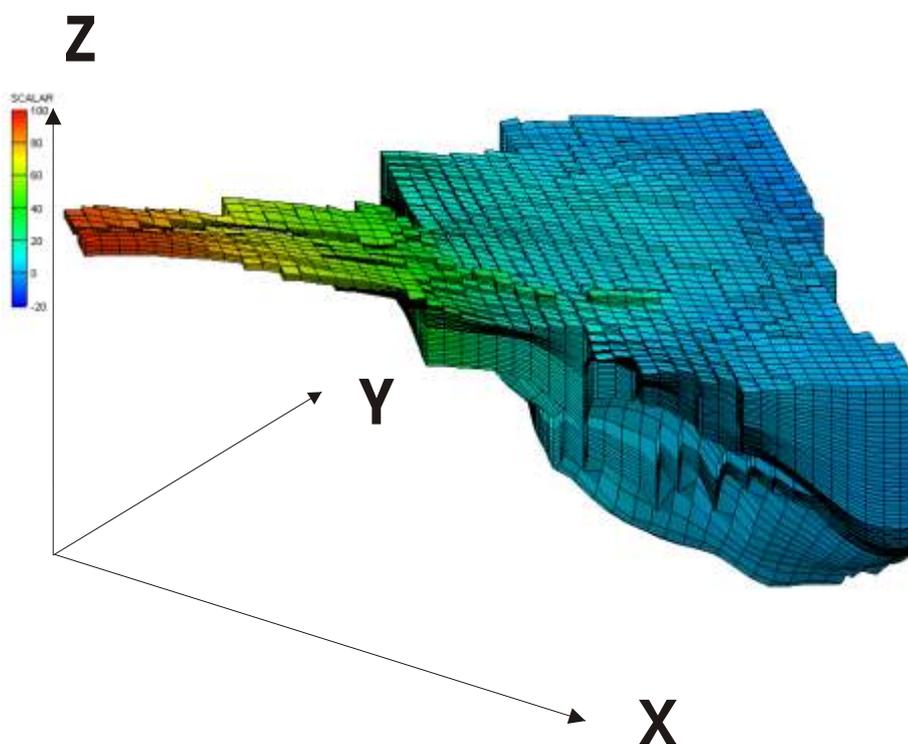


**STUDIO DELLA CONOIDE ALLUVIONALE DEL  
FIUME MARECCHIA: ANALISI QUALI-QUANTITATIVA A  
SUPPORTO DELLA CORRETTA GESTIONE DELLA  
RISORSA IDRICA**



## Relazione





Dott. **Giuseppe Bortone** Responsabile del Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua

Referenti del Progetto per conto della Regione Emilia - Romagna:

Ing. **Tiziano Draghetti**, - Dirigente Responsabile della Pianificazione Sostenibile della risorsa idrica

Dott. **Giorgio Frassinetti** - Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua

Dott. **Raffaele Pignone** – Responsabile del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Dott. **Paolo Severi** – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

Responsabili di Progetto:

- Ing. **Andrea Chahoud** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Dott.ssa **Gisella Ferroni** - ARPA Ingegneria Ambientale

Il Gruppo di Lavoro è costituito da:

- Dott. **Flavio Bonsignore** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Ing. **Andrea Chahoud** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Dott. **Ubaldo Cibin** – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- Ing. **Daniele Cristofori** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Ing. **Emanuele Dal Bianco** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Dott.ssa **Gisella Ferroni** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Dott. **Giorgio Frassinetti** - Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua
- Dott. **Luca Gelati** - Collaboratore ARPA Ingegneria Ambientale
- Dott.ssa **Marina Guermandi** – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- Dott. **Fabrizio Morandi** - Servin Ravenna, consulente Arpa-IA
- Ing. **Maurizio Morelli** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Dott. **Giuseppe Patrizi** - Servin Ravenna, consulente Arpa-IA
- Ing. **Alessandro Pazzi** - Servin Ravenna, consulente Arpa-IA
- Dott. **Paolo Severi** – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli
- Ing. **Paolo Spezzani** - ARPA Ingegneria Ambientale
- Dott. **Giacomo Zaccanti** – Collaboratore Arpa Ingegneria Ambientale

Hanno inoltre contribuito per le diverse attività:

- Dott.ssa **Monica Branchi** – ARPA Ingegneria Ambientale per la cartografia
- Dott.ssa **M.C. Calzolari**, Dott. **F. Ungaro** del CNR IRPI - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica Unità Staccata di Firenze - Pedologia Applicata per la parte sulla caratterizzazione idrologica del suolo e l'analisi modellistica di bilancio idrico e di azoto nei suoli;
- Sig.ra **Leda Ferrari** - Arpa Ingegneria Ambientale per la grafica di copertina
- Dott. **Stefano Pezzi** - – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli per la realizzazione delle sezioni geologiche;

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

- Dott. **Massimo Filippini** – Provincia di Rimini

- Ing. **Filippo Forlani** - Studio SGAI Rimini
- Dott.**Luca Marcone** – Autorità di Bacino Conca e Marecchia
- Ing.**Mauro Mastellari** – Autorità di Bacino Conca e Marecchia
- Dott.ssa **Daniela Tonini** - Studio TI Rimini
- Dott. **F.G. Piccinelli** – Romagna Acque
- Dott. **D. Giunchi** – Hera S.p.A.



# INDICE

<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>1. LA VALUTAZIONE DEL CARICO DI AZOTO (C10) .....</b>	<b>2</b>
1.1 STIMA DEI CARICHI INQUINANTI SVERSATI DA FONTI PUNTUALI .....	3
1.1.1 Carichi provenienti dal sistema fognario - depurativo.....	6
1.1.2 Carichi provenienti dagli scaricatori di piena.....	13
1.1.3 Carichi in corpo idrico superficiale provenienti dal settore industriale.....	15
1.2 STIMA DEI CARICHI INQUINANTI DIFFUSI .....	16
1.2.1 Apporti al suolo da pratiche di tipo agronomico .....	21
1.2.1.1 Calcolo del fabbisogno delle colture.....	21
1.2.1.2 Stima delle disponibilità.....	23
1.2.1.3 Apporti al suolo a seguito delle pratiche agro-zootecniche.....	31
1.2.1.4 Contributi di origine naturale.....	32
1.2.1.5 Apporti complessivi al suolo da fonti di tipo diffuso .....	33
1.2.2 Apporti al suolo da fonti di tipo civile .....	34
1.3 CARICHI SVERSATI IN ACQUE SUPERFICIALI.....	34
1.4 CALENDARIZZAZIONE DEGLI APPORTI DA FONTI DI TIPO DIFFUSO.....	39
<b>2. IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO E DI TRASPORTO DEGLI IDROINQUINANTI DELLA CONOIDE DEL FIUME MARECCHIA (E, F, G2, H) .....</b>	<b>43</b>
2.1 COSTRUZIONE DEL MODELLO .....	43
2.1.1 Discretizzazione spaziale e temporale .....	43
2.1.2 Struttura e geometria del sistema .....	46
2.1.3 Analisi dei dati isotopici disponibili in rapporto alla struttura della conoide del Fiume Marecchia .....	51
2.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO .....	53
2.2.1 Condizioni iniziali ed al contorno del modello di flusso (analisi del carico idraulico).....	53
2.2.2 Regionalizzazione 3-d del carico idraulico.....	53
2.2.2.1 Analisi strutturale del carico idraulico .....	53
2.2.2.2 Distribuzione del carico idraulico .....	55
2.2.3 Definizione del termine sorgente .....	58
2.2.3.1 Ricarica zenitale.....	58
2.2.3.1.1 Analisi dei dati di infiltrazione efficace dalla superficie (attività C8).....	58
2.2.3.1.2 Dati di ricarica zenitale in ingresso al modello .....	61
2.2.3.2 Ricarica fluviale.....	63
2.2.3.3 Prelievi.....	64
2.2.3.3.1 Prelievi civili.....	64
2.2.3.3.2 Prelievi industriali.....	65
2.2.3.3.3 Prelievi agricoli e zootecnici.....	66
2.2.4 Stima delle variabili di controllo .....	66
2.3 TARATURA DEL MODELLO DI FLUSSO .....	68
2.3.1 Assetto delle permeabilità.....	68
2.3.2 Assetto del flusso.....	73
2.3.3 Controllo della taratura.....	78
2.3.4 Bilancio idrogeologico della conoide .....	90
2.4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO DI NITRATI .....	102
2.4.1 Analisi della distribuzione di nitrati nella conoide .....	102
2.4.2 Condizioni iniziali ed al contorno del modello di trasporto .....	106
2.4.3 Definizione del termine sorgente (Ricarica zenitale).....	111
2.4.3.1 Valutazione della dinamica dell'azoto nei suoli (attività C9).....	112
2.4.3.2 Valutazione dei carichi di Azoto (attività C10).....	115
2.4.3.3 Attività di supporto al PTA.....	115
2.4.3.4 I dati di ricarica zenitale di nitrati in ingresso nel modello .....	116
2.4.4 Stima delle variabili di controllo .....	117
2.4.4.1 Meccanismi del trasporto di un soluto in soluzione .....	117

2.4.4.2	Parametrizzazione del modello di trasporto (porosità, dispersività).....	118
2.5	TARATURA DEL MODELLO DI TRASPORTO.....	120
2.5.1	<i>Distribuzione delle concentrazioni di nitrati</i> .....	120
2.5.2	<i>Controllo della taratura</i> .....	122
2.5.3	<i>Bilancio di massa di nitrati nella conoide</i> .....	129
2.6	UTILIZZO DEI MODELLI.....	132
2.6.1	<i>Considerazioni generali sulla schematizzazione della circolazione idrica sotterranea in funzione delle modalità di gestione</i> .....	132
2.6.2	<i>Le risposte e le potenzialità dei modelli</i> .....	133
2.6.2.1	Verifiche su base idraulica.....	134
2.6.2.2	Verifiche su base idraulica e sul trasporto di nitrati .....	135
2.6.3	<i>Elementi di supporto alle scelte di pianificazione della risorsa idrica</i> .....	135
<b>3.</b>	<b>VALUTAZIONI SULLA SUBSIDENZA (C5) .....</b>	<b>138</b>
3.1	IL MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA IN EMILIA-ROMAGNA.....	138
3.2	IL FENOMENO DELLA SUBSIDENZA NEL TERRITORIO RIMINESE NEL PERIODO 1987-1999.....	139
3.3	TENDENZA DEL FENOMENO NEL PERIODO 1999-2005.....	148
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>152</b>

## **PREMESSA**

La Regione Emilia-Romagna con D.G.R. n. 1421/2002, ha predisposto il Progetto “*Le acque di sottosuolo della conoide del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della gestione sostenibile della risorsa idrica*”, finalizzato alla valutazione quantitativa ed allo studio delle caratteristiche qualitative delle acque contenute nella conoide. Obiettivo principale che ci si pone con questo progetto è di fornire elementi chiari per valutare la quantità della risorsa idrica sfruttabile ed individuare le cause e di conseguenza di proporre dei rimedi sulla presenza dei nitrati nelle acque di sottosuolo.

Il progetto nel suo complesso vede il coinvolgimento, oltre alla Regione Emilia-Romagna (Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua e Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli), di tutti gli Enti territorialmente competenti quali l’Autorità di Bacino interregionale Marecchia-Conca, la Provincia di Rimini, l’AMIR S.p.a (ora Hera S.p.a) e Romagna Acque..

Il Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua, ha affidato ad ARPA Ingegneria Ambientale, tramite convenzione del 4 marzo 2004, la realizzazione di alcune attività dell’intero progetto, che di seguito sono riportate:

C5) Valutazioni sulla subsidenza

C10) La valutazione del carico di azoto

E) Implementazione del modello di flusso della conoide alluvionale del fiume Marecchia

F) Implementazione del modello di trasporto degli idroinquinanti della conoide del fiume Marecchia

G2) Modello di flusso e modello di trasporto degli idroinquinanti della conoide del fiume Marecchia

H) Collaudo del modello proposto e possibili tarature

Nei paragrafi che seguono sono riportate le risultanze delle attività sviluppate senza necessariamente rispettare l’ordine con il quale le stesse sono state descritte all’interno nella specifica tecnica allegata alla Convenzione ma mantenendo di volta in volta il riferimento al codice di attività ad esse relativo.

Si farà inoltre spesso riferimento ad altre attività del progetto complessivo, che il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, ha affidato sempre ad ARPA Ingegneria Ambientale, tramite convenzione dell’8 aprile 2004, e le cui risultanze sono riportate nel rapporto di fine lavori datato novembre 2005 ([1], Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.).

## **1. LA VALUTAZIONE DEL CARICO DI AZOTO (C10)**

Tra gli elaborati sviluppati da ARPA per la redazione del quadro conoscitivo a supporto del Piano di Tutela delle Acque è presente l'Attività E: "Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi .." ([11]) in cui sono stati valutati i carichi inquinanti generati da fonti antropiche e sversati nei corpi idrici superficiali. Tale elaborato, svolto a livello regionale, verrà ripreso in questa indagine sia a livello provinciale, sia a scala di singola conoide con particolare attenzione ai carichi di azoto la cui dinamica nelle acque sotterranee è oggetto della implementazione modellistica descritta nel successivo paragrafo 2..

I carichi inquinanti, provenienti dalle varie fonti antropiche presenti sul territorio, sono, in linea di massima riconducibili a due macro-categorie:

- carichi puntuali;
- carichi diffusi.

Relativamente alla prima categoria in essa possono essere distinte le seguenti modalità e tipologie di scarico verso i corpi idrici recettori:

- scarichi domestici e industriali che recapitano in fognatura;
- scaricatori di piena cittadini;
- scarichi provenienti dal settore produttivo/industriale.

Principale caratteristica di questi scarichi è rappresentata dalla possibilità di essere georeferenziati, essendo riconducibili, in linea di principio, a fonti puntuali identificabili sul territorio.

Nella seconda categoria sono, di contro, riunite tutte quelle fonti di carico inquinante, che per la loro natura e provenienza sono rappresentabili da carichi diffusi sul territorio (quindi non georeferenziabili), la cui provenienza è, normalmente, individuata nelle varie e complesse pratiche agronomiche approntate sul territorio.

La metodologia adottata ha avuto come obiettivo prioritario quello di fissare l'attenzione direttamente sui carichi sversati; tale scelta ha avuto positivi riscontri essenzialmente per quanto riguarda l'individuazione e la caratterizzazione delle cosiddette fonti puntuali, che, per loro natura, risultano riconducibili in elenchi, archivi, catasti dai quali è possibile, almeno in linea teorica, estrarre le informazioni necessarie. Per quanto riguarda i carichi di inquinanti (essenzialmente nutrienti) scaricati nel sistema di drenaggio superficiale, delle già citate fonti diffuse e, in particolar modo, da quelle legate alle pratiche agronomiche, la loro determinazione si è basata sull'utilizzo di una procedura di regionalizzazione dei carichi sversati per le aree montane e collinari e del modello matematico CRITERIA per le aree di pianura, maggiormente interessate da coltivazioni intensive.

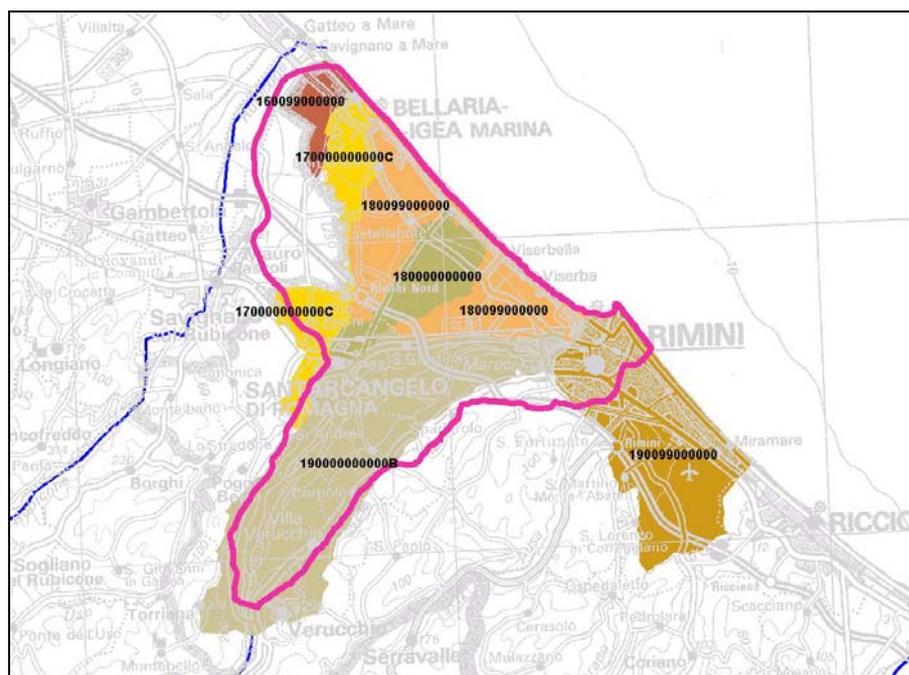
Le elaborazioni presentate nei paragrafi successivi fanno riferimento di norma ai Bacini principali presenti nel territorio riminese, con degli approfondimenti di dettaglio che puntano a quantificare i carichi, apportati su suolo e sversati nei corsi d'acqua, in ogni singolo sottobacino interessato dalla conoide del Marecchia.

In particolare i Sottobacini a cui si fa riferimento sono: lo scolo Brancona, le parti terminali dei Bacini dell'Uso e del Marecchia e le rispettive aree drenate direttamente a mare.

Tabella 1-1: Codici dei sottobacini corrispondenti all'areale della conoide del Marecchia

Codice	Nome Sottobacino
160099000000	F. RUBICONE - MARE
170000000000C	USO
180000000000	CONSORZIALE BRANCONA
180099000000	SC. BRANCONA - MARE
190000000000B	MARECCHIA
190099000000	F. MARECCHIA - MARE

I Sottobacini denominati “Nome Bacino – Mare” individuano quelle parti di territorio che drenano le acque meteoriche direttamente in Mare Adriatico e limitrofe al Bacino corrispondente (come si può vedere nella Figura successiva). Nelle tabelle riassuntive a livello di Bacino le aree drenate direttamente a mare vengono considerate nel termine “Altri areali”.



### 1.1 STIMA DEI CARICHI INQUINANTI SVERSATI DA FONTI PUNTUALI

La presente attività ha avuto come finalità l'individuazione sul territorio e la quantificazione dei carichi provenienti dalle fonti cosiddette puntuali riconducibili alle seguenti tipologie:

- sistema pubblico di collettamento e di depurazione:

- depuratori: carichi prodotti dai sistemi di trattamento delle acque reflue (*Depuratori*);
- reti non depurate: sono la quota parte dei carichi inquinanti che vengono veicolati nella rete fognaria ma che non subiscono alcun trattamento depurativo prima della loro immissione nel corso d'acqua (*Reti no dep*);
- eccedenze depurative: sono i quantitativi di inquinante che vengono recapitati direttamente nel corpo idrico superficiale nel caso venga trasportato all'impianto di depurazione un carico superiore alla sua capacità di progetto (*Eccedenze*);
- scaricatori di piena cittadini: nei sistemi di drenaggio unitari vengono di norma inseriti degli scaricatori di piena, che immettono, durante gli eventi meteorici, le portate diluite nei corsi d'acqua. Durante i periodi di pioggia questo si rende necessario sia per contenere le dimensioni dei collettori di valle, sia perché gli impianti di trattamento delle acque reflue normalmente non sono in grado di trattare efficacemente carichi idraulici elevati (oltre a circa 3 volte la portata di tempo secco) e liquami estremamente diluiti (*Sfioratori*);
- scarichi in corpo idrico superficiale del settore produttivo/industriale: sono gli scarichi che provengono dalle attività produttive che recapitano i propri reflui direttamente nei corsi d'acqua, dopo un adeguato trattamento depurativo (*Industrie*).

Nelle tabelle successive vengono presentati i risultati ottenuti per i parametri BOD<sub>5</sub>, azoto e fosforo sversati da fonti di tipo puntuale, suddivisi per bacino principale. Come si può notare i maggiori quantitativi di BOD<sub>5</sub> vengono prodotti dagli impianti di trattamento e dagli scarichi degli sfioratori di piena al servizio delle reti fognarie che, sommati, compongono circa l'80% dei carichi di BOD<sub>5</sub> complessivamente sversati dalle fonti puntuali.

Per gli sfioratori di piena si è stimata un percentuale di carico di BOD<sub>5</sub>, mediamente nell'anno, pari a circa il 56% del totale; pertanto, visto che queste opere idrauliche funzionano solo nei periodi di pioggia, bisogna supporre che, in tali periodi, la loro influenza sulla qualità dell'acqua, nelle zone limitrofe lo scarico, sia di gran lunga superiore a tale valore.

Per i parametri nutrienti invece si può osservare come il solo contributo degli impianti di trattamento copra circa l'88% del totale complessivo sversato per il parametro azoto e il 55% per il fosforo. Di tali quantitativi risultano essere a carico del Bacino del Marecchia il 60% e il 61% del totale, rispettivamente per azoto e fosforo.

Di seguito viene riportata brevemente la metodologia seguita nel Piano di Tutela delle Acque per la quantificazione dei carichi sversati dal sistema fognario – depurativo in corpo idrico superficiale, dagli scaricatori di piena e dal sistema produttivo.

Tabella 1-2: Carichi di **BOD<sub>5</sub>** sversati in corpo idrico superficiale per scarichi di tipo puntuale, da fonti presenti nel territorio provinciale

Codice	Nome Bacino	Depuratori (kg/y)	Reti no dep (kg/y)	Eccedenze (kg/y)	Sfioratori (kg/y)	Industrie (kg/y)	Totale (kg/y)
1600	F. RUBICONE	0	0	0	110	0	110
1700	F. USO	45.260	25.076	51.192	19.896	259	141.682
1800	SC. BRANCONA	0	0	0	8.809	1.015	9.824
1900	F. MARECCHIA	128.811	80.198	9.023	93.274	5.773	317.079
2000	R. MARANO	29.969	869	937	14.250	115	46.140
2100	R. MELO	30.658	10.647	5.744	25.251	0	72.300
2200	F. CONCA	13.192	0	9.065	21.264	0	43.521
2300	T. VENTENA	19.315	465	2.803	9.317	0	31.901
2400	T. TAVOLLO	1.330	0	8	41.919	0	43.258
2500	T. SALSO	1.643	0	0	0	0	1.643
	Altri areali	1.643	3.123	3	380.363	5.442	390.574
	Totale	271.820	120.378	78.775	614.453	12.604	1.098.030

Tabella 1-3 Carichi di **azoto** sversati in corpo idrico superficiale per scarichi di tipo puntuale, da fonti presenti nel territorio provinciale

Codice	Nome Bacino	Depuratori (kg/y)	Reti no dep (kg/y)	Eccedenze (kg/y)	Sfioratori (kg/y)	Industrie (kg/y)	Totale (kg/y)
1600	F. RUBICONE	0	0	0	12	0	12
1700	F. USO	94.991	5.153	10.520	2.144	209	113.017
1800	SC. BRANCONA	0	0	0	949	820	1.769
1900	F. MARECCHIA	538.506	16.481	1.854	10.050	4.661	571.552
2000	R. MARANO	95.341	179	193	1.535	93	97.341
2100	R. MELO	53.998	2.188	1.180	2.721	0	60.087
2200	F. CONCA	6.325	0	1.863	2.291	0	10.479
2300	T. VENTENA	105.636	96	576	1.004	0	107.312
2400	T. TAVOLLO	310	0	2	4.517	0	4.828
2500	T. SALSO	383	0	0	0	0	383
	Altri areali	383	642	1	40.982	4.395	46.402
	Totale	895.873	24.738	16.188	66.204	10.178	1.013.180

Tabella 1-4 Carichi di **fosforo** sversati in corpo idrico superficiale per scarichi di tipo puntuale, da fonti presenti nel territorio provinciale

Codice	Nome Bacino	Depuratori (kg/y)	Reti no dep (kg/y)	Eccedenze (kg/y)	Sfioratori (kg/y)	Industrie (kg/y)	Totale (kg/y)
1600	F. RUBICONE	0	0	0	4	0	4
1700	F. USO	3.824	769	1.570	670	65	6.897
1800	SC. BRANCONA	0	0	0	297	254	550
1900	F. MARECCHIA	22.118	2.459	277	3.141	1.443	29.438
2000	R. MARANO	3.546	27	29	480	29	4.110
2100	R. MELO	1.508	327	176	850	0	2.861
2200	F. CONCA	733	0	278	716	0	1.727
2300	T. VENTENA	4.141	14	86	314	0	4.555
2400	T. TAVOLLO	49	0	0	1.411	0	1.461
2500	T. SALSO	60	0	0	0	0	60
	Altri areali	60	96	0	12.807	1.361	14.324
	Totale	36.040	3.692	2.416	20.689	3.151	65.987

I carichi esplicitati a livello di Bacino sono stati ulteriormente specificati a livello di Sottobacino di interesse, come riportato nelle Tabelle successive.

**Tabella 1-5 Carichi di BOD5 sversati in corpo idrico superficiale per scarichi di tipo puntuale, da fonti presenti nel territorio provinciale, suddivisi per sottobacini**

Nome Sottobacino	Depuratori (t/y)	Reti no dep (t/y)	Eccedenze (t/y)	Sfioratori (t/y)	Industrie (t/y)	Totale (t/y)
F. RUBICONE - MARE	0	0	0	10.258	1.351	11.608
USO	39.685	13.118	0	15.276	187	68.266
CONSORZIALE BRANCONA	0	0	0	8.809	1.015	9.824
SC. BRANCONA - MARE	1.643	1.530	3	77.979	3.806	84.960
MARECCHIA	128.811	52.056	9.023	57.128	2.239	249.257
F. MARECCHIA - MARE	0	1.593	0	198.409	51	200.053
<b>Totale</b>	<b>170.138</b>	<b>68.297</b>	<b>9.025</b>	<b>357.601</b>	<b>7.298</b>	<b>612.360</b>

**Tabella 1-6 Carichi di azoto sversati in corpo idrico superficiale per scarichi di tipo puntuale, da fonti presenti nel territorio provinciale, suddivisi per Sottobacino di interesse**

Nome Sottobacino	Depuratori (t/y)	Reti no dep (t/y)	Eccedenze (t/y)	Sfioratori (t/y)	Industrie (t/y)	Totale (t/y)
F. RUBICONE - MARE	0	0	0	1.105	1.091	2.196
USO	93.693	2.696	0	1.646	151	98.185
CONSORZIALE BRANCONA	0	0	0	949	820	1.769
SC. BRANCONA - MARE	383	314	1	8.402	3.073	12.172
MARECCHIA	538.506	10.698	1.854	6.155	1.808	559.022
F. MARECCHIA - MARE	0	327	0	21.377	41	21.746
<b>Totale</b>	<b>632.581</b>	<b>14.035</b>	<b>1.855</b>	<b>38.529</b>	<b>5.893</b>	<b>692.894</b>

**Tabella 1-7 Carichi di fosforo sversati in corpo idrico superficiale per scarichi di tipo puntuale, da fonti presenti nel territorio provinciale, suddivisi per Sottobacino di interesse**

Nome Sottobacino	Depuratori (t/y)	Reti no dep (t/y)	Eccedenze (t/y)	Sfioratori (t/y)	Industrie (t/y)	Totale (t/y)
F. RUBICONE - MARE	0	0	0	345	345	0
USO	3.619	402	0	514	4.535	3.619
CONSORZIALE BRANCONA	0	0	0	297	297	0
SC. BRANCONA - MARE	60	47	0	2.626	2.733	60
MARECCHIA	22.118	1.596	277	1.923	25.915	22.118
F. MARECCHIA - MARE	0	49	0	6.680	6.729	0
<b>Totale</b>	<b>25.797</b>	<b>2.094</b>	<b>277</b>	<b>12.040</b>	<b>40.209</b>	<b>25.797</b>

### 1.1.1 Carichi provenienti dal sistema fognario - depurativo

La Regione Emilia-Romagna, allo scopo di rispondere agli obblighi informativi richiesti dall'Unione Europea, ha effettuato un'indagine volta a definire il carico nominale per agglomerato sulla base di quanto individuato dalle Province.

L'agglomerato, secondo la definizione dell'Unione Europea, recepita testualmente nel D.Lgs. 152/99 e succ. mod. viene inteso come area in cui la popolazione ovvero le attività economiche sono sufficientemente concentrate così da rendere possibile, e cioè tecnicamente ed economicamente realizzabile anche in rapporto ai benefici ambientali conseguibili, la raccolta e il convogliamento delle acque reflue urbane verso un trattamento di acque reflue urbane o verso un punto di scarico finale.

La citata indagine promossa dalla Regione Emilia-Romagna si è proposta di definire, in maniera molto dettagliata, la consistenza dell'impatto potenziale della pressione antropica sul territorio, relativamente ai comparti domestico e industriale, in termini di carico puntuale nei corsi d'acqua generato dalle infrastrutture di collettamento, depurate o meno.

