispersione si compone di due fattori:

1. la dispersione meccanica dovuta alla reale velocità di movimento dell'acqua all'interno dei pori rispetto alla velocità media dell'acqua nell'acquifero; a scala microscopica (di laboratorio) dipende dalla dimensione dei pori e dalla tortuosità che determinano una distribuzione di velocità tra i diversi pori costituenti il mezzo poroso (Figura 3.60). A scala macroscopica (di campo) la dispersione è da attribuirsi alla eterogeneità dei valori di conducibilità e di porosità efficace (Figura 3.61).
2. la diffusione molecolare dovuta alle differenze di concentrazione.

In generale la dispersione idrodinamica D_i viene definita da:

$$D_i = \alpha v + D$$

Dove:

α è la dispersività meccanica

v è la velocità dell'acqua all'interno dei pori

D è il coefficiente di diffusione molecolare.

Figura 3.60: dispersione a scala microscopica: meccanismi che determinano la distribuzione di velocità all'interno dei pori

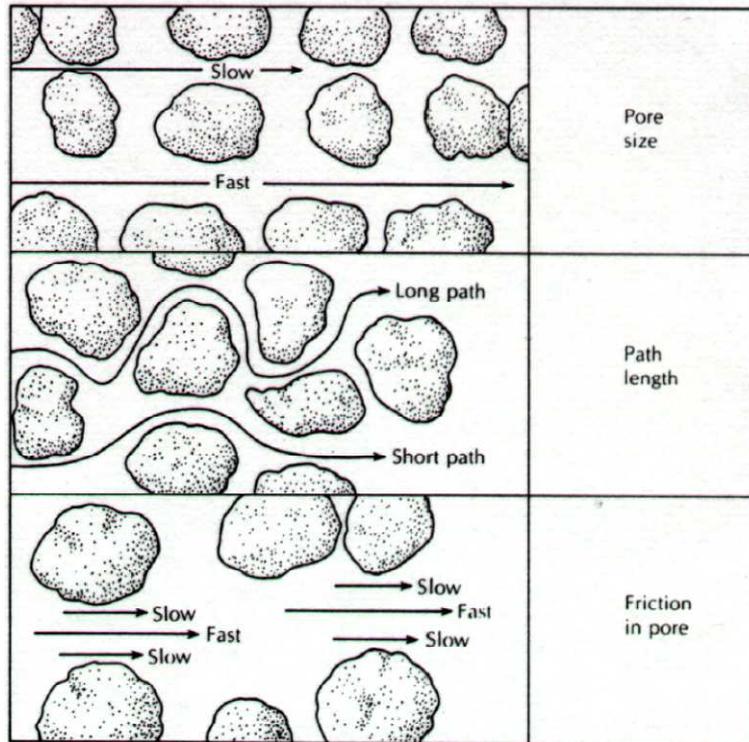
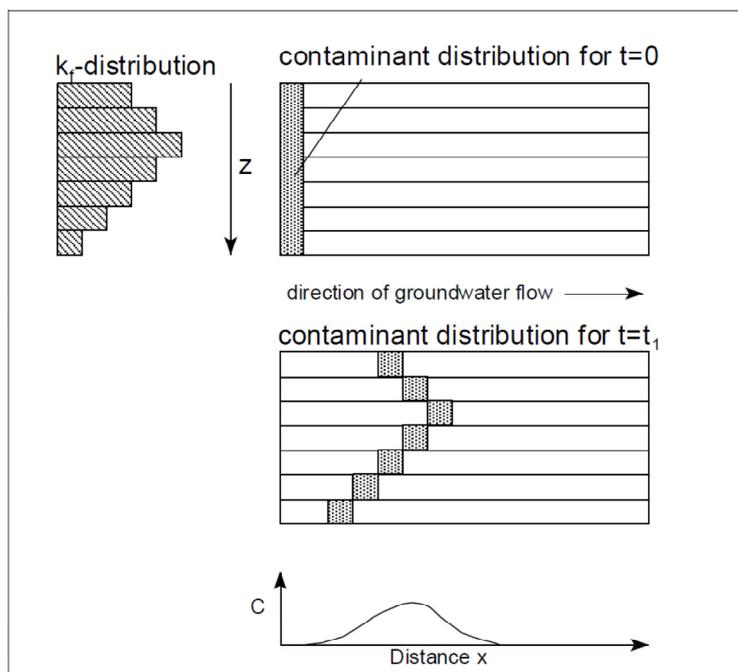


Figura 3.61: dispersione a scala macroscopica: dovuta alle eterogeneità nei valori delle conducibilità idrauliche

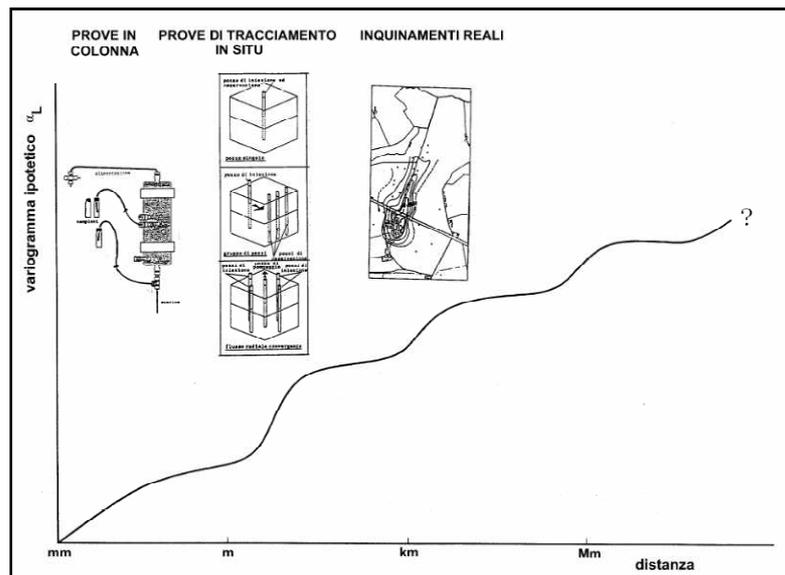


La dispersività è una proprietà del mezzo poroso ed è il parametro che all'interno della equazione del trasporto governa la dispersione di una sostanza all'interno di un mezzo poroso (acquifero).

Per avere una idea delle grandezze in gioco si deve tener presente che:

- generalmente la dispersività meccanica assume valori di diversi ordini di grandezza superiori rispetto alla diffusione molecolare ($\alpha \gg D$);
- la dispersione meccanica è un processo anisotropo assumendo valori diversi in funzione della direzione del moto. Si parla quindi di dispersività longitudinale α_L , trasversale α_T e verticale α_v . Le dispersività variano per ordini di grandezza nelle tre direzioni principali: generalmente $\alpha_L/\alpha_T \approx 10$ e $\alpha_L/\alpha_v \approx 100$;
- esiste un effetto scala nella determinazione sperimentale della misura della dispersività. I valori derivanti dalle prove di laboratorio, dalle prove con traccianti o riferiti agli inquinamenti reali assumono valori via via crescenti (Figura 3.62). Ciò ha una importante ricaduta sulla modellazione del trasporto dei nitrati oggetto del presente lavoro in quanto non risultano disponibili misure dirette utilizzabili. I dati disponibili possono essere utilizzati per orientare le scelte nel processo di up-scaling necessario per la definizione del parametro dispersività da inserire all'interno del modello.

Figura 3.62: effetto scala nella determinazione della dispersività



In [9] (Gelhar L.W., Welty C., Rehfeldt K.R. (1992). *A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers*. Water Resources Research vol. 28, no. 7, pp 1955-1974) viene effettuata una analisi dei dati sperimentali disponibili dalla bibliografia, sia nel loro insieme (Figura 3.63), sia in funzione della possibile affidabilità delle misurazioni effettuate (Figura 3.64), cercando così di stabilire un legame tra la scala della misurazione e la dispersività longitudinale in funzione delle caratteristiche geologiche del mezzo.

Figura 3.63: effetto scala nella dispersività longitudinale: valori sperimentali in funzione della distanza di migrazione in funzione del tipo di acquifero e del tipo di misurazione.

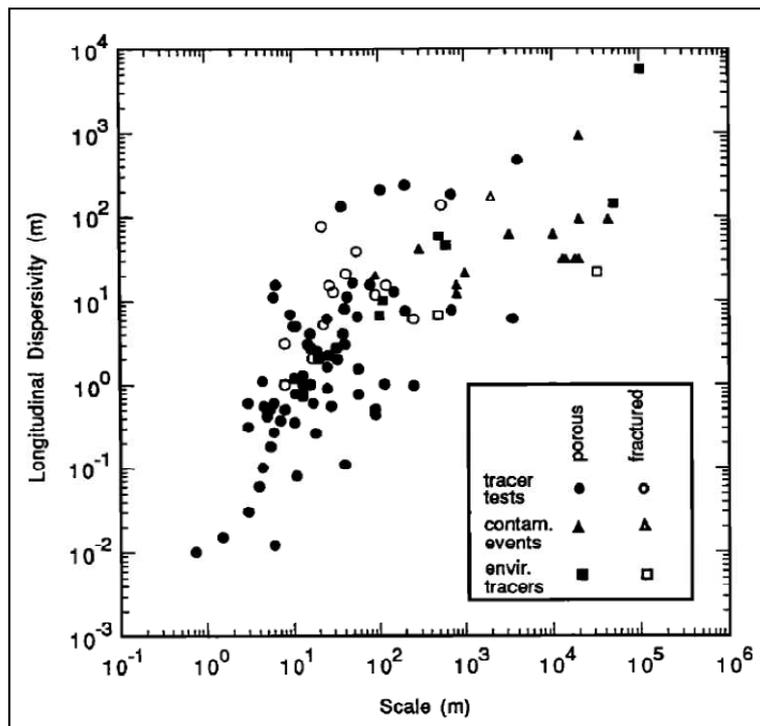
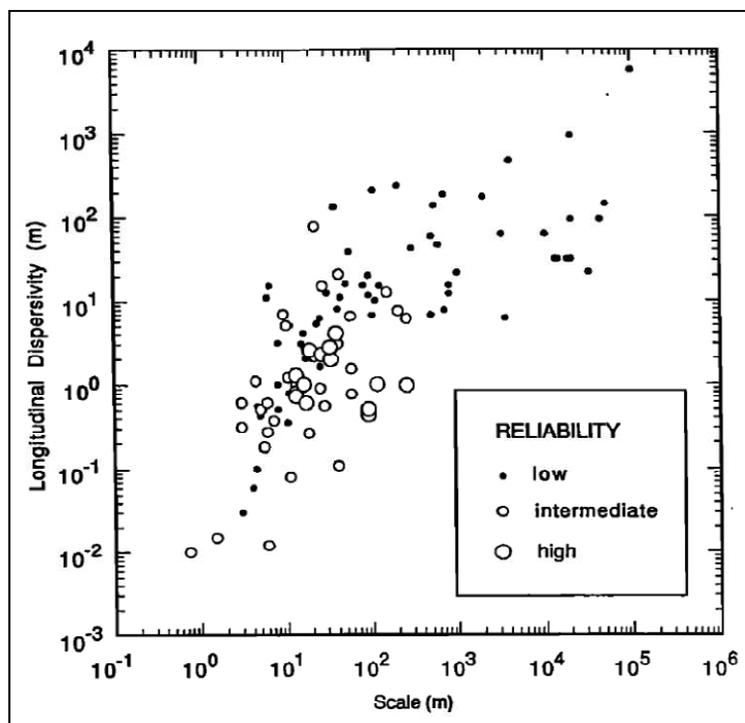


Figura 3.64: effetto scala nella dispersività longitudinale: valori sperimentali in funzione della distanza di migrazione in funzione del grado di affidabilità della misurazione.



In [15] (Schulze-Makuch D. (2005). *Longitudinal Dispersivity Data and Implications for Scaling Behavior*. Ground Water, vol. 43, no. 3, pp 443-456) viene proposta la seguente correlazione empirica di potenza come possibile correlazione dei dati sperimentali:

$$\alpha = c(L)^m$$

Dove i parametri c e m sono riportati per i diversi tipi di acquifero (sedimenti inconsolidati e rocce consolidate) ed in funzione dell'affidabilità della prova sperimentale. In Tabella 3.8 sono riportati valori dei coefficienti da inserire nella relazione di potenza desumibili dai dati sperimentali per gli acquiferi inconsolidati.

Tabella 3.8: analisi dell'effetto scala nei valori di dispersività: parametri da inserire nella relazione di potenza secondo [15].

Table 2 Scaling Behavior of Longitudinal Dispersivity in Unconsolidated Sediments							
Type of Medium	N^1	n^2	Slope of Exponent, m	Regression coefficient ³	95% Confidence Interval about Mean	c^4	Upper Bound ⁵ (m)
Unconsolidated	156	62	0.81	0.77	0.11	0.085	none
(all reliabilities)	146	55	0.94	0.74	0.14	0.063	2000
Unconsolidated (reliabilities I and II only)	93	31	0.70	0.67	0.15	0.112	none or >1000
Unconsolidated (reliability I only)	32	10	0.44	0.71	0.15	0.20	none or >100

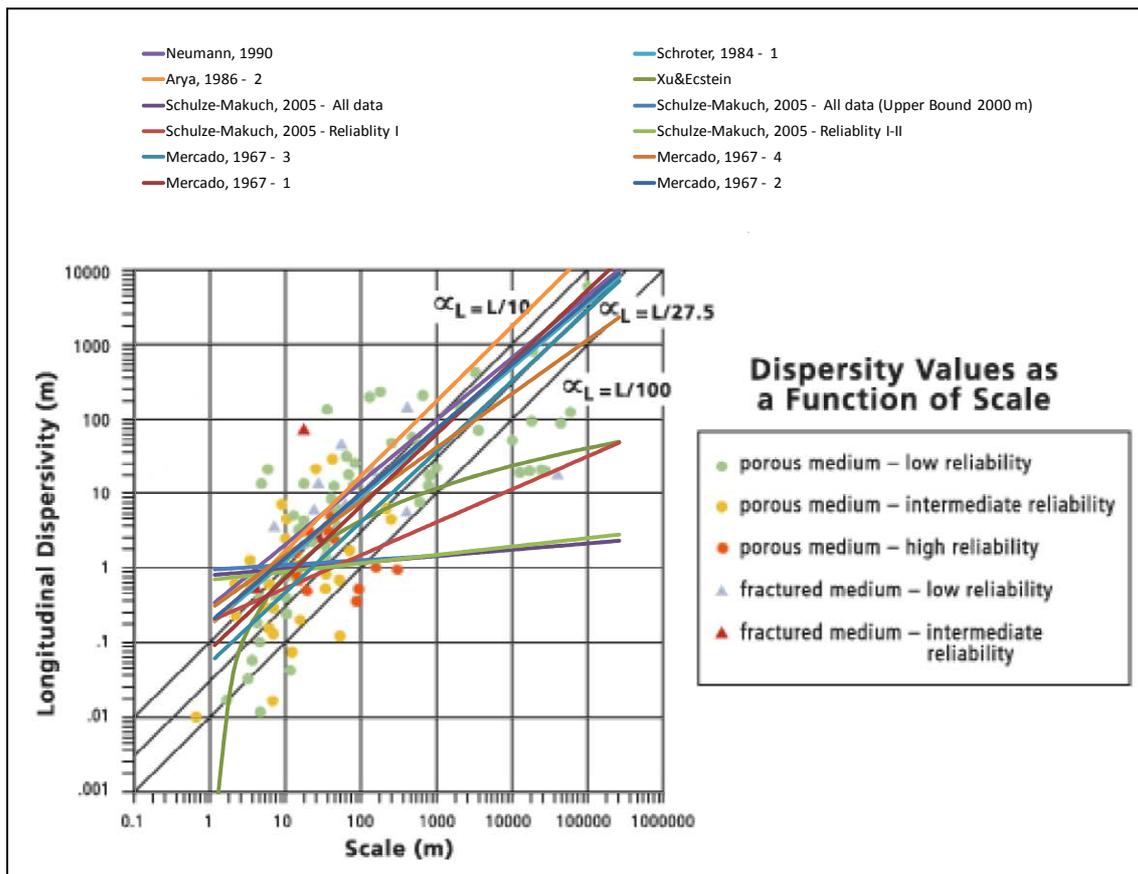
¹Number of single values of longitudinal dispersivity in specified type of geological medium.
²Number of different sources (authors).
³Regression coefficient of the relationship based on all single data points below the identified upper bound.
⁴Medium-characteristic parameter c (m).
⁵Upper bound of the relationship.
Note: Two interpretations are provided for unconsolidated sediments of all reliabilities. One with no upper bound, one with an upper bound. All large-scale values are of reliability III, thus not included in reliabilities I and II, and reliability I values only.

Altri autori ([11], [3]) hanno proposto altri valori per i parametri da inserire all'interno della relazione matematica di potenza e che vengono riportati nella Tabella 3.9 e graficati nella successiva Figura 3.65.

Tabella 3.9: analisi dell'effetto scala nei valori di dispersività parametri da inserire nella relazione di potenza secondo [11], [3] ed altri autori riportati in tabella.

c	L	m	referimenti bibliografici
0.085±0.016 0.199±0.046 0.057±0.014 0.29 0.10	L	0.96±0.6 0.86±0.08 0.94±0.08 0.72 1.00	[11], Mercado A. (1967) - <i>The spreading pattern of injected waters in a permeable stratified aquifer</i> . Symposium on Artificial recharge and management of aquifer, IAHS, publication No. 72, Haifa.
0.1	L	1.00	Lallemand-Barres A, Peaudcerf P, 1978
0.181	L	0.86	Schroter J. 1984
0.177	L	1.00	[3], Arya A., Hewett T.A., Larson R.G., Lake L.W. (1988). <i>Dispersion and Reservoir Heterogeneity</i> . SPE Reservoir Engineering.
0.83	Log L	2.414	Xu M., Eckstein Y., 1995

Figura 3.65: andamento delle correlazioni di potenza proposte dai diversi autori in sovrapposizione ai dati sperimentali disponibili



Sulla base degli elementi sopra esposti in Tabella 3.10 sono riportati i valori di dispersività longitudinale adottati come primo tentativo all'interno del modello. I valori sono stati attribuiti in base alle caratteristiche litologiche principali delle celle del modello numerico. Per i valori di dispersività trasversale e verticale sono stati utilizzati rispettivamente i rapporti 1/5 e 1/25 rispetto alla dispersività longitudinale.

Tabella 3.10: valori di dispersività longitudinale adottati

Litologia	Dispersività Longitudinale $\alpha_L(m)$
ghiaia	150
sabbia grossolana	100-112.5
sabbia fine	18.75-25
limo	5-7.5
argilla	1.25-2.5

3.8 Verifica della calibrazione del modello numerico di trasporto

Il processo di calibrazione del modello di trasporto si pone come obiettivo la ricostruzione degli andamenti delle concentrazioni di nitrati osservati sui punti di controllo adottati all'interno del modello numerico (paragrafo 3.3). La calibrazione del modello di trasporto è stata condotta operando sulle principali variabili che governano la distribuzione spazio temporale della concentrazione di nitrati all'interno del sistema e che sono:

1. il carico di nitrati in ingresso al sistema (paragrafo 3.6);
2. la distribuzione iniziale dei nitrati all'interno del sistema (paragrafo 3.4);
3. la parametrizzazione del modello numerico (dispersività) che regola le modalità di trasporto dei nitrati all'interno del sistema (paragrafo 3.7).

Nel classico confronto tra dati osservati e dati calcolati che definisce in sostanza la bontà della calibrazione ottenuta occorre però tener presente altri elementi che possono condizionare anch'essi il confronto:

1. in caso di pozzi multifiltro, la concentrazione di nitrati misurata risulta essere un mix secondo regole non note tra concentrazioni che possono essere anche diverse tra loro in caso di filtri molto ampi o addirittura riferibili ad acquiferi diversi. Su tale mix può incidere anche la condizione stagionale o periodica di alto/basso piezometrico (si veda a tal proposito l'esempio riportato in Figura 3.41);
2. nello stesso tempo al punto di controllo sul modello viene attribuita una posizione ben definita sulla verticale ed è su tale posizione che viene fatto il confronto. La scelta di tale posizione può seguire particolari criteri che sono stati ipotizzati nel precedente paragrafo 3.3.

Premesso ciò, nelle figure seguenti sono riportate alcune serie temporali riferite a punti di controllo utili alla valutazione della calibrazione del modello di trasporto ottenuta.