L'analisi è partita dall'individuazione delle località presenti nel territorio regionale, così come definite nell'ultimo censimento Istat del 1991; tale elenco è stato successivamente aggiornato nel 2002 dalle Province, con l'inserimento di alcuni centri urbani che non risultavano presenti nel censimento suddetto.

Per ciascuna località così definita si è individuato il numero di residenti, dei turisti e degli abitanti equivalenti produttivi presenti e la percentuale dei serviti da sistema fognario e da impianto di depurazione (di primo o secondo livello). Per ciascun sistema di raccolta è stato indicato il tipo di trattamento effettuato ed il recapito identificato secondo la codifica regionale dei corpi idrici superficiali.

#### Località

Le località presenti sul territorio regionale, censite in questo lavoro, sono state 6.257; di queste circa il 96% è stato *georeferenziato*, rendendo possibile l'attribuzione per ciascuna di esse di un bacino idrografico in cui, con maggiore probabilità, saranno fatti confluire i reflui prodotti.

Nella Tabella 1-8 viene individuato il numero delle località in cui è stato rilevato almeno un sistema di raccolta delle acque reflue e il numero di quelle che sono risultate sprovviste della rete fognaria.

Tabella 1-8 Numero di località censite per classe di residenti e presenza o meno di rete fognaria

Provincia	Classe di residenti										Totale località
	0-49		50-199		200-1999		≥2000		Totale		
	No rete	Si rete	No rete	Si rete	No rete	Si rete	No rete	Si rete	No rete	Si rete	
Rimini	47	68	10	74	0	47	0	10	57	199	256
Totale regionale	1951	1857	349	1010	10	843	0	237	2310	3947	6257

#### Residenti

I dati relativi ai residenti fanno riferimento ai risultati indicati nel 1998 nel movimento anagrafico presentato annualmente dalla Regione; per ciascuna località identificata tra quelle definite dall'Istat e dalle Province, sono stati indicati i residenti presenti; da tale dato è stato ricostruito il numero dei residenti in case sparse, come differenza tra il valore totale comunale e il numero di persone stimato essere presente nelle località.

Tabella 1-9 Residenti presenti nelle località, nelle case sparse, e percentuale dei serviti e depurati

Provincia	Residenti	Residenti case sparse	Residenti in località	Residenti serviti		Residenti depurati		Res dep I	Res dep II	Res dep III
	(n°)	(n°)	(n°)	(n°)	(%)	(n°)	(%)	(%)	(%)	(%)
Rimini	269.195	28.462	240.733	227.318	94	224.546	93	1	1	98
Totale regionale	3.959.770	409.642	3.550.128	3.365.304	95	3.196.083	90	4	36	60
Rep. S. Marino	23.242	0	23.242	9.994	43	9.994	43	0	0	100
Totale	3.983.012	409.642	3.573.370	3.375.298	94	3.206.077	89	4	36	60

### Turisti

Le Province hanno fornito il numero di presenze turistiche rilevato per ciascuna località nel periodo di punta. Tale valore è stato successivamente ridotto di una quota per poterlo riportare al numero di presenze medie giornaliere del mese di massima affluenza; da ciò si sono calcolate le presenze mensili, conoscendo la ripartizione percentuale delle presenze turistiche di ogni mese rispetto a quello di massimo afflusso. La base informativa adottata per verificare la congruenza delle informazioni dedotte, fa riferimento ai dati sul movimento turistico forniti dal Servizio Turismo e qualità Aree Turistiche della Regione Emilia – Romagna per l'anno 2001. Presso tale Servizio sono riportate le presenze turistiche mensili rilevate, nelle singole Aree Turistiche, in tutti gli esercizi ricettivi alberghieri ed extra alberghieri, comprendendo in tale elenco tutti gli alloggi privati dati in affitto da imprese iscritte al REC (Registro degli Esercenti il Commercio), i campeggi, gli ostelli, ecc. Non vengono conteggiati tuttavia gli alloggi in affitto da privati non iscritti al REC e le seconde case. Tale valutazione è invece presente nell'elaborazione dei dati provinciali; in tal modo possono ritenersi accettabili le differenze tra le due stime.

Tabella 1-10 Presenze fluttuanti annue per Area turistica regionale

Nome Area turistica	Fluttuanti anno
Bellaria - Igea Marina	2.508.645
Cattolica	2.184.525
Misano Adriatico	1.034.045
Riccione	4.850.120
Rimini	11.312.080
Totale provincia	21.889.415
Totale regionale	55.508.105

### Produttivi

La valutazione ha riguardato i carichi generati dal comparto produttivo e sversati in pubblica fognatura, previo trattamento presso impianti di depurazione locali.

Sempre nell'ambito dell'analisi svolta dalle Province, sono stati stimati gli Abitanti Equivalenti sversati dal sistema produttivo nel sistema fognario. I quantitativi di carico inquinante così definiti sono stati successivamente associati alle diverse località individuate sul territorio. Da questa analisi dunque è stato possibile determinare se tali scarichi venissero depurati oppure fossero recapitati direttamente in un corso d'acqua. In quest'ultimo caso è stato ipotizzato che il carico sversato dalle imprese recapitasse nello stesso bacino in cui era ubicata la località associata.

Si è giunti così a definire per ogni località il numero di Residenti, di Turisti e di AE produttivi i fognatura nominalmente presenti nel periodo di punta. Nella Tabella 1-11

vengono evidenziati i valori ottenuti nelle località della provincia di Rimini, a livello regionale e nel territorio di San Marino; quest'ultimo termine è stato introdotto in quanto la maggior parte dei reflui prodotti in questo territorio vengono veicolati all'impianto di Santa Giustina.

Tabella 1-11 AE totali, serviti e depurati stimati *nel periodo di punta*, suddivisi per provincia

Provincia	Residenti (n°)	Residenti case sparse (n°)	Produttivi (AE)	Turisti (n°)	AE totali (AE)	AE serviti (AE)	% serviti (%)	AE depurati (AE)	% depurati (%)
Rimini	269.195	28.462	86.874	617.041	973.110	905.676	93	900.179	93
Totale regionale	3.959.770	409.642	1.311.007	1.409.018	6.679.795	6.038.490	90	5.790.041	87
Rep. S. Marino	23.242	0	8.000	0	31.242	17.994	43	17.994	100
Totale	3.983.012	409.642	1.319.007	1.409.018	6.711.037	6.056.484	90	5.808.035	87

Per ogni località è stato dunque valutato il carico nominale potenzialmente generato dall'attività antropica. Dalla conoscenza del sistema fognario – depurativo, e dall'individuazione delle località servite da ogni impianto di depurazione, è stato possibile effettuare un'analisi territoriale approfondita che ha permesso di quantificare la pressione esercitata dalle fonti di inquinamento veicolate nei corsi d'acque e nel suolo.

A partire da queste informazioni l'attività, portata avanti di concerto con le Amministrazioni provinciali, è stata quella di definire gli "Agglomerati" presenti in ogni ambito provinciale in coerenza con le indicazioni dell'Unione Europea avendo a riferimento, per quanto possibile, i seguenti criteri applicativi:

- i centri ed i nuclei dotati di rete fognaria ed afferenti tramite opere di collettamento al medesimo impianto di trattamento, ovvero allo stesso punto di scarico terminale, danno luogo ad un unico agglomerato;
- i centri / nuclei classificati e dotati di reti fognaria distinte ed indipendenti si qualificano anche come agglomerati distinti gli uni dagli altri;
- il concetto di "agglomerato" assume pertanto un carattere dinamico legato alla urbanizzazione del territorio ed ai programmi di interconnessione dei sistemi fognario – depurativo;
- nel caso l'agglomerato sia asservito a due o più impianti ovvero dia origine a più scarichi terminali, il livello di trattamento richiesto è comunque quello previsto per la consistenza dell'intero agglomerato (AE totali) a prescindere dalla dimensione del singolo scarico.

Sono state individuate tre tipologie di agglomerato in funzione delle diverse forme in cui sono riscontrabili sia il sistema di collettamento, sia il sistema depurativo.

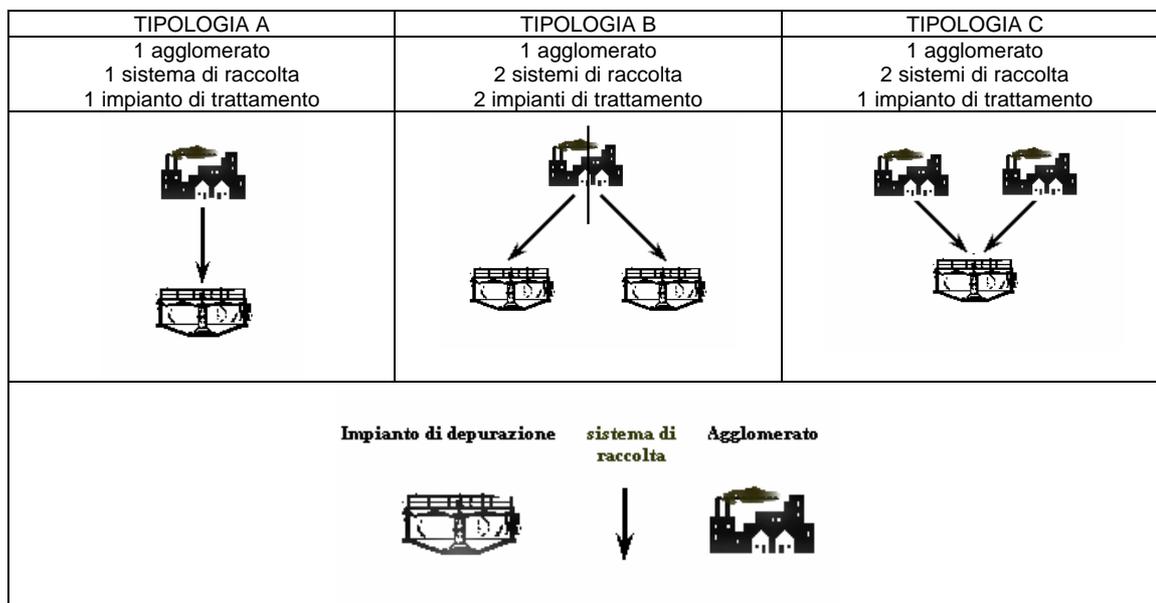
La tipologia A rappresenta il caso più semplice dove appunto si ha un agglomerato servito da un unico sistema di raccolta, e da un unico impianto di trattamento;

Nella tipologia B si fa riferimento ad un agglomerato con due sistemi di raccolta, due impianti di trattamento. In questo caso ogni rete fognaria ed ogni impianto vanno inclusi nella classe corrispondente all'intero agglomerato, quindi facendo l'esempio di una città da 100.000 abitanti che ha due impianti di depurazione da 50.000 A.E., va considerato un unico agglomerato da 100.000 e gli impianti devono essere entrambi in grado di

soddisfare gli standard qualitativi previsti per gli impianti da 100.000 abitanti equivalenti.

La tipologia C è il caso di un agglomerato di consistenza pari alla somma di 2 o più località, un sistema che recapita in un unico impianto di trattamento.

Figura 1-1 Tipologie degli agglomerati



La consistenza di un Agglomerato è stata individuata in base al numero di residenti, al numero di turisti nel periodo di punta e al numero di AE produttivi che recapitano in pubblica fognatura., calcolati per ciascuna località appartenente ad esso.

$$AE \text{ totali Agglomerato} = \text{Residenti} + \text{Turisti periodo di punta} + \text{AE produttivi in fognatura}$$

In seguito a questa assunzione sono stati censiti nella provincia di Rimini sono stati censiti 49 Agglomerati per una potenzialità complessiva di circa 973.799AE.

Tabella 1-12 Consistenza degli Agglomerati per classe di potenzialità e per provincia

Provincia	0-1999		2000-10000		10001-15000		15001-150000		>150000		Totale	
	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)
Rimini	44	12.242	1	6.061	0	0	2	241.644	2	713.852	49	973.799
<b>Totale regionale</b>	<b>2.822</b>	<b>514.286</b>	<b>153</b>	<b>739.691</b>	<b>24</b>	<b>292.720</b>	<b>35</b>	<b>1.891.962</b>	<b>11</b>	<b>2.788.657</b>	<b>3.045</b>	<b>6.227.316</b>

Tabella 1-13 Consistenza degli Agglomerati per classe di potenzialità inferiore a 2000 AE, e per provincia

Provincia	0-49		50-199		200-1999		Totale	
	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)
Rimini	8	170	20	2.404	16	9.668	44	12.242
<b>Totale regionale</b>	<b>1.201</b>	<b>32.699</b>	<b>984</b>	<b>97.223</b>	<b>637</b>	<b>384.364</b>	<b>2.822</b>	<b>514.286</b>

Nella determinazione della consistenza degli Agglomerati si sono prese in considerazione solo quelle località attualmente in possesso di una rete fognaria.

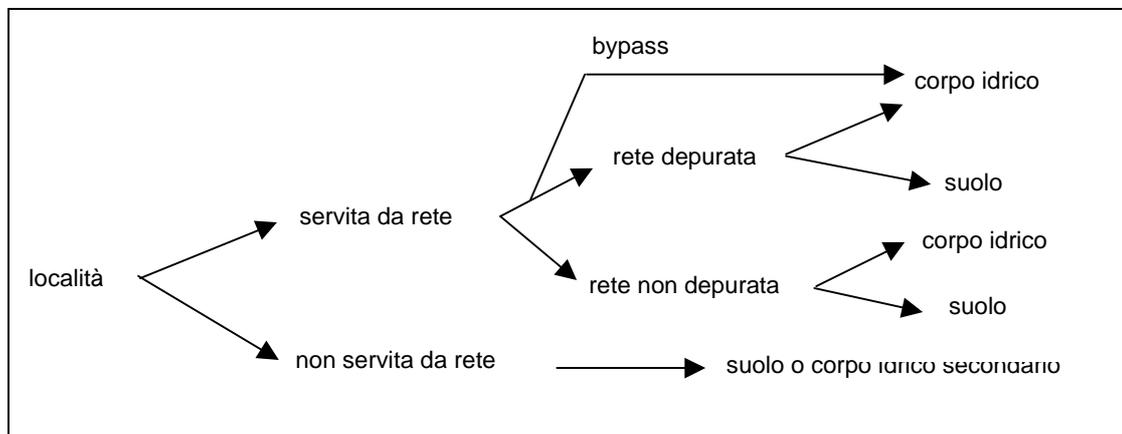
Nella fase successiva si è determinato il carico antropico potenzialmente generato da ogni località, definendo per ciascuna di esse il numero di abitanti equivalente nominalmente presente. Tale ricostruzione è stata approntata a livello mensile, ricostruendo nelle località turistiche i flussi delle presenze mensili.

I coefficienti utilizzati per ottenere una stima del carico generato per abitante sono:

- 60,00 g/d BOD<sub>5</sub>
- 12,33 g/d N
- 1,84 g/d P

Noto il carico generato in ogni singola località quello veicolato in acque superficiali o su suolo può essere calcolato seguendo i vari elementi che compongono lo schema mostrato nella figura seguente.

Figura 1-2 Schema di calcolo per la determinazione del carico veicolato



#### Carico sversato da località sprovviste di rete fognaria

È quella quota parte del carico nominale che non viene servito da rete. Per tale tipologia di carico si è ammesso un abbattimento standard pari a quello di una fossa settica; viene ipotizzato che il recapito di tali scarichi sia equiparato a quello su suolo, in quanto il recettore è quasi sempre un canale di ridotta portata se non quasi pari a zero. A tal guisa sono stati considerati i residenti nelle case sparse.

#### Carico sversato da rete fognaria non depurata

Indica il carico generato da quelle località, o da parti di centri urbani di notevoli dimensioni, che, pur possedendo un sistema di raccolta dei reflui, tale sistema non viene collettato ad un sistema di trattamento. Questi quantitativi vengono sversati tal quali nel corpo idrico superficiale.

#### Carico sversato dagli impianti di trattamento delle acque reflue

Nell'ambito del suddetto lavoro sono stati censiti gli impianti di depurazione delle acque reflue urbane presenti al 2001 in tutto il territorio regionale. Detti impianti comprendono diverse tipologie di trattamento a partire da quelle più semplificate a quelle più complesse, tipiche dei grandi sistemi consortili.

Sono state individuati, per la provincia di Rimini, 45 impianti di I livello, tra cui sono ricomprese le fosse Imhoff e altre tipologie di impianti primari quali semplici sedimentatori o fosse settiche. Tra le tipologie di II livello censite, si è riscontrata la

presenza di un solo impianto a fanghi attivi classici, mentre relativamente ai sistemi di depurazione più avanzati per la rimozione spinta dei nutrienti, sono stati individuati 5 impianti che presentano soluzioni impiantistiche complete di defosfatazione e denitrificazione ed un impianto che prevede solo il trattamento di rimozione del fosforo. Nel Bacino del Marecchia risultano presenti 6 scarichi di acque reflue urbane depurate: 4 appartengono ad altrettante fosse Imhoff di ridotta potenzialità mentre i rimanenti 2 rappresentano gli scarichi degli impianti al servizio della città di Rimini (Santa Giustina e Via Marecchiese). Questi ultimi due possiedono una potenzialità complessiva di circa 490.000 AE ed effettuano entrambi trattamenti terziari per la rimozione spinta dei nutrienti.

Tabella 1-14 Numero e AE di *progetto* degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane per tipologia di trattamento (I, II e III livello) e classe di potenzialità di progetto (la colonna Null indica che la potenzialità non è nota)

Provincia	Tratt.	Null. (n°)	0-1999		2000-10000		10001-15000		15001-100000		>100000		Totale	
			(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)	(n°)	(AE)
Rimini	I	4	45	4.273	0	0	0	0	0	0	0	0	45	4.273
	II	0	0	0	0	0	0	0	1	18.000	0	0	1	18.000
	III	0	0	0	0	0	0	0	2	120.000	4	790.000	6	910.000
	tot	4	45	4.273	0	0	0	0	3	138.000	4	790.000	52	932.273
Totale regionale	I	75	1.285	228.346	5	14.278	0	0	0	0	0	0	1.365	242.624
	II	2	306	185.060	147	655.595	17	223.800	21	709.500	3	660.000	496	2.433.955
	III	0	1	1.200	30	174.700	2	23.000	18	720.400	19	4.204.000	70	5.123.300
	tot	77	1.592	414.606	182	844.573	19	246.800	39	1.429.900	22	4.864.000	1.931	7.799.879

Il carico proveniente dagli impianti di trattamento può essere smaltito o in un corso d'acqua o su suolo. Il carico sversato dagli impianti di depurazione viene calcolato a livello mensile dal prodotto della portata media per una concentrazione media.

Per la stima dei due fattori suddetti si sono adoperate le seguenti informazioni.

*Portate medie mensili*

- Portate medie annue aggiornate al 2001 per impianti di potenzialità  $\geq 10.000$  AE. Le portate annue sono poi state ripartite nei vari mesi secondo le percentuali segnalate dal gestore durante una ricognizione effettuata dalla Regione nell'anno 1998.
- Portate medie ricostruite in base agli AE effettivamente trattati dagli impianti, attraverso l'adozione di dotazioni idriche medie comunali (espresse in l/d per AE) sia per il comparto civile che per quello produttivo che recapita in pubblica fognatura.

*Concentrazione media mensile*

- Concentrazioni mensili determinate dai controlli ARPA effettuati nel 2001 presso gli impianti di potenzialità superiore a 15.000 AE in Area Normale e 10.000 AE in Area Sensibile
- Concentrazioni medie annue, stimate o misurate, per alcuni impianti di potenzialità compresa tra 2.000 e 10.000 AE.

#### *Carico mensile veicolato*

- Viene calcolato, nei casi possibili, sommando i carichi mensili ottenuti dal prodotto della concentrazione media mensile per la portata media rispettiva.
- Nel caso una di queste informazioni non fosse disponibile allora si è fatto ricorso al carico trattato dall'impianto, calcolato attraverso il numero di AE effettivamente depurati. Il valore così ottenuto è stato successivamente abbattuto di una quota parte standard in base alla tipologia del trattamento presente nell'impianto.

#### Carico eccedente sversato dagli impianti di depurazione

Nel caso fosse veicolato all'impianto di depurazione un carico mensile superiore alla capacità di progetto, tale carico è stato considerato sversato tal quale in corpo idrico superficiale.

Ciascun contributo di carico inquinante sversato, calcolato come riportato nei paragrafi precedenti, è stato attribuito ai vari sottobacini di recapito secondo metodologie diverse. Il carico proveniente dai residenti di case sparse è stato assegnato ai vari sottobacini che ricadono nel comune di appartenenza, secondo le percentuali di territorio comunale in essi.

Il carico diffuso proveniente da località prive di rete fognaria è stato considerato distribuito nel sottobacino in cui la località è stata georeferenziata; se la località non è stata ubicata sul territorio allora il carico è stato calcolato in maniera simile a quello delle case sparse.

- Il carico sversato in corpo idrico dagli impianti di depurazione è stato attribuito al sottobacino relativo al corpo idrico ricettore:
  - per quelli di potenzialità superiore a 2.000 ARPA è in possesso della corretta ubicazione sia dell'impianto sia dello scarico;
  - per quelli di potenzialità inferiore a 2.000 AE, nella maggioranza dei casi, si è ricorso all'ubicazione della località in cui l'impianto è sito.

Il carico proveniente dalle località con fognature non depurate viene considerato veicolato tal quale, su suolo o su corpo idrico superficiale, nel sottobacino in cui è ubicata la località a cui fa riferimento.

#### **1.1.2 Carichi provenienti dagli scaricatori di piena**

Durante gli eventi meteorici, notevoli quantità di inquinanti vengono asportate dalle superfici scolanti urbane e rimosse dai collettori fognari e veicolate, attraverso gli scaricatori di piena, in corsi d'acqua naturali e artificiali, senza poter transitare attraverso gli impianti di depurazione.

Nelle reti fognarie di tipo misto, destinate a convogliare sia le acque reflue sia, in tempo di pioggia, le acque meteoriche, gli scaricatori di piena sono sempre stati dimensionati in modo tale da entrare in funzione anche per portate modeste, ossia per gradi di diluizione quasi mai superiori a 5-6 volte la portata media di tempo secco.

Tenuto conto delle condizioni climatiche che si hanno nell'area di pianura della regione, gli eventi che nel corso di un anno possono dare luogo a sfioro nei ricettori sono dell'ordine di 50-70 (fino a 80-90 in montagna), con una durata media tale per cui, nelle

prime 2-3 ore del singolo evento medio, risulta scaricato il 70-80% dell'apporto, quindi con una incidenza temporale complessiva della maggior parte del fenomeno, su base annuale, dell'ordine di 130-250 ore, cioè del 1.5-3%.

Il metodo proposto opera una stima della massa totale di inquinante sversata dagli scaricatori, in funzione della porzione di superficie urbana impermeabile a monte degli scaricatori stessi, sulla base di una parametrizzazione conseguente a simulazioni compiute su alcuni bacini urbani sperimentali di Bologna, per i quali sono disponibili misure di dettaglio.

Si considerano al riguardo i seguenti apporti unitari per ettaro urbano impermeabilizzato e per mm di pioggia caduta nel periodo di riferimento:

BOD<sub>5</sub> = 0,297 kg/ha/mm

azoto = 0,032 kg/ha/mm

fosforo = 0,010 kg/ha/mm

Per il calcolo dei carichi provenienti dagli scaricatori di piena, utilizzando il metodo semplificato, occorre seguire i seguenti passi procedurali.

1) *Soglia dimensionale*

Per stabilire la dimensione minima dei centri abitati da considerare per gli effetti dei relativi scaricatori, si è fatta l'ipotesi di trascurare tutti quelli che, in condizioni di pioggia, determinano effetti minori di un depuratore, in condizioni medie, da 2000 AE. La soglia minima è risultata essere pari a 4.9 ha di superficie urbana.

2) *Superfici urbane dei centri abitati*

Sono al riguardo disponibili per tutta la regione:

- la copertura CORINE Land Cover Project che individua al riguardo l'urbano continuo (cod. 111), l'urbano discontinuo (cod. 112), le aree industriali/commerciali (cod. 121), gli aeroporti (cod. 124), le aree verdi urbane (cod. 141) e le aree sportive/ricreative (cod. 142); ma che non fornisce la perimetrazione dei singoli centri abitati;
- la copertura CENSUS dell'ISTAT che delimita con un perimetro chiuso degli areali urbani, solitamente più ampi di quelli reali attuali.

Le due cartografie sono quindi state sovrapposte informaticamente, il CENSUS per definire il centro abitato, il CORINE per attribuirvi la reale superficie urbana, con le relative distinzioni disponibili.

3) *Piogge medie locali*

Le piogge medie annue sulla regione sono state tratte dall'Attività conoscitiva D: "Modelli afflussi-deflussi sul reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale", sono relative al periodo 1991-'01 e si riferiscono ad una elaborazione isoietografica condotta con riferimento ai dati misurati sui singoli pluviometri disponibili e con l'ausilio, per l'estrapolazione areale, del kriging lineare. I dati areali sono stati poi incrociati con i confini amministrativi comunali, per pervenire alla pioggia media annua sui singoli comuni. A ciascun centro abitato considerato è stata attribuita la pioggia media del relativo comune di appartenenza.

Per i comuni montano-collinari con piogge medie annue elevate rispetto ai valori della pianura, l'effetto di "pulizia" più frequente del suolo urbano determina una maggiore diluizione dei carichi nelle acque piovane scaricate e quindi, a rigore, minori coefficienti unitari relativi agli inquinanti, per mm di pioggia caduta. Per tenere conto, anche se in modo semplificato, di questo fatto, per piogge medie annue superiori a 900 mm, la

porzione che eccede è stata abbattuta del 60% (es. 1400 mm ->  $900 + 500 \cdot 0.4 = 1100$  mm).

#### 4) *Valutazione delle superfici impermeabili*

Per passare dalle superfici urbane reali (CORINE), connesse ai diversi usi, a quelle impermeabili, si sono assunti i seguenti indici: urbano continuo 0.85; urbano discontinuo 0.6; aree industriali/commerciali 0.6; aeroporti 0.5; aree verdi urbane 0.15; aree sportive/ricreative 0.5.

#### 5) *Calcolo dei carichi inquinanti*

Per i singoli centri abitati di estensione urbana superiore a 4.9 ha, dal prodotto tra le superfici impermeabili (4), le piogge medie annue locali (3) e i coefficienti unitari (kg/ha/mm) per i diversi elementi inquinanti (BOD<sub>5</sub>, azoto e fosforo) si ottengono le stime annue di scarico in asta, riportate nella Tabella 1-15, in cui viene fornita la disaggregazione a livello provinciale e il totale regionale.

**Tabella 1-15** Carichi annui di BOD<sub>5</sub>, azoto e fosforo connessi agli scaricatori di piena

Provincia	BOD <sub>5</sub> (kg/y)	azoto (kg/y)	fosforo (kg/y)
Rimini	614.453	66.204	20.689
Totale regionale	9.246.273	996.232	311.323

Per distribuire i carichi individuati sui singoli bacini e sottobacini imbriferi di cui all'Attività conoscitiva A "Integrazione e aggiornamento delle perimetrazioni dei sottobacini e dei corpi idrici per le aree drenate dalla rete artificiale" si sono sovrapposti arealmente i centri abitati CENSUS considerati (oltre i 4.9 ha di superficie urbana CORINE) ai bacini e sottobacini, pervenendo all'aliquota di incidenza sui singoli, ipotizzando in via semplificata che gli scarichi avvengano proporzionalmente alle aree urbane interessate dai singoli bacini.

### 1.1.3 Carichi in corpo idrico superficiale provenienti dal settore industriale

Per quanto riguarda gli scarichi puntuali in corpo idrico superficiale provenienti dal settore produttivo/industriale, si è fatto riferimento al catasto degli scarichi industriali in acque superficiali (CRESI) realizzato dalla Regione Emilia-Romagna per il territorio emiliano-romagnolo. In tale elaborato è stato possibile reperire informazioni relative all'ubicazione dell'impianto (indirizzo, località, comune e in alcuni casi coordinate geografiche), ai volumi prelevati e scaricati, al numero di addetti impiegati, al tipo di trattamento eventualmente presente, alla tipologia e al nome del ricettore a cui giunge lo scarico.

In particolare i dati raccolti hanno fatto riferimento ai seguenti aspetti:

- anagrafica Azienda: sede legale, cod. ISTAT attività e descrizione;
- caratteristiche impianto: ubicazione, attività;
- caratteristiche scarico: volume scaricato, recapito, tipologia del refluo (acque di processo, di raffreddamento, di lavaggio, ecc.).

Sulla base delle informazioni desumibili dall'insieme degli scarichi presi in considerazione, l'unica informazione disponibile, per la valutazione del carico sversato, risulta quella relativa al volume annuo scaricato dall'attività produttiva: in pratica

risultano mancanti informazioni sugli effettivi carichi (quantità per unità di tempo) sversati.

La necessità di pervenire ad una quantificazione, sia pur stimata, di tali carichi ha imposto di adottare una metodologia semplificata basata essenzialmente sul presupposto che, trattandosi di scarichi di acque dichiarate di processo, o supposte tali, con ogni probabilità presentavano all'origine un carico inquinante rispetto al quale la normativa in essere impone di attivare trattamenti per il loro abbattimento, allo scopo di pervenire ad effluenti con concentrazioni massime allo scarico fissate nella Tabella 3 del D.Lgs 152.

Per la stima del carico sversato da ciascuno degli scarichi individuati si sono considerati i limiti massimi di concentrazione, previsti dalla Tabella 3 del D.Lgs 152 per i quattro principali inquinanti considerati, ovvero:

- BOD<sub>5</sub>      40    mg/l
- Ntot         32,3 mg/l
- Ptot         10    mg/l

Occorre precisare che relativamente al Ntot la normativa non riporta esplicitamente un valore limite; in questo caso il valore di 32,3 mg/l è stato ricostruito semplicemente considerando la somma dei limiti della citata tabella, espressi come N, delle tre forme azotate, ovvero ammoniaca, azoto nitrico e azoto nitroso.

Una volta definite la concentrazione del reflui di ogni scarico, tramite il prodotto del volume per la concentrazione si è stimato il carico sversato in corpo idrico superficiale.

**Tabella 1-16**    **Stima dei carichi sversati nelle acque superficiali dal settore produttivo: utilizzo dei limiti massimi di concentrazione della Tabella 3 del D.Lgs 152**

Provincia	Scarichi n°	Volume (mc/y)	BOD <sub>5</sub> (kg/y)	azoto (kg/y)	fosforo (kg/y)
Rimini	29	315.094	12.604	10.178	3.151
Totale regionale	971	95.866.863	3.834.673	3.096.500	958.669

## 1.2            STIMA DEI CARICHI INQUINANTI DIFFUSI

La stima dei carichi inquinanti provenienti dai suoli, in seguito ad apporti naturali ed antropici di sostanze organiche e nutrienti, si è basata su una metodologia, che può essere suddivisa in due distinte macro-attività:

- individuazione degli apporti ai suoli;
- stima dei carichi sversati tramite l'utilizzo di una procedura di regionalizzazione per la stima del diffuso dai versanti montano collinari e il modello CRITERIA per le aree di pianura.

Gli apporti al suolo, da considerarsi come contributi diffusi, non identificabili, quindi, come fonti puntuali georeferenziabili allocate sul territorio, provenienti da:

- fonti di origine civile: carichi di origine domestica derivanti da insediamenti privi di fognatura e case sparse;
- pratiche agronomiche:
- fanghi da impianti di depurazione biologici smaltiti in agricoltura;
- spandimento di deiezioni derivanti dal comparto zootecnico;
- distribuzione di fertilizzanti chimici;
- apporti atmosferici.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i riepiloghi comunali solo per i comuni che sono interessati dall'area di studio.

**Tabella 1-17 Azoto complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali, suddiviso per comune**

Comune	Concimazione (kg/y)	Mineralizzato (kg/y)	Atmosferico (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)
BELLARIA-IGEA MARINA	79.822	21.400	14.593	9.263	125.078
POGGIO BERNI	51.356	19.200	10.726	6.076	87.359
RIMINI	529.101	342.040	104.621	20.601	996.364
SANTARCANGELO DI ROMAGNA	240.944	106.000	40.695	16.295	403.934
TORRIANA	24.406	22.760	22.640	18.340	88.146
VERUCCHIO	115.376	63.840	25.222	10.852	215.291
Totale comuni conoide	1.041.005	575.240	218.497	81.427	1.916.172
Totale provincia	2.049.151	1.234.640	465.309	172.789	3.921.890

**Tabella 1-18 Fosforo complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali, suddiviso per comune**

Comune	Concimazione (kg/y)	Mineralizzato (kg/y)	Atmosferico (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)
BELLARIA-IGEA MARINA	36.125	2.675	1.459	2.779	43.038
POGGIO BERNI	21.279	2.400	1.073	1.823	26.575
RIMINI	189.835	42.755	10.462	6.180	249.233
SANTARCANGELO DI ROMAGNA	96.880	13.250	4.070	4.889	119.088
TORRIANA	11.117	2.845	2.264	5.502	21.728
VERUCCHIO	61.494	7.980	2.522	3.256	75.252
Totale comuni conoide	416.730	71.905	21.850	24.429	534.914
Totale provincia	754.036	154.330	46.531	51.837	1.006.734

L'analisi, condotta a livello comunale, ha individuato dunque i carichi, espressi in kg/y, distribuiti sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali, ripartiti nelle voci: concimazione (zootecnia, fanghi di depurazione, fertilizzanti di sintesi), mineralizzato, atmosferico, incolto, come si può vedere nella Tabella 1-17 e nella Tabella 1-18 rispettivamente per l'azoto e il fosforo. Successivamente i risultati sono stati ripartiti nei vari sottobacini in base alle superfici comunali di pertinenza (si veda la Tabella 1-19 e la Tabella 1-20).

Per quanto riguarda il parametro BOD<sub>5</sub> si ricorda che esso deriva solo dalla concimazione di tipo zootecnica. Nel territorio provinciale tale contributo è pari a 467.980 (kg/y) come si può evincere dalla Tabella 1-45 riportata a pagina 35..

I carichi inquinanti ottenuti per singolo comune sono stati successivamente distribuiti nei Bacini di interesse secondo le percentuali di ripartizione delle superfici comunali negli stessi. Si è giunti così alla stima dei carichi prodotti dalla attività agricola nei terreni dei singoli Bacini, come riportato nella Tabella 1-19 per l'azoto e nella Tabella 1-20 per il fosforo.

Tabella 1-19: Azoto complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali, per Bacino

Codice	Nome Bacino	Concimazione (kg/y)	Mineralizzato (kg/y)	Atmosferico (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)	Superficie (ha)	Densità (kg/y/ha)
1600	F. RUBICONE	12.144	5.319	2.053	828	20.344	228	89
1700	F. USO	184.229	80.100	41.535	23.214	329.078	4.589	72
1800	SC. BRANCONA	46.050	27.471	8.785	2.112	84.419	1.096	77
1900	F. MARECCHIA	558.008	325.671	119.525	42.256	1.045.459	14.020	75
2000	R. MARANO	145.359	87.728	32.068	11.026	276.180	3.538	78
2100	R. MELO	208.519	124.848	41.798	11.710	386.875	4.659	83
2200	F. CONCA	241.125	166.230	63.314	24.679	495.349	6.625	75
2300	T. VENTENA	139.999	96.175	38.359	15.726	290.260	3.994	73
2400	T. TAVOLLO	139.171	94.124	33.826	10.998	278.119	3.810	73
2500	T. SALSO	53.268	47.108	18.017	8.381	126.774	1.802	70
	Altri areali	321.278	179.866	66.029	21.858	589.032	9.006	65
	Totale	2.049.151	1.234.640	465.309	172.789	3.921.890	53.367	73

Tabella 1-20: Fosforo complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali, per Bacino

Codice	Nome Bacino	Concimazione (kg/y)	Mineralizzato (kg/y)	Atmosferico (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)	Superficie (ha)	Densità (kg/y/ha)
1600	F. RUBICONE	4.890	665	205	248	6.008	228	26
1700	F. USO	76.410	10.013	4.154	6.964	97.541	4.589	21
1800	SC. BRANCONA	17.004	3.434	878	634	21.950	1.096	20
1900	F. MARECCHIA	225.498	40.709	11.952	12.677	290.836	14.020	21
2000	R. MARANO	45.089	10.966	3.207	3.308	62.570	3.538	18
2100	R. MELO	64.373	15.606	4.180	3.513	87.672	4.659	19
2200	F. CONCA	90.539	20.779	6.331	7.404	125.053	6.625	19
2300	T. VENTENA	50.305	12.022	3.836	4.718	70.880	3.994	18
2400	T. TAVOLLO	45.305	11.765	3.383	3.300	63.752	3.810	17
2500	T. SALSO	21.382	5.888	1.802	2.514	31.587	1.802	18
	Altri areali	113.241	22.483	6.603	6.558	148.885	9.006	17
	Totale	754.036	154.330	46.531	51.837	1.006.734	53.367	19

Nella Tabella 1-21 e Tabella 1-22 vengono riportati gli stessi risultati articolati per i vari Sottobacini di interesse della conoide del Marecchia.

Tabella 1-21 Azoto complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali, per Sottobacino di interesse

Nome Bacino	Concimaz. (kg/y)	Mineraliz. (kg/y)	Atmosfer. (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)	Sup (ha)	Densità (kg/y/ha)
F. RUBICONE - MARE	21.317	5.715	3.897	2.474	33.403	488	68
USO	76.104	28.747	13.577	6.762	125.191	1.587	79
CONSORZIALE BRANCONA	46.050	27.471	8.785	2.112	84.419	1.096	77
SC. BRANCONA - MARE	106.237	56.828	20.489	6.518	190.072	2.610	73
MARECCHIA	214.197	114.108	45.375	18.780	392.460	5.154	76
F. MARECCHIA - MARE	126.227	81.338	25.188	5.209	237.961	3.332	71
Totale	568.815	308.493	113.414	39.381	1.030.103	13.779	75

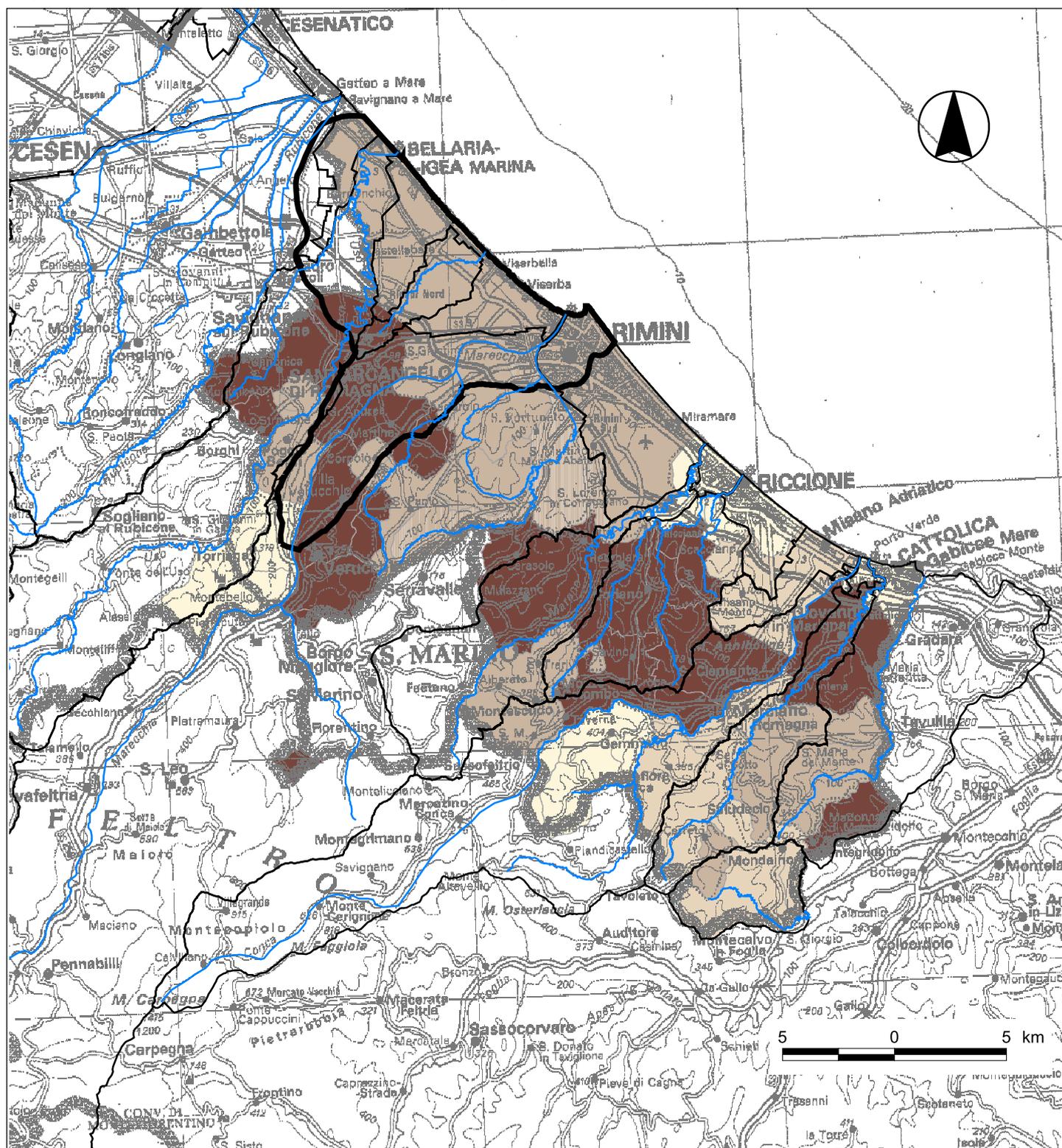
Tabella 1-22 Fosforo complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali, per Sottobacino di interesse

Nome Bacino	Concimaz. (kg/y)	Mineraliz. (kg/y)	Atmosfer. (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)	Sup (ha)	Densità (kg/y/ha)
F. RUBICONE - MARE	9.647	714	390	742	11.494	488	24
USO	31.992	3.593	1.358	2.029	38.971	1.587	25
CONSORZIALE BRANCONA	17.004	3.434	878	634	21.950	1.096	20
SC. BRANCONA - MARE	41.034	7.104	2.049	1.956	52.142	2.610	20
MARECCHIA	90.767	14.264	4.538	5.634	115.202	5.154	22
F. MARECCHIA - MARE	45.227	10.167	2.519	1.563	59.476	3.332	18
Totale	226.024	38.562	11.341	11.814	287.741	13.779	21

Nella Figura 1-3 viene rappresentata la densità di carico, espressa in kg di azoto per unità di superficie comunale, dei quantitativi apportati al suolo dalle fonti di tipo diffuso, prodotte dalle attività di concimazione e dagli apporti naturali.

Nei paragrafi successivi viene riportata, in un maggior dettaglio, la metodologia seguita nel Piano di Tutela delle Acque per la quantificazione dei carichi apportati sul suolo dalle pratiche di tipo agronomico.

Figura 1-3 Carichi di Azoto apportati al suolo da sorgenti di tipo diffuso (kg/anno/ha)



-  Limite della conoide del Fiume Marecchia
-  Rete idrografica
-  Bacini idrografici principali
- Carichi di Azoto apportati al suolo (kg/anno/ha)
-   $N \leq 60$
-   $60 < N \leq 70$
-   $70 < N \leq 80$
-   $N > 80$

## 1.2.1 Apporti al suolo da pratiche di tipo agronomico

### 1.2.1.1 *Calcolo del fabbisogno delle colture*

#### *Regioni agrarie e rese colturali*

La stima di quanto le singole colture asportano dall'ambiente circostante, in termini di azoto e fosforo, dipende essenzialmente dalla resa, ovvero dalla quantità di prodotto per unità di superficie coltivata. La resa di una coltura non è però omogeneamente distribuita sul territorio, ma presenta delle differenze legate essenzialmente all'altimetria, all'andamento climatico locale, ecc.

Questa diversificazione può essere tenuta in conto dall'introduzione delle regioni agrarie, le quali risultano composte dall'aggregazione di gruppi di comuni nei quali la produzione agronomica può ritenersi abbastanza omogenea.

In Emilia-Romagna le regioni agrarie sono 45 e per queste sono state definite delle rese medie, espresse in q/ha/y, delle varie colture considerate.

Nel territorio oggetto di studio sono state individuate 3 Regioni Agrarie: Coll. int. Rubicone; Coll. lit. Conca; Pianura di Rimini. Di seguito vengono riportati i comuni interessati da queste Regioni Agrarie.

Tabella 1-23 Regioni Agrarie e rispettivi comuni interessati

N°	Regione Agraria	Comune	N°	Regione Agraria	Comune
1	Coll. int. Rubicone	Poggio Berni	2	Coll. lit. Conca	Coriano
		Torriana			Gemmano
		Verucchio			Mondaino
3	Pianura di Rimini	Bellaria-Igea Marina			Monte Colombo
		Cattolica			Montefiore Conca
		Misano Adriatico			Montegridolfo
		Riccione			Montescudo
		Rimini			Morciano di Romagna
		San Giovanni in Marignano			Saludecio
		Santarcangelo di Romagna			San Clemente

#### *Estensioni colturali*

Si sono utilizzati i dati comunali del Censimento ISTAT dell'Agricoltura avvenuto nel 2000; le informazioni delle estensioni delle principali colture individuate nel territorio provinciale, sono riportate nella Tabella 1-24 aggregate a livello comunale.

Tabella 1-24 Estensioni culturali presenti nell'ultimo censimento ISTAT (2000)

Comune/coltura	Mais (ha)	Frumento (ha)	Orzo (ha)	Barbabietola (ha)	Ortive (ha)	Erba medica (ha)	Altri seminativi (ha)	Vite e Ulivo (ha)	Fruttiferi (ha)	Altre colture (ha)	Totale (ha)
BELLARIA-IGEA MARINA	7	178	19	67	134	28	59	13	25	3	533
POGGIO BERNI	5	95	27	0	39	83	20	121	53	22	465
RIMINI	94	1.702	477	665	503	2.912	516	1.094	222	217	8.402
SANTARCANGELO	55	581	166	168	287	223	127	297	340	196	2.440
TORRIANA	3	33	65	0	6	134	59	38	1	91	430
VERUCCHIO	10	213	217	21	14	444	88	326	30	74	1.437
Totale comuni conoide	174	2.802	971	921	983	3.824	869	1.889	671	603	13.707
Totale provincia	293	6.868	2.256	2.527	1.262	7.467	2.022	4.509	863	1.185	29.252

Successivamente queste informazioni sono state ripartite nei vari sottobacini presenti nel territorio di interesse (Tabella 1-25) secondo le superfici di competenza.

Tabella 1-25 Estensione delle superfici agricole coltivate per Sottobacino e per tipo di coltura

Sottobacino/coltura	Mais (ha)	Frumento (ha)	Orzo (ha)	Barbabietola (ha)	Ortive (ha)	Erba medica (ha)	Altri seminativi (ha)	Vite e Ulivo (ha)	Fruttiferi (ha)	Altre colture (ha)	Totale (ha)
F. RUBICONE - MARE	2	48	5	18	36	7	16	4	7	1	142
USO	12	177	39	54	101	70	46	73	71	37	681
CONSORZIALE BRANCONA	9	139	39	52	46	203	40	86	30	23	667
SC. BRANCONA - MARE	16	310	75	120	123	419	95	161	44	33	1.397
MARECCHIA	36	520	230	140	172	663	160	419	168	151	2.660
F. MARECCHIA - MARE	22	408	114	162	119	686	123	260	53	51	1.998
Totale	97	1.603	502	545	597	2.049	480	1.001	373	297	7.545

#### *Quantitativi di azoto e fosforo asportati dalle colture*

Nel percorso metodologico impostato per arrivare a definire gli apporti di nutrienti necessari per garantire le previste rese colturali, un risultato significativo risulta essere quello relativo alla stima di quanto azoto e fosforo che il sistema colturale dovrebbe "prelevare" dall'ambiente circostante per sostenere i propri processi vegetativi.

A questo punto, partendo dall'estensione dei vari gruppi colturali considerati, dalle diverse rese diversificate lungo il territorio regionale e considerando i coefficienti unitari di asportazione si perviene alla stima delle quantità di azoto e fosforo utilizzate dalle colture per realizzare le produzioni definite.

#### *Quantitativi teorici di nutrienti da apportare*

Nel punto precedente si sono definiti i quantitativi di azoto e fosforo che le varie colture prelevano, in linea teorica, dall'ambiente circostante al fine di garantire le varie rese riscontrate nelle diverse regioni agrarie.

Come anticipato in precedenza, la stima di quanto azoto e fosforo occorre apportare artificialmente per soddisfare le necessità delle piante deve tenere conto di una serie di fattori riconducibili essenzialmente a queste considerazioni:

- alcune colture, significative per la diffusione a livello regionale, come l'erba medica e la soia non richiedono apporti artificiali di azoto dal momento che le loro fonti di alimentazione è l'azoto atmosferico;
- una parte di azoto e di fosforo è già presente naturalmente nel suolo per mineralizzazione.

Con questo termine si intendono i nutrienti mineralizzati durante il ciclo colturale a partire dalla sostanza organica presente nel terreno: di fatto rappresentano un "magazzino" dal quale le piante attingono nutrienti per le loro attività vegetative, ma sono anche configurabili come un quantitativo di nutrienti passibile dei fenomeni di dilavamento da parte delle piogge e, quindi, in grado di concorrere alla formazione dei carichi sversati dai suoli verso i corpi idrici recettori.

L'incidenza di azoto e fosforo per mineralizzazione della sostanza organica nei suoli agrari è stata valutata in 40 kg/ha/y per l'azoto e 5 kg/ha/y per il fosforo; questi valori sono stati moltiplicati per l'estensione di tutte le colture praticate in ciascun comune regionale per definire i quantitativi totali.

Se questi aspetti rappresentano, di fatto, due voci sottrattive, nel senso che i quantitativi da apportare si riducono rispetto ai fabbisogni colturali teorici, esiste un altro aspetto che invece tende ad incrementare il dato teorico. Tale aspetto è legato all'efficienza della coltura ad utilizzare i nutrienti presenti; in altre parole per garantire i quantitativi asportati, che sono in relazione come visto alle rese che si vogliono perseguire, occorre incrementare la quota di nutrienti secondo la semplice relazione (asportato teorico da garantire)/(coefficiente di efficienza). In sede di stima si è adottato un coefficiente omogeneo pari a 0.8.

### ***1.2.1.2 Stima delle disponibilità***

Una volta definiti gli apporti artificiali di azoto e fosforo, che occorre garantire alle varie colture per ottenere le rese prestabilite, bisogna individuare quali e quante sono le disponibilità nell'ambito delle usuali pratiche agronomiche.

Le fonti dalle quali è possibile approvvigionarsi di sostanze nutritive risultano essere legate alle seguenti attività antropiche:

- spandimento dei reflui zootecnici;
- concimazione di sintesi;
- spandimento dei fanghi provenienti da impianti di depurazione e da industrie agro-alimentari.

#### *Carichi di origine zootecnica*

Possono essere evidenziati i seguenti passaggi metodologici:

1. Sono stati raccolti i dati sulla consistenza di ciascuna specie, in termini di numero di capi allevati, in ogni comune della regione, prendendo come riferimento il Censimento ISTAT del 2000 del settore agro-zootecnico.

2. Per le varie specie allevate il Censimento ISTAT ha fornito una articolazione per varie classi di età o tipologia; sono stati quindi raccolti i pesi vivi per ciascuna di queste classi.
3. Infine per la definizione dei carichi di azoto, fosforo sono stati utilizzati i valori unitari, espressi in chilogrammi per tonnellata di peso vivo allevato, ricavati dal CRPA; questi valori unitari rappresentano il carico disponibile al campo, quindi, per l'azoto si intendono al netto di tutte le varie perdite per volatilizzazione.  
Per quanto riguarda la componente zootecnica un significativo carico generato e, conseguentemente, applicato ai suoli è rappresentato dal BOD<sub>5</sub>.

Tabella 1-26 Azoto e fosforo da *apportare* annualmente alle colture, provincia di Rimini

Coltura	Azoto				Fosforo			
	Da apportare (kg/y)	%	Superficie (ha)	Da apportare per ha (kg/ha/y)	Da apportare (kg/y)	%	Superficie (ha)	Da apportare per ha (kg/ha/y)
Mais	34.541	2,0	292	118	7.105	1,4	292	24
Frumento	653.281	38,7	6.871	95	120.854	23,2	6.871	18
Orzo	246.077	14,6	2.253	109	58.239	11,2	2.253	26
Sorgo	98.687	5,8	604	163	11.363	2,2	604	19
Patata	8.575	0,5	99	86	1.871	0,4	99	19
Barbabietola	202.002	12,0	2.527	80	33.483	6,4	2.527	13
Girasole	33.219	2,0	527	63	6.603	1,3	527	13
Soia	0	0,0	17	0	501	0,1	17	30
Pomodoro	3.951	0,2	48	82	807	0,2	48	17
Ortive	182.318	10,8	1.262	144	27.488	5,3	1.262	22
Erba medica	0	0,0	7.468	0	222.143	42,6	7.468	30
Erbai	15.655	0,9	62	251	2.015	0,4	62	32
Altri seminativi - cereali	3.325	0,2	667	5	0	0,0	667	0
Vite e Olivo	126.894	7,5	4.510	28	4.035	0,8	4.510	1
Fruttiferi	33.981	2,0	864	39	13.333	2,6	864	15
Prati e pascoli	0	0,0	434	0	0	0,0	434	0
Terreni a riposo	44.700	2,6	747	60	11.920	2,3	747	16
Pioppete	0	0,0	15	0	178	0,0	15	12
Boschi	0	0,0	1.599	0	0	0,0	1.599	0
Altra superficie	0	0,0	3.568	0	0	0,0	3.568	0
Totale	1.687.205	100	34.434	49	521.938	100,0	34.434	15

Una volta definiti, per ciascuna specie allevata, i pesi vivi medi delle varie classi di censimento, è stato possibile associare questi valori ai dati relativi alla consistenza, espressa in numero di capi allevati e censiti nel 2000 dall'ISTAT.

Il prodotto tra pesi vivi e numero di capi delle varie classi di censimento è stato eseguito, quindi, per ciascun comune della regione; nella tabella che segue si riporta il dato della consistenza dei bovini e del complessivo peso vivo allevato, a livello regionale, nella provincia di Rimini e in alcuni suoi comuni le cui superfici insistono prevalentemente sul Bacino del Marecchia.

Tabella 1-27 Consistenza del settore zootecnico: bovini e bufalini allevati, peso vivo medio e complessivo

Provincia	Bovini allevati (n°)	Bufalini allevati (n°)	Totale Bovini allevati (n°)	Peso vivo medio (kg)	Peso vivo complessivo (kg)
Bellaria-Igea Marina	22	0	22	256	5.630
Poggio Berni	121	0	121	155	18.705
Rimini	726	0	726	339	245.950
Santarcangelo di Romagna	200	0	200	327	65.395
Torriana	273	0	273	227	62.025
Verucchio	286	0	286	377	107.945
Totale comuni conoide	1.628	0	1.628	311	505.650
Totale provincia	3.664	0	3.664	313	1.146.832
Totale regionale	621.399	1.179	622.578	402	250.276.356

Analoghe considerazioni sono state fatte per i suini salvo alcune precisazioni relativamente all'individuazione del numero di capi i cui liquami, successivamente, effettivamente vengono utilizzati per lo spandimento sul suolo agrario.

Tabella 1-28 Consistenza del settore zootecnico: suini allevati, peso vivo medio e complessivo, suini utili allo spandimento

Provincia	Suini allevati (n°)	Peso vivo medio (kg)	Peso vivo complessivo (kg)	Suini trattati (n°)	Suini che spandono da/in altre province (n°)	Suini utili per spandimento (n°)
Bellaria-Igea Marina	631	45	28.435	631	0	0
Poggio Berni	10.561	64	674.360	0	-5.750	4.811
Rimini	347	130	45.035	0	500	847
Santarcangelo di Romagna	133	107	14.255	0	500	633
Torriana	36	106	3.820	0	0	36
Verucchio	189	156	29.495	0	500	689
Totale comuni conoide	11.897	67	795.400	631	-4.250	6.327
Totale provincia	15.668	66	1.034.088	1.328	-4.250	10.090
Totale regionale	1.552.437	82	127.299.834	99.765	0	1.452.672

Nella Tabella 1-28 si riportano le informazioni complessive, a livello regionale e la provincia di Rimini, in merito al numero di capi allevati, al numero di capi i cui reflui sono convogliati verso specifiche centrali di trattamento e, per differenza, il numero di capi per i quali i rispettivi reflui sono utilizzati per spandimento agronomico. Anche in questo caso, come per i bovini, le variazioni del peso vivo medio nelle varie province sono dovute alle consistenze delle diverse classi ponderali censite dall'ISTAT nei vari comuni. Nel caso della provincia di Rimini si è riscontrato che circa 4250 suini spandono nel territorio della provincia di Forlì-Cesena.

Infine un risultato analogo ai precedenti è stato ottenuto per gli avicoli.

Tabella 1-29 Consistenza del settore zootecnico: avicoli allevati, peso vivo medio e complessivo

Provincia	Avicoli allevati (n°)	Peso vivo medio (kg)	Peso vivo complessivo (kg)
Bellaria-Igea Marina	131.816	1,8	236.568
Poggio Berni	2.726	1,5	4.137
Rimini	66.437	1,7	110.998
Santarcangelo di Romagna	447.784	1,1	479.254
Torriana	1.340	1,5	2.026
Verucchio	207.468	1,3	267.291
Totale comuni conoide	857.571	1,3	1.100.273
Totale provincia	1.103.013	1,3	1.433.916
Totale regionale	29.036.967	1,6	46.459.147

Per i parametri azoto e fosforo, una volta determinato il peso vivo di ogni specie allevata, si sono utilizzati i carichi unitari, valutati dal CRPA, espressi in chilogrammi per tonnellata di peso vivo.