Figura 3.66: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo MO59-00

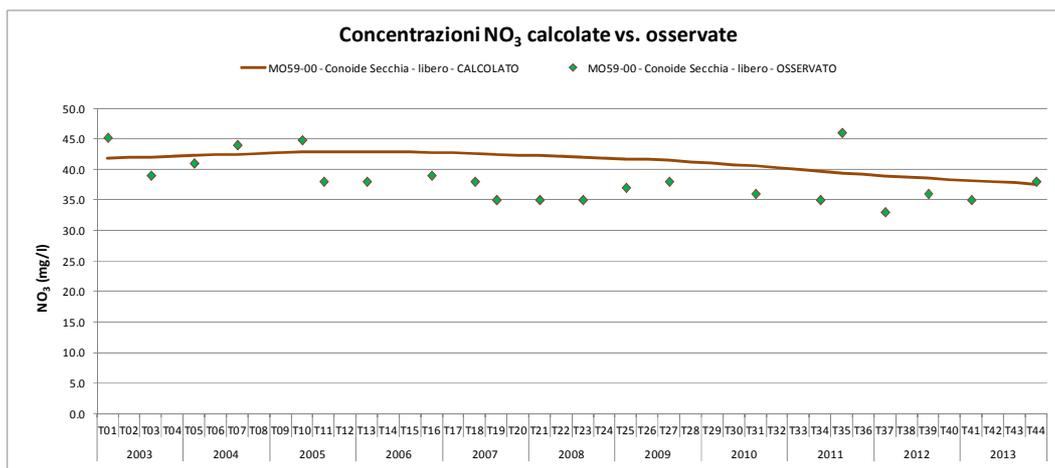


Figura 3.67: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50039

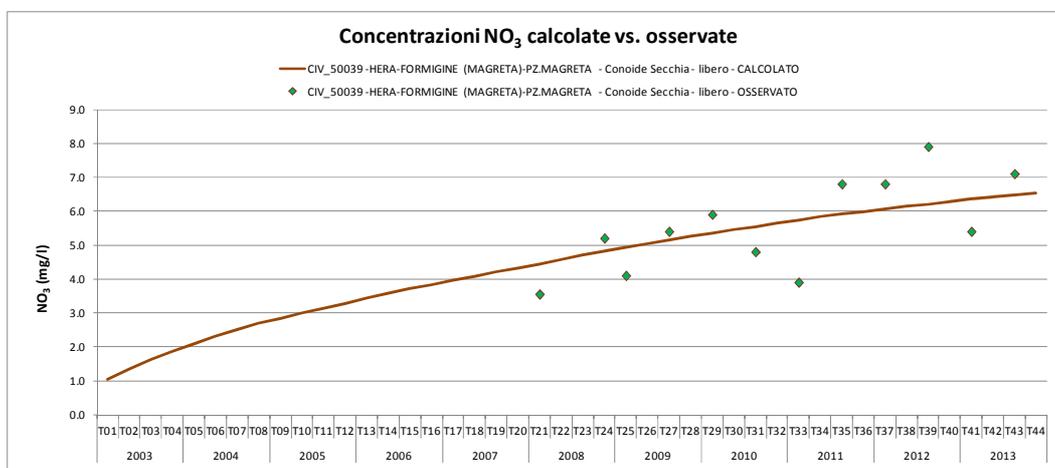


Figura 3.68: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50135

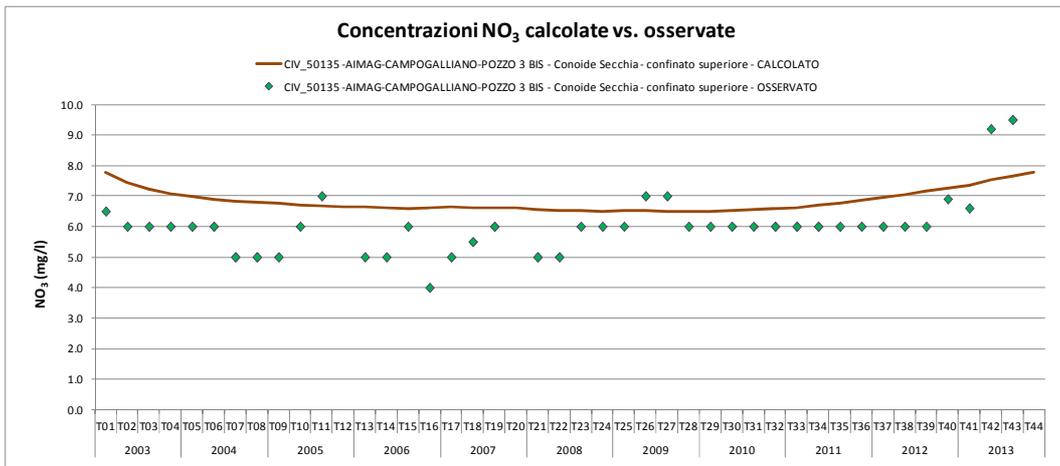


Figura 3.69: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50123

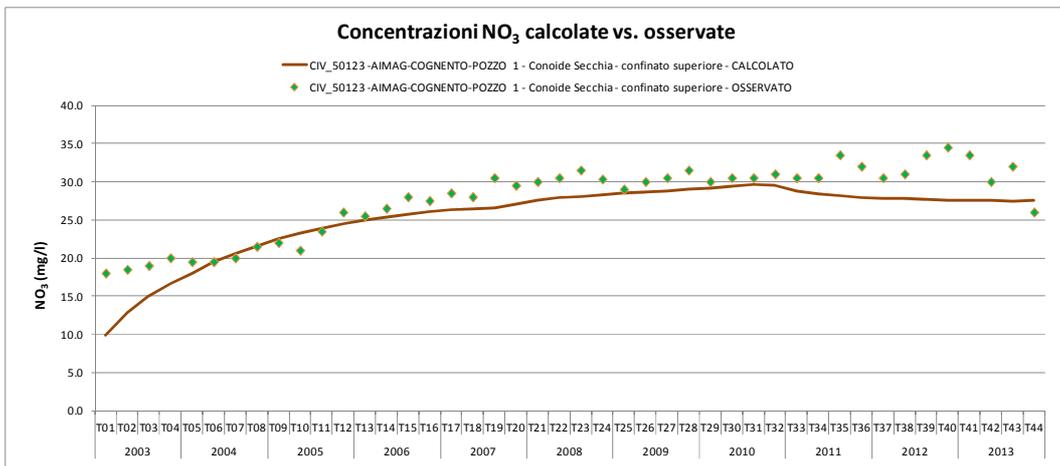


Figura 3.70: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIVN-038

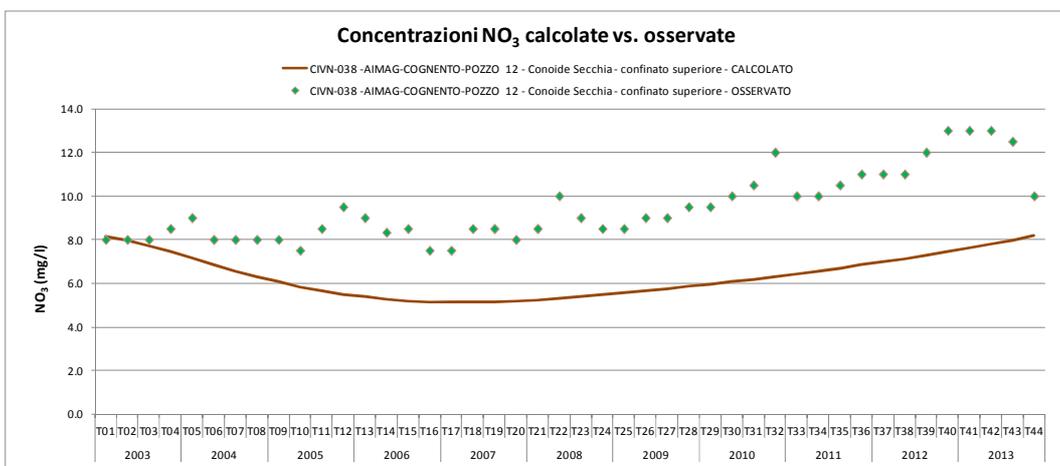


Figura 3.71: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50127

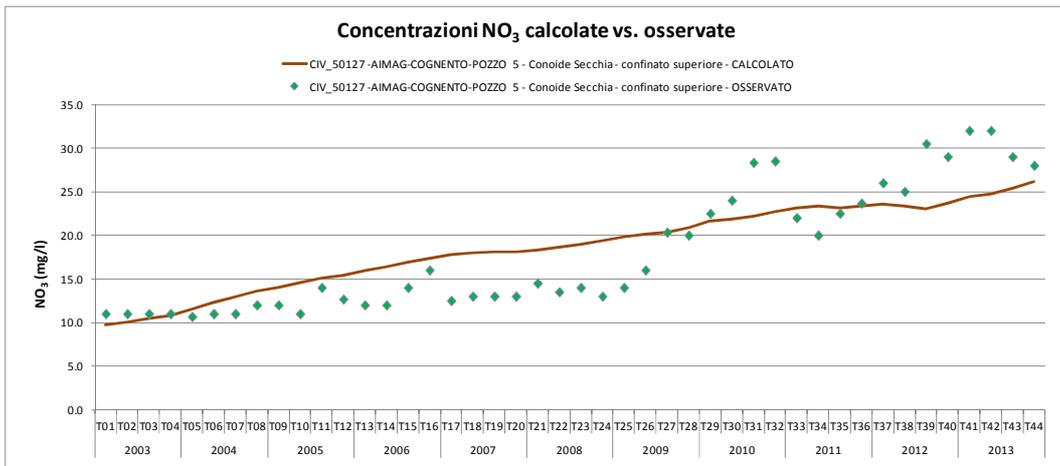


Figura 3.72: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50104

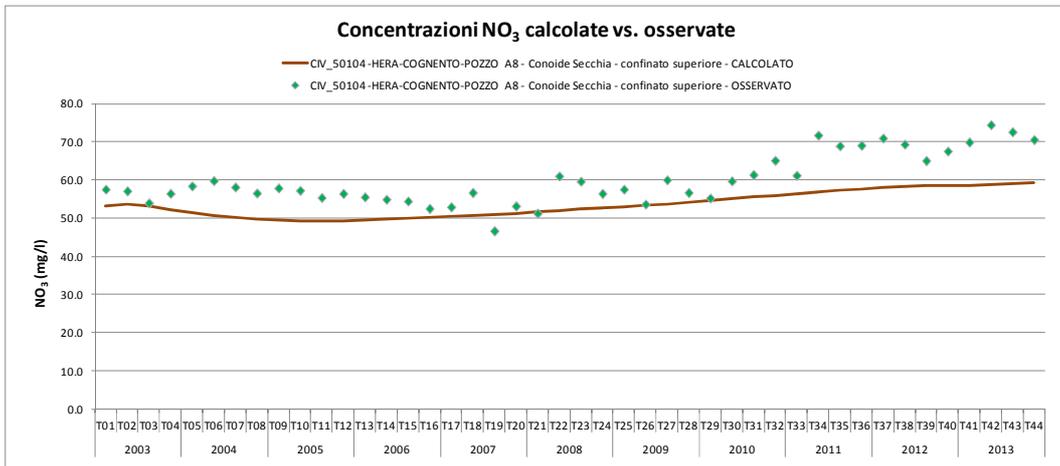


Figura 3.73: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50108

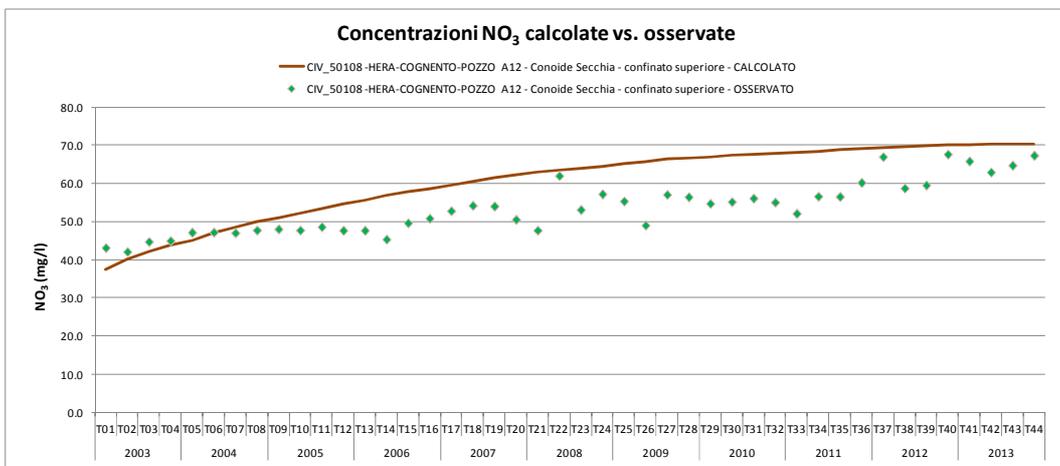


Figura 3.74: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50109

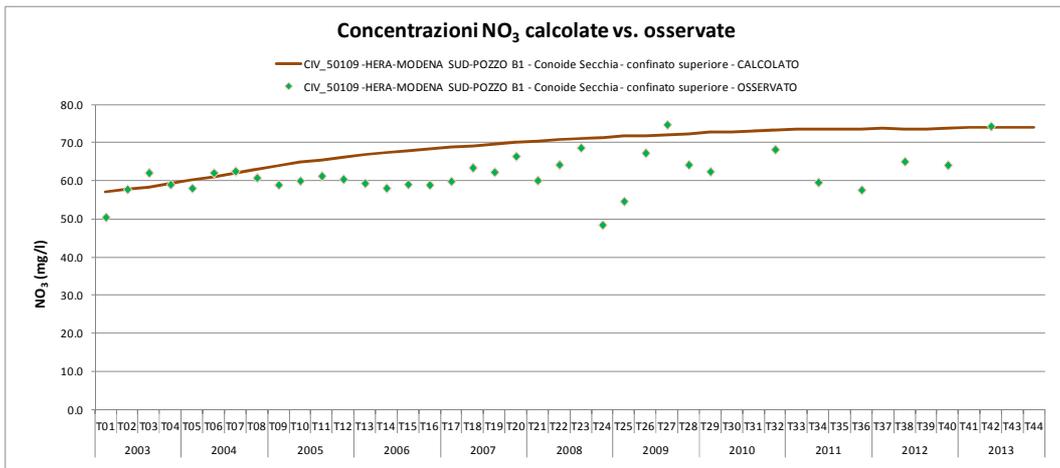


Figura 3.75: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIVN-006

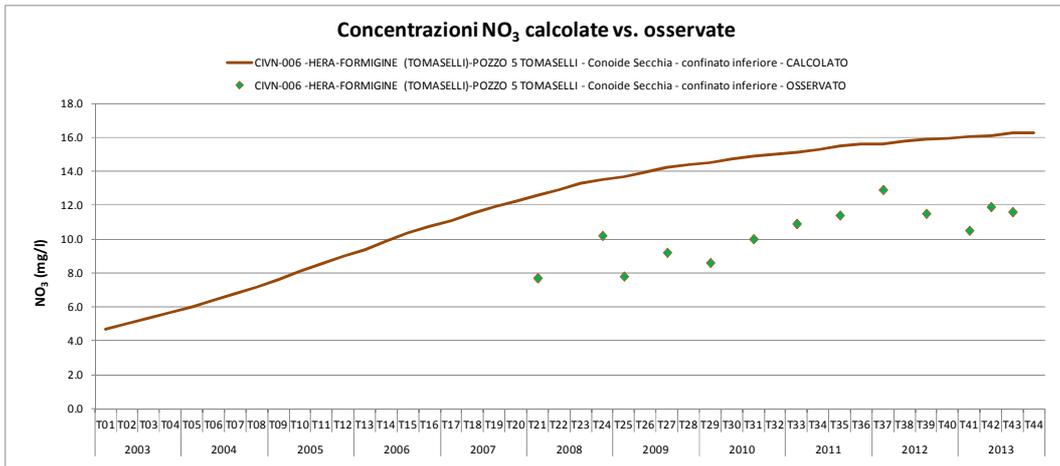


Figura 3.76: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo RE47-00

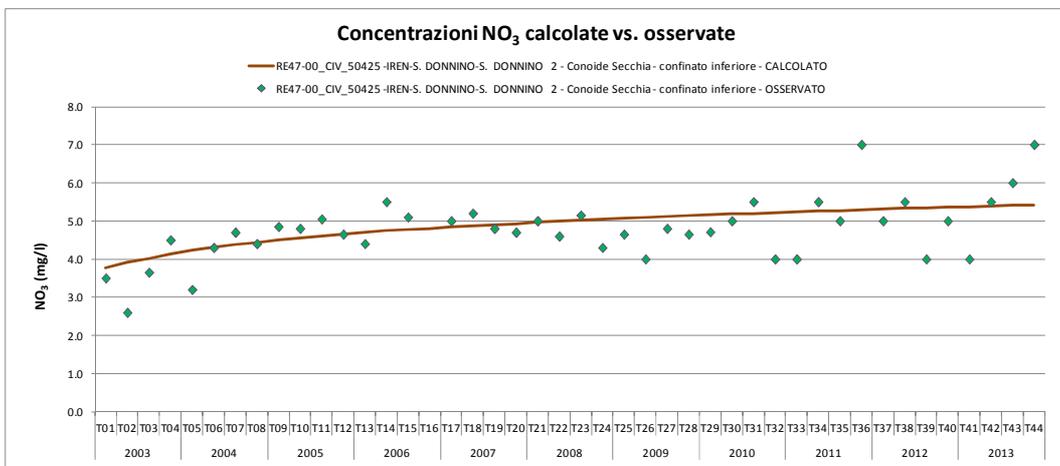


Figura 3.77: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo MO60-00

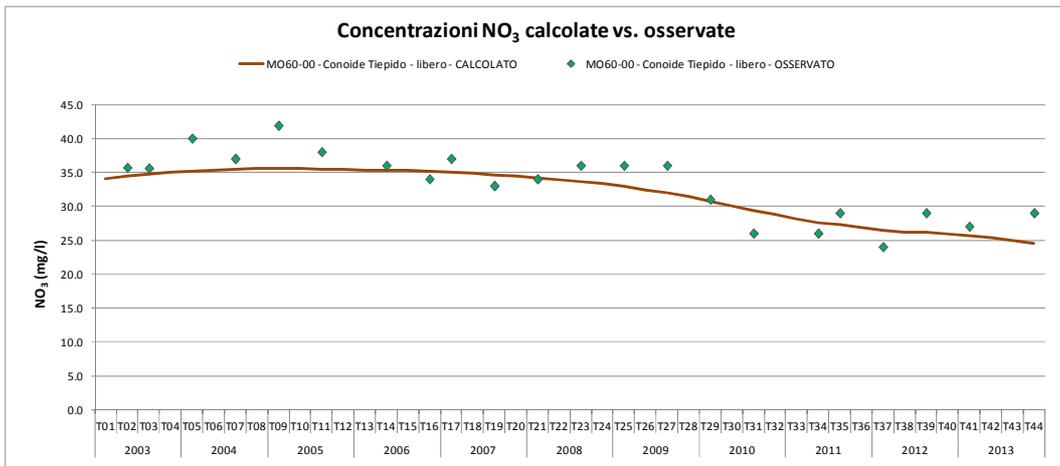


Figura 3.78: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo MO68-01

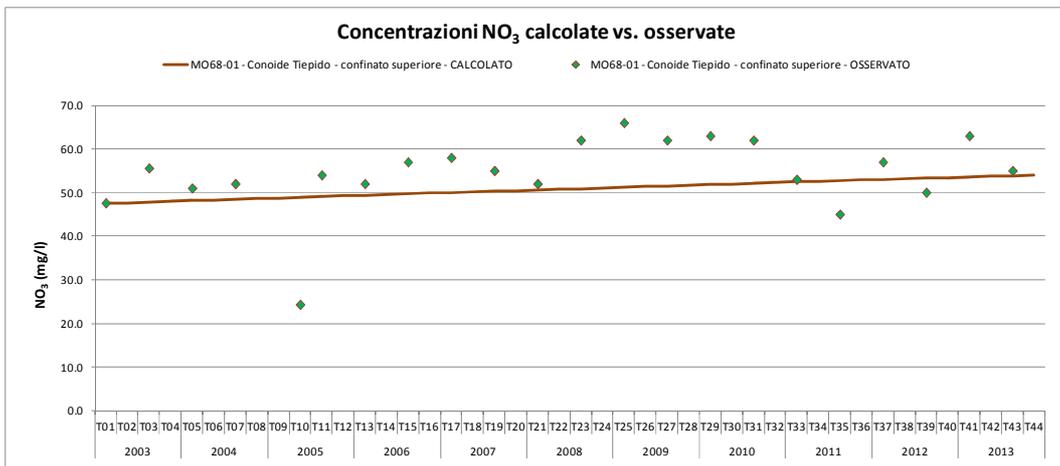


Figura 3.79: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo MO65-00

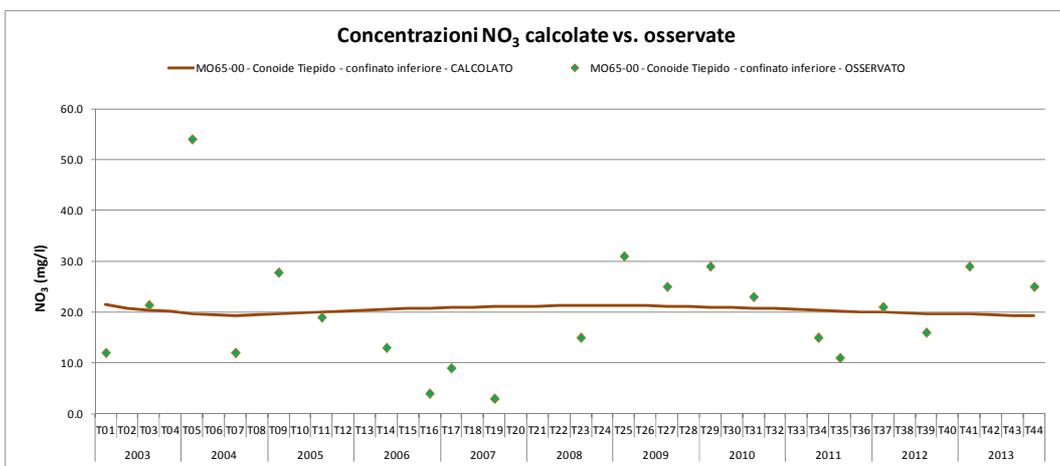


Figura 3.80: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_49919

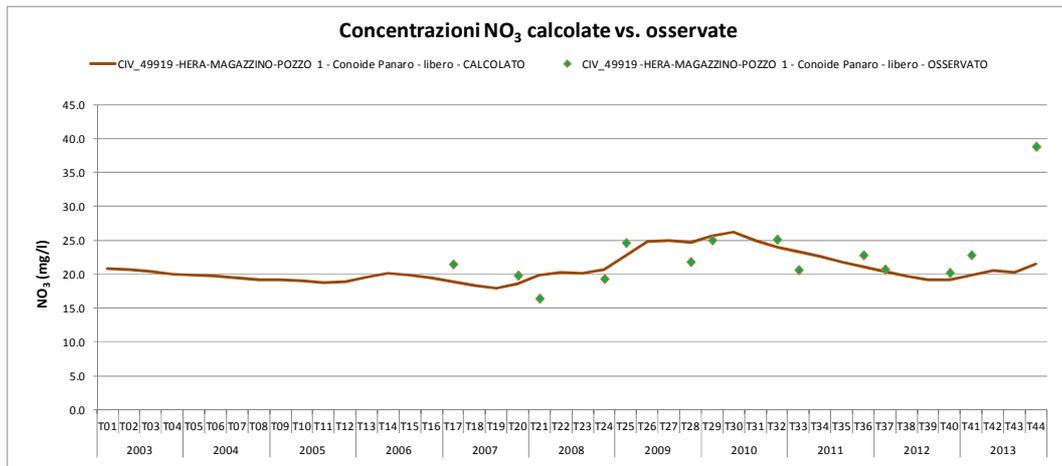


Figura 3.83: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIV_50066

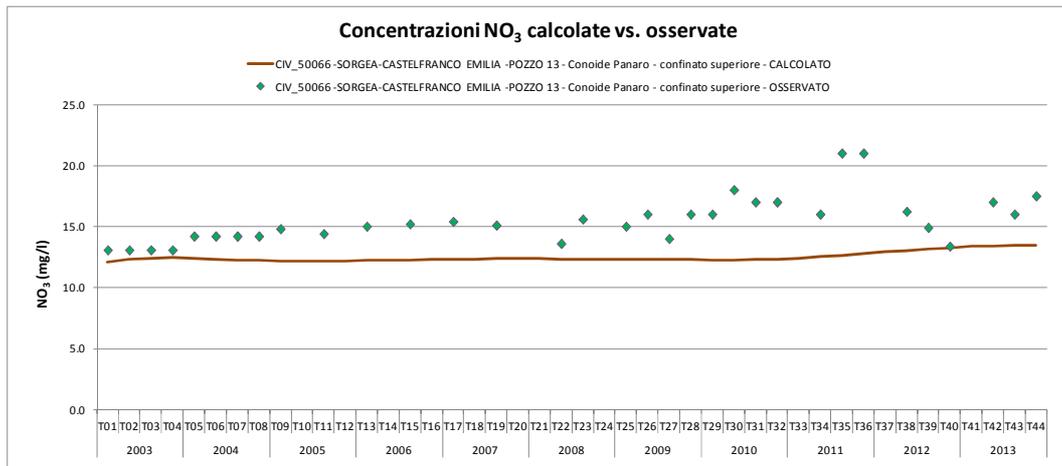


Figura 3.84: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo MO76-00

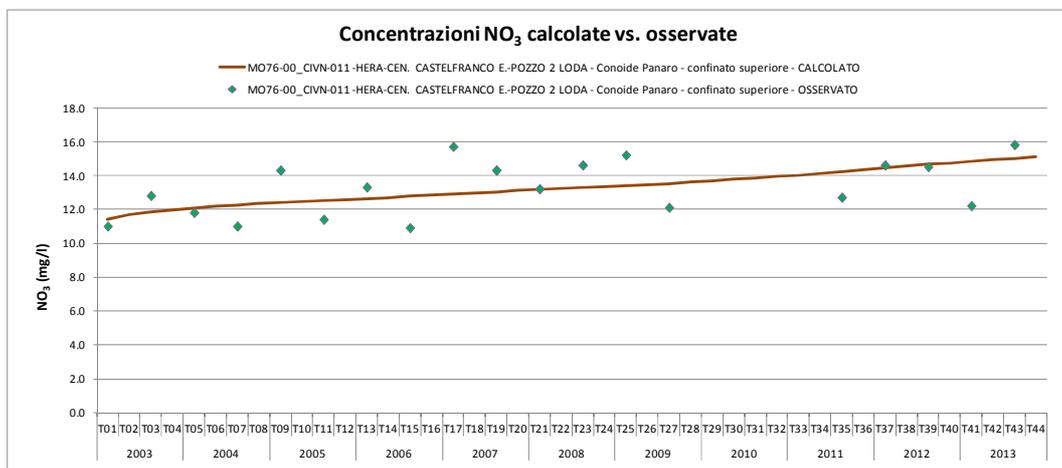


Figura 3.85: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo CIVN-001

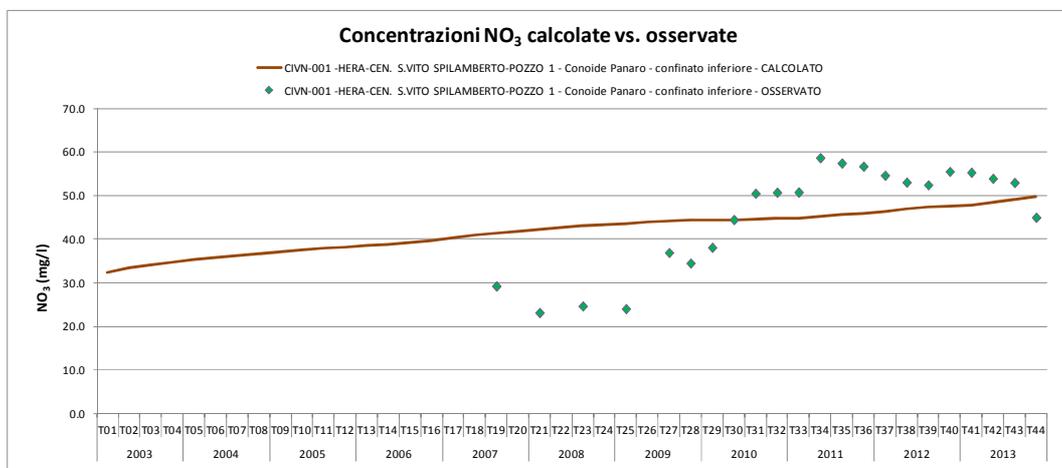


Figura 3.86: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo MO14-00

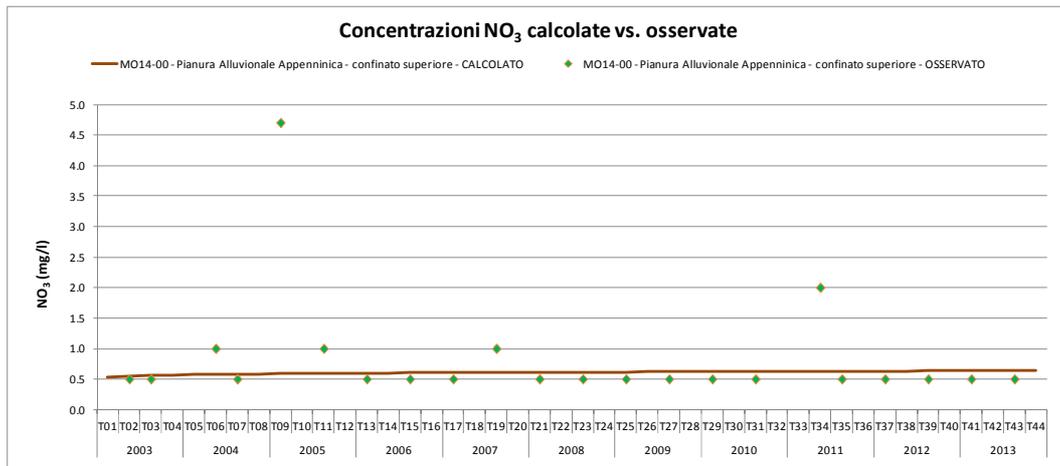
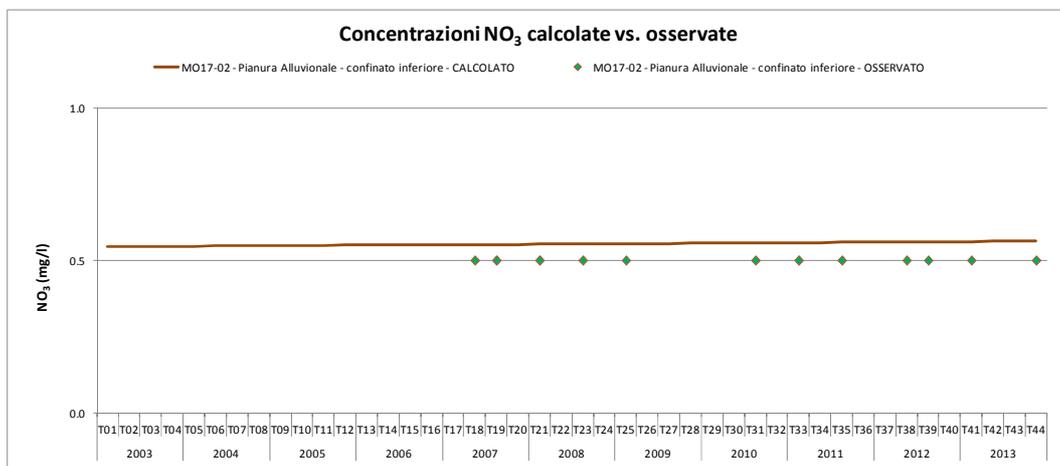


Figura 3.87: Confronto fra le concentrazioni di nitrati calcolate dal modello di trasporto e quelle osservate per il pozzo MO17-02