I valori dei coefficienti unitari, ricondotti a carichi unitari per tonnellata di peso vivo, sono riportati nella tabella seguente; essi rappresentano l'effettivo contributo al campo e tengono conto, almeno per l'azoto, di tutte le perdite conseguenti alla volatilizzazione in atmosfera.

Tabella 1-30 Carichi unitari annui di azoto e fosforo al campo e al netto delle perdite, prodotti per tonnellata di peso vivo dalle diverse specie allevate

Specie allevata	Azoto (kg/t p.v.)	Fosforo (kg/t p.v.)
Bovini	90	47,5
Suini	112	51,1
Avicoli	169	120

Tabella 1-31 Carichi annui di BOD<sub>5</sub> al campo e al netto delle perdite prodotti dalle diverse specie allevate

Provincia	Bovini BOD <sub>5</sub> (kg/y)	Suini BOD <sub>5</sub> (kg/y)	Avicoli BOD <sub>5</sub> (kg/y)	Totale BOD <sub>5</sub> (kg/y)
Bellaria-Igea Marina	1.258	0	334.507	335.765
Poggio Berni	4.181	81.992	5.849	92.022
Rimini	54.970	20.541	156.951	232.462
Santarcangelo di Romagna	14.616	12.326	677.665	704.607
Torriana	13.863	1.020	2.864	17.746
Verucchio	24.126	16.394	377.950	418.469
Totale comuni conoide	113.013	132.272	1.555.786	1.801.071
Totale provincia	256.149	181.392	1.982.129	2.419.670
Totale regionale	55.909.960	31.911.687	63.729.744	151.551.391

Tabella 1-32 Carichi annui di azoto al campo e al netto delle perdite prodotti dalle diverse specie allevate

Provincia	Bovini Azoto (kg/y)	Suini Azoto (kg/y)	Avicoli Azoto (kg/y)	Totale Azoto (kg/y)
Bellaria-Igea Marina	507	0	39.980	40.487
Poggio Berni	1.683	34.406	699	36.789
Rimini	22.136	8.620	18.759	49.514
Santarcangelo di Romagna	5.886	5.172	80.994	92.052
Torriana	5.582	428	342	6.352
Verucchio	9.715	6.879	45.172	61.767
Totale comuni conoide	45.509	55.506	185.946	286.960
Totale provincia	103.147	76.118	236.902	416.168
Totale regionale	22.514.078	13.391.191	7.616.921	43.522.190

Tabella 1-33 Carichi annui di fosforo al campo prodotti dalle diverse specie allevate

Provincia	Bovini Fosforo (kg/y)	Suini Fosforo (kg/y)	Avicoli Fosforo (kg/y)	Totale Fosforo (kg/y)
Bellaria-Igea Marina	267	0	28.388	28.656
Poggio Berni	888	15.698	496	17.083
Rimini	11.683	3.933	13.320	28.935
Santarcangelo di Romagna	3.106	2.360	57.511	62.977
Torriana	2.946	195	243	3.384
Verucchio	5.127	3.139	32.075	40.341
Totale comuni conoide	24.018	25.324	132.033	181.376
Totale provincia	54.439	34.729	168.215	257.382
Totale regionale	11.882.430	6.109.731	5.408.465	23.400.626

Nelle Tabella 1-31, Tabella 1-32 e Tabella 1-33, si riportano i risultati complessivi, a livello regionale e provinciale, ottenuti adottando la precedente metodologia, mettendo quindi in evidenza la consistenza di una delle principali voci del bilancio delle disponibilità di nutrienti a scopo agronomico.

Vale la pena di ricordare che anche in questo caso i valori riportati rappresentano una sintesi di una analisi molto più articolata a livello di singolo comune regionale.

#### *Fertilizzanti chimici*

All'interno del bilancio dei nutrienti, gli apporti dei fertilizzanti chimici sono stati stimati facendo riferimento ad uno schema metodologico con il quale si è cercato di

rappresentare la modalità di soddisfacimento del fabbisogno colturale di nutrienti tramite i fertilizzanti organici (zootecnia) e, quando non sufficienti, con i fertilizzanti di sintesi. Inoltre in tale processo si sono introdotte due ulteriori variabili:

- disponibilità di diverse forme di fertilizzante organico, essenzialmente riconducibili al letame e al liquame, con diverse possibilità applicative;
- diversa predisposizione delle colture ad essere fertilizzate con il liquame suinicolo.

In sintesi, la metodologia adottata per la preliminare definizione degli apporti teorici di fertilizzanti chimici, risulta composta dai seguenti passaggi, ulteriormente evidenziati schematicamente nella Figura 1-4 successiva:

1. In ciascun comune della regione, si sono considerate le stime relative a quanto occorre apportare, in termini di azoto e fosforo, per soddisfare le necessità vegetative e per garantire determinate rese colturali. In tali stime si sono individuate le quote parti di questa domanda che non possono essere soddisfatte tramite l'utilizzo dei liquami suinicoli; la restrizione all'applicazione di questo particolare refluo è legata alla tipologia della coltura ed ha riguardato:

- le ortive;
- le fruttifere;
- la vite;
- il frumento e l'orzo solo per una quota del 50% del loro fabbisogno.

Al fabbisogno di nutrienti di queste colture è stato attribuito il termine di **non liquamabile** (vedi figura).

La restante porzione di fabbisogno è stata, di contro, indicata con la terminologia di **liquamabile**.

2. Si è proceduto al confronto tra il fabbisogno **non liquamabile** e i quantitativi di azoto e fosforo, al campo, provenienti dai bovini e dagli avicoli, per i quali si è adottato il termine generico di **letame**, ovvero di un fertilizzante che non pone le restrizioni di utilizzo del refluo suinicolo.

Il confronto ha individuato due situazioni:

- la disponibilità di letame è inferiore al fabbisogno non liquamabile; in questo caso la differenza è stata compensata con apporto di fertilizzante **chimico** (caso **A1** della figura);
- la disponibilità di letame eccede il fabbisogno non liquamabile: in questo caso la disponibilità eccedente del letame è andata a soddisfare una parte del fabbisogno definito precedentemente con il termine di liquamabile (caso **B1** della figura).

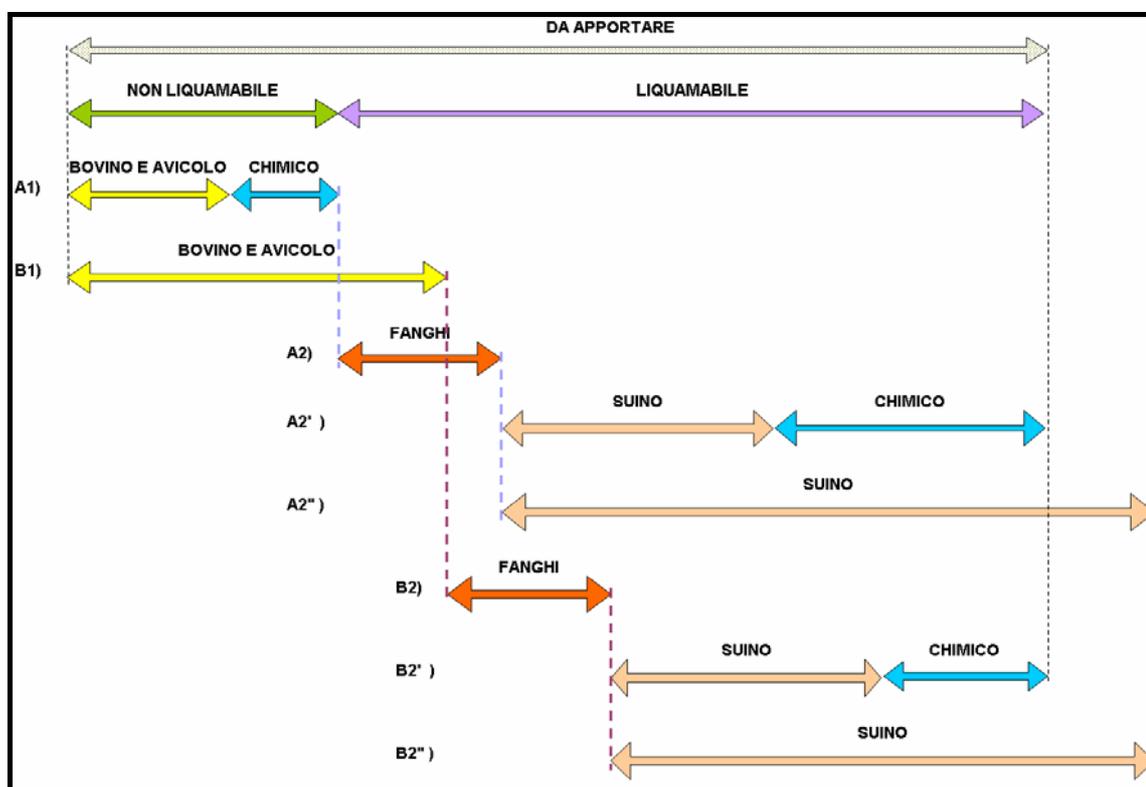
Al termine della fase 2 si è confrontato il fabbisogno **liquamabile** rimanente con le altre disponibilità di fertilizzanti organici, ovvero i fanghi provenienti dagli impianti di depurazione civili e dalle industrie agroalimentari e i reflui suinicoli.

3. Relativamente alla disponibilità dei fanghi, se ne è valutata la capacità di "coprire" una porzione del fabbisogno a partire dalle situazioni A1 o B1 precedenti, ovvero:

- i fanghi intervengono quando il fabbisogno liquamabile non è ancora stato interessato da apporti (caso **A2** della figura);

- i fanghi intervengono quando il fabbisogno liquamabile è stato in parte soddisfatto dalla disponibilità in eccesso del letame (caso **B2** della figura).
4. Una volta soddisfatto parte del fabbisogno liquamabile con gli apporti dei fanghi così come riportato al punto 3 si è, infine, fatto il confronto con la disponibilità offerta dal liquame suinicolo, individuando le due situazioni seguenti:
- la disponibilità di liquame suinicolo è inferiore alla restante parte del fabbisogno liquamabile; in questi casi la differenza è stata compensata con apporto di fertilizzante chimico (casi **A2'** e **B2'** della figura);
  - la disponibilità del liquame suinicolo eccede il fabbisogno liquamabile: in questi casi si è supposto che comunque tutto il liquame venga apportato (casi **A2''** e **B2''** della figura).

Figura 1-4 Schema metodologico per la stima degli apporti teorici di fertilizzanti chimici



Lo schema sopra richiamato ha permesso di determinare, a livello comunale, una prima valutazione teorica degli apporti ai suoli agricoli di fertilizzanti chimici.

Le stime fatte hanno preso a riferimento una ripartizione del fabbisogno, nelle due forme di liquamabile e di non liquamabile, definita su tutta la SAU disponibile. In realtà la gestione dei reflui zootecnici nel loro insieme, ovvero letame e liquame, avviene attraverso l'individuazione, da parte delle varie province, di una quota parte di SAU ridotta sulla quale avviene l'effettivo spandimento di tutti i reflui. Nella tabella che segue si riportano le superfici delle quote parti di SAU effettivamente utilizzate dalle varie province per lo spandimento dei reflui zootecnici.

Tabella 1-34 Estensione della SAU utilizzata per lo spandimento effettivo dei reflui zootecnici a livello regionale e provinciale

Provincia	SAU (ha)	SAU utilizzata (ha)	SAU util./SAU
Rimini	29.252	1.718,1	0,06
Totale regionale	1.114.287	249.966,8	0,22

In pratica si è pervenuti ad una situazione in cui, a causa della riduzione della superficie di applicazione comunque dell'intera disponibilità zootecnica, si è reso necessario aumentare il contributo di fertilizzanti chimici per soddisfare fabbisogni altrimenti privi di copertura non essendo più raggiunti dagli spandimenti zootecnici.

Tabella 1-35 Quantitativi teorici ed effettivi di fertilizzanti chimici applicati ai suoli agricoli

Provincia	Chimico teorico		Chimico effettivo	
	Azoto (kg/y)	Fosforo (kg/y)	Azoto (kg/y)	Fosforo (kg/y)
Rimini	1.040.900	272.975	1.500.427	456.360
Totale regionale	67.343.158	12.517.722	83.861.713	21.721.108

La stima degli apporti di fertilizzanti di sintesi è stata impostata partendo da uno schema teorico che ha operato, sostanzialmente, per differenza:

$$(\text{apporto chimico}) = (\text{fabbisogno}) - [(\text{disponibilità zootecnica}) + (\text{fanghi})]$$

*Fanghi degli impianti di trattamento civili e delle industrie agro-alimentari*

All'interno del bilancio complessivo dei nutrienti che vengono applicati ai suoli a scopo agronomico, è presente anche la voce relativa all'utilizzo dei fanghi di depurazione. Nella realtà esistono due tipologie di fango normalmente utilizzati in agricoltura:

- i fanghi biologici derivanti dalla depurazione delle acque reflue provenienti da insediamenti civili;
- i fanghi provenienti da depuratori asserviti ad industrie agroalimentari di natura prevalentemente organica.

Sulla base delle informazioni disponibili in merito alle autorizzazioni che le diverse Province hanno rilasciato, è stato possibile dedurre un set di informazioni sufficientemente omogeneo relativamente ai quantitativi di nutrienti recapitati sul suolo. Le informazioni provinciali trattate hanno riguardato l'anno 2000: per ciascun comune interessato dallo spandimento di questi fanghi sono presenti i dati sul peso tal quale dei fanghi, la percentuale in sostanza secca, il corrispettivo carico di azoto, fosforo e carbonio, la superficie utilizzata per lo spandimento.

Nella tabella che segue si riportano i dati complessivi a livello regionale e una loro disaggregazione nelle diverse province.

Tabella 1-36 Superficie utilizzata per lo spandimento dei fanghi degli impianti di trattamento e delle industrie agro-alimentari, azoto e fosforo applicati ai suoli

Provincia	SAU (ha)	SAU utilizzata (ha)	Azoto (kg/y)	Fosforo (kg/y)
Rimini	29.252	641	132.556	40.293
Totale regionale	1.114.287	10.147	1.991.465	1.129.321

### 1.2.1.3 Apporti al suolo a seguito delle pratiche agro-zootecniche

Una volta definiti i vari termini in cui possono essere distinti gli apporti ai suoli agricoli a seguito delle usuali pratiche agronomiche, è quindi immediato pervenire al totale complessivo sommando i singoli termini.

Si può notare che, a differenza di quanto riportato nella Tabella 1-26, in cui venivano indicati i quantitativi di azoto e fosforo da fornire alle piante per soddisfare il loro fabbisogno di sostanze nutritive, nella Tabella 1-37 e nella Tabella 1-39 sono indicati valori superiori, a quelli suddetti, in quanto tengono conto delle effettive quantità distribuite al campo dalle attività di concimazione: esiste dunque un surplus di concimazione rispetto al fabbisogno teorico calcolato, eventualmente soggetto a trasferimento ai corpi idrici superficiali e sotterranei (in quest'ultimo caso solo per il parametro azoto).

Per quanto riguarda il contributo zootecnico si forniscono anche i valori parziali dovuti alle due principali tipologie di fertilizzante organico: il letame e il liquame. Nella prima tipologia sono ricompresi i contributi offerti dai bovini e dagli avicoli, mentre con il termine liquame si intende l'apporto del settore suinicolo.

Tabella 1-37 Azoto sul suolo da attività di concimazione

Provincia	Letame (kg/y)	Liquame (kg/y)	Totale zootecnico (kg/y)	Chimico (kg/y)	Fanghi (kg/y)	Totale concimazione (kg/y)
Rimini	340.049	76.118	416.168	1.500.427	132.556	2.049.151
Totale regionale	30.130.999	13.391.191	43.522.190	83.861.713	1.991.465	129.375.368

Nella tabella che segue vengono invece riportati i valori di pressione per unità di superficie conseguenti all'utilizzo delle varie forme di fertilizzanti stimate; in particolare si evidenzia che per i fertilizzanti chimici di sintesi la superficie di riferimento risulta essere la SAU complessiva, mentre per gli apporti zootecnici e dei fanghi da impianti di trattamento civile e delle industrie agro-alimentari si sono considerate le superfici effettivamente utilizzate a tale scopo.

Tabella 1-38 Carichi unitari medi di azoto a seguito delle pratiche di concimazione

Provincia	Chimico		Zootecnico		Fanghi	
	SAU disponibile	Carico	SAU utilizzata	Carico	SAU utilizzata	Carico
	(ha)	(kg/y/ha)	(ha)	(kg/y/ha)	(ha)	(kg/y/ha)
Rimini	29.252	51	1.718	242	641	207
Totale regionale	1.114.287	75	249.967	174	10.147	196

Analoghe considerazioni a quelle fatte per l'azoto sono state fatte relativamente al fosforo, così come evidenziato nelle due tabelle seguenti.

Tabella 1-39 Fosforo sul suolo da attività di concimazione

Provincia	Letame (kg/y)	Liquame (kg/y)	Totale zootecnico (kg/y)	Chimico (kg/y)	Fanghi (kg/y)	Totale concimazione (kg/y)
Rimini	222.653	34.729	257.382	456.360	40.293	754.036
Totale regionale	17.290.895	6.109.731	23.400.626	21.721.108	1.129.321	46.251.055

Tabella 1-40 Carichi unitari medi di fosforo a seguito delle pratiche di concimazione

Provincia	Chimico		Zootecnico		Fanghi	
	SAU disponibile (ha)	Carico (kg/y/ha)	SAU utilizzata (ha)	Carico (kg/y/ha)	SAU utilizzata (ha)	Carico (kg/y/ha)
	Rimini	29.252	16	1.718	150	641
Totale regionale	1.114.287	19	249.967	85	10.147	111

#### 1.2.1.4 Contributi di origine naturale

Nei punti precedenti è stata presentata la metodologia per giungere ad una stima verosimile di quanto viene apportato sui suoli agrari a seguito delle pratiche agro-zootecniche.

Gli apporti antropici rappresentano sicuramente la voce primaria nel bilancio di nutrienti nel suolo, ma risultano presenti anche altri contributi di origine naturale; questi contributi sono riconducibili ad apporti esterni veri e propri quali quelli conseguenti alle ricadute atmosferiche e a quanto può provenire dai cosiddetti suoli incolti, porzioni di territorio nei quali si è stimata la quota parte di azoto e fosforo potenzialmente asportabile dalle piogge.

I contributi ora presentati, compresi quelli attribuibili agli apporti antropici, sono da un lato utilizzati specificatamente dalle piante per svolgere le proprie attività vegetative, dall'altro sono suscettibili ad essere mobilizzati dall'azione delle precipitazioni atmosferiche ed essere convogliati verso la rete di drenaggio superficiale, o in direzione delle falde sotterranee.

##### *Contributo dei suoli incolti*

Come detto in premessa a questo paragrafo i suoli incolti sono configurabili anch'essi come potenziali riserve di azoto e fosforo dilavabili dagli agenti atmosferici.

La stima di quanto ammonta il carico annuo di nutrienti suscettibile di essere mobilitato dalle acque meteoriche, verso la rete superficiale e/o verso il sottosuolo, prende le mosse da alcune indicazioni fornite all'interno della relazione generale relativa al "Piano territoriale regionale per il risanamento e la tutela delle acque (L.R. 9/83) – 1993". In tale studio i contributi di azoto e fosforo generati dai suoli incolti erano stati fissati in 10 kg/ha/y per l'azoto e 3 kg/ha/y per il fosforo.

Sulla base dell'incidenza dei suoli incolti presenti nei vari comuni è stato quindi possibile stimare i quantitativi di nutrienti che possono risultare soggetti all'azione di dilavamento delle piogge.

Nella tabella che segue si riportano i totali ottenuti a livello regionale e provinciale.

Tabella 1-41 Azoto e fosforo presenti nei suoli incolti

Provincia	Azoto (kg/y)	Fosforo (kg/y)
Rimini	172.789	51.837
Totale regionale	9.887.274	2.966.182

#### *Apporti atmosferici*

Per quanto riguarda l'individuazione degli apporti di azoto dovuti alle deposizioni atmosferiche, si è fatto riferimento a valori medi annui ricavati dalla "Relazione sullo stato dell'ambiente '99" della Regione Emilia-Romagna. Relativamente agli aspetti legati alle cosiddette "piogge acide" si è verificato che mediamente è riscontrabile, nelle piogge che cadono sulla regione, una concentrazione media di circa 6 mg/l di nitrati; in termini di azoto questa concentrazione equivale a 1.35 mg/l di N. Supponendo che la precipitazione media annua ammonti a circa 840 mm, il carico complessivo per unità di superficie risulta pari a poco più di 10 kg/ha/y di N.

Per quanto riguarda invece il fosforo le informazioni risultano molto più frammentarie, per la maggior parte riferite ad importanti aree industriali (per Porto Marghera sono stati forniti valori di 1.8 kg/ha/y); si è comunque definito un carico annuo per unità di superficie pari a 1 kg/ha/y di P.

Il conseguente carico dovuto al dilavamento meteorico è stato stimato utilizzando alcuni coefficienti medi di abbattimento degli apporti diffusi di azoto e fosforo sul suolo proposti nella relazione relativa al "Piano territoriale regionale per il risanamento e la tutela delle acque (L.R. 9/83) – 1993". Nello specifico si è supposto che l'azoto venisse abbattuto per una quota pari all'80%, mentre il fosforo per il 97%.

#### **1.2.1.5 Apporti complessivi al suolo da fonti di tipo diffuso**

Una volta definiti i vari componenti che compongono il bilancio di nutrienti sui suoli, agrari e non, si può pervenire facilmente ai quantitativi complessivi apportati; tali apporti sono suscettibili di dilavamento da parte delle acque meteoriche potendo trasformarsi in carichi inquinanti sversati nella rete di drenaggio superficiale e/o verso le falde sotterranee.

Nella Tabella 1-42, relativamente all'azoto, e nella Tabella 1-43 per quanto riguarda il fosforo, sono riportati i consuntivi a livello regionale e articolati a livello provinciale dei carichi apportati al suolo dalle attività di concimazione e dagli apporti naturali.

Tabella 1-42 Azoto complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali

Provincia	Concimazione (kg/y)	Mineralizzato (kg/y)	Atmosferico (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)
Rimini	2.049.151	1.234.640	465.309	172.789	3.921.890
Totale regionale	129.375.368	52.995.560	21.024.765	9.887.274	213.282.966

Tabella 1-43 Fosforo complessivo sul suolo da attività di concimazione e da apporti naturali

Provincia	Concimazione (kg/y)	Mineralizzato (kg/y)	Atmosferico (kg/y)	Incolto (kg/y)	Totale (kg/y)
Rimini	754.036	154.330	46.531	51.837	1.006.734
Totale regionale	46.251.055	6.624.445	2.102.476	2.966.182	57.944.158

### 1.2.2 Apporti al suolo da fonti di tipo civile

Gli scarichi domestici delle case sparse, vista la particolare conformazione della rete minuta e l'impossibilità di definire con esattezza l'ubicazione di questi centri si suppone che essi siano distribuiti uniformemente nell'area comunale, e che i loro scarichi recapitino direttamente su suolo.

Analogamente alle case sparse sono stati considerati gli scarichi provenienti da aree residenziali non servite da rete fognaria; il loro apporto è comunque stato ricondotto alla località di appartenenza, la quale, essendo georeferenziata, è stata attribuita ad un preciso bacino di recapito.

Il carico sversato su suolo dalle fonti di tipo civile risulta comunque trascurabile se confrontato con i valori che vengono distribuiti sul campo dalle pratiche agrozooteχνiche riportati in Tabella 1-19 e Tabella 1-20. Tale carico infatti rappresenta circa il 4% per il parametro Azoto e il 2,6% per il fosforo del complessivo prodotto dalle attività agricole.

Tabella 1-44 AE non serviti da rete fognaria e rispettivi carichi sversati su suolo

Provincia	AE totali (AE)	AE non serviti da rete (AE)	di cui in località (AE)	di cui in case sparse (AE)	N sve su suolo (kg/y)	P sve su suolo (kg/y)
Rimini	416.040	44.437	15.975	28.462	169.575	26.859
Totale regionale	5.422.854	599.185	189.543	409.642	2.286.535	362.171

## 1.3 CARICHI SVERSATI IN ACQUE SUPERFICIALI

Gli apporti al suolo sono suscettibili di trasferimento ai corpi idrici superficiali e, soprattutto per l'azoto, a quelli sotterranei. Tale fenomeno dipende da molti fattori legati alla geomorfologia e tessitura del terreno, alla sua copertura, alla pendenza e permeabilità del suolo, alla piovosità della zona d'interesse, ai quantitativi distribuiti sul suolo e alle tecniche di spandimento utilizzate.

La stima dei carichi sversati è stata effettuata attraverso l'uso di una adeguata modellistica che ha tenuto in considerazione la distribuzione reale sul suolo degli apporti fertilizzanti, sia come successione temporale della concimazione sia come simulazione dell'effettivo dilavamento apportato dalle piogge, non dimenticando le caratteristiche di permeabilità e tessitura del terreno interessato dalle colture.

La stima del carico sversato dal suolo ha preso in esame, per il territorio montano-collinare, una procedura di regionalizzazione dei carichi sversati; per l'area di pianura i valori regionalizzati sono stati rimodulati sulla base delle risultanze della modellazione con CRITERIA, modello che permette la valutazione degli effetti del rilascio di sostanze inquinanti, a seguito del percolamento e del ruscellamento delle acque meteoriche nei corpi idrici ricettori.

La metodologia affrontata per le analisi suddette viene descritta con maggior dettaglio nell'Attività E: "Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi .." presentata a supporto del Piano di Tutela delle Acque.

Nella Tabella 1-45, nella Tabella 1-46 e nella Tabella 1-47 viene riportata una sintesi, per ogni Bacino di interesse, dei carichi inquinanti sversati in corpo idrico superficiale dalle fonti di tipo puntuale e diffuso, rispettivamente per ciascun parametro oggetto di studio (BOD<sub>5</sub>, azoto e fosforo). Per ogni bacino principale viene fatto il confronto tra il carico generato da fonti presenti nella provincia di Rimini e quello complessivo prodotto nel bacino medesimo.

Per quanto riguarda ad esempio il parametro BOD<sub>5</sub> si può vedere ad esempio, nella Tabella 1-45, come il Bacino dell'Uso riceve scarichi di tipo puntuale dalla provincia di Rimini, interessando solo una ristretta zona della superficie provinciale: infatti il 76% del carico puntuale del Bacino è attribuito alla provinciali Rimini mentre solo il 14% del carico proveniente da fonti di tipo diffuso deriva dalla provincia in questione. In complesso il 28% del carico sversato nel Fiume Uso deriva da fonti presenti nella provincia di Rimini, mentre il rimanente 72% è dovuto ai carichi generati dalla provincia di Forlì – Cesena.

Bisogna inoltre ricordare che il Marecchia presenta una notevole porzione del suo Bacino imbrifero in territorio extra – regionale. I carichi provenienti da queste aree non sono stati valutati (tranne il caso di San Marino che recapita i propri reflui al depuratore di santa Giustina) per cui risulta che quasi il 100% del carico valutato viene prodotto in territorio riminese.

Tabella 1-45: Carichi complessivi di **BOD<sub>5</sub>** sversati nei bacini principali dalle varie tipologie di scarico e % dei carichi prodotti nel territorio riminese rispetto al totale dei Bacini

Codice	Nome Bacino	Puntuali	Diffusi	Totale	Puntuali	Diffusi	Totale	% punt	% diff	% tot
		Bacino provinciale			Bacino complessivo					
		(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(%)	(%)	(%)
1600	F. RUBICONE	110	7.523	7.632	358.679	1.811.200	2.169.879	0	0	0
1700	F. USO	141.682	93.824	235.506	185.410	664.900	850.310	76	14	28
1800	SC. BRANCONA	9.824	4.700	14.524	9.824	4.700	14.524	100	100	100
1900	F. MARECCHIA	317.079	208.138	525.217	322.040	210.300	532.340	98	99	99
2000	R. MARANO	46.140	20.400	66.540	46.140	20.400	66.540	100	100	100
2100	R. MELO	72.300	16.700	89.000	72.300	16.700	89.000	100	100	100
2200	F. CONCA	43.521	45.600	89.121	43.521	45.600	89.121	100	100	100
2300	T. VENTENA	31.901	11.300	43.201	31.901	11.300	43.201	100	100	100
2400	T. TAVOLLO	43.258	18.600	61.858	43.258	18.600	61.858	100	100	100
2500	T. SALSO	1.643	2.200	3.843	1.643	2.200	3.843	100	100	100
	Altri areali	390.574	38.996	429.570	395.114	41.023	436.136	99	95	98
	Totale	1.098.030	467.980	1.566.011	1.509.828	2.846.923	4.356.751			

Tabella 1-46 Carichi complessivi di **azoto** sversati nei bacini principali dalle varie tipologie di scarico e % dei carichi prodotti nel territorio riminese rispetto al totale dei Bacini

Codice	Nome Bacino	Puntuali	Diffusi	Totale	Puntuali	Diffusi	Totale	% punt	% diff	% tot
		Bacino provinciale			Bacino complessivo					
		(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(%)	(%)	(%)
1600	F. RUBICONE	12	840	852	118.191	110.300	228.491	0	1	0
1700	F. USO	113.017	15.997	129.014	122.768	72.400	195.168	92	22	66
1800	SC. BRANCONA	1.769	8.700	10.469	1.769	8.700	10.469	100	100	100
1900	F. MARECCHIA	571.552	510.820	1.082.372	617.531	515.600	1.133.131	93	99	96
2000	R. MARANO	97.341	40.500	137.841	97.341	40.500	137.841	100	100	100
2100	R. MELO	60.087	23.200	83.287	60.087	23.200	83.287	100	100	100
2200	F. CONCA	10.479	84.300	94.779	10.479	84.300	94.779	100	100	100
2300	T. VENTENA	107.312	23.000	130.312	107.312	23.000	130.312	100	100	100
2400	T. TAVOLLO	4.828	76.900	81.728	4.828	76.900	81.728	100	100	100
2500	T. SALSO	383	20.300	20.683	383	20.300	20.683	100	100	100
	Altri areali	46.402	47.105	93.507	46.891	50.514	97.404	99	93	96
	Totale	1.013.180	851.662	1.864.843	1.187.579	1.025.714	2.213.292			

Tabella 1-47 Carichi complessivi di **fosforo** sversati nei bacini principali dalle varie tipologie di scarico e % dei carichi prodotti nel territorio riminese rispetto al totale dei Bacini

Codice	Nome Bacino	Puntuali	Diffusi	Totale	Puntuali	Diffusi	Totale	% punt	% diff	% tot
		Bacino provinciale			Bacino complessivo					
		(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(kg/y)	(%)	(%)	(%)
1600	F. RUBICONE	4	90	93	18.367	16.500	34.867	0	1	0
1700	F. USO	6.897	1.967	8.864	8.763	11.300	20.063	79	17	44
1800	SC. BRANCONA	550	700	1.250	550	700	1.250	100	100	100
1900	F. MARECCHIA	29.438	104.371	133.809	30.965	105.400	136.365	95	99	98
2000	R. MARANO	4.110	2.400	6.510	4.110	2.400	6.510	100	100	100
2100	R. MELO	2.861	1.400	4.261	2.861	1.400	4.261	100	100	100
2200	F. CONCA	1.727	28.000	29.727	1.727	28.000	29.727	100	100	100
2300	T. VENTENA	4.555	2.400	6.955	4.555	2.400	6.955	100	100	100
2400	T. TAVOLLO	1.461	13.600	15.061	1.461	13.600	15.061	100	100	100
2500	T. SALSO	60	100	160	60	100	160	100	100	100
	Altri areali	14.324	259	14.582	14.477	273	14.749	99	95	99
	Totale	65.987	155.285	221.273	87.896	182.073	269.968			

Le informazioni sono state successivamente riportate anche per i singoli sottobacini che interessano l'area di conoide all'interno del territorio provinciale (Tabella 1-48, Tabella 1-49, Tabella 1-50).

Tabella 1-48 Carichi complessivi di BOD5 sversati nei sottobacini dalle varie tipologie di scarico

Nome Sottobacino	Puntuali		Diffusi		Totale (kg/y)
	(kg/y)	(%)	(kg/y)	(%)	
F. RUBICONE - MARE	11.608	57	8.768	43	20.376
USO	68.266	60	44.625	40	112.890
CONSORZIALE BRANCONA	9.824	68	4.700	32	14.524
SC. BRANCONA - MARE	84.960	82	18.279	18	103.238
MARECCHIA	249.257	70	104.908	30	354.165
F. MARECCHIA - MARE	200.053	96	8.842	4	208.895
Totale	612.360	77	181.466	23	793.826

Tabella 1-49 Carichi complessivi di azoto sversati nei sottobacini dalle varie tipologie di scarico

Nome Sottobacino	Puntuali		Diffusi		Totale (kg/y)
	(kg/y)	(%)	(kg/y)	(%)	
F. RUBICONE - MARE	2.196	45	2.653	55	4.849
USO	98.185	94	6.094	6	104.279
CONSORZIALE BRANCONA	1.769	17	8.700	83	10.469
SC. BRANCONA - MARE	12.172	44	15.193	56	27.366
MARECCHIA	559.022	74	192.038	26	751.059
F. MARECCHIA - MARE	21.746	53	19.055	47	40.801
Totale	692.894	74	241.088	26	933.982

Tabella 1-50 Carichi complessivi di fosforo sversati nei sottobacini dalle varie tipologie di scarico

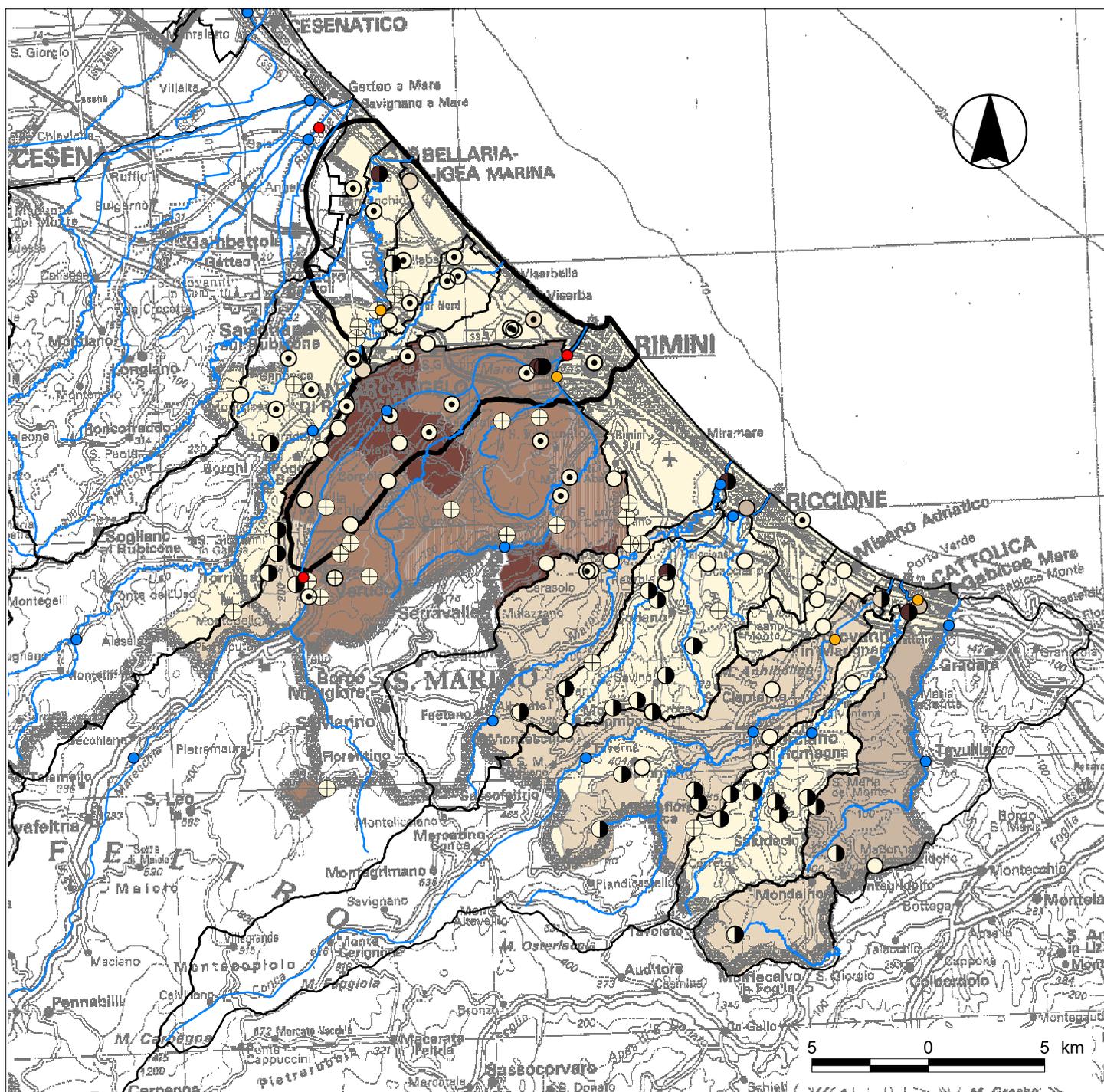
Nome Sottobacino	Puntuali		Diffusi		Totale (kg/y)
	(kg/y)	(%)	(kg/y)	(%)	
F. RUBICONE - MARE	683	97	20	3	703
USO	4.582	85	785	15	5.367
CONSORZIALE BRANCONA	550	44	700	56	1.250
SC. BRANCONA - MARE	3.684	98	90	2	3.775
MARECCHIA	26.475	39	41.330	61	67.804
F. MARECCHIA - MARE	6.742	98	103	2	6.846
Totale	42.033	49	43.010	51	85.044

Nella Figura 1-5, per il parametro azoto, sono rappresentati i carichi sversati nei corsi d'acqua dalle fonti di tipo diffuso e dagli scarichi puntuali.

I carichi puntuali fanno riferimento alle tipologie descritte con maggior dettaglio nel paragrafo 1.1 “Stima dei carichi inquinanti sversati da fonti puntuali”. In cartografia vengono rappresentati dunque i punti di recapito, nei corpi idrici principali, degli scarichi degli impianti di trattamento delle acque reflue urbane (assieme alle loro eventuali eccedenze); viene inoltre individuata l'ubicazione degli scarichi industriali mentre, per quanto riguarda gli sfioratori di piena, essi sono stati associati alla località.

I carichi diffusi sono stati calcolati a livello comunale e ripartiti nei bacini principali in base alle superfici comunali ivi scolanti; i risultati ottenuti per questa tipologia sono espressi in carico per unità di superficie (kg/y/ha).

Figura 1-5 Carichi di Azoto sversati nei corpi idrici superficiali da sorgenti di tipo diffuso (kg/anno/ha) e da fonti di tipo puntuale (kg/anno)



▾ Limite della conoide del Fiume Marecchia

Punti di controllo nelle acque superficiali interne

- AS: stazioni sui corpi idrici significativi della rete dello stato ambientale
- AL: stazioni sui corpi idrici di interesse della rete dello stato ambientale
- B: stazioni della rete dello stato ambientale

▬ Rete idrografica

▭ Bacini idrografici principali

Tipologia di scarico

- depuratore
- eccedenza
- ⊕ industriale
- ⊕ rete fognaria non depurata
- sfioratore

Carichi sversati

- |                     | puntuali (kg/anno) |
|---------------------|--------------------|
| N < 2.500           | ○                  |
| 2.500 < N < 5.000   | ○                  |
| 5.000 < N < 10.000  | ○                  |
| 10.000 < N < 50.000 | ○                  |
| N > 50.000          | ○                  |

- |             | diffusi (kg/anno/ha) |
|-------------|----------------------|
| N < 10      | □                    |
| 10 < N < 20 | □                    |
| 20 < N < 30 | □                    |
| 30 < N < 40 | □                    |
| N > 40      | □                    |

## 1.4 CALENDARIZZAZIONE DEGLI APPORTI DA FONTI DI TIPO DIFFUSO

In questo paragrafo si è tentato di dettagliare, per il solo parametro azoto, la distribuzione temporale dei carichi sversati in corpo idrico superficiale, in modo da fornire una aggregazione mensile dei carichi annui ottenuti nella Tabella 1-46. In questa sezione si farà riferimento ai soli sottobacini afferenti direttamente al Fiume Marecchia.

Tabella 1-51 Mesi in cui viene effettuata la concimazione **azotata**, per ciascun gruppo colturale. Valori espressi in percentuale sul totale annuo

Coltura/mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
Mais	0%	0%	10%	25%	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Frumento	0%	25%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	100%
Orzo	0%	0%	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	100%
Sorgo	0%	0%	0%	50%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Patata	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Barbabietola	0%	0%	60%	10%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Girasole	0%	0%	60%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Soia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pomodoro	0%	0%	0%	60%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Ortive	0%	0%	0%	60%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Erba medica	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Erbai	0%	0%	0%	60%	40%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Altri semin. - cereali	0%	0%	50%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Vite e Olivo	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Fruttiferi	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Prati e pascoli	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Pioppete	0%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	50%	0%	0%	0%	100%

Bisogna osservare che nella Tabella 1-42 per l'azoto e nella Tabella 1-43 per il fosforo vengono riportati i quantitativi *medi annui* apportati in corpo idrico superficiale dalle pratiche agronomiche e dalle fonti di tipo naturale; in realtà la concimazione nei terreni agricoli avviene in precisi momenti dell'anno, in modo da fornire alle piante gli elementi nutritivi utili alla loro crescita, nei momenti di maggior bisogno.

Nella Tabella 1-51, per il parametro azoto, vengono individuati i mesi nei quali, di norma, vengono effettuate le concimazioni. I numeri riportati sono indicativi della percentuale di concime fornito in quel mese alla pianta, dalle usuali pratiche agronomiche, rispetto al valore medio annuo. In specifico dunque le tabelle vanno lette in questa maniera: ad esempio per il Mais si è ipotizzata una concimazione azotata distribuita su tre mesi (ultimi giorni di Marzo, Aprile e primi giorni di Maggio) secondo le rispettive percentuali di 10, 25 e 65.

Nella valutazione dei carichi apportati su suolo bisogna distinguere le fonti provenienti dalla concimazione (di sintesi e organica) da quelle di origine naturale. L'apporto dei carichi generati dalla mineralizzazione del terreno, dai suoli incolti e dalle ricadute atmosferiche, è stato supposto costante nel tempo (Tabella 1-52)

**Tabella 1-52 Carichi mensili di azoto apportati sul suolo da fonti diffuse**

Tipo/mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Naturale	41.433	37.534	41.433	39.971	41.433	39.971	41.433	41.433	39.971	41.433	39.971	41.433	487.453
Concimazione	0	48.111	221.430	94.297	129.931	6.882	0	0	0	57.357	0	0	558.008
<b>Totale</b>	<b>41.433</b>	<b>85.645</b>	<b>262.864</b>	<b>134.268</b>	<b>171.364</b>	<b>46.853</b>	<b>41.433</b>	<b>41.433</b>	<b>39.971</b>	<b>98.791</b>	<b>39.971</b>	<b>41.433</b>	<b>1.045.461</b>

Ai valori di azoto e fosforo, generati dalle pratiche agronomiche e dalle fonti naturali, si sono applicati i coefficienti di sversamento, ottenuti a seguito della applicazione dei modelli matematici, e si è determinato il carico mensile sversato nel corso d'acqua.

A seguito dell'individuazione dell'andamento delle piogge nel Bacino di interesse, si sono modulati i suddetti carichi sversati in funzione dei coefficienti mensili di piovosità, determinati da un confronto della pioggia caduta in ogni singolo mese con il valore medio annuo.

**Tabella 1-53 Carichi mensili di azoto sversati in cis da ciascuna fonte di tipo puntuale e diffuso**

Coltura/mese	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
Depuratori	41.828	34.496	39.990	31.345	33.598	48.698	76.285	60.282	65.592	47.121	32.110	73.140	584.485
Reti nodep	1.400	1.264	1.400	1.355	1.400	1.355	1.400	1.400	1.355	1.400	1.355	1.400	16.481
Eccedenze	157	142	157	152	157	152	157	157	152	157	152	157	1.854
Sfioratori	854	771	854	826	854	826	854	854	826	854	826	854	10.050
Industria	396	358	396	383	396	383	396	396	383	396	383	396	4.661
<b>Totale punt</b>	<b>44.635</b>	<b>37.031</b>	<b>42.797</b>	<b>34.061</b>	<b>36.405</b>	<b>51.415</b>	<b>79.092</b>	<b>63.089</b>	<b>68.308</b>	<b>49.927</b>	<b>34.826</b>	<b>75.947</b>	<b>617.531</b>
<b>Totale diff</b>	<b>16.247</b>	<b>23.365</b>	<b>106.548</b>	<b>83.231</b>	<b>73.768</b>	<b>26.268</b>	<b>11.549</b>	<b>18.139</b>	<b>25.465</b>	<b>80.653</b>	<b>29.433</b>	<b>20.933</b>	<b>515.600</b>
<b>Totale</b>	<b>60.882</b>	<b>60.396</b>	<b>149.345</b>	<b>117.292</b>	<b>110.173</b>	<b>77.682</b>	<b>90.641</b>	<b>81.228</b>	<b>93.772</b>	<b>130.580</b>	<b>64.259</b>	<b>96.879</b>	<b>1.133.131</b>

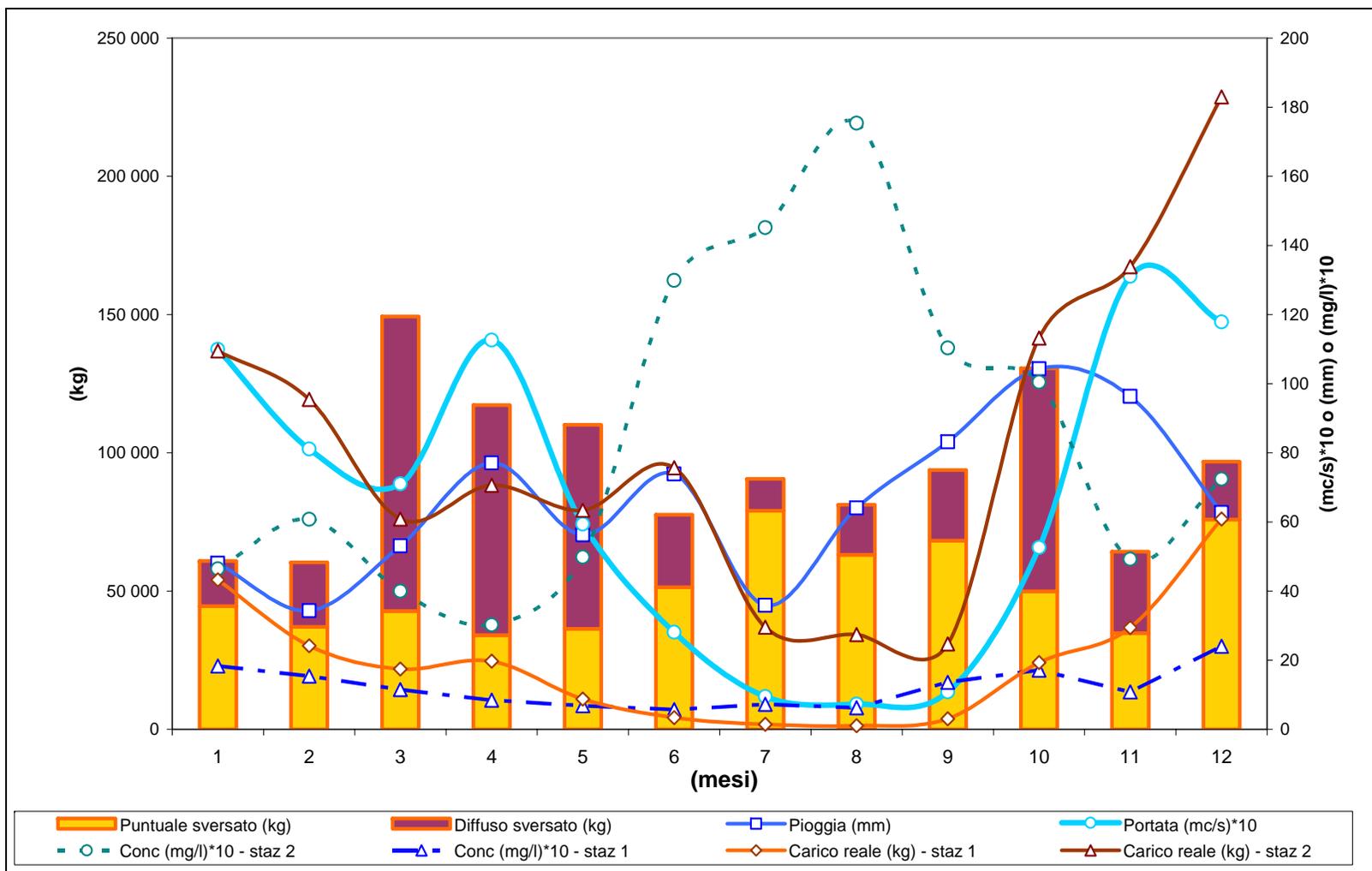
Relativamente agli apporti da fonti puntuali, dalla conoscenza delle portate medie mensili trattate dai due principali impianti di depurazione della città di Rimini che recapitano i propri reflui nel fiume Marecchia, Santa Giustina e Via Marecchiese, e delle analisi qualitative dei reflui in uscita, è stato possibile valutare il carico mensilmente sversato in corpo idrico superficiale.

Vista la ridotta quantità di azoto scaricato dalle altre fonti puntuali, rispetto al valore riscontrato negli impianti di trattamento, e l'impossibilità di valutare con precisione in quale periodo avvenissero gli sversamenti, si è ammesso costante il contributo degli scaricatori di piena, delle reti non depurate e degli scarichi di attività produttive.

Nella Figura 1-6 vengono mostrate alcune grandezze misurate lungo il corso del fiume Marecchia, in particolare sono riportati i valori mensili di **azoto** per:

- i carichi puntuali provenienti dalle reti fognarie depurate e non, dagli scaricatori di piena e dalle attività produttive che recapitano direttamente in corpo idrico superficiale (Carico puntuale (kg));
- i carichi diffusi prodotti dalle pratiche di concimazione e dalle fonti di origine naturale (Carico diffuso (kg));
- le concentrazioni misurate nelle stazioni P.te S.P. 49 via Traversa Marecchia” (staz 1) e “A monte cascata via Tonale” (staz 2) - Conc (mg/l)\*10 – staz 1 e 2. La staz 1 è a monte dell’abitato di Santarcangelo di Romagna e non risente dell’influenza dei depuratori di Rimini, la staz 2 è a valle dello scarico dei due impianti;
- le portate medie del fiume Marecchia - Portata (m<sup>3</sup>/s)\*10;
- i carichi ottenuti dalla prodotto concentrazione per portata, nelle due stazioni sopra elencate - Carico reale (kg) - staz 1 e 2;
- i valori di pioggia tipici del territorio - Pioggia (mm).

Figura 1-6 Carichi mensili di **azoto** sversati e veicolati in cis, concentrazione di azoto totale, portata e pioggia nel fiume Marecchia



## **2. IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO E DI TRASPORTO DEGLI IDROINQUINANTI DELLA CONOIDE DEL FIUME MARECCHIA (E, F, G2, H)**

In questo paragrafo viene descritta l'attività relativa alla modellistica matematica implementata per il flusso dell'acqua e per il trasporto dei nitrati all'interno della conoide del Fiume Marecchia. I due modelli sono legati tra loro nel senso che dal primo (il modello di flusso) viene derivato il campo di moto dell'acqua sul quale viene successivamente implementato il secondo (il modello di trasporto). Vengono quindi descritte inizialmente le scelte effettuate che hanno condizionato le parti operative comuni nell'implementazione dei due modelli, per poi proseguire con le parti più specifiche relative alle singole tarature ed ai risultati conseguiti.

### **2.1 COSTRUZIONE DEL MODELLO**

#### **2.1.1 Discretizzazione spaziale e temporale**

L'area di studio di estensione pari a circa 140 km<sup>2</sup> è stata discretizzata con maglie di lato 350 m (Figura 2-1) nel piano orizzontale mentre in verticale lo spessore complessivo del sistema sedimentario è stato suddiviso in 50 piani per un numero complessivo di celle pari a 103.500.

Di queste a valle delle disattivazioni necessarie per eliminare le celle appartenenti ai layer dei complessi acquiferi situate al di fuori dei relativi campi di esistenza degli stessi, sono risultate attive per la griglia di calcolo un numero di celle pari a 48.000.

Si è inoltre assunta una rotazione oraria del reticolo di 40 gradi in modo da fare coincidere l'asse X del reticolo con la direzione parallela al margine appenninico.

La discretizzazione secondo l'asse verticale Z è stata studiata in modo da:

1. garantire un dettaglio maggiore legato al livello di conoscenza strutturale del sistema;
2. rispecchiare le morfologie dei complessi acquiferi riconosciuti;
3. garantire il dettaglio necessario per la successiva applicazione del modello di trasporto.

Si è quindi provveduto ad utilizzare una discretizzazione verticale con altezza delle celle variabile ottenuta associando i primi 4 piani al complesso acquifero più superficiale A0, 12 per ciascun complesso acquifero appartenente al gruppo acquifero A (A1, A2 ed A3-A4) e 10 piani per il gruppo acquifero B. Allo stesso tempo si è provveduto a deformare in verticale la griglia secondo le reali quote delle basi dei diversi complessi e gruppi acquiferi. Il risultato ottenuto è riportato in Figura 2-2 e rappresenta una sezione verticale del modello in direzione SW-NE.

Figura 2-1: discretizzazione orizzontale

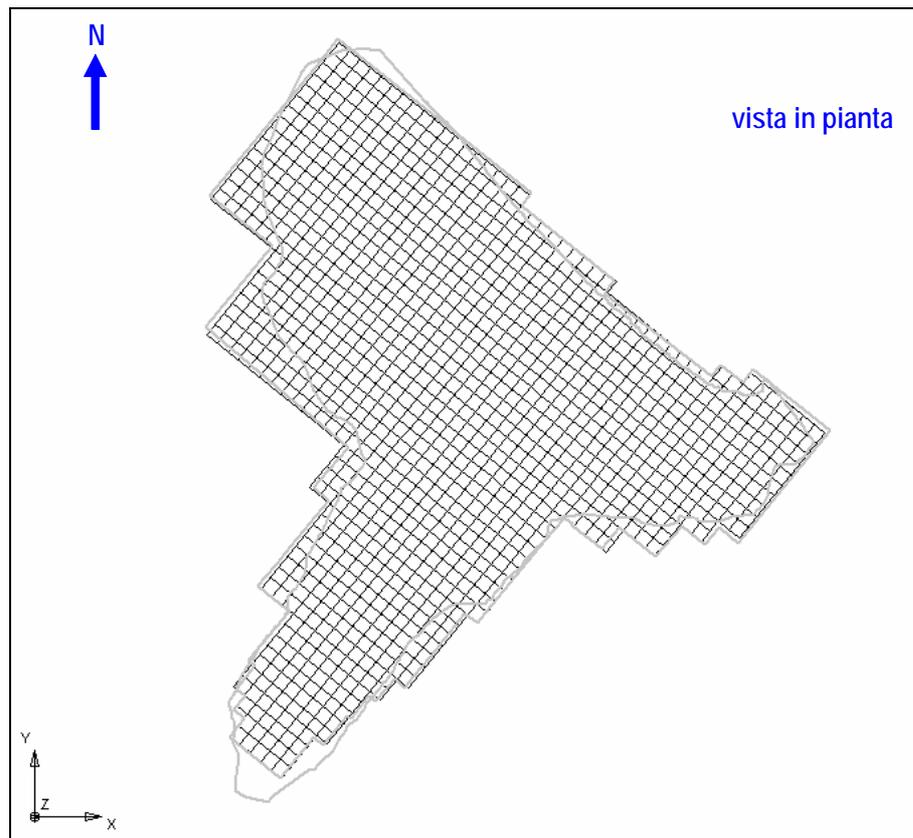


Figura 2-2: discretizzazione verticale (esagerazione verticale 25x)

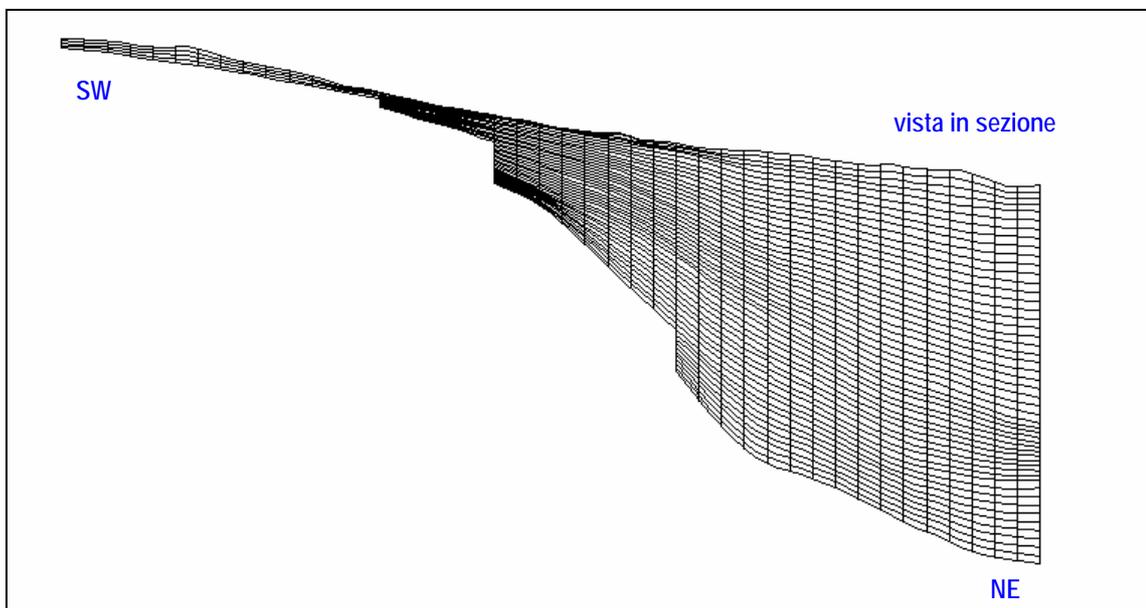
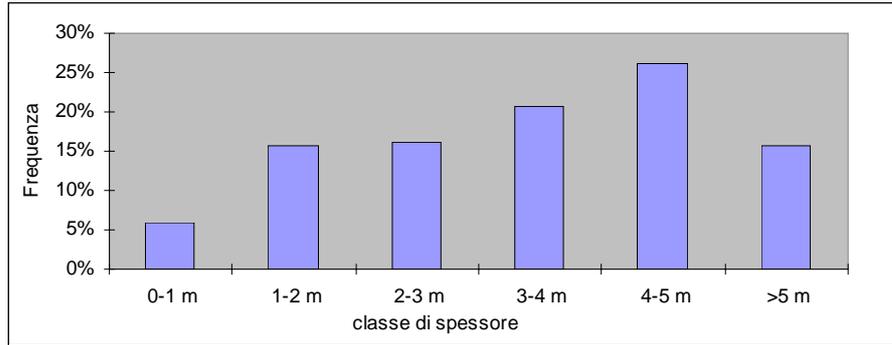


Figura 2-3: distribuzione degli spessori delle celle nel reticolo di discretizzazione



In Figura 2-3 è rappresentata la distribuzione degli spessori delle celle all'interno della discretizzazione spaziale con celle ad altezza variabile; le celle con spessori minori di 1 m è contenuto dentro il 5% del totale.