3.9 Il bilancio di massa di nitrati elaborato dal modello numerico

Il modello di trasporto permette di elaborare il bilancio di massa, in questo caso i nitrati, che è formato dalle seguenti voci:

- ingressi (SOURCE): rappresentano i nitrati in ingresso al sistema (paragrafo 3.6), espressi come massa risultante dai flussi di acqua in ingresso e dalle relative concentrazioni di nitrati imposte;
- uscite (SINKS): rappresentano le uscite dal modello, ovvero la massa di nitrato in uscita con i prelievi di acque sotterranee e dai bordi del modello;
- immagazzinamento di nitrati (net mass from fluid storage): analogamente al bilancio dell'acqua rappresentano le masse di nitrati che accompagnano le variazioni dell'immagazzinamento dell'acqua all'interno del sistema.

Mettendo a bilancio le voci precedentemente elencate si ricava la variazione della massa residente di nitrati all'interno del sistema. Questo è rappresentato nelle successive figure (da Figura 3.88 a Figura 3.90) nelle tre aggregazioni temporali scelte per l'analisi del bilancio: i singoli stress periods, i singoli anni, i 5 periodi di aggregazione del bilancio come precedentemente descritto nell'analisi del bilancio

dell'acqua (paragrafo 2.8 e relativa Figura 2.42). Nelle figure i valori positivi e quelli negativi rappresentano rispettivamente gli ingressi e le uscite di nitrati dal sistema.

Figura 3.88: bilancio di massa di nitrati per l'intero modello: aggregazione temporale del dato sul singolo stress period

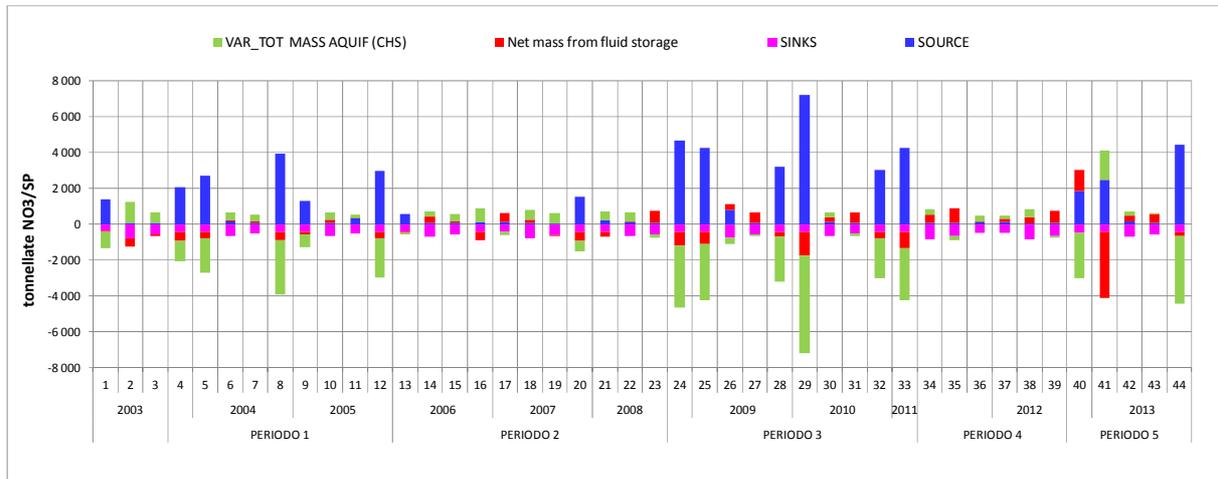


Figura 3.89: bilancio di massa di nitrati per l'intero modello: aggregazione del dato su base annuale.

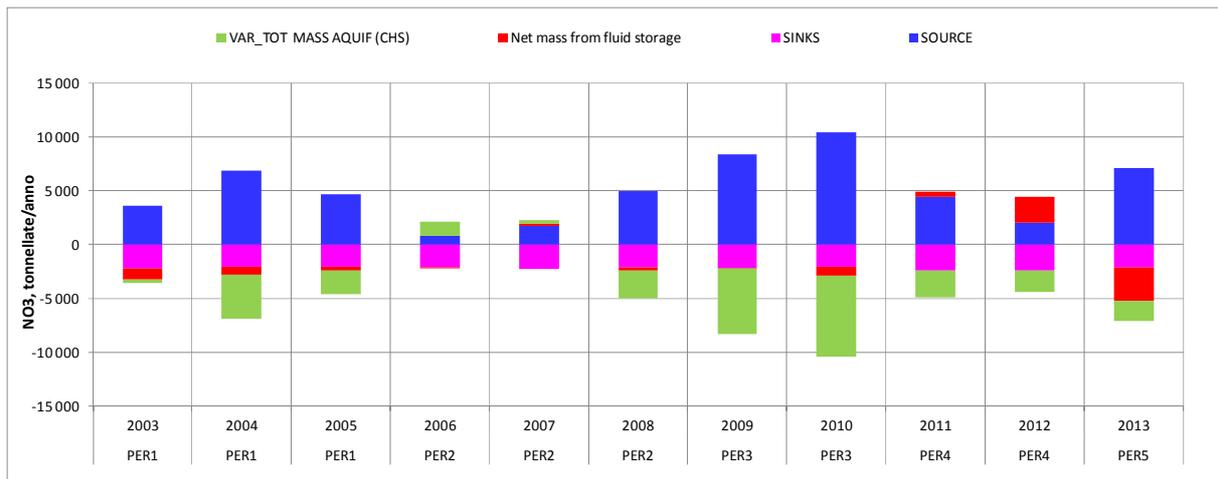


Figura 3.90: bilancio di massa di nitrati per l'intero modello: aggregazione temporale del dato sui periodi alterni di accumulo e perdita di risorsa dagli immagazzinamenti del sistema.

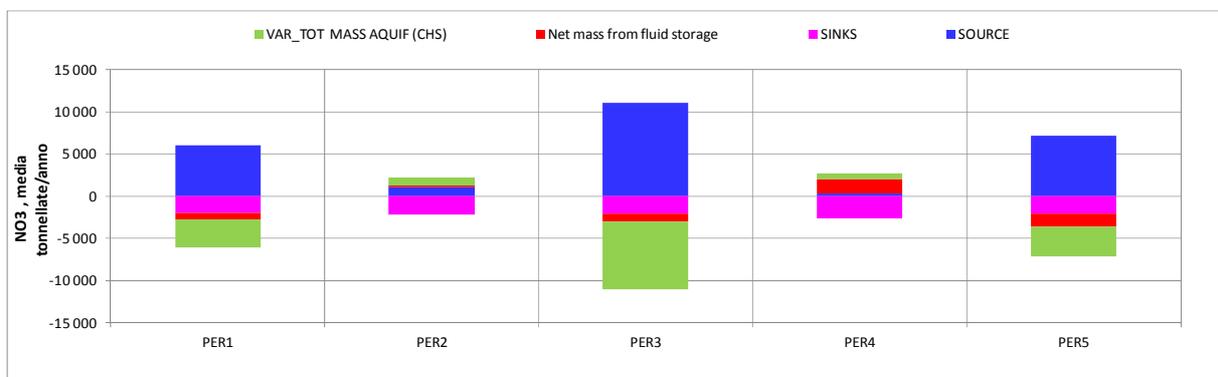


Figura 3.91: evoluzione della massa residente di nitrati all'interno dell'intero modello (variazione della massa residente per singolo Stress period e valore cumulato nel tempo): aggregazione temporale del dato sul singolo Stress Period

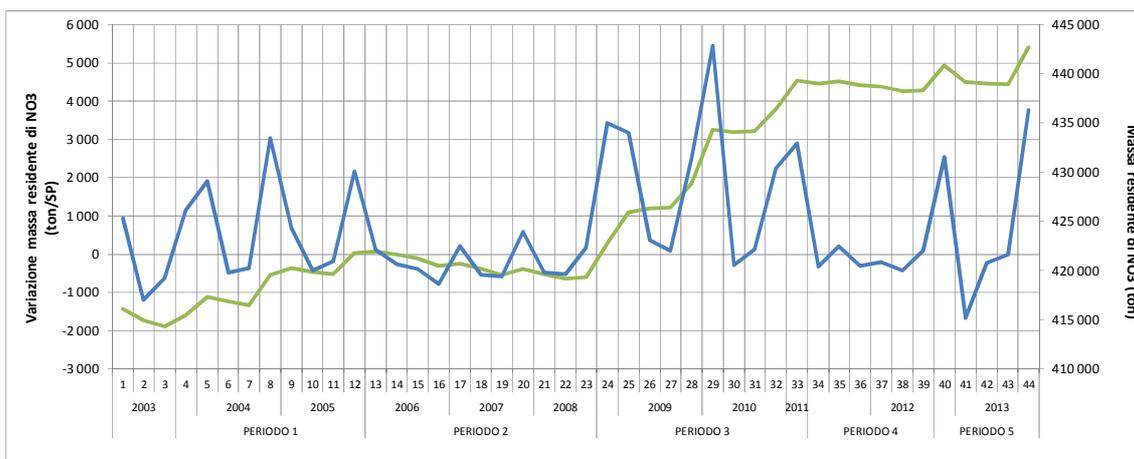
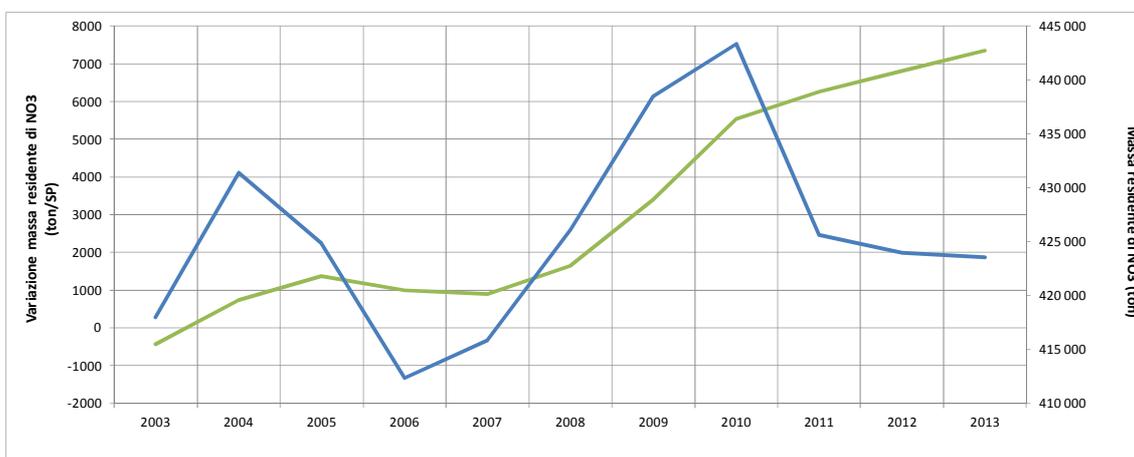


Figura 3.92: evoluzione della massa residente di nitrati all'interno dell'intero modello (variazione della massa residente per singolo Stress Period e valore cumulato nel tempo): aggregazione temporale del dato su base annuale.