La discretizzazione temporale utilizzata è sinteticamente rappresentata in Figura 2-4; è stato considerato l'orizzonte temporale aprile 2001 – febbraio 2003 con un passo stagionale. Nel dettaglio le scelte sono state effettuate sulla base dei seguenti elementi:

- copertura spazio temporale dei dati piezometrici e chimici
- necessità di cogliere le variazioni stagionali del sistema
- analisi temporale delle serie storiche

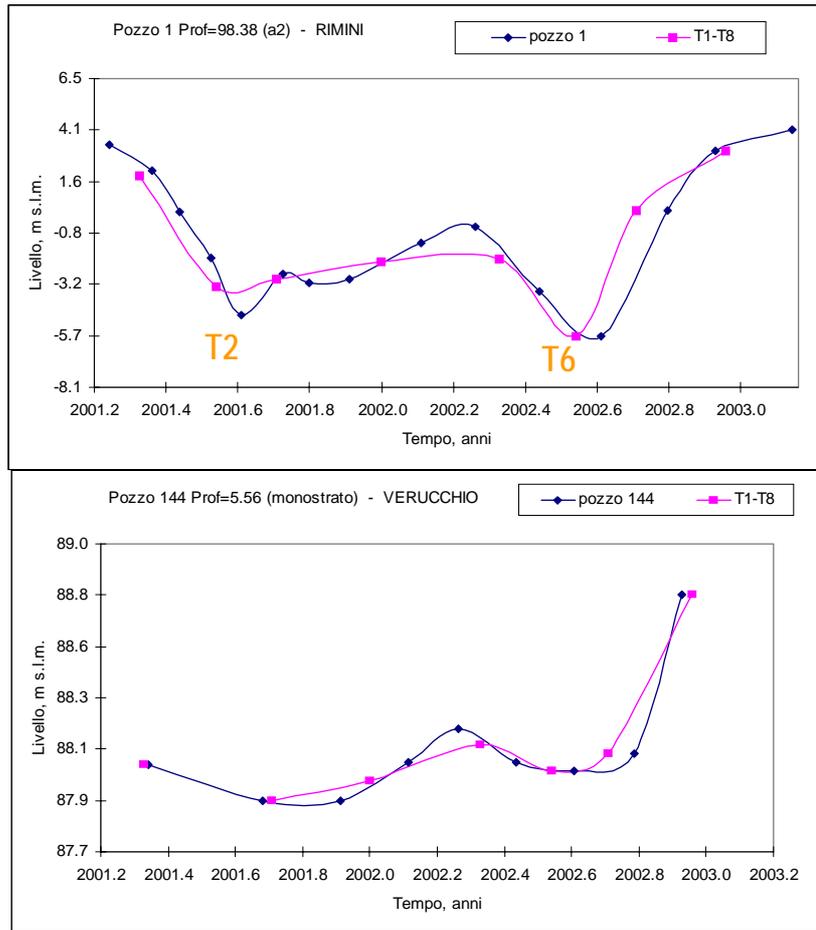
Figura 2-4: discretizzazione temporale adottata

anno	2001												2002								2003		
mese	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre	gennaio	febbraio
periodo	T1			T2		T3		T4				T5		T6		T7		T8					

La modellistica è stata quindi implementata per un regime transitorio di due anni con passo temporale medio di circa 3 mesi. Nel corso della presente relazione si farà sinteticamente riferimento ai diversi passi temporali indicandoli con la notazione di Figura 2-4 (T1, T2, ecc.)

Nella Figura 2-5 è riportata a titolo esemplificativo su di un paio di pozzi l'analisi effettuata sugli andamenti temporali delle serie storiche finalizzata alla scelta della discretizzazione temporale che come si può notare risulta essere in grado di cogliere le variazioni stagionali.

Figura 2-5: analisi temporale dei dati piezometrici disponibili



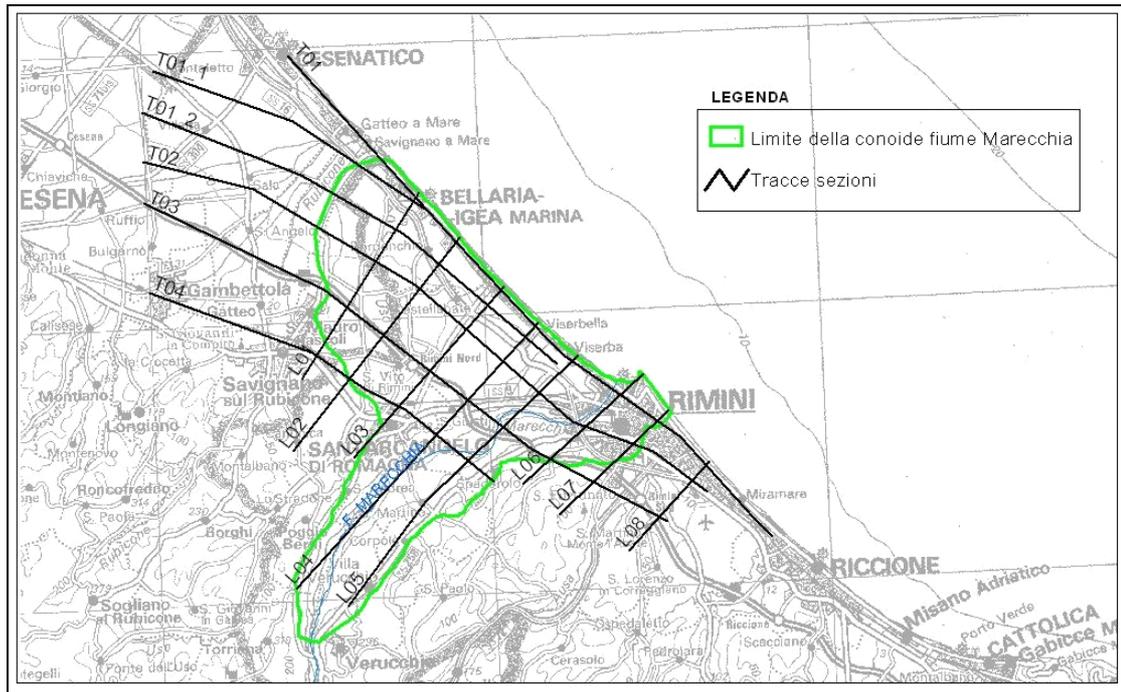
## 2.1.2 Struttura e geometria del sistema

Per la parte strutturale del modello si è fatto riferimento alle ricostruzioni geologiche ed idrostratigrafiche realizzate ad hoc per il Progetto Complessivo (attività C1) su di una griglia di sezioni geologiche parallele e trasversali all'Appennino per un totale di 13, di cui sette longitudinali e sei trasversali alla conoide (Figura 2-6).

In ciascuna sezione, delle quali nelle se ne riportano due esempi in Figura 2-7 (a) e Figura 2-8 (a) è indicato:

- il log stratigrafico dei pozzi all'interno dei quali è riportata la litologia presente con una indicazione sintetica della stessa (argille, sabbie e ghiaie) ed il numero identificativo (es: P404);
- la linea di correlazione della base delle unità idrostratigrafiche riconosciute, in accordo con il lavoro "Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia – Romagna" (RIS) (es: base A, base B..);
- le correlazioni tra i principali corpi grossolani all'interno delle unità individuate (es: corpi grossolani A1).

Figura 2-6: tracce delle sezioni geologiche



Come già anticipato, per la costruzione della discretizzazione spaziale sono state utilizzate le linee di separazione dei complessi acquiferi per adeguare i diversi layer del modello numerico a tali andamenti. Inoltre sono state attribuite direttamente alle celle della discretizzazione le litologie dei corpi grossolani così come ricostruite sulle sezioni idrostratigrafiche differenziando in 4 litologie principali (ghiaia, sabbia, limo ed argilla) più una quinta assegnata in maniera omogenea all'intera parte apicale della conoide. Come ulteriore supporto in tale fase del lavoro sono stati introdotti nell'ambiente di sviluppo del modello matematico le stratigrafie della banca dati geognostici della Regione Emilia-Romagna la cui distribuzione in pianta è riportata in Figura 2-9 ed in un dettaglio 3D nella Figura 2-10.

Il risultato che ne è conseguito è riportato a titolo esemplificativo nelle stesse Figura 2-7 e Figura 2-8 (parti b) per un rapido e visivo raffronto con le rispettive ricostruzioni idrostratigrafiche.

Tale fase ha costituito il primo passaggio metodologico funzionale alla parametrizzazione idraulica del sistema, così come verrà dettagliato nel successivo paragrafo 2.2.4.

Figura 2-7: Sezione L02, ricostruzione idrostratigrafica (a) e modellistica (b)

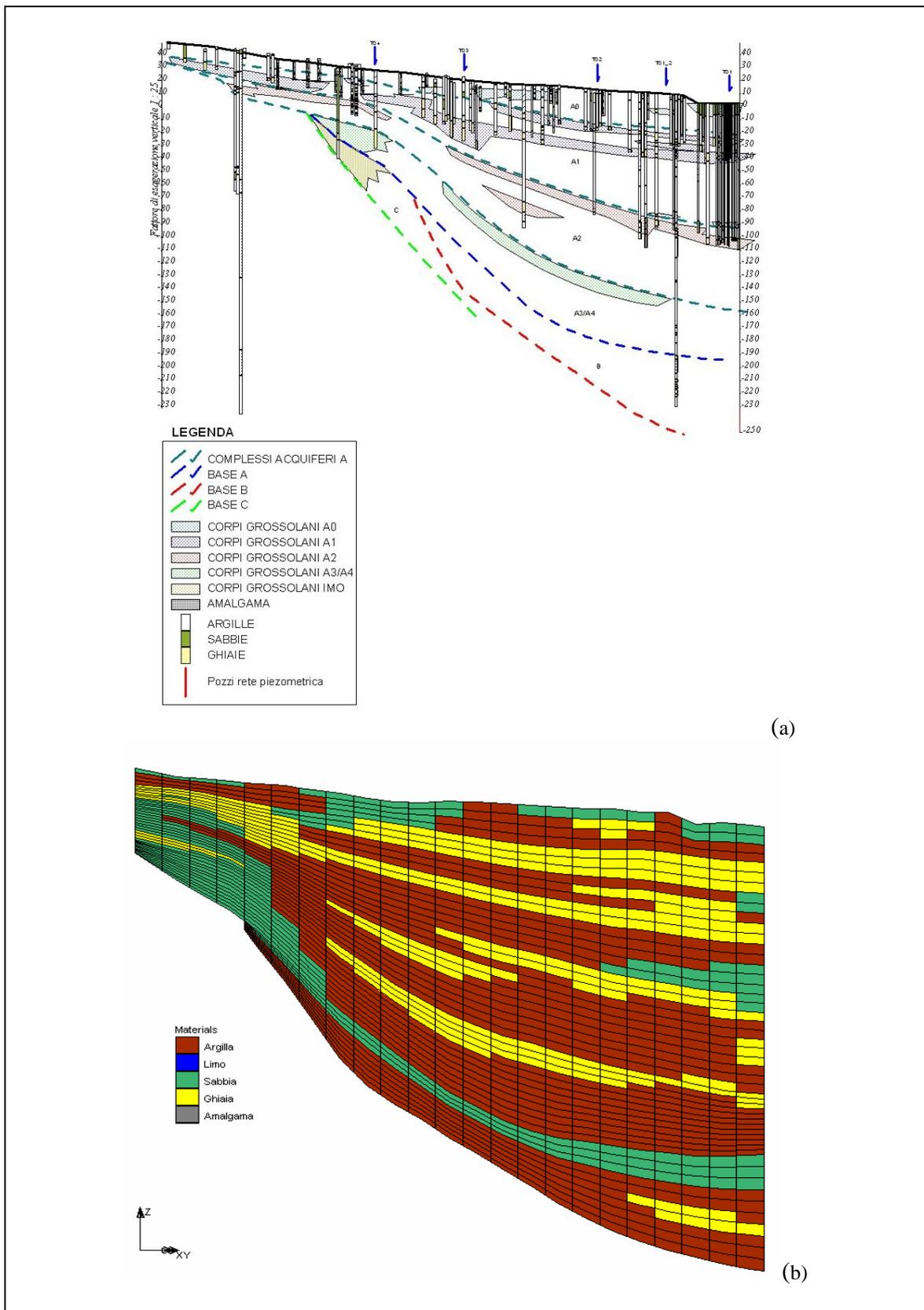


Figura 2-8: Sezione L04, ricostruzione idrostratigrafica (a) e modellistica (b)

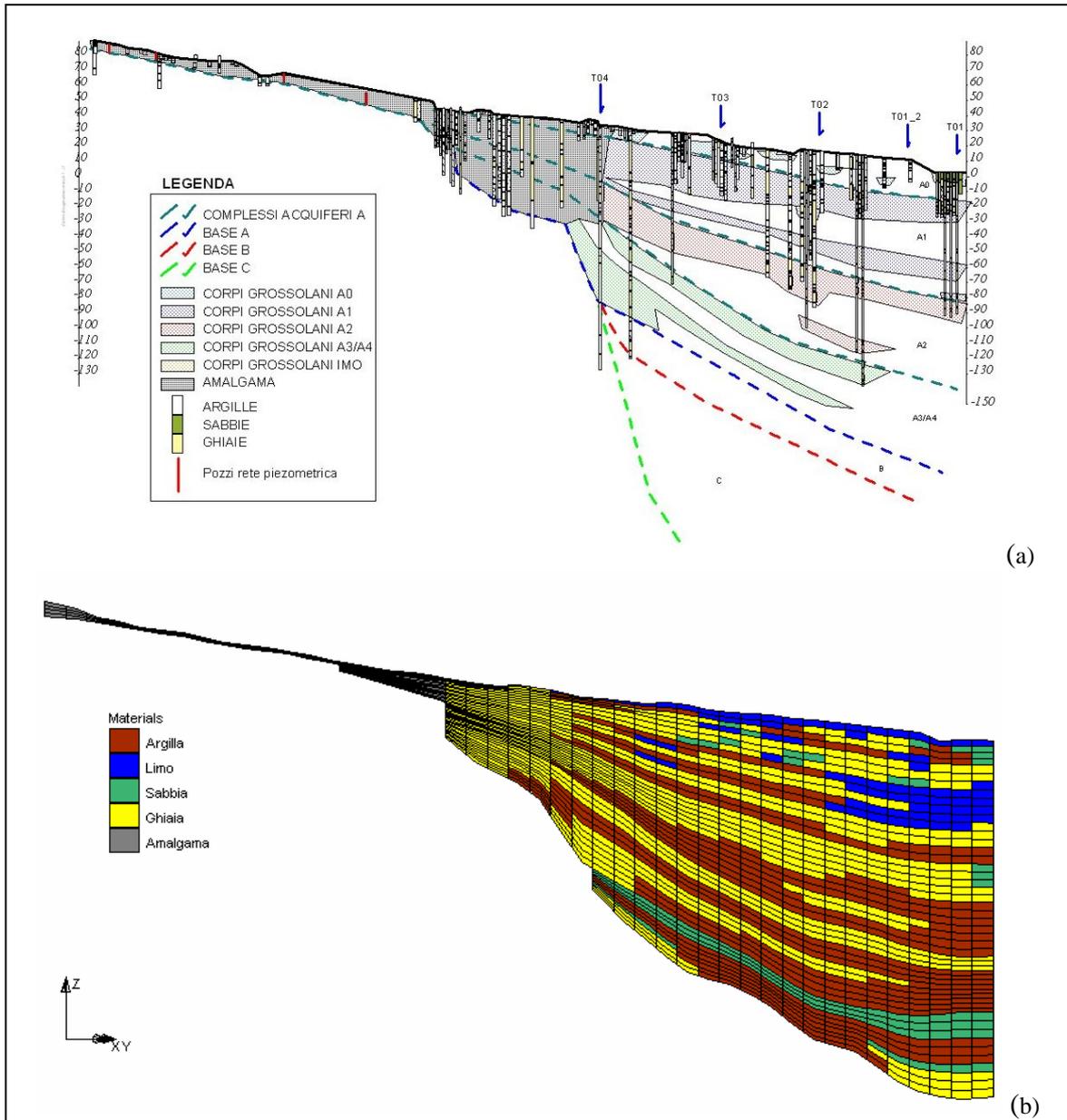


Figura 2-9: pozzi della banca dati geognostici della Regione Emilia-Romagna

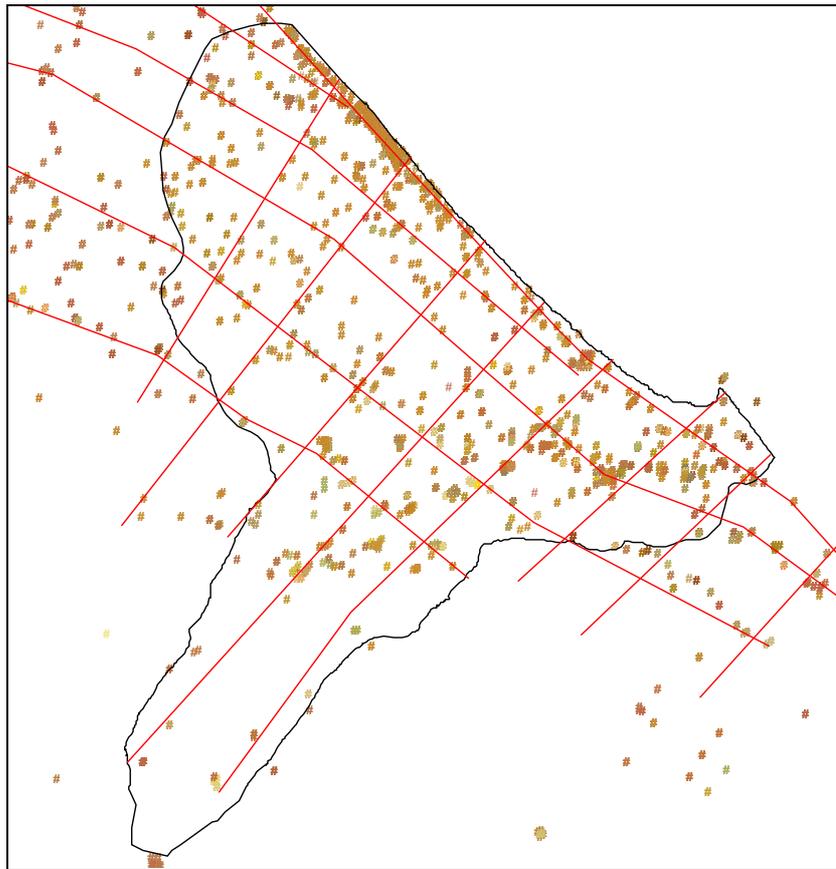
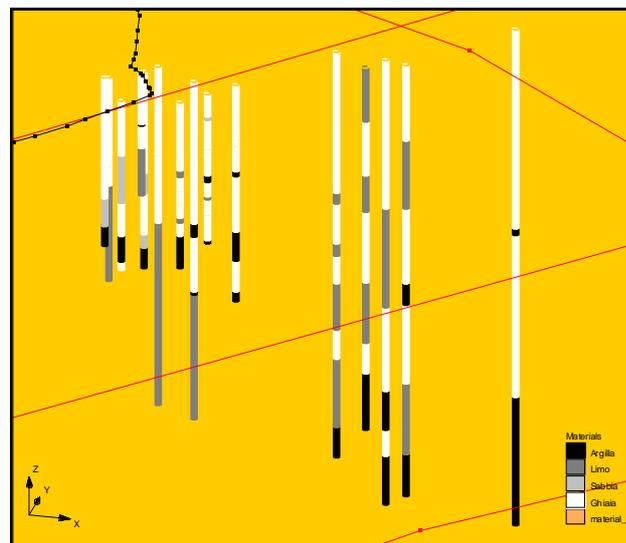


Figura 2-10: pozzi della banca dati geognostici della Regione Emilia-Romagna, dettaglio 3D di alcune stratigrafie



### 2.1.3 Analisi dei dati isotopici disponibili in rapporto alla struttura della conoide del Fiume Marecchia

Per la determinazione della provenienza e delle età delle acque contenute nei diversi acquiferi della conoide del Fiume Marecchia, nell'ambito del presente lavoro sono stati utilizzati i dati isotopici relativi agli undici pozzi della Rete Regionale di prospezione isotopica ([7] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) *Progetto Operativo Monitoraggio Acque: indagine di idrologia isotopica*. Rapporto tecnico finale. Bologna.) ricadenti nell'area di studio ed i dati realizzati ad hoc per il presente studio (attività C6 del progetto complessivo) e relativi a tredici pozzi, anch'essi ubicati all'interno della conoide.

Per quanto riguarda la prima fonte, i dati isotopici si riferiscono a due campagne svoltesi nel luglio del 2001 e nel marzo del 2002. Per la descrizione ed i criteri utilizzati per la strutturazione della rete di monitoraggio in oggetto si rimanda al SIT di progetto ([1], Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.).

Per quanto riguarda la seconda fonte, i dati isotopici derivano da analisi più recenti eseguite nel 2005.

Nella prospezione isotopica sono stati analizzati complessivamente i seguenti isotopi stabili: Ossigeno ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ), Idrogeno ( $^2\text{H}/^1\text{H}$ ) e Carbonio ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ), mentre gli instabili analizzati sono quelli dell'Idrogeno (Tritio) e del Carbonio ( $^{14}\text{C}$ ).

Le acque campionate appartengono ai diversi complessi acquiferi del Gruppo A, la cui nomenclatura fa riferimento a "Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, 1998. *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*".

In dettaglio, i campionamenti sono distribuiti sulla porzione centrale e distale della conoide ed interessano principalmente il Complesso Acquifero A1, che è quello con il maggior numero di dati disponibili (dodici pozzi), e l'A2 (otto pozzi), mentre per il Complesso A3 vi sono solo due pozzi.

L'analisi di prospezione isotopica della porzione apicale della conoide si è limitata a solo due campionamenti della falda, essendo qui solamente freatica (monostrato).

I dati degli isotopi stabili analizzati permettono di stabilire che le acque dei diversi Complessi acquiferi confinati (A1, A2 e A3) hanno un'origine appenninica.

Infatti i valori di  $\delta^{18}\text{O}$  riscontrati nelle acque campionate risultano compresi fra -8.5 e -7.2, con media di circa 7.7 ed i valori di  $\delta^2\text{H}$  vanno da -55.7 a -45.2, con media intorno a -49.0.

I Complessi acquiferi in pressione A2 e A3 sono, invece caratterizzati da acque meno giovani, per la cui datazione si è fatto riferimento al  $^{14}\text{C}$ , corretto dall'isotopo stabile del  $^{13}\text{C}$  (metodo di Pearson e Hanshaw, 1970).

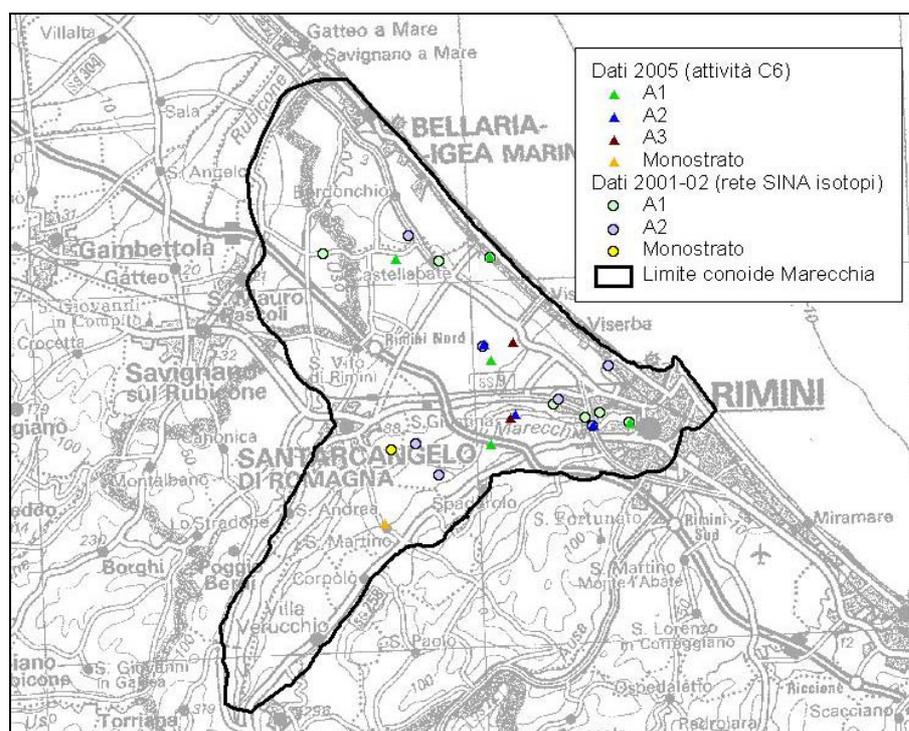
I risultati delle analisi fanno risalire le acque del Complesso acquifero A2 della porzione distale della conoide, compresa fra Rimini, S. Giustina e Bordonchio, ad età variabili fra i 750 ed i 2500 anni con media intorno ai 1700 anni (calcolata su 4 pozzi), anche se il pozzo I-RN-12, ubicato a Ovest di Rimini in località Celle, capta acque più antiche datate intorno ai 25000 anni.

I due dati disponibili per le acque del Complesso acquifero A3, ubicati fra S. Giustina e Rimini, stimano un'età di queste compresa fra i 12000 ed i 21000 anni.

Quanto detto per le acque contenute nei Complessi acquiferi A2 e A3 descrive situazioni di confinamento di diverso grado, variabile sia fra i due acquiferi, ma anche

localmente all'interno dello stesso acquifero. Infatti, nell'insieme alle acque più antiche di A3 corrisponde una situazione con cicli più lunghi di ricarica delle acque, ovvero una circolazione di queste estremamente ridotta, mentre per A2, a scala dell'acquifero il ciclo di ricarica appare più breve, anche se esistono porzioni dello stesso acquifero con acque più antiche, isolate quindi dal resto e perciò con circolazione molto ridotta.

Figura 2-11: distribuzione dei dati isotopici disponibili per i diversi Complessi acquiferi per la conoide del Fiume Marecchia



Fa eccezione, rispetto a quanto detto il piezometro "PZ. Ca' Rossa\_R3", le cui acque appartenenti al Complesso A1 hanno valori più bassi di  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$ , pari rispettivamente a -6.7 e -39.7, valori quindi che portano ad ipotizzare una provenienza di tali acque da bacini di alimentazione esterni alla conoide del Marecchia.

Come è logico aspettarsi, per quanto riguarda le acque della falda freatica della porzione apicale della conoide del Fiume Marecchia la loro provenienza è appenninica, con valori di  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^2\text{H}$  che rientrano negli intervalli già descritti.

La datazione delle acque appartenenti ai diversi Complessi acquiferi è stata effettuata per mezzo delle misure di concentrazione degli isotopi instabili del Trizio e del  $^{14}\text{C}$ .

Emerge che la falda freatica e il Complesso A1 sono caratterizzati da acque molto recenti con età dell'ordine della decina di anni, ( $6.2 < \text{TU} < 14.8$  e media intorno a 10.5 TU) indicative quindi di processi di ricarica veloci con direzione da monte a valle, ovvero dall'apice della conoide verso la porzione distale.

## 2.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO

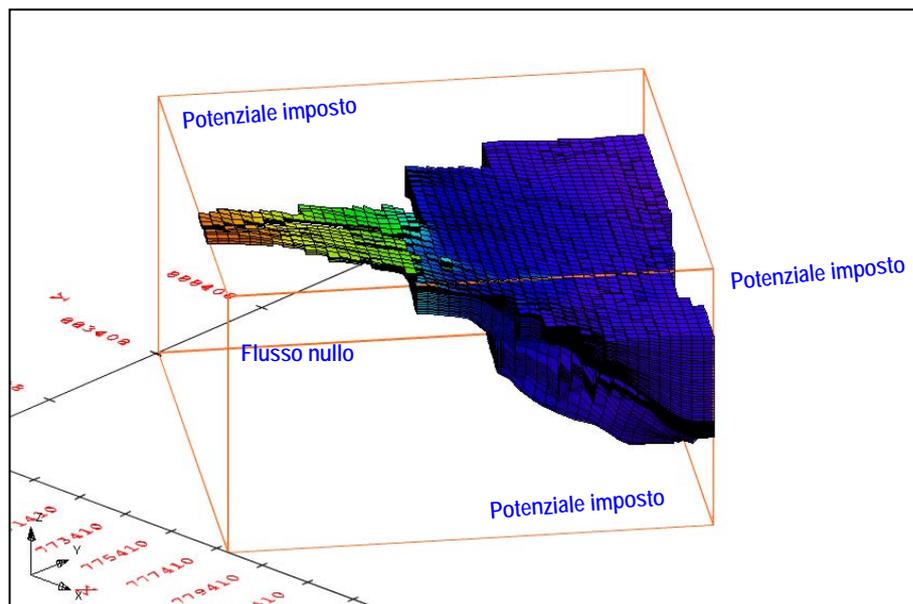
### 2.2.1 Condizioni iniziali ed al contorno del modello di flusso (analisi del carico idraulico)

Le condizioni al contorno del modello di flusso sono rappresentate in Figura 2-12 e sono state assegnate come segue:

- pressione imposta sul lato di valle e sui fianchi. La pressione al bordo è sempre dipendente dal tempo e viene riassegnata per ogni istante temporale.
- flusso nullo in corrispondenza della superficie basale e sul lato di monte.

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

Figura 2-12: condizioni al contorno del sistema



### 2.2.2 Regionalizzazione 3-d del carico idraulico

#### 2.2.2.1 Analisi strutturale del carico idraulico

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

- la condizione iniziale, cioè il valore del carico all'inizio della simulazione con il modello, in tutti i punti della griglia adottata;
- le condizioni al bordo del tipo a potenziale (carico) imposto, ove ciò è necessario. Dato che questo modello è stato basato su una serie di 8 istanti nel

tempo, è stato necessario eseguire le regionalizzazioni per ciascuno di essi e quindi esportare i risultati sotto forma di condizioni imposte al modello di flusso.

Nelle figure seguenti (da Figura 2-13 a Figura 2-15) sono riportati i semivariogrammi sperimentali utilizzati nelle tre direzioni per la regionalizzazione dei dati.

Figura 2-13: Semivariogramma sperimentale (blu) e teorico (rosso) per l'asse X (distanze in metri, varianze in  $m^2$ )

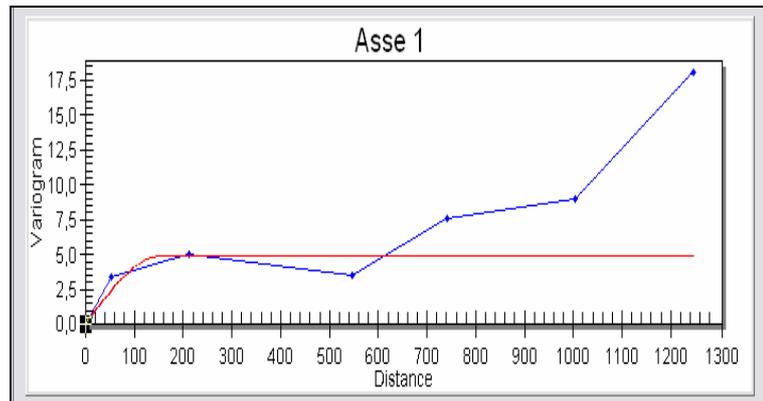


Figura 2-14: Semivariogramma sperimentale (verde) e teorico (rosso) per l'asse Y (distanze in metri, varianze in  $m^2$ )

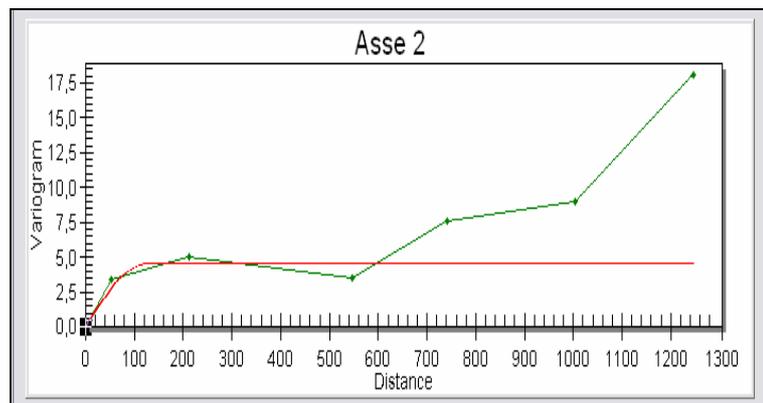
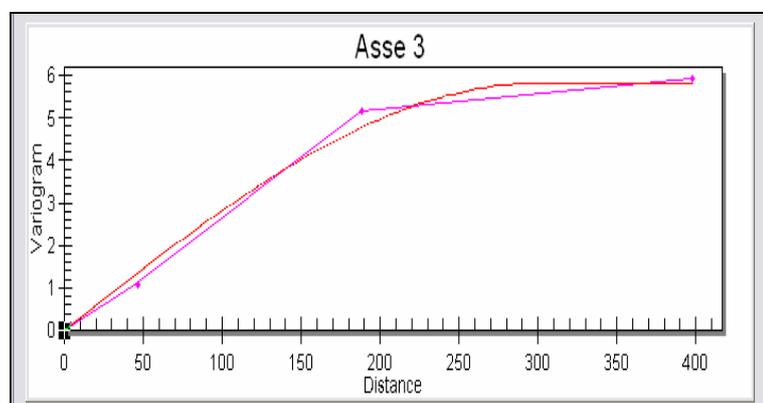


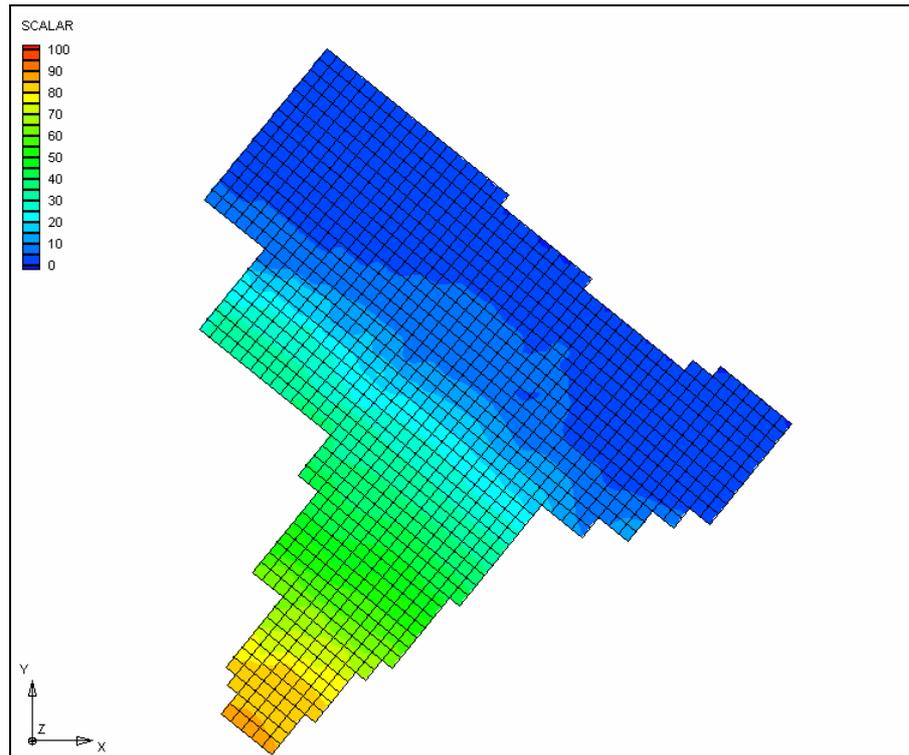
Figura 2-15: Semivariogramma sperimentale (viola) e teorico (rosso) per l'asse Z (distanze in metri, varianze in  $m^2$ )



### 2.2.2.2 *Distribuzione del carico idraulico*

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

Figura 2-16: carico idraulico (m s.l.m.), istante T1, layer 4



Nelle immagini da Figura 2-16 a Figura 2-23 sono riportati i risultati dell'applicazione, basata sui modelli di variogramma precedenti; va notato ancora che, al di là dell'esposizione grafica, i risultati delle regionalizzazioni sono stati usati per imporre le condizioni di bordo variabili nel tempo e la condizione iniziale.

Figura 2-17: carico idraulico (m s.l.m.), istante T1, layer 16

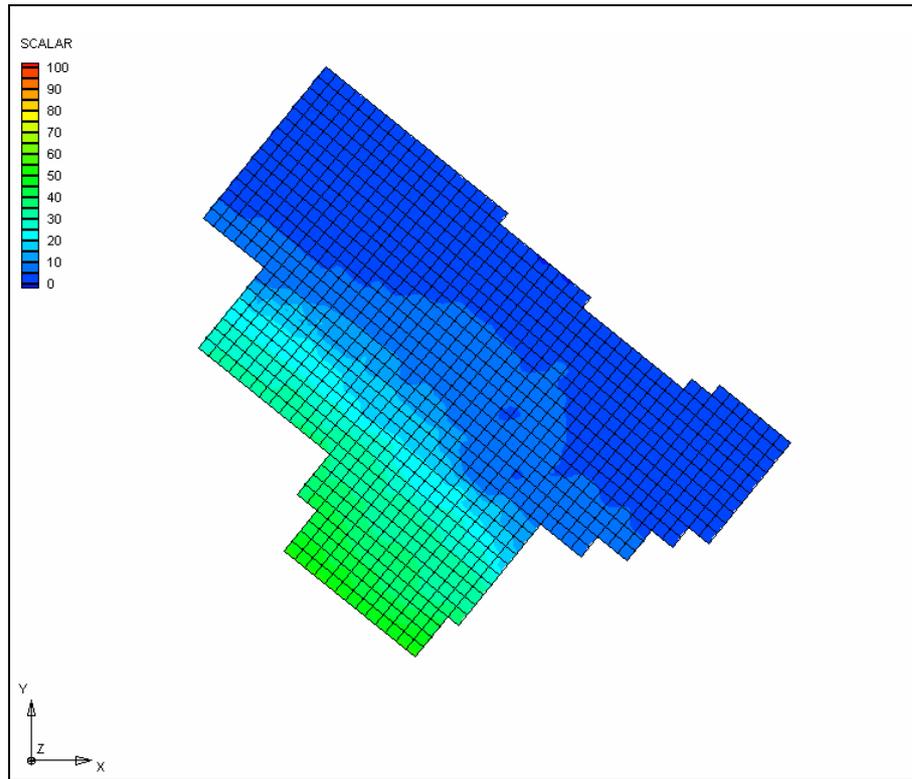


Figura 2-18: carico idraulico (m s.l.m.), istante T1 sezione 25

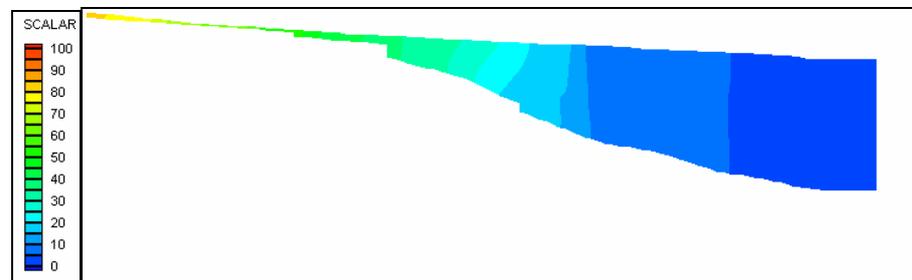


Figura 2-19: carico idraulico (m s.l.m.), istante T1, sezione 33

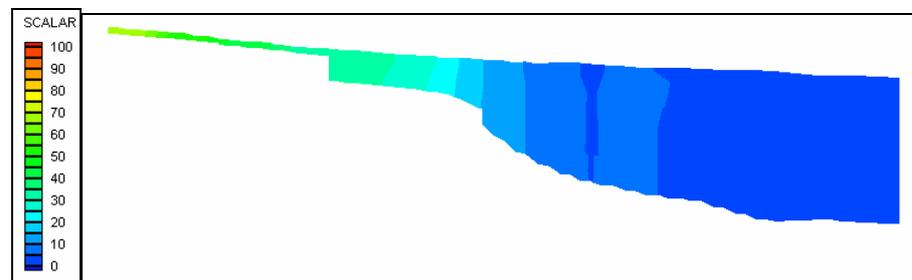


Figura 2-20: carico idraulico (m s.l.m.), istante T3, layer 4

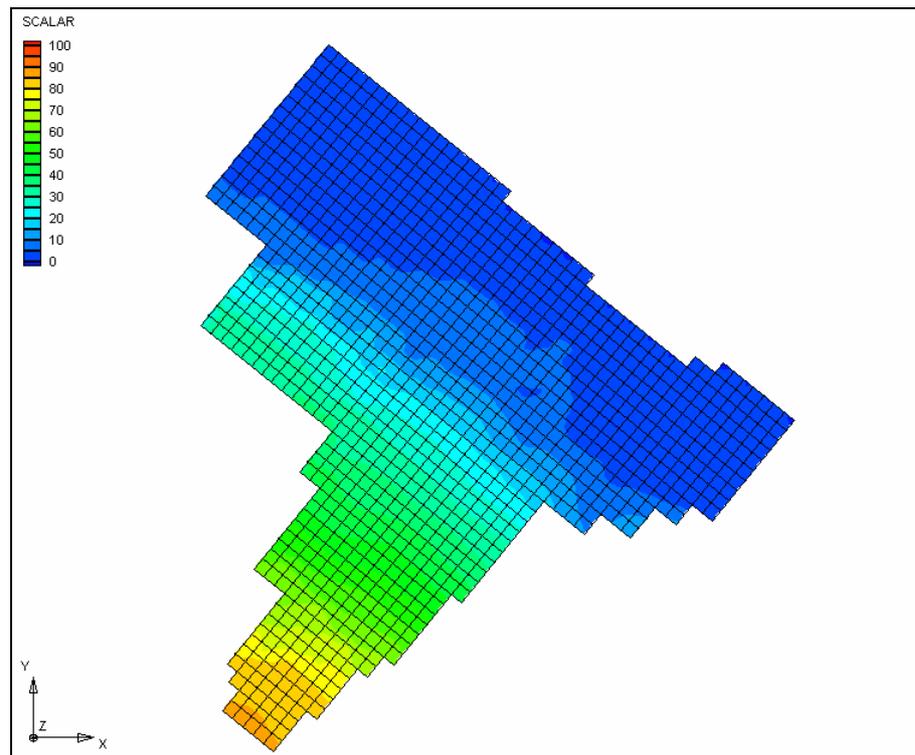


Figura 2-21: carico idraulico (m s.l.m.), istante T3, layer 16

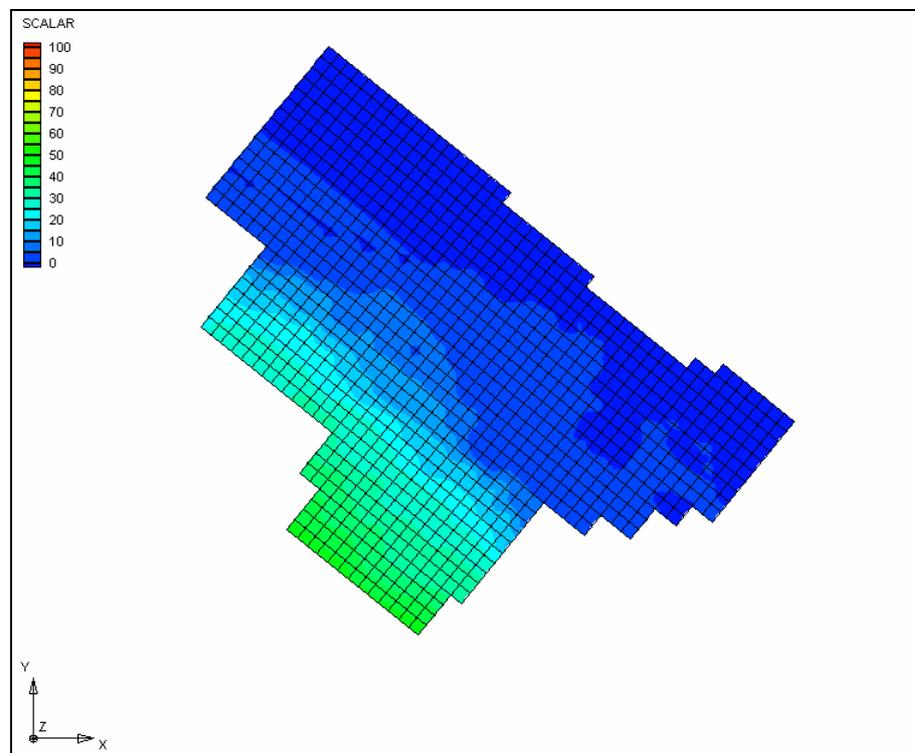


Figura 2-22: carico idraulico (m s.l.m.), istante T3, sezione 25

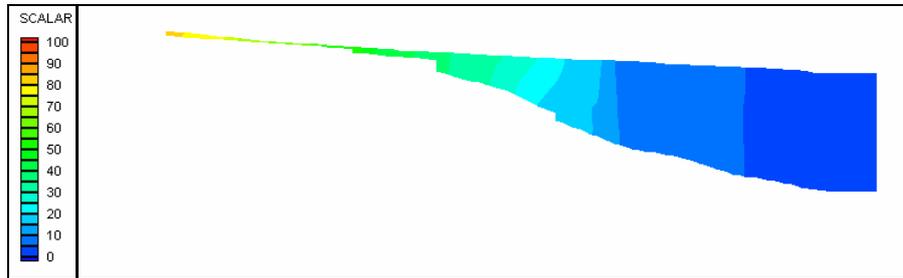
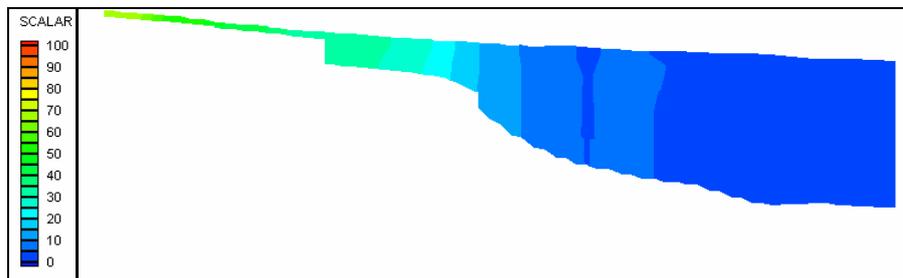


Figura 2-23: carico idraulico (m s.l.m.), istante T3, sezione 33



## 2.2.3 Definizione del termine sorgente

### 2.2.3.1 Ricarica zenitale

#### 2.2.3.1.1 Analisi dei dati di infiltrazione efficace dalla superficie (attività C8)

Ai fini dell'individuazione dei dati di ricarica zenitale da imporre al modello di flusso è stata condotta una analisi dei dati risultanti dall'attività C8 del Progetto Complessivo già descritti in [1] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica) e che sono sinteticamente riportati in Tabella 2-1 nella quale sono state evidenziate le colonne contenenti i dati di maggiore interesse per questa parte del lavoro.

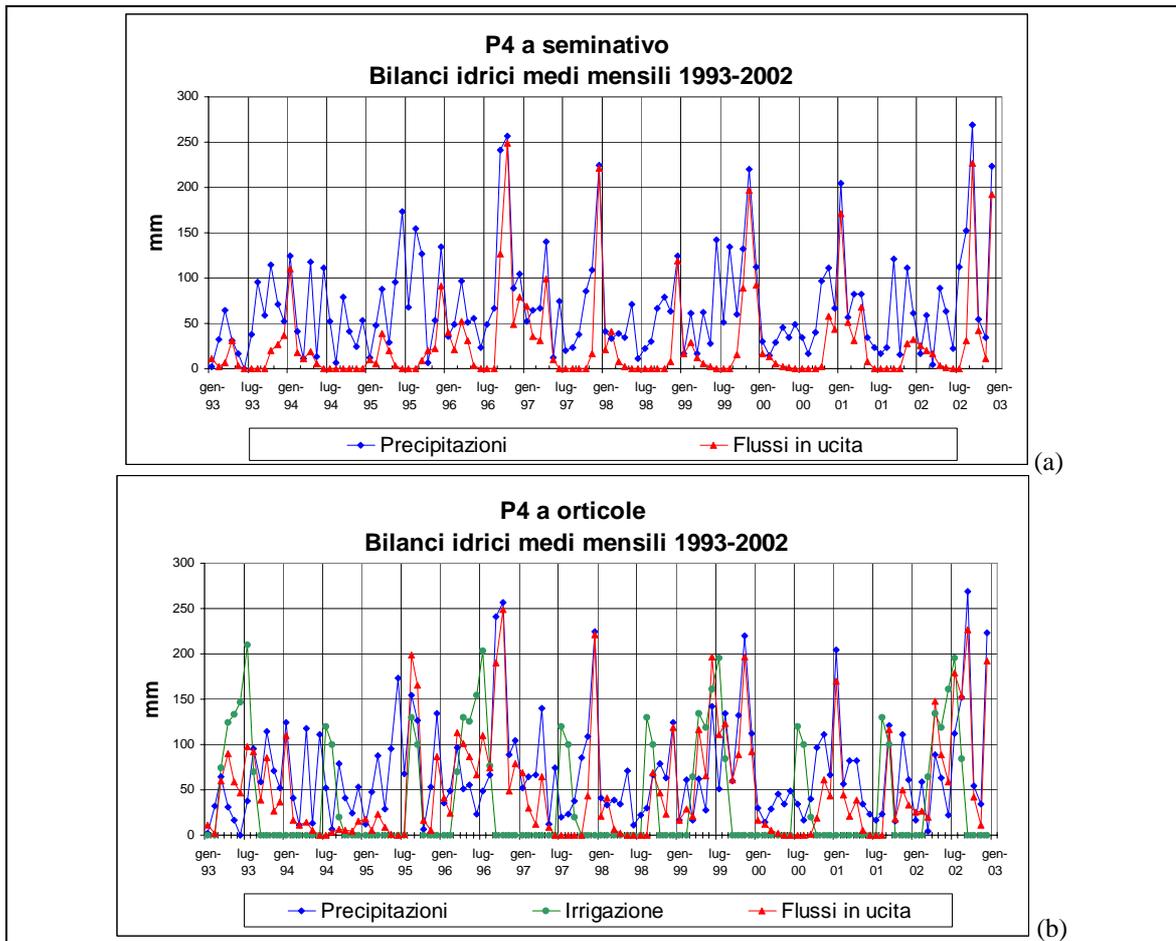
I dati giornalieri simulati nel modello MACRO, sono stati successivamente accorpati su base mensile in modo da ottenere per ogni profilo di suolo i principali termini del bilancio idrico considerando sempre i due casi di colture ipotizzati, ovvero uno per le orticole e un altro per il seminativo (Figura 2-24). I dati poi sono stati analizzati su di una finestra temporale ristretta, rispetto a quella delle simulazioni di bilancio idrico del suolo effettuate con MACRO, e più precisamente nell'intorno temporale del modello di flusso 2001-2003, (Figura 2-25).

Per quanto riguarda le precipitazioni, la stazione di riferimento è S. Arcangelo di Romagna. Dall'analisi dei dati disponibili sui 10 anni (Figura 2-24) si può notare una distribuzione delle precipitazioni molto variabile sia da un mese all'altro, che da un anno all'altro evidenziando comunque una ciclicità anche se non stagionale.

Tabella 2-1 Bilancio idrico dei suoli della conoide del Marecchia.

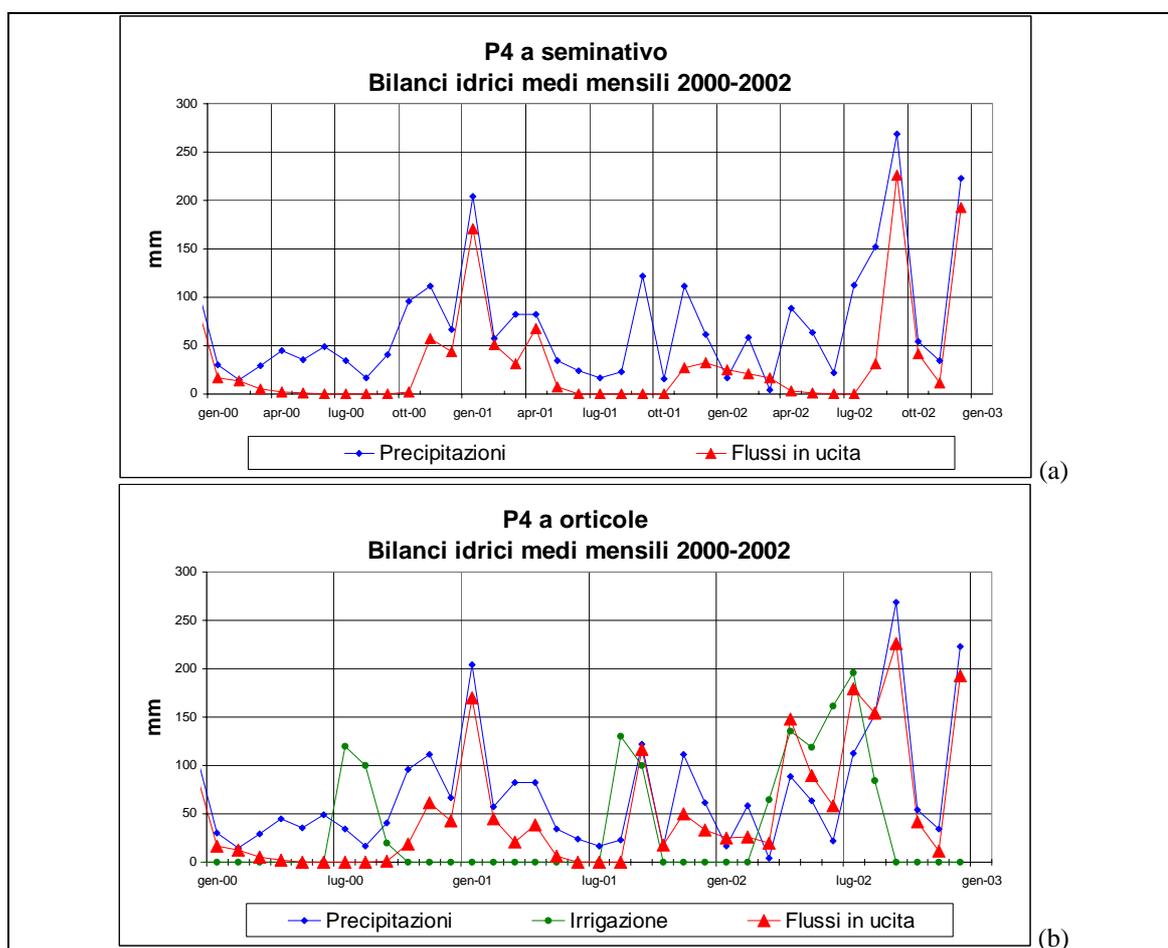
SITO	Colture	Irrigazione (mm)	Precipitazioni+Irrigazione (mm)	Evapotrasp. Effettiva (mm)	Evaporazione suolo eff (mm)	flussi micropori cum (mm)	flussi macropori cum (mm)	flussi totali (mm)	Runoff (mm)	Infiltrazione totale (mm)	flussi relativi %
P1	sem.		<b>8420</b>	2950	1960	55.6	2414.4	<b>2470</b>	469	7542	<b>29.3</b>
P1	ort.	4480	<b>12900</b>	2760	3140	70.7	5109.3	<b>5180</b>	570	11309	<b>40.2</b>
P2	sem.		<b>8420</b>	2690	1880	1070	1820	<b>2890</b>	396	7669	<b>34.3</b>
P2	ort.	4480	<b>12900</b>	2640	3030	1600	4010	<b>5610</b>	391	11524	<b>43.5</b>
P3	sem.		<b>8420</b>	2390	1870	3290	160	<b>3450</b>	97.2	7779	<b>41.0</b>
P3	ort.	4480	<b>12900</b>	2460	2970	5910	190	<b>6100</b>	97.3	11589	<b>47.3</b>
P4	sem.		<b>8420</b>	2500	1910	1260	2160	<b>3420</b>		7866	<b>40.6</b>
P4	ort.	4480	<b>12900</b>	2520	2840	1950	4340	<b>6290</b>		11660	<b>48.8</b>
P5	sem.		<b>8420</b>	2910	1970	653	2287	<b>2940</b>	14.2	7849	<b>34.9</b>
P5	ort.	4480	<b>12900</b>	2750	3100	1000	4780	<b>5780</b>	14.2	11625	<b>44.8</b>
P6	sem.		<b>8420</b>	3080	2120	720	1880	<b>2600</b>	17.9	7849	<b>30.9</b>
P6	ort.	4480	<b>12900</b>	2840	3310	1170	4290	<b>5460</b>	17.9	11686	<b>42.3</b>
P7	sem.		<b>8420</b>	2180	1260	2090	2270	<b>4360</b>		7862	<b>51.8</b>
P7	ort.	4480	<b>12900</b>	2230	1800	3870	3710	<b>7580</b>		11646	<b>58.8</b>

Figura 2-24: flussi in uscita alla base del profilo, risultati del modello MACRO periodo 1993-2003



I valori delle precipitazioni medie mensili sono compresi fra 0 e 270 mm con una media pari a 70 mm. Per quanto riguarda il fabbisogno idrico delle due tipologie di coltivazioni (seminativo ed orticole), la differenza principale risiede nel fatto che il seminativo non necessita di apporti irrigui, mentre le orticole sì e in quantità considerevoli con una ciclicità ricorrente stagionale. I valori sono compresi fra circa i 20 e i 200 mm mensili e si riferiscono ai periodi di irrigazione legata alla rotazione agraria delle colture. Tale irrigazione risulta praticata nel corso del decennio nei seguenti cicli: marzo-agosto, luglio-settembre, agosto-settembre, poi di nuovo marzo-agosto e così via (linea verde in Figura 2-24 (b)).