L'analisi del bilancio di nitrati per l'intero modello nelle diverse scansioni temporali proposte nelle figure precedenti permette di effettuare le seguenti considerazioni:

1. i periodi nei quali si assiste ai maggiori ingressi di nitrati all'interno del sistema (istogrammi in blu) corrispondono ai periodi a maggior ricarica del sistema ovvero le stagioni invernali in particolar modo riferite agli anni maggiormente piovosi; mediamente negli 11 anni di simulazione del modello disponibili gli ingressi di nitrato risultano essere di circa 5000 t/anno. Di questi il 95% è riferibile ai periodi invernali mentre il rimanente 5% è riferibile al periodo estivo;
2. le uscite di nitrati dal sistema (istogrammi in colore fucsia) corrispondono alle uscite con i prelievi (93%) ed al netto dei deflussi dai bordi (7%). Mediamente negli 11 anni di simulazione del modello disponibili sono pari a circa 2200 ton. In questo caso le variazioni stagionali sono meno evidenti rispetto al caso precedente (60% per il semestre "estivo" da aprile a settembre);
3. la voce del bilancio di massa di nitrati associata alle variazioni degli immagazzinamenti (net mass from fluid storage) assume un valore con segno differente a seconda che ci si trovi in un periodo a ricarica prevalente o a prevalente consumo della risorsa immagazzinata nel sistema. Nel primo caso rappresentano nitrati che vanno ad accumularsi all'interno del sistema, nel secondo caso nitrati che si perdono con le uscite dal sistema;

4. la variazione della massa di nitrati all'interno del modello è il risultato del bilancio delle tre voci precedentemente descritte. In termini cumulati viene rappresentata secondo le due scansioni temporali riportate in Figura 3.91 e Figura 3.92.

4 Utilizzo del modello numerico e sviluppo di scenari di simulazione (Attività 3)

4.1 Introduzione

Vengono di seguito riportate le risultanze delle simulazioni di scenario opportunamente realizzate in accordo con gli obiettivi di valutazione specifici individuati dalla Committenza durante le fasi che si sono via via susseguite durante il lavoro. In tal modo l'applicazione del modello di flusso e/o di trasporto è in grado di supportare il processo decisionale e/o l'obiettivo di pianificazione/gestione prefissato. La costruzione delle simulazioni di scenario permette di confrontare una nuova situazione ipotizzabile (ad esempio la modifica dell'assetto dei prelievi di acque sotterranee da una determinata zona) con la situazione effettivamente verificatasi nella realtà anch'essa ricostruita dal modello secondo i dati "reali" e non di scenario. Il confronto può avvenire sia nei termini del solo flusso dell'acqua o in maniera più esaustiva comprendendo anche i termini risultanti dalla modellazione del trasporto.

Le metodologie di analisi adottate hanno però evidenziato la necessità di individuare ulteriori elementi utili a meglio esprimere anche quantitativamente le risultanze delle simulazioni modellistiche effettuate. Nel prossimo paragrafo viene quindi effettuata l'analisi dei minimi piezometrici che risulterà poi fondamentale per l'analisi degli aspetti quantitativi delle simulazioni di scenario effettuate.

4.2 Valutazioni propedeutiche all'analisi delle simulazioni di scenario

4.2.1 Analisi dei minimi piezometrici dei pozzi della Rete regionale di monitoraggio nell'areale del modello.

Al fine di individuare, per l'areale oggetto del modello di flusso, gli anni più critici per la risorsa idrica immagazzinata negli acquiferi, sono state analizzate le serie storiche delle misure piezometriche disponibili per i pozzi della Rete regionale di monitoraggio ricadenti nell'areale e sono stati individuati i diversi minimi piezometrici. Gli istanti temporali associati a tali minimi rappresentano i momenti di maggiore criticità quantitativa per la risorsa idrica sotterranea e sono quindi da tenere in particolare considerazione perché rappresentativi di un anno o una sequenza di più anni siccitosi. L'eventuale presenza di uno o più minimi piezometrici nell'arco temporale dell'analisi modellistica effettuata consente di avere dei valori di riferimento a cui rapportarsi per l'analisi dello stato quantitativo della risorsa (come si colloca lo stato della risorsa in rapporto ai minimi individuati) ed in definitiva la scelta opportuna di uno di questi può rappresentare un valore soglia cui rapportare l'intera valutazione, assumendo quindi ad obiettivo dell'analisi modellistica (reale e di scenario) il fatto che lo stato del sistema non debba riportarsi a tali condizione di sofferenza ed eventualmente debba mantenere rispetto a questa un prefissato franco di sicurezza.

Il grafico di Figura 4.1 rappresenta il quadro sintetico delle analisi condotte per la ricerca dei minimi piezometrici sui pozzi della Rete regionale di monitoraggio disponibili per l'area di interesse. Sono riportati gli intervalli di tempo delle serie storiche disponibili (colonnine in grigio) ed i diversi minimi piezometrici indicati con simbologie e colori diversi: quadratini rossi per i minimi storici assoluti dei

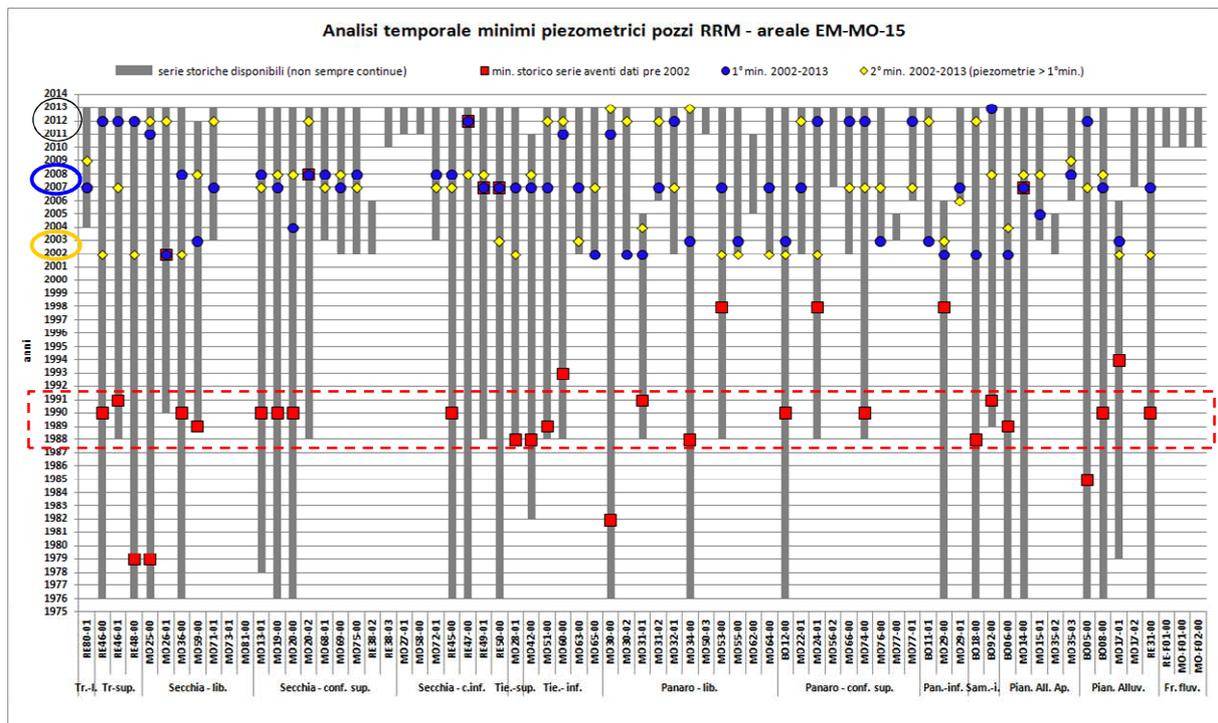
pozzi con dati disponibili prima del 2002, pallini blu per i minimi riferiti al periodo 2002-2013 (indicati come "1° min.") e rombi gialli per i minimi sempre del periodo 2002-2013, ma con piezometrie più elevate rispetto al minimo assoluto 2002-2013 (indicati come "2° min.>").

Occorre premettere che non tutti i pozzi dispongono delle stesse serie temporali di misure e non hanno sempre continuità nell'intero intervallo di analisi dei dati. Inoltre come si può vedere dal grafico i pozzi non hanno i diversi minimi piezometrici negli stessi identici anni, ma si riescono ad individuare comunque alcuni anni in cui la maggior parte dei pozzi sono caratterizzati da piezometrie minime rispetto agli altri anni contigui nelle serie storiche.

Focalizzando l'analisi negli anni corrispondenti all'aggiornamento temporale del modello numerico nel periodo 2002-2013 si individua abbastanza chiaramente che i primi minimi (assoluti per il periodo considerato) sono prevalenti nel biennio 2007-2008, ma anche nel biennio 2002-2003, seguiti dal triennio 2011-2013. I "secondi" minimi sempre del periodo 2002-2013 vengono a ricadere all'incirca nei medesimi bienni/trienni menzionati pocanzi per i minimi assoluti. In altre parole questo significa che nei bienni/trienni evidenziati ricadono per ogni pozzo o un minimo assoluto o un 2° minimo, quindi sono gli anni chiave per ricercare i riferimenti di criticità. Alla luce di quanto detto il 2003 può ragionevolmente essere assunto come minimo di riferimento per l'intervallo di tempo 2002-2013, che guardando le serie piezometriche storiche risulta leggermente più cautelativo del 2007-2008 e del 2011-2013.

Allargando l'analisi all'intera disponibilità dei dati delle serie storiche laddove disponibili, la Figura 4.1 evidenzia che il minimo piezometrico individuato nel 2003 non è mai minimo assoluto relativamente al lungo periodo (dal 1975, anno di istituzione della Rete Regionale di Monitoraggio).

Figura 4.1: analisi temporale dei minimi piezometrici dei pozzi della Rete regionale di monitoraggio ricadenti nell'areale del modello.



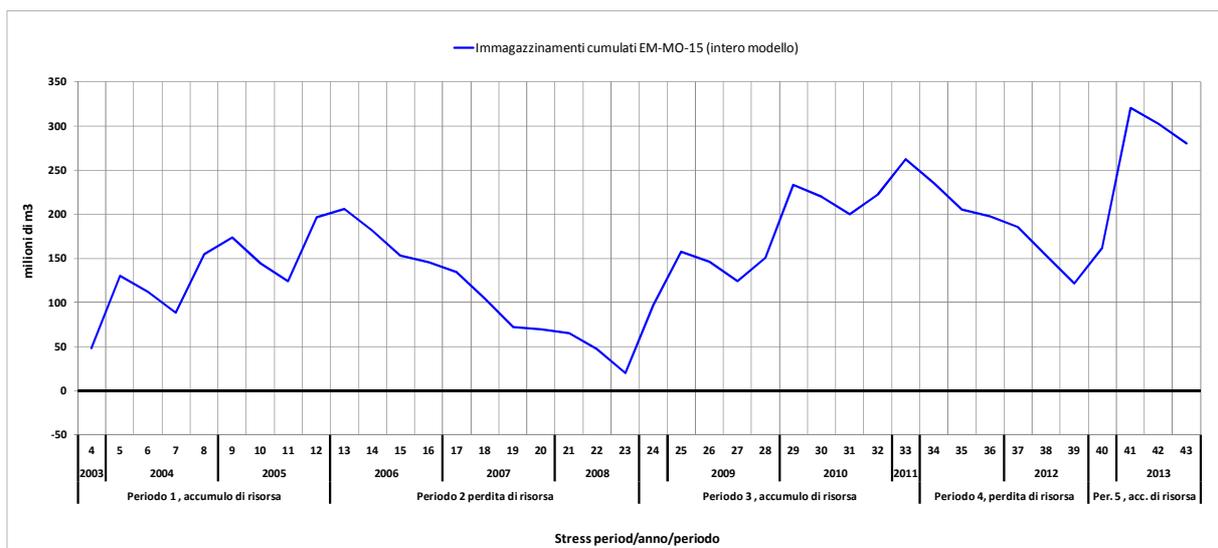
Dal grafico è possibile infatti notare che i minimi piezometrici dei pozzi con serie storiche disponibili precedenti al 2002, ricadono negli anni '90 dal 1988 al 1998 e per lo più a cavallo del 1990. Assumere questo minimo come minimo di riferimento al posto di quello del 2003 non sarebbe però cautelativo in quanto troppo lontano nel tempo e nello stesso tempo rappresentativo di un diverso contesto sia

meteo-climatico sia dal punto di vista della gestione/pianificazione della risorsa idrica sotterranea . Se si assumessero infatti questi minimi come campanello d'allarme per eventuali interventi per esempio di riduzione/spengimento di prelievi idrici da pozzi, si agirebbe in situazioni assolutamente già troppo compromesse.

L'anno 2003, ed in particolare il minimo piezometrico di tale anno, verrà quindi assunto come riferimento per le valutazioni che seguiranno, rappresenta quindi una sorta di punto "zero", ovvero un minimo relativo da considerare come soglia di allarme negli anni seguenti tutte le volte che si ripresentino condizioni simili.

Il concetto risulta ancora più facilmente comprensibile andando a sfruttare la potenzialità del modello di flusso che riesce a restituire gli immagazzinamenti e le loro variazioni nel tempo. Individuato infatti il punto "zero" di inizio nel quarto stress period del 2003, si possono vedere rappresentati nel grafico di Figura 4.2 gli immagazzinamenti cumulati di risorsa idrica sotterranea restituiti dal modello di flusso negli anni 2003-2013 di modellazione riferiti all'intero areale di EM-MO-15 e si possono vedere il susseguirsi delle diverse fasi di accumulo della risorsa alternate alle fasi di perdita, nell'ordine: 1^a fase, accumulo 2003-2006; 2^a fase, perdita 2006-2008; 3^a fase, accumulo 2008-2011; 4^a fase, perdita 2011-2012 e 5^a fase, accumulo 2012-2013. Si può vedere che i minimi di risorsa immagazzinata si riscontrano, in accordo con l'analisi dei minimi piezometrici di cui sopra, in corrispondenza del 2008, di poco inferiore al 2003 ed in corrispondenza del 2012

Figura 4.2: immagazzinamenti cumulati di risorsa idrica sotterranea a partire dall'inizio (2003) del periodo di modellazione di EM-MO-15 fino al 2013. Sono indicati i periodi di accumulo della risorsa e quelli di perdita.



4.3 Scenario n°1: valutazioni relative all'aumento delle possibilità di prelievo di acque sotterranee dalla conoide del Panaro in zona San Cesario

4.3.1 Ipotesi

Viene considerata in questo caso la perforazione (in progetto) di un nuovo pozzo volta ad aumentare la capacità produttiva del campo pozzi di San Cesario.

Figura 4.3 : Campo pozzi di San Cesario e caratteristiche costruttive dei pozzi

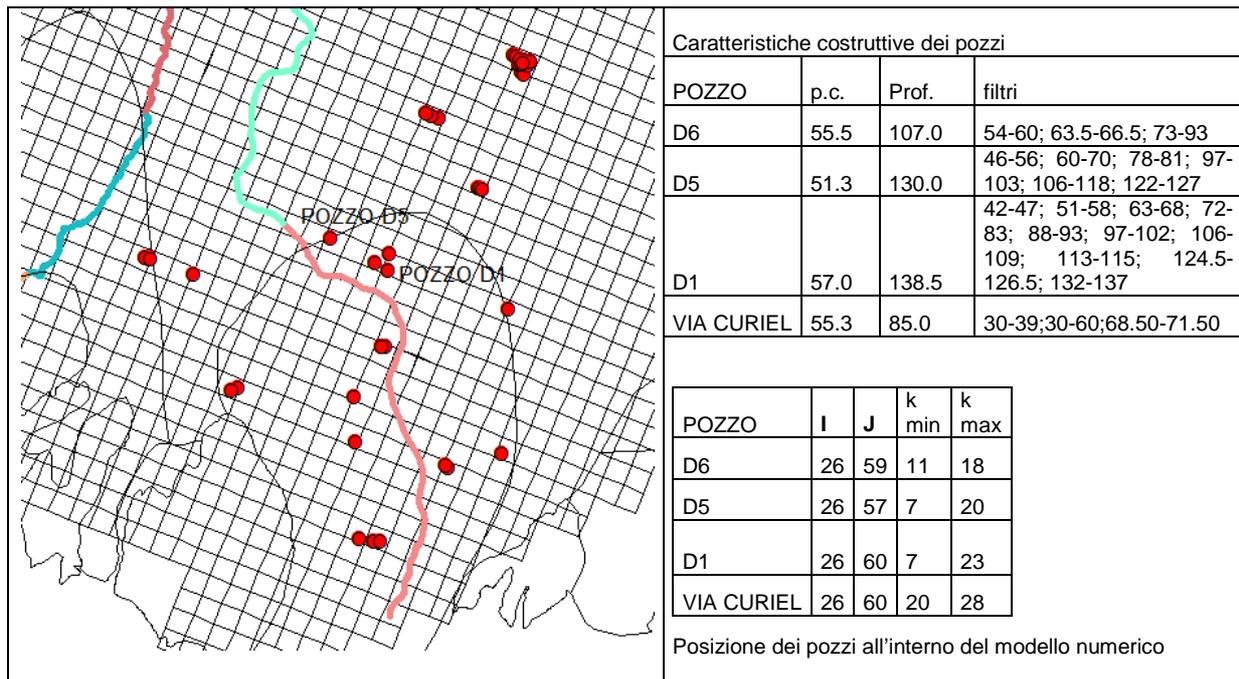
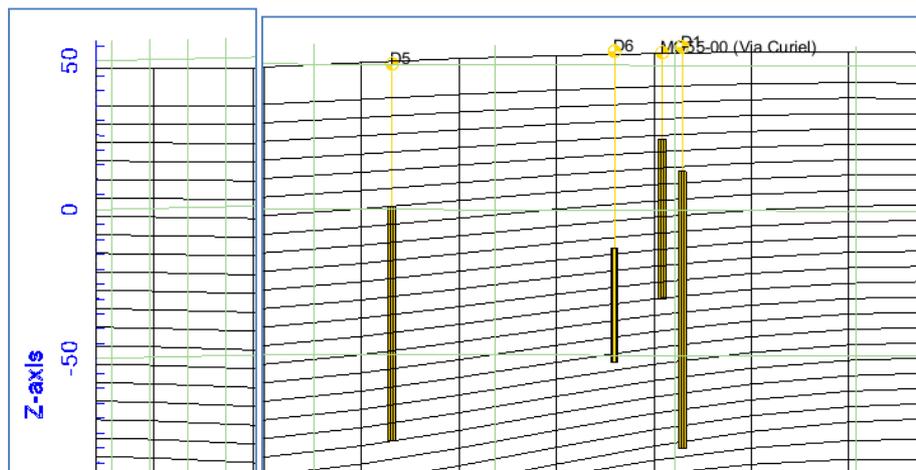


Figura 4.4 : Sviluppo verticale dei pozzi di San Cesario all'interno del modello numerico.



Viene considerato un prelievo aggiuntivo pari a 100 l/s realizzabile dal nuovo pozzo (D4) che si trova a circa 80 m ad Est del pozzo D1, del quale assume anche le medesime caratteristiche costruttive (profondità e posizionamento filtri).

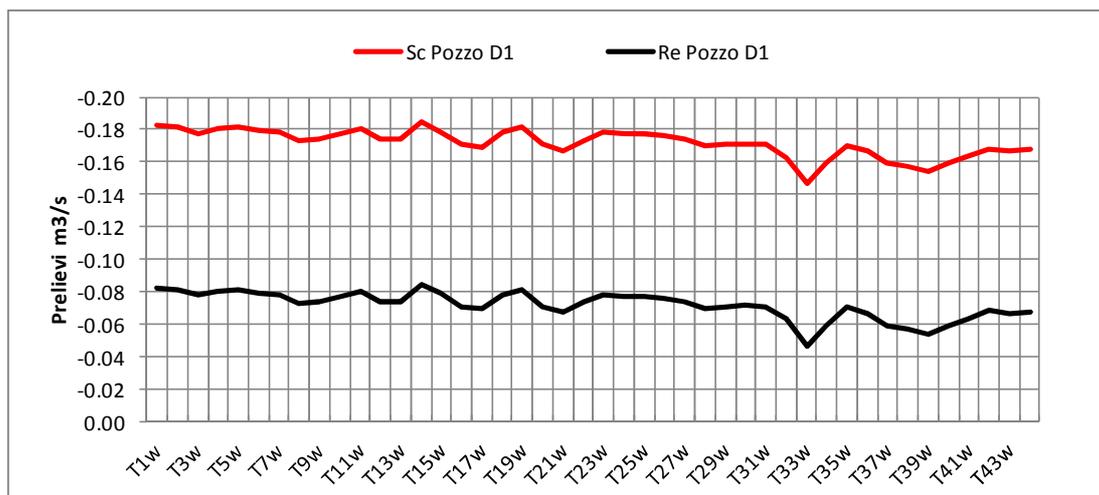
Per il modello numerico si è più semplicemente aumentato di tale entità l'attuale stato dei prelievi dei pozzi acquedottistici del campo pozzi di San Cesario. Nel dettaglio è stato considerato un aumento di 100 l/s uniformemente distribuiti durante l'anno e per l'intero periodo di simulazione per il pozzo D1. I pozzi ricadono nel corpo idrico Conoide Panaro Libero, in prossimità del limite di valle di questo e quindi a ridosso della zona di passaggio tra acquiferi liberi e confinati di conoide (Figura 4.3 e Figura 4.4

4.3.2 Impostazione della simulazione di scenario

Relativamente ai prelievi, la situazione attuale (Re) e di scenario (Sc) sono riportate in Figura 4.5. Il pozzo D1 preleva mediamente 100 l/s in più su tutto il periodo di simulazione del modello (da febbraio 2003 a gennaio 2014).

Viene quindi effettuata una nuova simulazione col modello numerico modificando solamente l'assetto dei prelievi (Scenario, Sc) rispetto alla situazione attuale (Reale, Re) a parità di tutte le altre condizioni (ricariche, condizioni al contorno) del modello che rimangono inalterate.

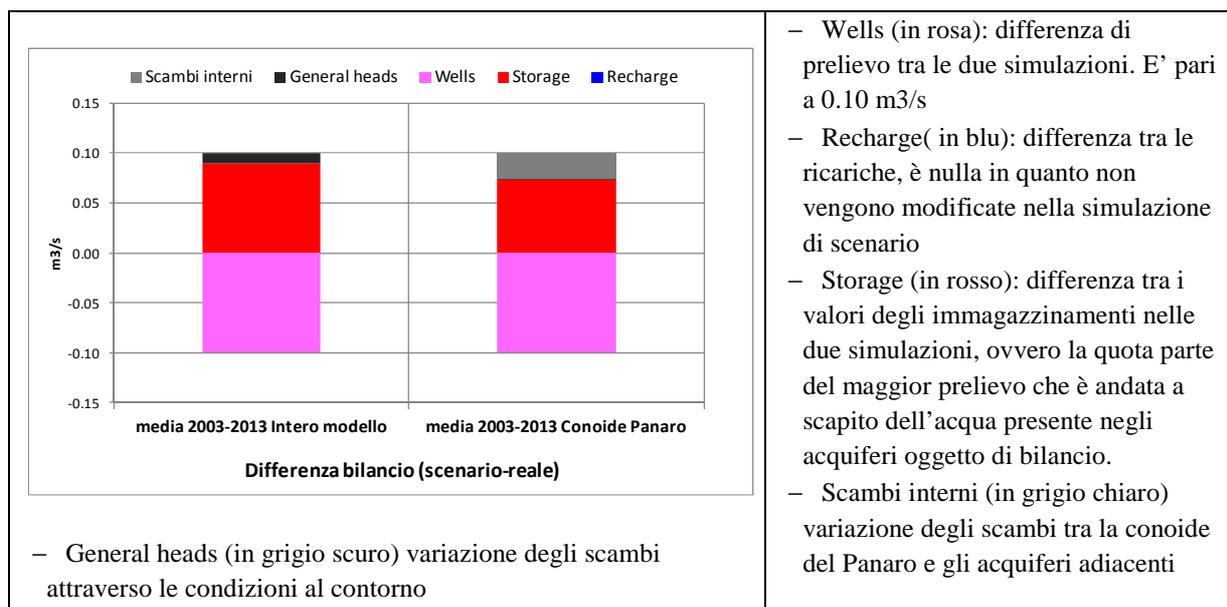
Figura 4.5 : prelievi nella situazione attuale (Re) e di scenario (Sc) per i pozzi a San Cesario.



4.3.3 Valutazione dei risultati, analisi del bilancio

La valutazione dei risultati viene effettuata attraverso l'analisi del bilancio idrogeologico, sia per l'intero modello, sia nel dettaglio della parte di questo riferibile alla conoide del Panaro. Vengono confrontate tra loro le due simulazioni effettuate, in presenza (Sc) ed in assenza (Re) dell'incremento dei prelievi ipotizzato.

Figura 4.6: Bilancio idrogeologico: differenza tra il bilancio della simulazione di Scenario ed il bilancio della simulazione "Reale". Bilancio per l'intero modello a sinistra e bilancio per la conoide del Panaro a destra



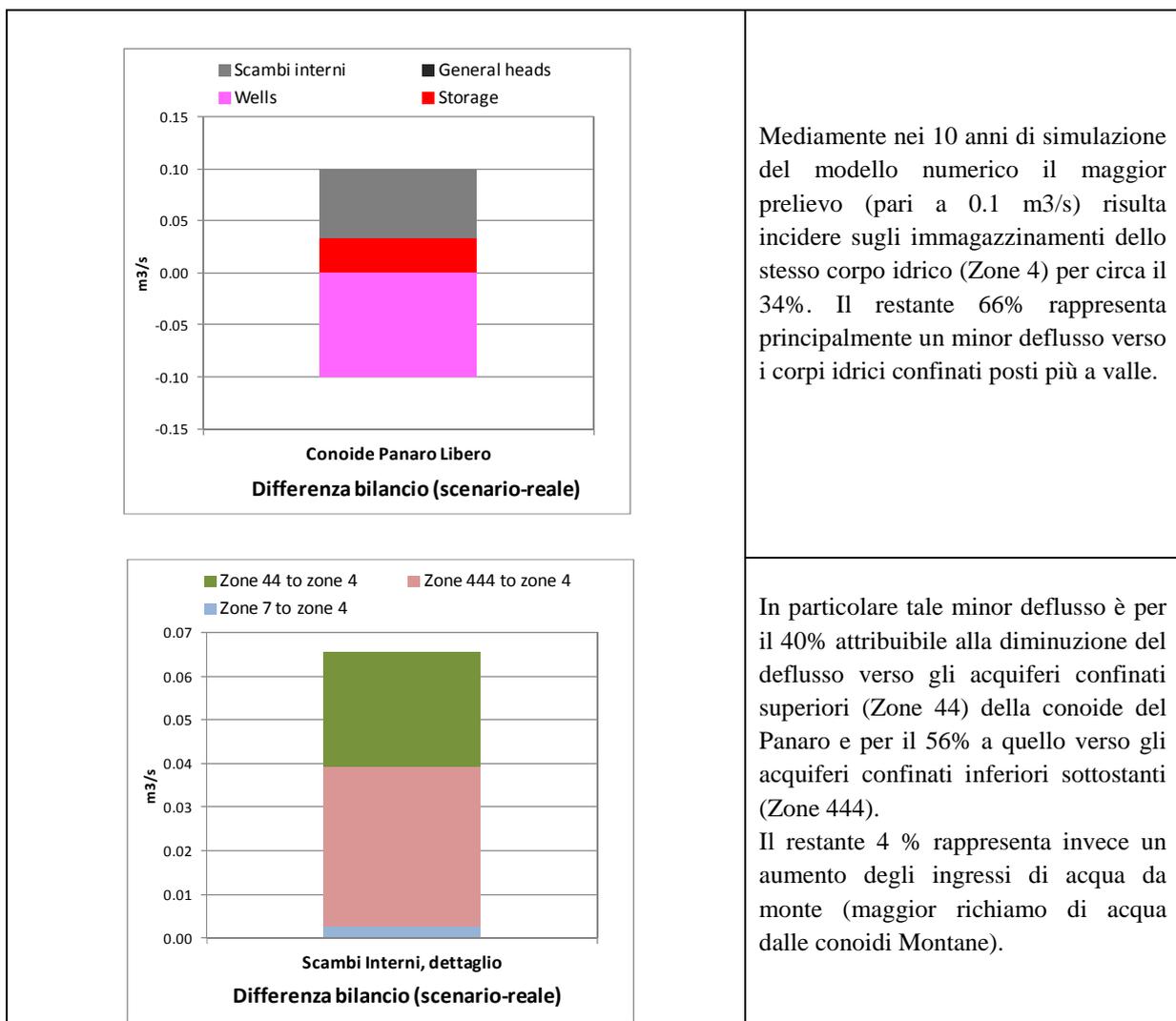
Viene quindi evidenziato su quali voci del bilancio va ad incidere la variazione del prelievo imposta. Viene considerata l'analisi del bilancio per 10 anni di simulazione (da novembre 2003 ad ottobre 2013), corrispondenti a 40 stress periods del modello numerico (dal SP 4 a SP 43).

Per l'intero modello (istogramma a sinistra di Figura 4.6) il maggior prelievo (in rosa pari esattamente ai $0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ di aumento dei prelievi) incide per il 90% sull'immagazzinamento dell'intero sistema (in rosso), per il rimanente 10% corrisponde a variazioni dei flussi valutati sul contorno del modello (voce General heads, anche in questo caso maggiori richiami o minori deflussi in uscita).

Restringendo il bilancio alla intera conoide del Panaro (istogramma a destra di Figura 4.6) il maggior prelievo incide per circa 75% sull'immagazzinamento della conoide (in rosso), per il rimanente 25% corrisponde invece a variazioni dei flussi di scambio tra la conoide ed il resto del sistema (maggior richiamo e/o minori uscite, voce scambi interni).

Restringendo ulteriormente l'analisi del bilancio alla sola porzione degli acquiferi liberi della conoide (Corpo idrico conoide Panaro libero) si evidenzia come solo il 34% del maggior prelievo (che insiste totalmente su tale corpo idrico) incida sugli immagazzinamenti della conoide libera mentre il 66% sia attribuibile principalmente ad un minor deflusso di acqua verso valle (Figura 4.7). Ciò dipende dalla posizione dei prelievi posti sul confine settentrionale del corpo idrico oggetto di bilancio.

Figura 4.7: Bilancio idrogeologico: differenza tra il bilancio della simulazione di Scenario ed il bilancio della simulazione "Reale". Bilancio per il corpo idrico Panaro Libero (zona 4).



Mediamente nei 10 anni di simulazione del modello numerico il maggior prelievo (pari a $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$) risulta incidere sugli immagazzinamenti dello stesso corpo idrico (Zone 4) per circa il 34%. Il restante 66% rappresenta principalmente un minor deflusso verso i corpi idrici confinati posti più a valle.

In particolare tale minor deflusso è per il 40% attribuibile alla diminuzione del deflusso verso gli acquiferi confinati superiori (Zone 44) della conoide del Panaro e per il 56% a quello verso gli acquiferi confinati inferiori sottostanti (Zone 444).

Il restante 4% rappresenta invece un aumento degli ingressi di acqua da monte (maggior richiamo di acqua dalle conoidi Montane).

In estrema sintesi quanto sopra esposto permette di evidenziare l'effetto attribuibile all'incremento ipotizzato di prelievi di acqua sotterranea all'interno del campo pozzi di San Cesario. La posizione dei pozzi, ubicati al limite nord del corpo idrico conoide Panaro Libero, fa sì che l'incremento di prelievo incida in parte sull'immagazzinamento dello stesso corpo idrico (34%) ma in maggior misura provochi una riduzione dei deflussi verso valle (66%) che come mostrato diminuisce l'immagazzinamento dei corpi idrici confinati superiori ed inferiori posti più a valle.

L'analisi può essere ulteriormente integrata elaborando nella sua evoluzione temporale il termine del bilancio idrogeologico relativo agli immagazzinamenti. In Figura 4.8 sono riportati gli andamenti degli immagazzinamenti cumulati nei 10 anni di simulazione operata dal modello numerico. I dati sono espressi in milioni di m³ e sono relativi all'intera conoide del Panaro. L'esame della Figura 4.8 permette di effettuare le seguenti considerazioni:

1. le due curve mostrano entrambe cinque fasi alterne di accumulo (la curva cumulata risale, primo, terzo e quinto periodo) e perdita (la curva cumulata discende, secondo e quarto periodo) di risorsa idrica dagli immagazzinamenti della conoide del Panaro. Rispetto a tale ciclicità di carattere sovra-stagionale le variazioni sui prelievi introdotte nella simulazione di scenario non apportano variazioni negli andamenti;
2. il punto iniziale, zero ed origine del grafico, corrisponde al terzo SP del modello e quindi i valori delle curve rappresentano le variazioni di acqua accumulata nella conoide del Panaro a partire dal novembre 2003 (quanta acqua è presente in più o in meno sempre rispetto a quella situazione iniziale);
3. il terzo SP risulta essere un punto di minimo relativo della curva (basso piezometrico e inizio fase di accumulo della risorsa, si veda il paragrafo 4.2.1); se ne riconoscono altri due nei 10 anni di simulazione analizzati, SP 23 con valore simile al primo e SP 39 con valori più alti di immagazzinamento cumulato;
4. assumendo il minimo relativo (SP3) come punto di riferimento, i valori delle due curve di Figura 4.8 quantificano la distanza rispetto a tale minimo e che può essere assunta come indicatore dello stato quantitativo della risorsa idrica della conoide;
5. la metodologia appena descritta permette di formulare una valutazione quantitativa per il confronto dei diversi stati del sistema, la valutazione rimane però relativa in quanto dipendente dal punto iniziale assunto come riferimento. Se il riferimento è un minimo del sistema (situazione di basso piezometrico), la valutazione esprime la distanza da tale situazione.

Sulla base delle considerazioni precedenti, in riferimento allo scenario di simulazione oggetto della presente valutazione, dalla Figura 4.8 si evince che:

1. la curva di scenario (Sc) rossa rimane al di sotto della linea "reale" (Re) blu esprimendo quindi nella simulazione di scenario l'incidenza dei nuovi prelievi sulla disponibilità di risorsa idrica della conoide del Panaro;
2. la curva "reale" rimane (quasi) sempre al di sopra dell'asse delle ascisse, il che significa che nei 10 anni di simulazione lo stato della conoide del Panaro ha attraversato sempre situazioni "migliori" di quella assunta come riferimento iniziale (più acqua presente negli immagazzinamenti). Sola eccezione è l'SP 23 (autunno 2008) che presenta uno stato appena al di sotto a quello assunto come riferimento iniziale;
3. la curva di scenario presenta invece una prima situazione al di sotto del minimo adottato come riferimento, in corrispondenza degli SP 22-23, ed un'altra situazione (SP 39) in cui lo stato del sistema è paragonabile a quello di minimo assunto come riferimento. Entrambe le situazioni verranno poi compensate nei successivi periodi di accumulo prevalente di risorsa idrica sotterranea;

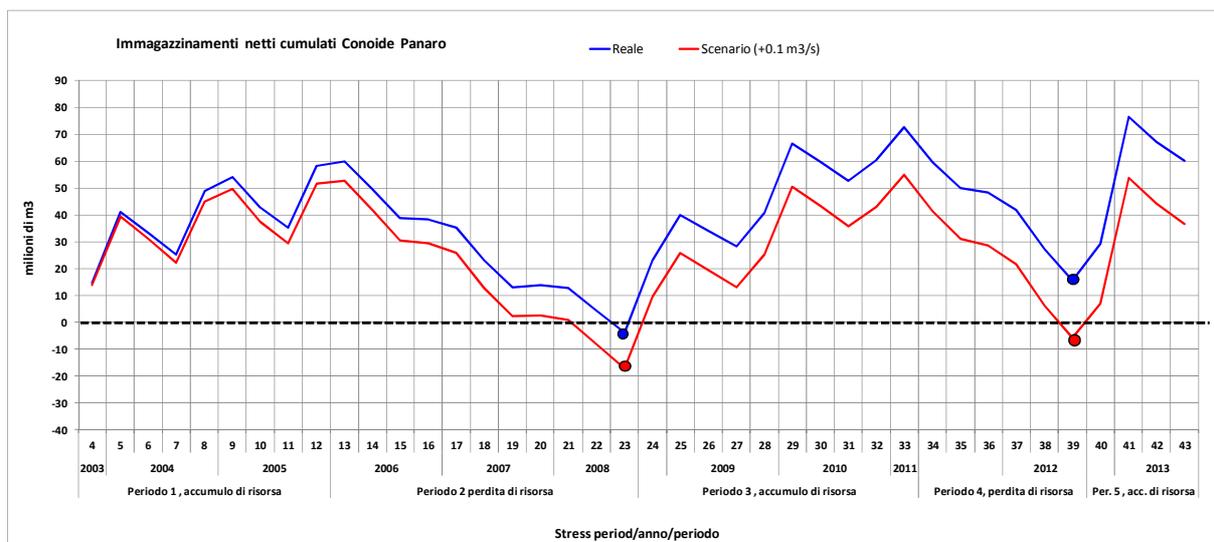
4. una valutazione complessiva può essere adottata analizzando il punto del grafico di Figura 4.8 in corrispondenza dell'SP 39. In tal modo si considera il bilancio cumulato relativamente ad un periodo contenente un egual numero sia di variazioni stagionali (9 anni completi) sia di variazioni sovra-stagionali (4 periodi). I valori delle due curve per tale periodo sono:

Immagazzinamento cumulato nel periodo dal 1/11/2003 al 31/10/2012	
Simulazione reale (Re)	+15.6 Mm ³
Simulazione di scenario (Sc)	-5.86 Mm ³

5. una valutazione intermedia può essere invece condotta analizzando il punto del grafico di Figura 4.8 in corrispondenza dell'SP 23. In tal modo si considera il bilancio cumulato relativamente ad un periodo contenente un egual numero sia di variazioni stagionali (5 anni completi) sia di variazioni sovra-stagionali (2 periodi). I valori delle due curve per tale periodo sono:

Immagazzinamento cumulato nel periodo dal 1/11/2003 al 31/10/2008	
Simulazione reale (Re)	-3.9 Mm ³
Simulazione di scenario (Sc)	-17.0 Mm ³

Figura 4.8: Bilancio idrogeologico: analisi dell'evoluzione temporale degli immagazzinamenti, valori cumulati nel tempo. Confronto tra simulazione di scenario (Sc, linea rossa) e Reale (Re, linea blu.)



Supponendo quindi un maggior prelievo di acque sotterranee paria a 0.1 m³/s per l'intero periodo di simulazione del modello, le valutazioni effettuate sul bilancio evidenziano al 31/10/2012 (termine della seconda fase di consumo di risorsa) uno stato del sistema al di sotto dello stato minimo di riferimento posizionato all' 1/11/2003 (-5.86 Mm³). Le valutazioni sono condotte supponendo le stesse condizioni di ricarica effettivamente verificatisi nel decennio considerato.

4.3.4 Valutazione dei risultati, analisi del carico idraulico

Una ulteriore valutazione può essere condotta attraverso l'analisi delle differenze indotte dal maggior prelievo di acqua sotterranea sull'assetto del carico idraulico nella zona pozzi e nelle immediate vicinanze. Nelle successive figure (Figura 4.9 e Figura 4.10) è riportata la distribuzione spaziale della differenza dei valori di carico idraulico tra la situazione Reale e quella di scenario ipotizzata (maggior prelievo dai pozzi di San Cesario).

Figura 4.9: Analisi della distribuzione del carico idraulico (SP 23, ottobre 2008): carico idraulico ricostruito dal modello (Reale, a sinistra) e differenze di carico idraulico tra i due scenari (Reale – Scenario, a destra). In quest'ultima figura i valori positivi, espressi in metri esprimono la caduta piezometrica nello spazio e nel tempo dovuta ai maggiori prelievi nella ipotesi di scenario. Layer 13 del modello numerico.

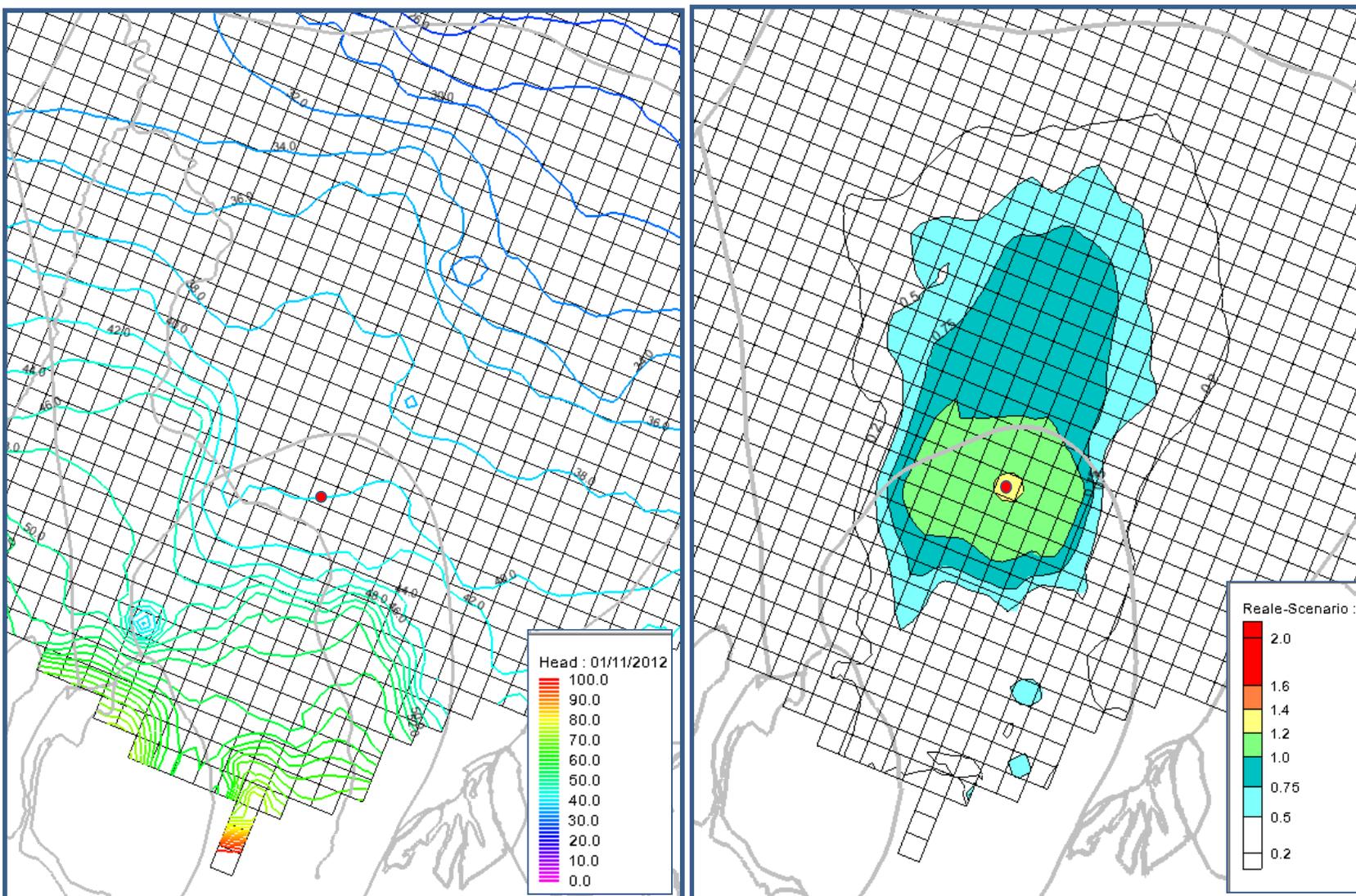
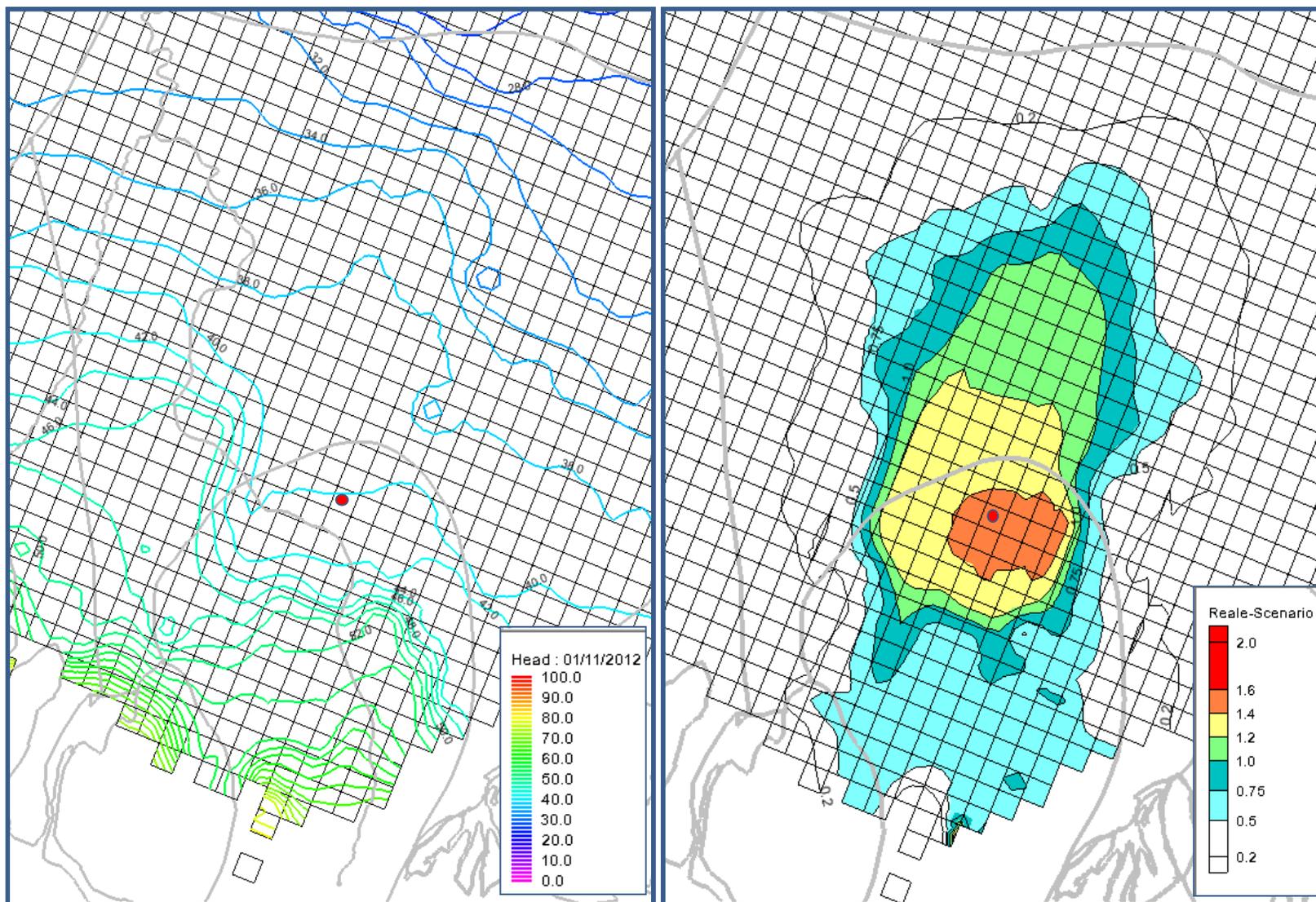


Figura 4.10: Analisi della distribuzione del carico idraulico (SP 39, ottobre 2012): carico idraulico ricostruito dal modello (Reale, a sinistra) e differenze di carico idraulico tra i due scenari (Reale - Scenario, a destra). In quest'ultima figura i valori positivi, espressi in metri esprimono la caduta piezometrica nello spazio e nel tempo dovuta ai maggiori prelievi nella ipotesi di scenario. . Layer 13 del modello numerico.



Le immagini sviluppano nel tempo l'areale che via via viene interessato dagli effetti del maggior prelievo di acque sotterranee. Le immagini sono riferite al Layer 13 del modello numerico, layer centrale rispetto allo sviluppo dei filtri del pozzo D1 oggetto dell'incremento di prelievo.

Le due figure si riferiscono ai due particolari istanti che corrispondono ai due minimi di Figura 4.8 identificando in questi le maggiori situazioni di criticità appartenenti al periodo disponibile per la simulazione modellistica.

La Figura 4.9 riporta i valori al 31/10/2008 (Stress period n° 23, termine della prima fase di perdita dagli immagazzinamenti del sistema) che evidenziano in direzione longitudinale (da Sud-Ovest a Nord-Est) un calo del livello piezometrico superiore al metro per circa 1-2 km a monte ad a valle della zona dei prelievi, e per una distanza leggermente superiore la medesima perdita di carico idraulico insiste nella direzione trasversale (ortogonale alla precedente).

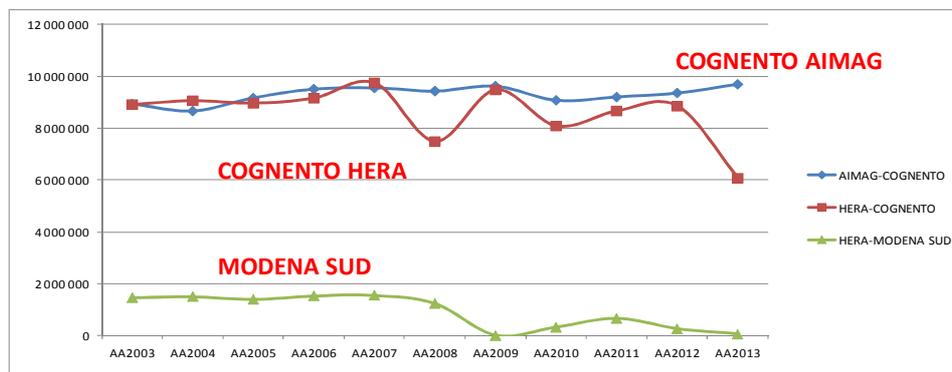
La Figura 4.10 riporta i medesimi andamenti al 31/10/2012 (Stress period n° 39, termine della seconda fase di perdita dagli immagazzinamenti del sistema) che evidenziano in direzione longitudinale (da Sud-Ovest a Nord-Est) un calo del livello piezometrico superiore al metro per circa 4-5 km a valle della zona dei prelievi, e per una distanza inferiore (2.5 km) la medesima perdita di carico idraulico insiste nella zona più a monte. Nella direzione trasversale (ortogonale alla precedente) il raggio di influenza risulta invece dell'ordine dei 2.5 km.

4.4 Scenario n°2: valutazioni relative all'andamento delle concentrazioni di Nitrati sui pozzi di Cognento e Modena Sud in relazione alla possibile riduzione dei prelievi dal campo pozzi di Cognento.

4.4.1 Ipotesi

Le ipotesi alla base del presente scenario sono legate alla possibilità, in ragione di un eventuale maggior sfruttamento della risorsa idrica sotterranea della conoide del Fiume Panaro (scenario 1, descritto al precedente paragrafo 4.3), di realizzare una riduzione del prelievo di acque sotterranee dalla conoide del Fiume Secchia pari a 0.1 m³/s dal campo pozzi di Cognento di gestione Hera. Infatti il campo pozzi di Modena Sud non sarebbe in grado di assorbire tale riduzione di prelievo in quanto già oggetto di riduzione dello stesso a partire dal 2009 con valori inferiori ai 2 milioni di m³/anno (Figura 4.11).

Figura 4.11: prelievi annui dei campi pozzi di Cognento e Modena Sud.



4.4.2 Impostazione della simulazione di scenario

Per l'impostazione della simulazione di scenario, ovvero su quali pozzi effettuare la riduzione di prelievo ipotizzata (0.1 m³/s), si è fatto riferimento ai dati di Tabella 4.1 che riporta in riferimento alle annualità di dati disponibili le medie delle concentrazioni di nitrati e dei volumi prelevati sui singoli pozzi appartenenti al campo pozzi di Cognento.

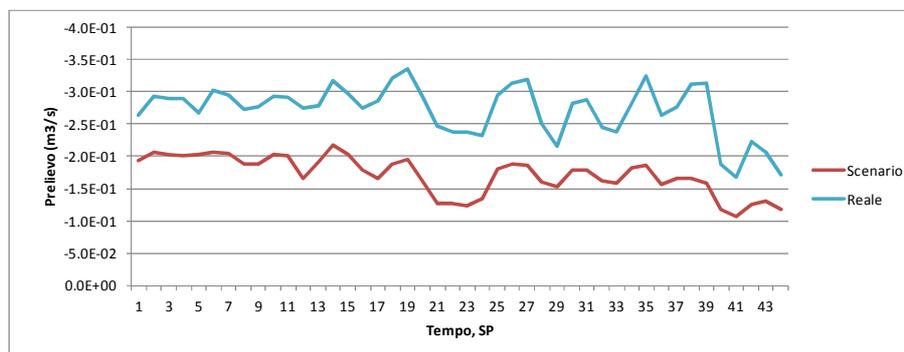
Tabella 4.1: dati medi di prelievo e concentrazione di nitrati sui pozzi appartenenti al campo pozzi di Cognento (Hera)

Analisi dati medi su periodo 2003-2013			Funzionamento pozzo nelle ipotesi di scenario
Pozzo	Concentrazione Nitrati (mg/l)	Prelievi (m3)	
A1	64.5	198 430	spento
A3	62.3	126 827	spento
A8	59.9	53 265	spento
A10	58.5	122 898	spento
A2	57.9	189 793	spento
A12	53.4	546 930	spento
A11	53.3	796 762	spento
A9	49.6	1 898 637	41%
A5	46.5	1 643 714	100%
A6	40.0	837 559	100%
A7	31.7	2 175 206	100%

Per facilitare la lettura i pozzi sono stati ordinati per concentrazione di nitrati calante e la tabella evidenzia che più del 75% del volume emunto dal campo pozzi risulta a carico dei 4 pozzi con concentrazioni di nitrati inferiori al limite dei 50 mg/l.

Nello scenario si è considerato di spegnere via via i pozzi con valori medi di nitrati più alti fino al perseguimento della riduzione ipotizzata di 0.1 m³/s come indicato nella stessa Tabella 4.1 (colonna a destra) ottenendo il risultato di Figura 4.12. La riduzione complessiva del prelievo è pari al 37%.

Figura 4.12: riduzione dei prelievi nelle ipotesi di scenario (Cognento)



4.4.3 Valutazione dei risultati, analisi del bilancio

L'analisi del bilancio idrogeologico è stata qui ulteriormente dettagliata applicando lo strumento del water budget alla zona indicata in Figura 4.13. Nel dettaglio locale i flussi idrici descritti dall'analisi del bilancio nella simulazione di scenario possono essere posti a confronto con quelli della situazione "reale". Tali valori sono numericamente riportati anche nella Tabella 4.2 dove ne viene calcolata la differenza ed attribuito il senso fisico ai valori così ottenuti.

Di fatto i valori medi annui del decennio 2004-2013 evidenziano che:

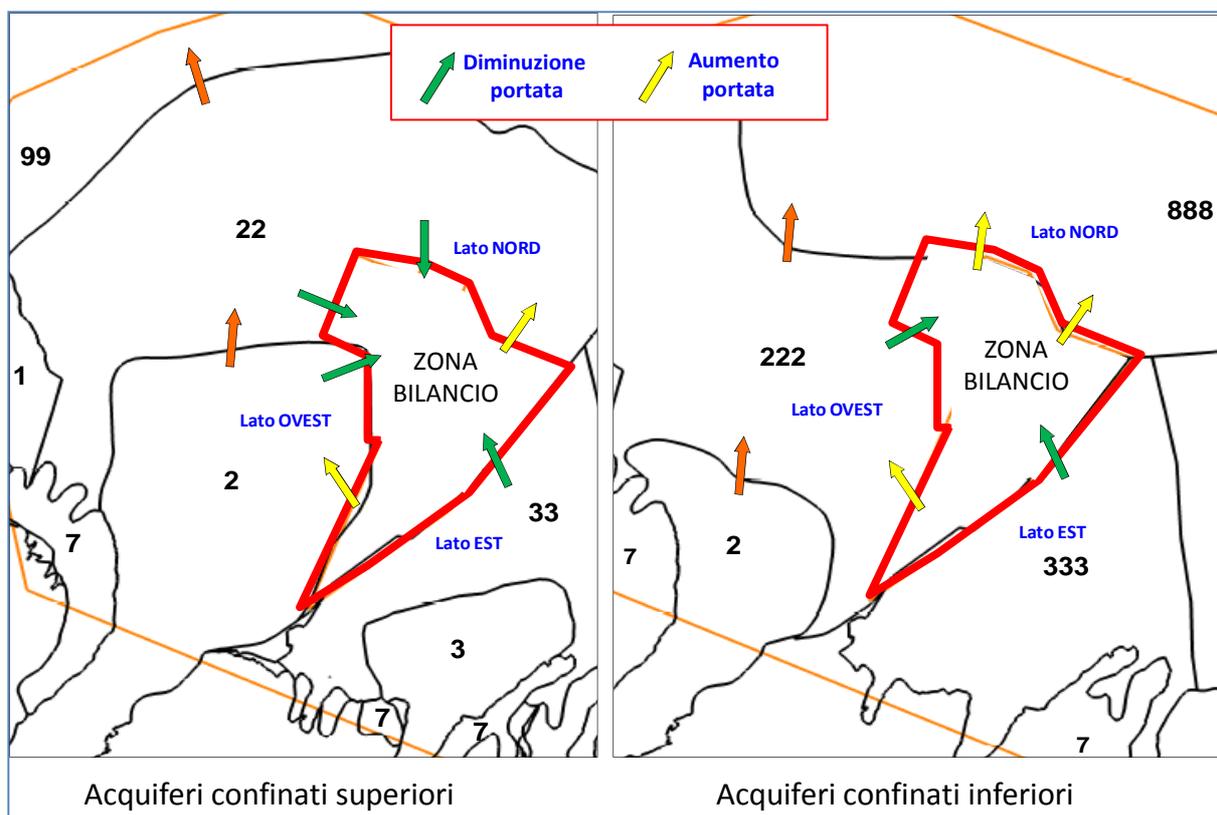
- Il minor prelievo di acqua sotterranea nella simulazione di scenario è mediamente pari a 0.1 m³/s (dato medio 2004-2013);
- il minor prelievo di acqua determina una variazione dei flussi di circolazione sotterranea corrispondenti ad un minor richiamo di acqua verso i campi pozzi di Modena Sud e quindi anche di Cognento (da da 0.156 m³/s a 0.132 m³/s), e ad un maggior deflusso verso valle, oltre la zona dei prelievi (0.044 m³/s);
- del minor richiamo di acqua risente anche il lato EST della zona di bilancio, al confine con la conoide del Tiepido, il cui scambio idrico viene ridotto nei 10 anni di simulazione disponibili da 0.428 a 0.411 m³/s con differenza pari a 0.016 m³/s;

- a compensazione delle variazioni di flusso indotte dal minor prelievo, gli immagazzinamenti nella zona di bilancio si mantengono su valori maggiori con una differenza pari a $0.018 \text{ m}^3/\text{s}$ di acqua di maggior disponibilità all'interno del sistema che corrisponde al 18% del volume di acqua sotterranea non più prelevata in tale zona nella situazione di scenario, rispetto alla situazione reale.

Tabella 4.2: analisi del bilancio. Effetti medi del minor prelievo a Cognito sulle diverse voci del bilancio idrogeologico (immagazzinamenti e scambi laterali e verso valle) nei 10 anni di simulazione del modello.

	Scenario (m^3/s)	Reale (m^3/s)	Delta (m^3/s)	Significato
Prelievi	-0.512	-0.612	0.100	minor prelievo
Immagazzinamento	-0.095	-0.077	-0.018	Maggior immagazzinamento di risorsa
Lato EST (Tiepido)	0.411	0.428	-0.016	minor ingresso
Lato OVEST/ SUD OVEST (Secchia)	0.132	0.156	-0.024	minor ingresso
Lato NORD (valle)	-0.080	-0.036	-0.044	maggior uscita

Figura 4.13: analisi della circolazioni idrica sotterranea nella conoide del Fiume Secchia in relazione alla diminuzione dei prelievi nello stesso campo pozzi. Principali direzioni del deflusso sotterraneo, areale oggetto dell'analisi di dettaglio del bilancio e variazione indotta dalle ipotesi di scenario sulle singole voci di bilancio.



4.4.4 Valutazione dei risultati, analisi delle concentrazioni dei nitrati

La modellistica del trasporto dei nitrati permette di valutare l'evoluzione della concentrazione dei nitrati presenti all'interno degli acquiferi relativamente al periodo di simulazione coperto dal modello (2003-2013). È quindi possibile effettuare una analisi delle variazioni indotte dalla diversa circolazione idrica sotterranea sulle concentrazioni di nitrati in arrivo su alcune posizioni del modello ritenute di interesse per le finalità dell'analisi.

Vengono di seguito confrontati i valori delle concentrazioni di nitrati della simulazione “reale” con quelle di scenario per i pozzi appartenenti a questi ultimi campi pozzi.

La sequenza dei tre campi pozzi viene sinteticamente rappresentata in pianta (in basso) ed in sezione verticale (in alto) nella Figura 4.14. Nella stessa figura i singoli pozzi vengono raggruppati in funzione della variazione di concentrazione di nitrati indotta dalla simulazione di scenario. In verde (-) vengono indicati i pozzi per i quali la riduzione dei prelievi a Cognento provoca mediamente un abbassamento della concentrazione di nitrati, il colore rosso (+) viceversa evidenzia mediamente un aumento di concentrazione osservata sul pozzo nella simulazione di scenario.

Figura 4.14: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sui pozzi di Cognento in relazione alla diminuzione del prelievo di acque sotterranee di 0.1 m3/s dallo stesso campo pozzi.

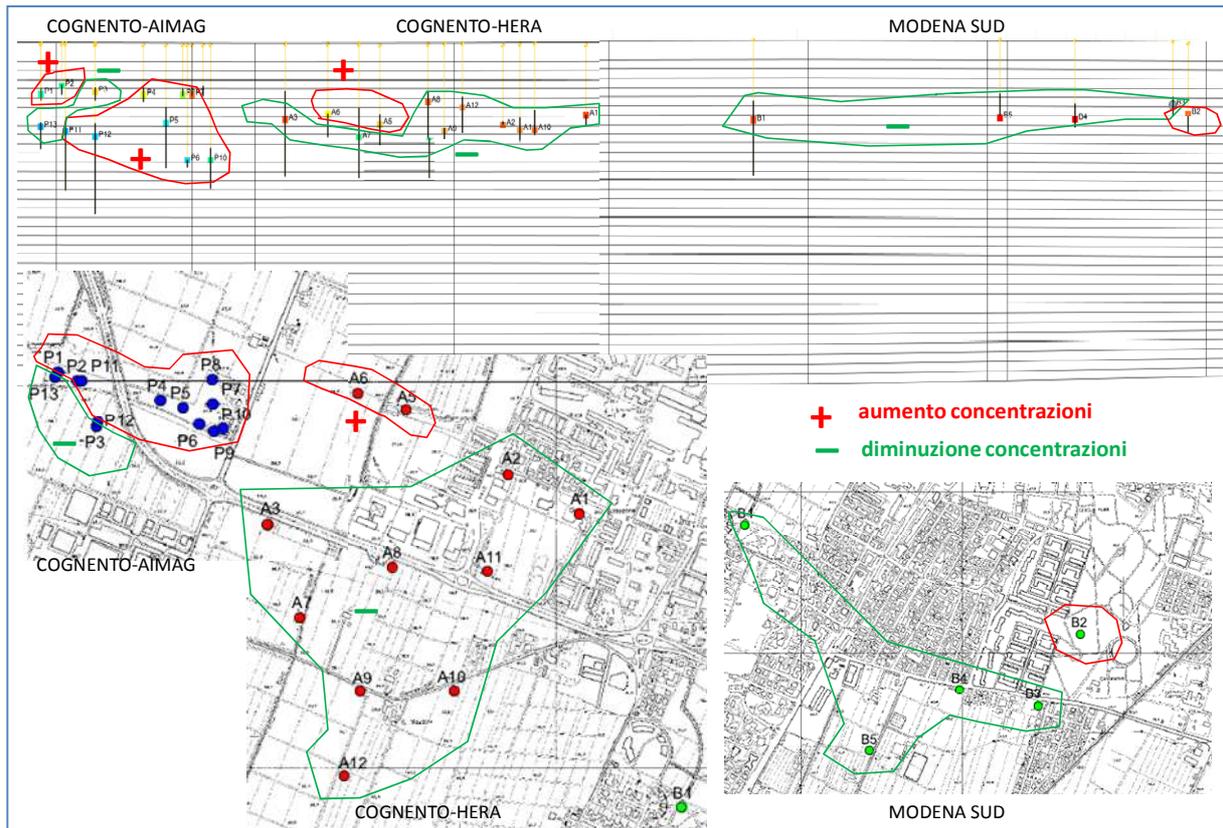


Figura 4.15: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sul pozzo A5 (Hera) di Cognento in relazione alla simulazione di scenario con diminuzione del prelievo di acque sotterranee a Cognento (pozzi Hera).

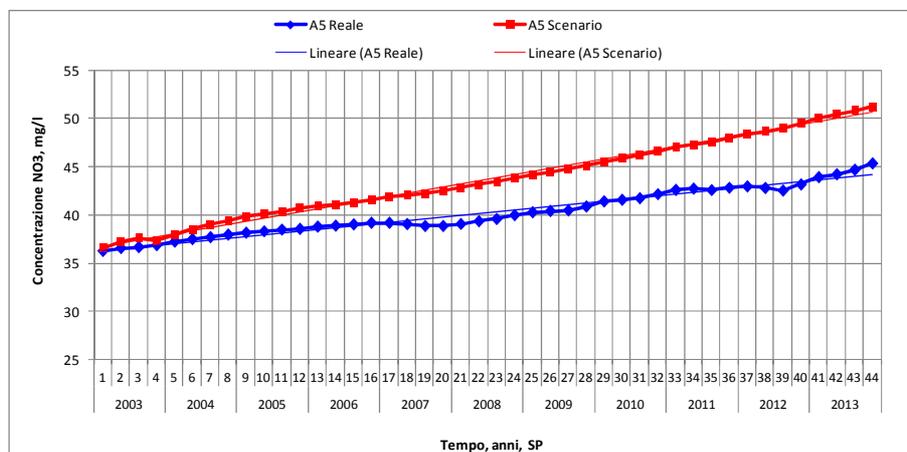


Figura 4.16: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sul pozzo A12 (Hera) di Cognento in relazione alla simulazione di scenario con diminuzione del prelievo di acque sotterranee a Cognento (pozzi Hera).

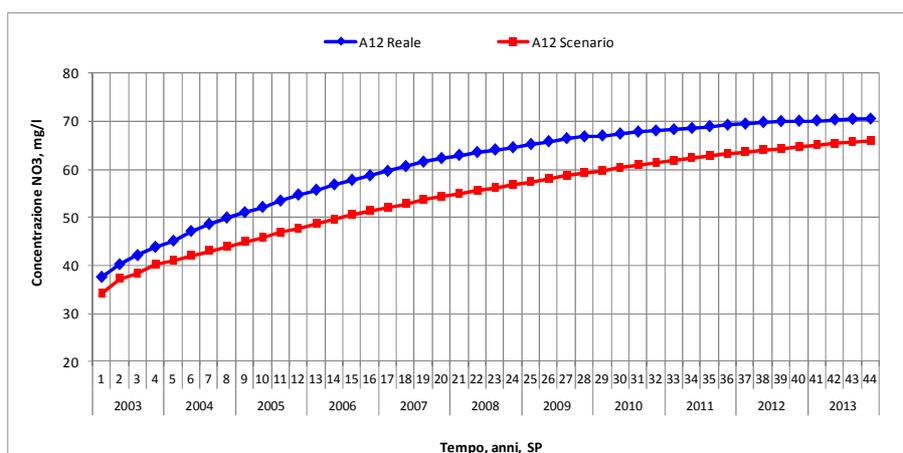


Figura 4.17: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sul pozzo P5 (Aimag) di Cognento in relazione alla simulazione di scenario con diminuzione del prelievo di acque sotterranee a Cognento (pozzi Hera)..

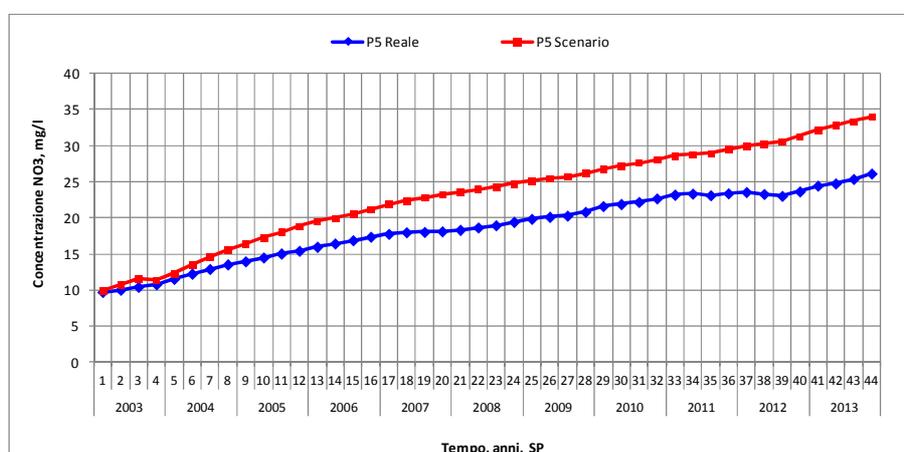


Tabella 4.3: effetti della diminuzione di prelievo a Cognento Hera sulle concentrazioni di nitrati in arrivo sui due campi pozzi di Cognento. Valori negativi denotano una diminuzione di concentrazione ottenuta dalla simulazione di scenario.

Campo pozzi	Abbassamento/aumento medio della concentrazione di nitrati (mg/l) al termine degli 11 anni di simulazione (dic 2013)	Abbassamento/aumento medio annuo della concentrazione di nitrati (mg/l/anno) negli 11 anni di simulazione del modello (feb 2003-dic 2013)
Hera-Cognento (Pozzi NO3 in aumento)	+5.9	+0.54
Hera-Cognento (pozzi NO3 in diminuzione)	-2.24	-0.21
Aimag-Cognento (Pozzi NO3 in aumento)	+3.60	+0.33
Aimag-Cognento (pozzi NO3 in diminuzione)	-1.00	-0.10

Il grafico di Figura 4.15 esplicita il diverso andamento temporale della concentrazione di nitrati sul pozzo A5 del campo pozzi di Hera Cognento in funzione della ipotesi di scenario adottata. Nella successive figure (Figura 4.16 e Figura 4.17) sono riportati gli andamenti temporali delle

concentrazioni di nitrati “reale” e di “scenario” anche per il pozzo A12 Hera e per il pozzo P5 di Aimag.

In estrema sintesi la Tabella 4.3 riporta le medie degli abbassamenti di concentrazione sui campi pozzi di Cognento ottenute come medie degli abbassamenti dei singoli pozzi appartenenti ai due campi pozzi (Hera ed Aimag). Gli abbassamenti vengono espressi come valore complessivo al termine degli 11 anni di simulazione e come tendenza media annua alla diminuzione della concentrazione ottenuta nella simulazione di scenario.

4.5 Scenario n°3: valutazioni relative al ripristino ai valori storici dei prelievi Hera del campo pozzi di Modena Sud

4.5.1 Ipotesi

La presente simulazione di scenario riguarda l'ipotesi di ripristino della piena funzionalità del campo pozzi Hera di Modena Sud secondo le modalità di esercizio dello stesso riferibili alla seconda metà degli anni '80 e la valutazione della modifica così indotta alle possibilità di arrivo dei nitrati sui pozzi di Cognento (effetto barriera).

Il campo pozzi di Modena Sud è attualmente costituito da 5 pozzi per una portata in concessione complessiva pari a 241 litri/secondo (Figura 4.18) cui corrispondono circa 7.5 milioni di metri cubi di acqua di possibile prelievo su base annua. Su tali volumi si è sempre assestato il prelievo del campo pozzi fino alla seconda metà degli anni '80 per poi gradualmente diminuire nel decennio successivo (Figura 4.19) fino ai valori di prelievo tuttora attivi e pari a circa 1.5 Mm³/anno.

Figura 4.18: Ubicazione e portate in concessione per i singoli pozzi del campo pozzi Hera di Modena Sud.

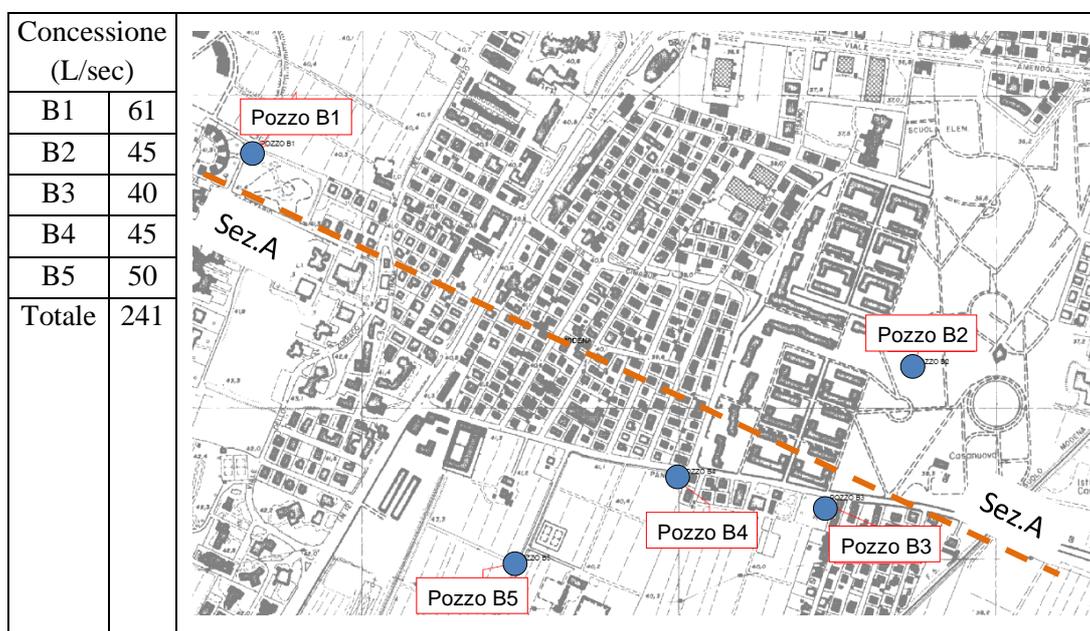


Figura 4.19: Analisi dei dati storici sui prelievi di acque sotterranee del campo pozzi Hera di Modena Sud. Dato annuale in milioni di m³.

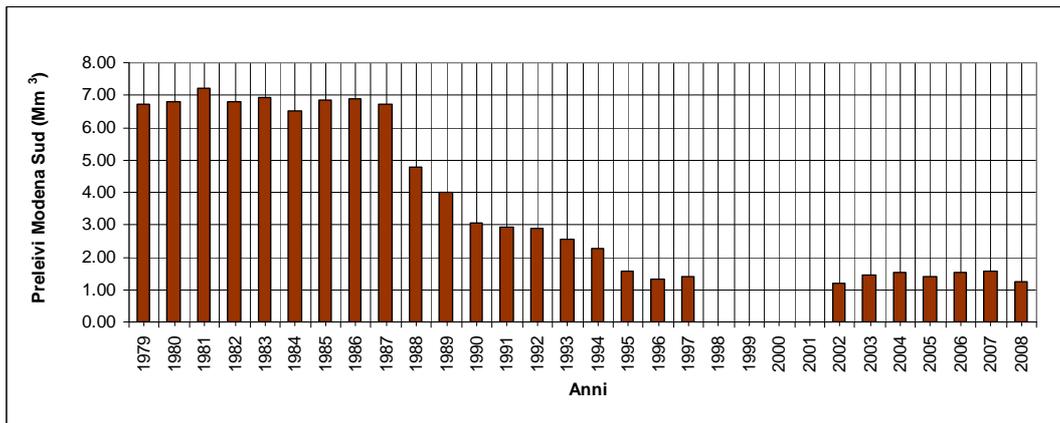
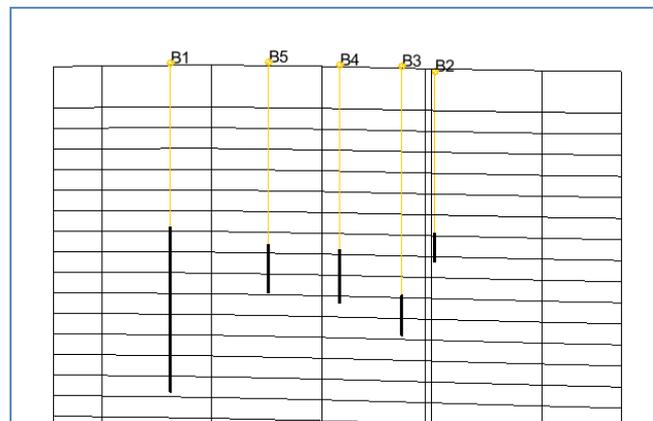
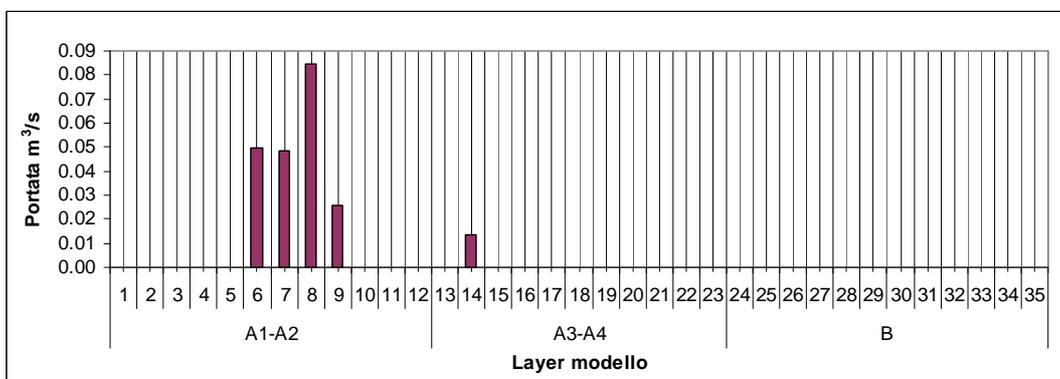


Figura 4.20: Sviluppo in verticale dei singoli pozzi del campo pozzi Hera di Modena Sud (vista lungo la sezione A di Figura 4.18, esagerazione verticale 10x).



Lo sviluppo dei filtri dei 5 pozzi permette (Figura 4.20) di associare la quasi totalità del prelievo ai layer 6-9 del modello numerico, attribuibili al Complesso Acquifero A2 (Figura 4.21). Una piccola parte del prelievo è associata più in profondità in corrispondenza dei filtri più profondi del pozzo B1 (a circa 120 m dal piano campagna).

Figura 4.21: prelievi di acque sotterranee della centrale di Hera a Modena Sud in funzione della profondità. Dato medio SPI-SP12.

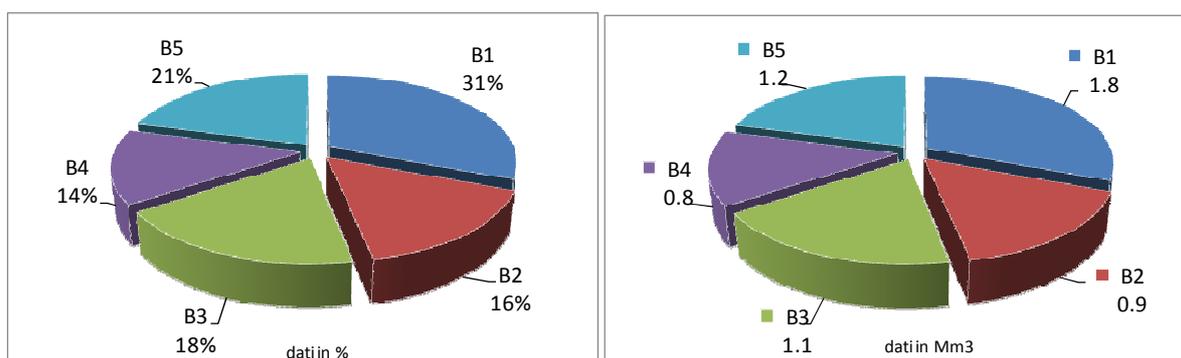


4.5.2 Impostazione della simulazione di scenario

A differenza della situazione “reale”, in questo caso la simulazione di scenario concretizza un maggior prelievo di acque sotterranee all’interno del campo pozzi Hera di Modena Sud, supposto costante nel tempo negli 11 anni di simulazione disponibili del modello e pari a $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ (5.7 milioni di metri cubi).

La ripartizione della maggiore portata di estrazione del campo pozzi sui singoli pozzi è stata effettuata sulla base dell’analisi dei dati storici disponibili relativamente a quel periodo come riportato nella Figura 4.22.

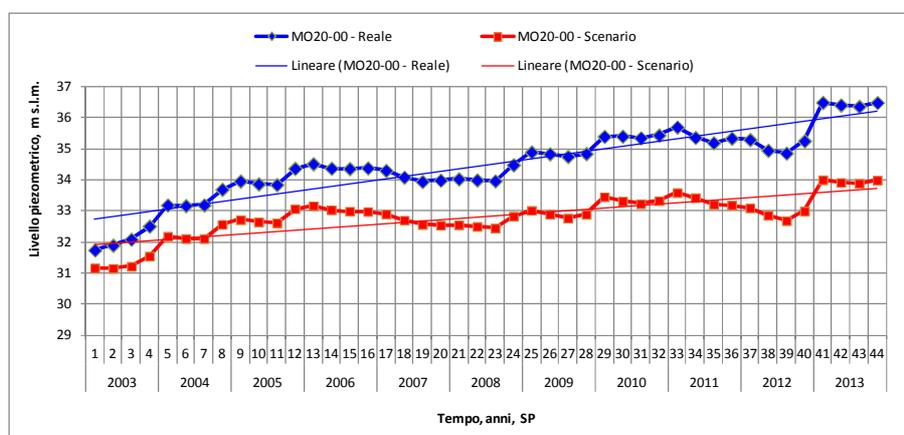
Figura 4.22: prelievi di acque sotterranee della centrale di Hera a Modena Sud. Percentuali e prelievi sui singoli pozzi. (dati anni '80 di funzionamento a pieno regime del campo pozzi).



4.5.3 Valutazione dei risultati, analisi del carico idraulico

La presenza continua del “nuovo” prelievo di acqua sotterranea presso il campo pozzi di Modena Sud provoca ovviamente un abbassamento del livello piezometrico, massimo in prossimità del campo pozzi, andando poi nel tempo sempre più ad interessare le zone circostanti. Nella Figura 4.23 viene mostrato l’andamento del carico idraulico nella simulazione di scenario in confronto all’andamento della situazione reale per il pozzo MO20-00, appartenente alla Rete Regionale di Monitoraggio e situato proprio all’interno del campo pozzi Modena Sud (Pozzo B2).

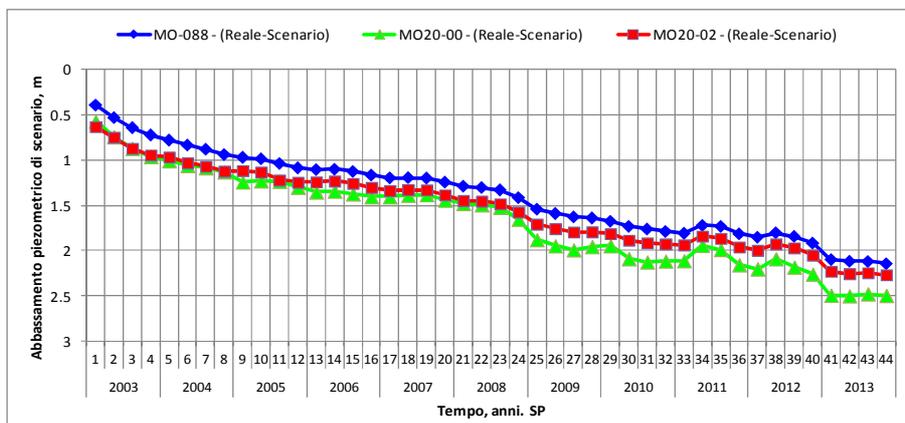
Figura 4.23: variazione piezometrica, ottenuta dall’incremento dei prelievi, sul pozzo MO20-00, corrispondente al pozzo B2 del campo pozzi di Hera.



Si nota come il maggior prelievo provochi un abbassamento iniziale di 0.6 metri del livello piezometrico del pozzo e nel tempo un abbassamento del trend, che rimane pur sempre positivo, di

0.15 m/anno. negli 11 anni di simulazione considerati. L'abbassamento piezometrico sul pozzo MO20-00, ottenuto come differenza tra il carico idraulico della simulazione reale rispetto a quella di scenario è riportato nella successiva Figura 4.24 e posto in confronto a quello di altri due pozzi, il MO20-02 (coincidente col pozzo A1 di Cognento), sempre della Rete Regionale ed il pozzo MO-088 della Rete Provinciale.

Figura 4.24: andamenti temporali degli abbassamenti piezometrici (differenza tra il carico idraulico della simulazione "Reale" e quella di scenario) ottenuti su alcuni punti di controllo.



4.5.4 Valutazione dei risultati, analisi del bilancio

L'analisi delle variazioni piezometriche indotte dal simulato aumento dei prelievi di Modena Sud, può essere completata dall'analisi del bilancio idrogeologico che è stata qui ulteriormente dettagliata applicando lo strumento del water budget alla zona indicata in Figura 4.25.

Nel dettaglio locale i flussi idrici descritti dall'analisi del bilancio nella simulazione di scenario possono essere posti a confronto con quelli della situazione "reale". Tali valori sono numericamente riportati anche nella Tabella 4.4 dove ne viene calcolata la differenza ed attribuito il senso fisico ai valori così ottenuti.

Di fatto i valori medi annui del decennio 2004-2013 evidenziano che:

- il maggior prelievo di acqua sotterranea nella simulazione di scenario è mediamente pari a $0.153 \text{ m}^3/\text{s}$ (dato medio 2004-2013), differenza tra i $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$ imposti nello scenario e quelli già effettivi nello stesso periodo;
- il maggior prelievo di acqua determina una variazione dei flussi di circolazione sotterranea corrispondenti ad un maggior richiamo di acqua verso i campi pozzi di Modena Sud e quindi anche di Cognento (da a da $0.163 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0.194 \text{ m}^3/\text{s}$), e ad un minor deflusso verso valle, oltre la zona dei prelievi ($0.062 \text{ m}^3/\text{s}$);
- del maggior richiamo di acqua risente anche il lato EST della zona di bilancio, al confine con la conoide del Tiepido, il cui scambio idrico viene incrementato nei 10 anni di simulazione disponibili da 0.428 a $0.458 \text{ m}^3/\text{s}$ con differenza pari a $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$;
- il volume di risorsa non bilanciato dalle variazioni di flusso indotte ed appena descritte rimane a carico degli immagazzinamenti per una portata pari a $0.028 \text{ m}^3/\text{s}$ che corrisponde ad un minor immagazzinamento di acqua all'interno della zona di bilancio analizzata. Tale risorsa corrisponde al 18% del volume di acqua sotterranea prelevato in più in tale zona nella situazione di scenario, rispetto alla situazione reale.

Figura 4.25: analisi della circolazioni idrica sotterranea nella conoide del Fiume Secchia in relazione all'aumento del prelievo di acque sotterranee a Modena Sud. Principali direzioni del deflusso sotterraneo, areale oggetto dell'analisi di dettaglio del bilancio e variazione indotta dalle ipotesi di scenario sulle singole voci di bilancio.

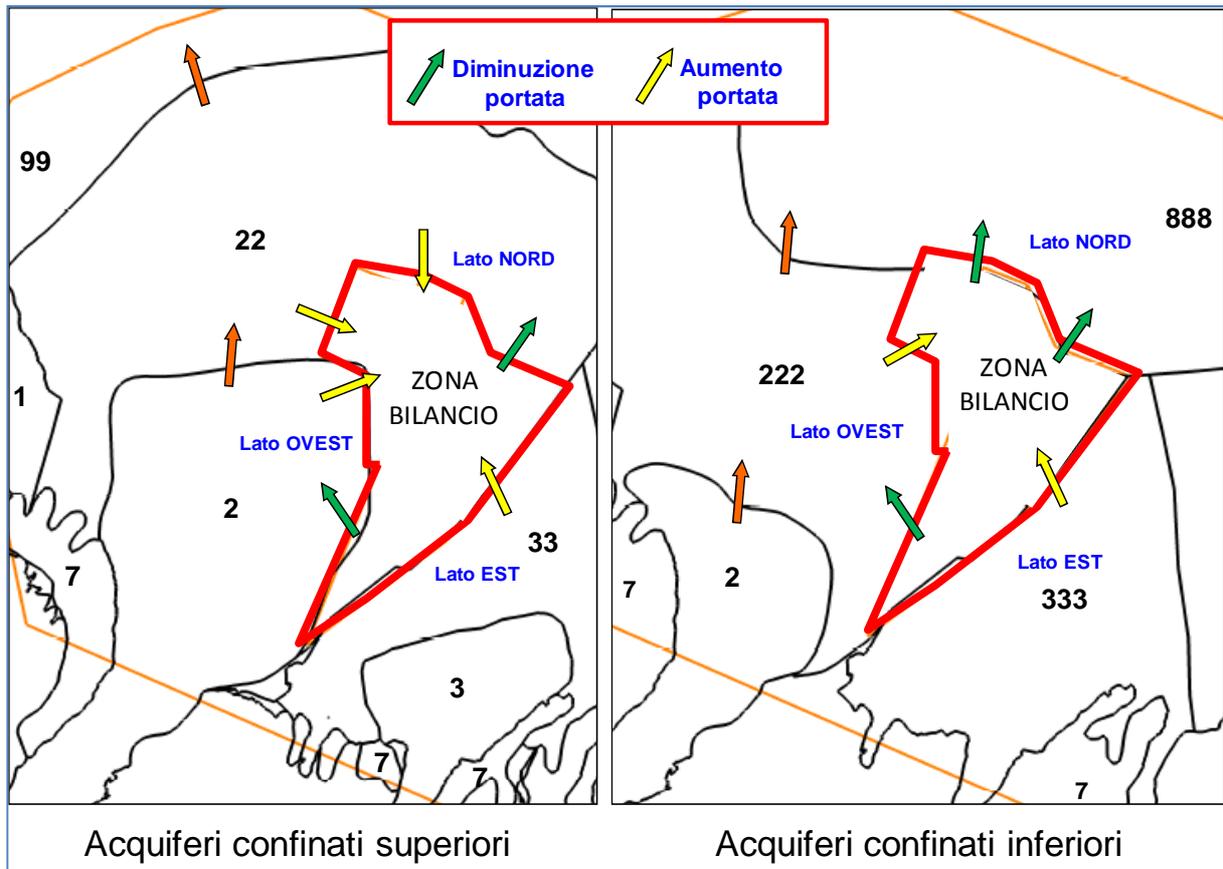


Tabella 4.4: analisi del bilancio. Effetti medi del maggior prelievo a Modena Sud sulle diverse voci del bilancio idrogeologico (immagazzinamenti e scambi laterali e verso valle) nei 10 anni di simulazione del modello.

	Scenario	Reale	Delta	Significato
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	
Prelievi	-0.766	-0.613	-0.153	maggior prelievo
Immagazzinamento	-0.050	-0.077	0.028	minor immagazzinamento
Lato EST (Tiepido)	0.458	0.428	0.030	maggior ingresso
Lato OVEST/ SUD OVEST (Secchia)	0.194	0.163	0.031	maggior ingresso
Lato OVEST (valle)	0.021	-0.041	0.062	minor uscita

4.5.5 Valutazione dei risultati, analisi delle concentrazioni di nitrati

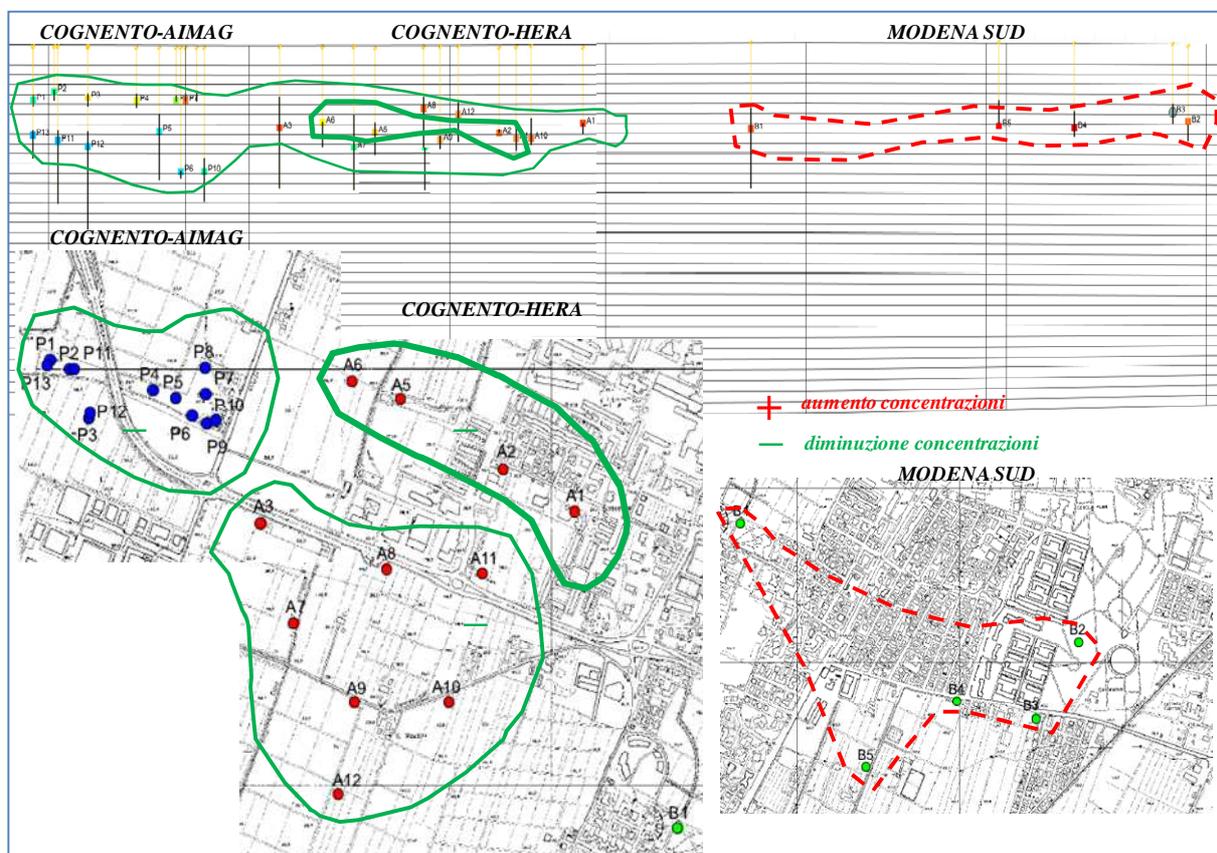
La modellistica del trasporto dei nitrati permette di valutare l'evoluzione della concentrazione dei nitrati presenti all'interno degli acquiferi relativamente al periodo di simulazione coperto dal modello (2003-2013).

In analogia a quanto precedente descritto per l'analisi delle variazioni del carico idraulico indotte dalle ipotesi di scenario (ripristino dei prelievi degli anni '80 nel campo pozzi di Modena Sud) è ora possibile effettuare una analisi delle variazioni indotte dalla diversa circolazione idrica sotterranea sulle concentrazioni di nitrati in arrivo su alcune posizioni del modello ritenute di interesse per le finalità dell'analisi.

Per valutare il possibile effetto barriera del prelievo operato nel campo pozzi di Modena Sud nei confronti dei campi pozzi Aimag ed Hera di Cognento vengono di seguito confrontati i valori delle concentrazioni di nitrati della simulazione “reale” con quelle di scenario per i pozzi appartenenti a questi ultimi campi pozzi.

La sequenza dei tre campi pozzi viene sinteticamente rappresentata in pianta (in basso) ed in sezione verticale (in alto) nella Figura 4.26. Nella stessa figura i singoli pozzi vengono raggruppati in funzione della variazione di concentrazione di nitrati indotta dalla simulazione di scenario. In verde (-) vengono indicati i pozzi per i quali l'incremento di prelievo a Modena Sud provoca mediamente un abbassamento della concentrazione di nitrati, il colore rosso (+) viceversa evidenzia mediamente un aumento di concentrazione riscontrata sul pozzo nella simulazione di scenario. La figura mostra che in tutti i pozzi di Cognento si assiste, seppure in misura diversa, ad una diminuzione dei valori di concentrazione di nitrati nelle ipotesi di scenario.

Figura 4.26: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sui pozzi di Cognento in relazione all'aumento del prelievo di acque sotterranee a Modena Sud della simulazione di scenario (ripristino dei prelievi anni '80).



Il grafico di Figura 4.27 esplicita il diverso andamento temporale della concentrazione di nitrati sul pozzo A5 del campo pozzi di Hera Cognento in funzione della ipotesi di scenario adottata. Nella successive figure (Figura 4.28 e Figura 4.29) sono riportati gli andamenti temporali delle concentrazioni di nitrati “reale” e di “scenario” anche per il pozzo A12 Hera e per il pozzo P5 di Aimag.

Figura 4.27: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sul pozzo A5 (Hera) di Cognento in relazione all'aumento del prelievo di acque sotterranee a Modena Sud della simulazione di scenario.

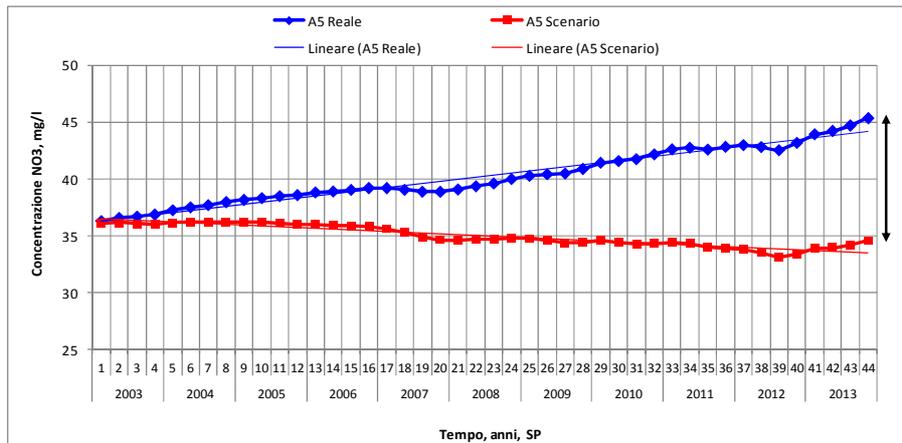


Figura 4.28: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sul pozzo A12 (Hera) di Cognento in relazione all'aumento del prelievo di acque sotterranee a Modena Sud della simulazione di scenario..

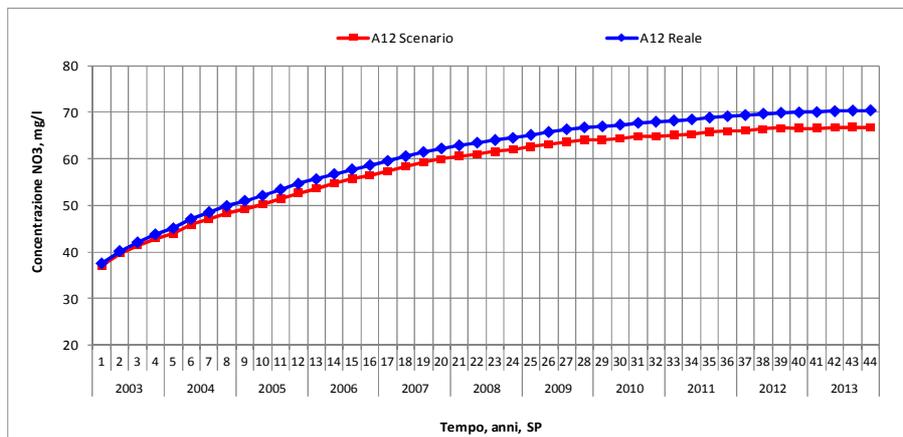
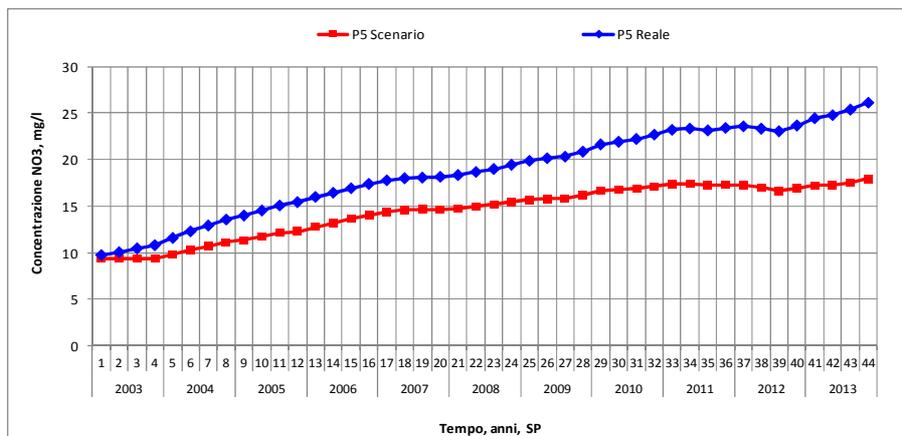


Figura 4.29: analisi delle variazioni di concentrazione di nitrati in arrivo sul pozzo P5 (Aimag) di Cognento in relazione all'aumento del prelievo di acque sotterranee a Modena Sud della simulazione di scenario.



In estrema sintesi la Tabella 4.5 riporta le medie degli abbassamenti di concentrazione sui campi pozzi di Cognento ottenute come medie degli abbassamenti dei singoli pozzi appartenenti ai due campi pozzi (Hera ed Aimag). Gli abbassamenti vengono espressi come valore complessivo al termine degli 11

anni di simulazione e come tendenza media annua alla diminuzione della concentrazione ottenuta nella simulazione di scenario.

Tabella 4.5: effetti del maggior prelievo a Modena Sud sulle concentrazioni di nitrati in arrivo sui due campi pozzi di Cognento. Valori negativi denotano una diminuzione di concentrazione ottenuta dalla simulazione di scenario.

Campo pozzi	Abbassamento medio della concentrazione di nitrati (mg/l) al termine degli 11 anni di simulazione (dic 2013)	Abbassamento medio annuo della concentrazione di nitrati (mg/l/anno) negli 11 anni di simulazione del modello (feb 2003-dic 2013)
Hera-Cognento	-7.0	-0.64
Aimag-Cognento	-4.4	-0.40

5 Bibliografia

- [1] Aquaveo. *The New Groundwater Modeling System*. <http://www.aquaveo.com/gms>.
- [2] Arpa Emilia-Romagna e Regione Emilia-Romagna (2015). *Valutazione dello stato delle acque sotterranee 2010-2013*. Rapporto tecnico, Bologna, 95pp.
- [3] Arya A., Hewett T.A., Larson R.G., Lake L.W. (1988). *Dispersion and Reservoir Heterogeneity*. SPE Reservoir Engineering.
- [4] Atersir, Arpa (2013). Implementazione della modellistica di flusso delle acque sotterranee della provincia di Modena a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica.
- [5] Chunmiao Zheng, P. Patrick Wang (1999). *MT3DMS A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide*.
- [6] DGR 1781/2015 - Aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento (carichi inquinanti, bilanci idrici e stato delle acque) ai fini del riesame dei Piani di Gestione Distrettuali 2015-2021. All. 1 - Carichi inquinanti puntuali e diffusi apportati ai suoli e alle acque superficiali e sotterranee.
- [7] DGR 1781/2015 - Aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento (carichi inquinanti, bilanci idrici e stato delle acque) ai fini del riesame dei Piani di Gestione Distrettuali 2015-2021. All. 2 – Bilanci Idrici.
- [8] EG Engineering Geology, ATO 4 MO Agenzia d'Ambito per i Servizi Pubblici di Modena (2007). *Piano d'Ambito del Servizio Idrico Integrato. Risorse idriche sotterranee della pianura modenese. Fase I- Revisione e omogeneizzazione degli studi idrogeologici. Relazione tecnica*.
- [9] Gelhar L.W., Welty C., Rehfeldt K.R. (1992). *A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers*. Water Resources Research vol. 28, no. 7, pp 1955-1974
- [10] Harbaugh A.W., Banta E.R., Hill M.C. & McDonald M.G. (2000). *MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-water model – User Guide to Modularization concepts and the Ground-water Flow Process*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-92.
- [11] Mercado A. (1967) - *The spreading pattern of injected waters in a permeable stratified aquifer*. Symposium on Artificial recharge and management of aquifer, IAHS, publication No. 72, Haifa.
- [12] Mc Donald M.G. e Harbaugh A.W. (1988). *A modular three-dimensional finite difference ground water flow model*. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 6, chapter A1.
- [13] Pratizzoli W. (2009). *Validazione di un modello di bilancio idrico per colture "idroesigenti" .. ARPA Rivista N. 3 maggio-giugno 2009*.

- [14] Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio, Selca, Firenze.
- [15] Schulze-Makuch D. (2005). *Longitudinal Dispersivity Data and Implications for Scaling Behavior*. *Ground Water*, vol. 43, no. 3, pp 443-456
- [16] Tomei F. , Antolini G. , Bittelli M., Marletto V., Pasquali A., Van Soetendael M. (2007) . *Validazione del modello di bilancio idrico criteria*. AIAM 2007 - 10° Convegno nazionale di Agrometeorologia.
- [17] Zinoni F., Marletto V., Botarelli L., Alessandrini C., Spisni (2004). *Siccità e desertificazione: uno studio nella valle del fiume Lamone*. ARPA Rivista N. 5 settembre-ottobre 2004.