Figura 2-25: flussi in uscita alla base del profilo, risultati del modello MACRO periodo 2000-2003



Considerando i termini del bilancio idrico relativi all'infiltrazione ed il flusso di acqua in uscita dalla base del profilo (a 1,5 m di profondità dal piano campagna) si notano valori mensili diversi per un dato profilo di suolo, a seconda che sia coltivato a seminativo o ad orticole, in quanto nel secondo caso l'irrigazione apporta un quantitativo di acqua oltre alle piogge, che aumenta di conseguenza l'infiltrazione e perciò anche il flusso in uscita. È interessante notare che per entrambe le tipologie di coltivazione e per tutti i profili di suolo i quantitativi di acqua infiltrata sono nella

maggioranza dei casi di poco inferiori a quelli delle precipitazioni o delle precipitazioni sommate all'irrigazione, nei mesi in cui quest'ultima è praticata. La percentuale dei flussi in uscita rispetto all'infiltrazione è molto variabile, tanto che può andare quasi dallo 0 al 100 % circa. Inoltre è interessante notare che circa il 30% ed il 50% dei dati mensili di flusso sono nulli per i profili di suolo coltivati rispettivamente ad orticole e a seminativo.

L'analisi dei flussi in uscita alla base del profilo è necessariamente collegata al livello di saturazione nel terreno in quanto viene rilasciato verso il basso il surplus idrico rispetto a tale valore. Analizzando i contenuti idrici medi mensili dei suoli si può osservare che presentano tutti andamenti che rispecchiano il susseguirsi delle stagioni, quindi con i valori minori nel periodo di primavera-estate e viceversa con i più alti in quello di autunno-inverno. L'intervallo di variazione annuale fra i minimi e i massimi è dell'ordine di 0,10-0,15. La Tabella 2-2 contiene i valori medi dei contenuti idrici relativi al decennio 1993-2002 per i diversi profili di suolo nei due casi con coltivazione a seminativo o ad orticole. Tali valori sono ordinati in modo decrescente. Si può notare che il range massimo di variazione va da 0,17 a 0,41. Osservando uno stesso profilo di suolo si può constatare che esiste una piccola differenza tra il caso a seminativo e quello ad orticole: la prima coltura è infatti non irrigata, perciò i valori medi annui di contenuto idrico risultano inferiori di 0,02 rispetto alla seconda.

Tabella 2-2: contenuti idrici medi relativi al decennio 1993-2002

Contenuti idrici medi decennio 1993-2002			
P6 orticole	0,41	P6 seminativo	0,39
P1 orticole	0,39	P1 seminativo	0,37
P5 orticole	0,37	P5 seminativo	0,35
P2 orticole	0,33	P2 seminativo	0,31
P3 orticole	0,27	P3 seminativo	0,25
P4 orticole	0,24	P4 seminativo	0,22
P7 orticole	0,18	P7 seminativo	0,17

#### 2.2.3.1.2 *Dati di ricarica zenitale in ingresso al modello*

L'analisi dei dati condotta per raffronto degli andamenti temporali dei dati per ciascuno dei sette profili modellati e descritti nel paragrafo precedente ha suggerito la suddivisione del territorio della conoide del Fiume Marecchia nei tre areali riportati in Figura 2-26 sui quali distribuire i valori di ricarica zenitale riportati in Figura 2-27. Tali areali corrispondono a:

- una zona a monte in destra Marecchia corrispondente alla zona di ricarica degli acquiferi più profondi (zona 1);
- una zona a monte in sinistra Marecchia corrispondente alla zona di ricarica degli acquiferi più profondi (zona 2);
- la zona di pianura dove la ricarica dalla superficie alimenta il complesso acquifero più superficiale A0 (zona 3);

zone individuate analizzando sia i tipi di suolo presenti sia i dati di infiltrazione efficace sperimentalmente calcolati su di essi. I dati risultano quindi omogenei all'interno delle

tre zone e modulati nel tempo in correlazione con le precipitazioni sulla base del bilancio idrico modellato. In termini volumetrici tale assegnazione corrisponde ad una alimentazione degli acquiferi per ricarica zenitale di circa il 30% dei valori di pioggia. Tali valori potranno e necessariamente dovranno subire alcuni aggiustamenti in base al processo di taratura del modello e quindi sulla risposta idraulica del sistema a tali sollecitazioni imposte tenendo conto che:

- i dati modellati sui sette profili fanno riferimento ad ipotesi sulle rotazioni colturali (seminativo ed orticole) assunte come casi estremi rispetto ai possibili consumi di acqua ad esse connessi;
- i due scenari colturali devono quindi essere pesati sia nello spazio (dove effettivamente tali colture vengono applicate) sia nel tempo (rotazioni colturali applicate negli stessi appezzamenti di terreno).

Figura 2-26: zonizzazione della ricarica zenitale e rapporti falda/fiume

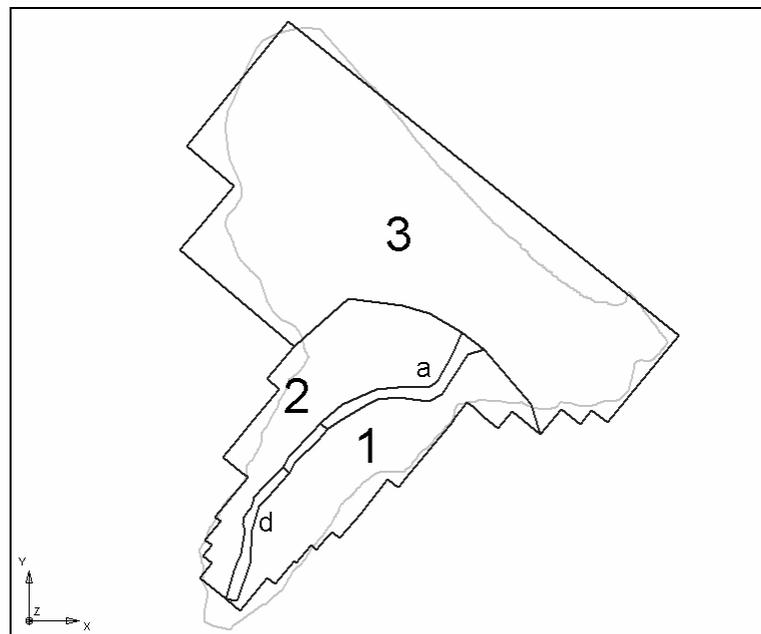
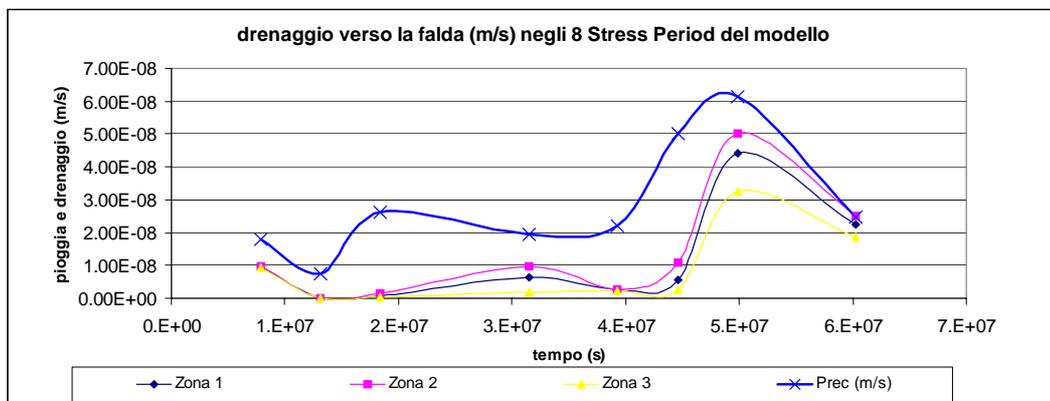


Figura 2-27: valori di drenaggio verso la falda (m/s)



### 2.2.3.2 *Ricarica fluviale*

Per la stima della ricarica da fiume da inserire all'interno del modello si è fatto riferimento ai seguenti elementi:

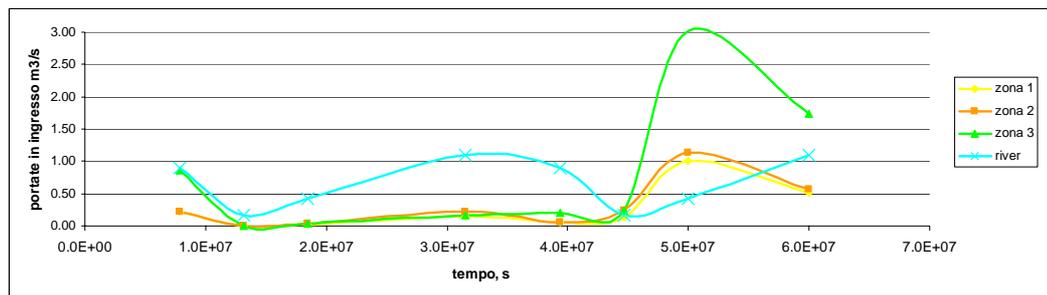
- dati preliminari relativi alla prova di portata in alveo condotta nel periodo novembre 2005- febbraio 2006 dall'Autorità di Bacino (attività C7 del Progetto Complessivo);
- dati relativi alle prove di portata fluviale relativi al periodo 1992-1999 messi a disposizione dallo Studio TI di Rimini;
- analisi delle quote dell'alveo del fiume in rapporto alla struttura degli acquiferi (bedrock);
- analisi della cartografia piezometrica disponibile con evidenza dei rapporti falda/fiume;
- dati ed informazioni derivati da specifici studi di settore [3] (Idroser S.p.A., novembre 1990. *Determinazione delle caratteristiche quali-quantitative delle risorse idriche sotterranee della conoide del fiume Marecchia*. Rapporto Tecnico.) e [4] (Consorzio di Bonifica dell'Uso del Conca e dell'Agro Riminese – Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1977. *Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento artificiale del Conoide del Fiume Marecchia a scopo idropotabile e irriguo*. Rimini.).

dai quali sono state desunte le seguenti informazioni:

- le perdite dall'alveo del Fiume Marecchia sono riferibili principalmente al tratto tra Santarcangelo ed il ponte dell'autostrada (Figura 2-26 a);
- nella parte apicale della conoide il corso del Fiume Marecchia incide il bedrock e quindi rimane isolato rispetto alla falda freatica sottostante che non è quindi in grado di ricevere acqua (Figura 2-26 zona d);
- la portata di ricarica fluviale risulta influenzata solo in parte dalla portata fluente in fiume e non è rispetto a quest'ultima una percentuale fissa; per portate sul fiume basse la percentuale è elevata, al contrario per portate alte la percentuale è più bassa. Risulta chiaro che quantitativamente i volumi infiltrati sono comunque superiori nel secondo caso.

Partendo dai dati sulle portate del Marecchia disponibili in [6] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Modelli afflussi-deflussi nel reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale*) è stata modulata la ricarica da fiume attraverso opportuni coefficienti modulati sulla base della portata fluente in alveo. Complessivamente su base annua è stata introdotta una ricarica da fiume di circa 0.7-1 m<sup>3</sup>/s coerente con gli studi di settore esistenti e con i dati preliminari relativi alla prova di portata condotta dall'Autorità di Bacino. I valori di ricarica sono riportati in Figura 2-28 (in tale figura sono riportati anche i valori in ingresso nelle tre zone di ricarica zenitale descritte al paragrafo precedente) e sono stati imputati alle celle sul corso del fiume comprese tra Santarcangelo ed il ponte dell'autostrada.

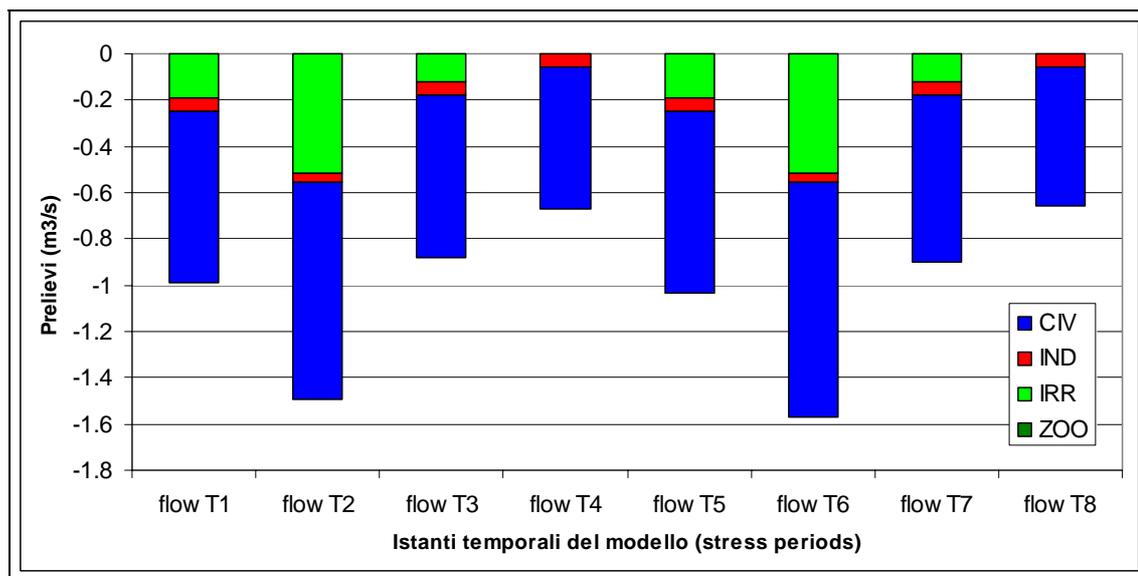
Figura 2-28: valori di drenaggio verso la falda e di ricarica fluviale(m<sup>3</sup>/s)



### 2.2.3.3 Prelievi

Nella Figura 2-29, Figura 2-30 e Figura 2-31 viene sintetizzato il quadro relativo ai prelievi da acque sotterranee sia per quel che riguarda la posizione nello spazio sia per la distribuzione nel tempo, inseriti come termine di sollecitazione al modello di flusso delle acque sotterranee. Nei paragrafi che seguono vengono invece richiamate le metodologie di valutazione dei dati di prelievo per i singoli settori.

Figura 2-29: Prelievi di acque sotterranee per i diversi usi



#### 2.2.3.3.1 Prelievi civili

Per i prelievi civili insistenti sulla Conoide del Fiume Marecchia si è fatto riferimento ai dati inseriti nel SIT di progetto già descritti in [1] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.). Si rammenta in questa sede che i dati sono stati forniti da ex-AMIR per l'anno 2002 secondo gli schemi di produzione dei diversi pozzi ubicati all'interno dei Comuni di Rimini, Bellaria e Santarcangelo, e disponibili su base mensile.

Per il prelievo dell'anno 2001 il riferimento è stato invece il censimento condotto per il Piano di Tutela delle Acque (quadro conoscitivo, attività G) il cui dato, disponibile su base annuale è stato modulato nel tempo secondo lo schema disponibile per l'anno precedente.

Per i diversi pozzi sono indicati i codici identificativi dell'Amir, ed è stato quindi possibile effettuare una precisa ubicazione del prelievo nello schema 3D del modello avendo a disposizione la posizione geografica e le caratteristiche costruttive dei singoli punti di misura.

#### 2.2.3.3.2 Prelievi industriali

Per i prelievi industriali insistenti sulla Conoide del Fiume Marecchia si è fatto riferimento ai dati inseriti nel SIT di progetto già ampiamente descritti in [1] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.), derivanti dall'attività C11 del progetto complessivo e riguardanti i risultati ottenuti dalla distribuzione nello spazio 3D del modello dei prelievi disponibili dal Piano di Tutela su base comunale. La necessità di assegnare il dato di prelievo ai diversi istanti temporali del modello ha reso necessaria una ulteriore fase di elaborazione dei dati volta a suddividere su tali istanti il dato stimato su base annua.

Figura 2-30:distribuzione spaziale dei prelievi per i diversi usi

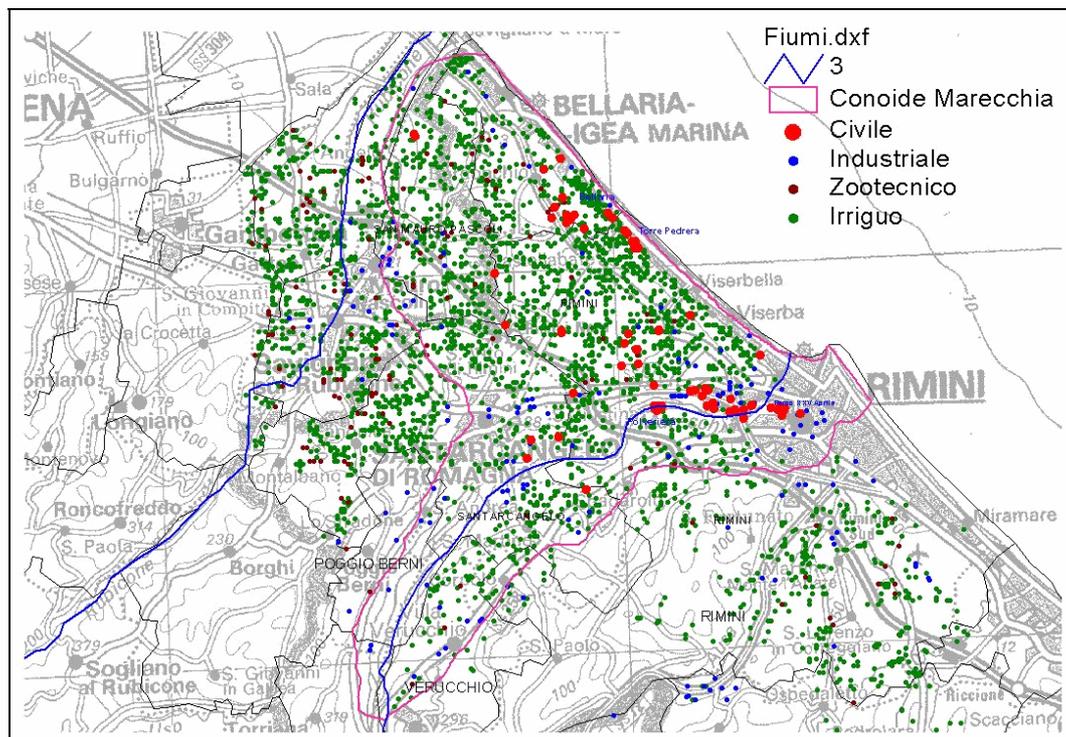
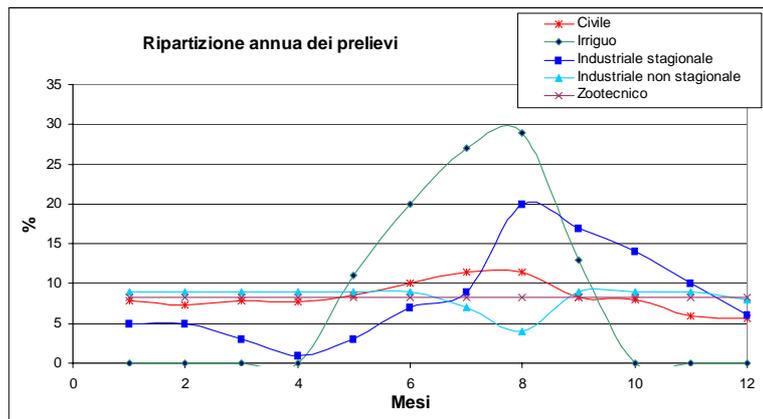


Figura 2-31: calendarizzazione dei prelievi per i diversi usi



Sono state utilizzate le curve di distribuzione mensile del prelievo industriale riportate in Figura 2-31, e disponibili sia per le attività industriali a carattere stagionale sia per quelle non stagionali, per modulare la quota di prelievo attribuito alle attività industriali maggiormente idroesigenti (con prelievo superiore a 10.000 m<sup>3</sup>/y) avendo cura di differenziare, sulla base dei codici ATECO sulla tipologia dell'industria, i prelievi stagionali (ATECO 1583 e 153, circa il 10% dei volumi totali) da quelli non stagionali (circa il 90%).

La restante quota di prelievo, non riferibile ad attività idroesigenti ed uniformemente suddivisa sui pozzi presenti nel catasto pozzi regionale, è stata calendarizzata utilizzando uno schema ottenuto pesando i due andamenti sopra descritti (industria stagionale, industria non stagionale), nelle relative proporzioni di consumo dedotte dai prelievi industriali idroesigenti.

#### 2.2.3.3.3 Prelievi agricoli e zootecnici

Anche per i prelievi agricoli e zootecnici della Conoide del Fiume Marecchia si è fatto riferimento ai dati inseriti nel SIT di progetto e riguardanti i risultati ottenuti dalla distribuzione nello spazio 3D del modello dei prelievi disponibili dal Piano di Tutela su base comunale. Per il comparto irriguo la modulazione nel tempo è stata realizzata secondo lo schema riportato in Figura 2-31 dove percentuali sono distribuite solamente nei mesi estivi compresi fra maggio e settembre e sono state tratte da [2] (Autorità di Bacino Interregionale Marecchia e Conca, 2002 - *Usa e tutela della risorsa idrica. Studio conoscitivo finalizzato al progetto di piano di bacino.*) I prelievi zootecnici sono stati invece valutati in maniera uniforme nel tempo.

#### 2.2.4 Stima delle variabili di controllo

Dopo aver attribuito le litologie a tutte le celle della griglia, la fase successiva dello sviluppo è stata quella di assegnare a ciascuna di esse i parametri idraulici necessari (permeabilità orizzontale e verticale, porosità, coefficienti di immagazzinamento ecc.), in funzione delle litologie corrispondenti. Questa attribuzione è il primo passaggio nell'ambito della taratura e corrisponde al sistema di primo tentativo, peraltro destinato a subire modifiche anche notevoli nel corso della taratura stessa. Ciò è particolarmente

vero nel caso di un approccio del tipo più sofisticato, corrispondente ad un sistema disomogeneo.

Nel corso della prima fase di attribuzione delle litologie su base strutturale, precedentemente descritta al paragrafo 2.1.2, è stata utilizzata una classificazione dei sedimenti semplificata nelle quattro principali litologie di deposizione alluvionale: ghiaia, sabbia, limo, argilla. Tale semplificazione, che risulta adeguata a tale fase, non lo è invece in rapporto alla necessità di schematizzare le permeabilità ed i coefficienti di immagazzinamento col livello di disomogeneità richiesto. Di conseguenza, è stato realizzato un approfondimento delle proprietà idrauliche del mezzo poroso attraverso l'uso dei risultati delle prove di portata disponibili che hanno fornito permeabilità orizzontali e coefficienti di immagazzinamento. Attraverso tale approfondimento le classi di materiali inizialmente definite in numero di cinque sono state aumentate assegnando a ciascuna delle quattro classi iniziali una ripartizione ulteriore di 5 intervalli ciascuna (corrispondenti ai complessi acquiferi schematizzati nel modello), per un totale di 20 classi e lasciando una unica classe per la parte apicale della conoide (valori di Tabella 2-3). Ciò è risultato funzionale non solo all'attribuzione di un maggior numero di valori per i diversi parametri nella fase iniziale, ma anche nel vero e proprio processo di calibrazione che ha portato ad aggiungere ancora altre classi, per un totale definitivo di circa 40.

Tabella 2-3: Schema dei parametri idrodinamici utilizzati nel modello

id	nome	kh (m/s)	kv (m/s)	coeff. immag. spec. (1/m)	porosità efficace (ad)
1	A_a0_3m6	3.0E-06	5.0E-07	1.1E-05	0.095
2	L_a0_1m5	1.0E-05	8.0E-05	1.7E-04	0.200
3	S_a0_9m4	<b>9.0E-04</b>	9.0E-05	7.5E-04	0.310
4	G_a0_4m3	<b>4.0E-03</b>	4.0E-04	7.5E-05	0.265
5	Ma0_6m3	<b>6.0E-03</b>	6.0E-04	1.5E-04	0.305
11	A_a1_2m6	2.0E-06	1.0E-06	1.1E-05	0.010
12	L_a1_8m6	8.0E-06	1.0E-06	1.7E-06	0.200
13	S_a1_7m4	<b>7.0E-04</b>	7.0E-05	7.5E-04	0.310
14	G_a1_7m3	<b>7.0E-03</b>	7.0E-04	7.5E-05	0.265
15	M_a1_3m3	<b>3.0E-03</b>	3.0E-04	1.5E-04	0.305
21	A_a2_1.5m6	1.5E-06	1.0E-07	1.1E-06	0.010
22	L_a2_5m6	5.0E-06	8.0E-06	1.7E-05	0.200
23	S_a2_4m4	<b>4.0E-04</b>	4.0E-05	7.5E-04	0.310
24	G_a2_2m3	<b>2.0E-03</b>	2.0E-04	7.5E-05	0.265
31	A_a3-4_1m6	1.0E-06	1.0E-07	1.1E-05	0.010
32	L_a3-4_2m6	2.0E-06	8.0E-06	1.7E-06	0.200
33	S_a3-4_6m4	<b>6.0E-04</b>	6.0E-05	7.5E-04	0.310
34	G_a3-4_1m3	<b>1.0E-03</b>	1.0E-04	7.5E-05	0.265
41	A_b_8m7	8.0E-07	1.0E-06	1.1E-05	0.010
42	L_b_1m6	1.0E-06	8.0E-06	1.7E-06	0.200
43	S_b_8m4	<b>8.0E-04</b>	8.0E-05	7.5E-04	0.310
44	G_b_3m3	<b>3.0E-03</b>	3.0E-04	7.5E-05	0.265

E' interessante notare che questo passaggio metodologico dalla identificazione della struttura in termini idrostratigrafici alla taratura idraulica vera e propria, provoca la

necessità di cambiare le modalità di descrizione e di percezione della struttura sotterranea stessa; infatti, il mezzo poroso che in termini sedimentologici, è classificabile abbastanza nettamente sulla base della litologia prevalente (ghiaia ecc.), in termini idraulici è meno facilmente classificabile, dato che la medesima permeabilità può essere assegnata a diverse associazioni litologiche (ad esempio, una ghiaia mista a limo argilla può avere una permeabilità inferiore a quella di una sabbia pulita). Da ricordare anche che, al livello della discretizzazione adottata, la permeabilità che si ottiene è la permeabilità rappresentativa di un elemento di volume che può raggiungere anche 1-2 milioni di metri cubi di sedimenti, con una variabilità interna ben superiore a quella schematizzata.

### **2.3 TARATURA DEL MODELLO DI FLUSSO**

Nei precedenti paragrafi sono stati descritti i dati utilizzati per costituire i termini sorgenti del modello. In particolare:

- i dati piezometrici regionalizzati utilizzati per le condizioni al contorno ed iniziale;
- la distribuzione dei prelievi nello spazio e nel tempo;
- la ricarica zenitale e da fiume.

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

- (1) una prima fase di precalibrazione in regime transitorio sul primo periodo (T1) relativo ad aprile-giugno 2001, che ha portato ad un primo livello di definizione delle  $k$  e delle  $S$ , ottenuto dalla distribuzione iniziale descritta al paragrafo 2.2.4 ed in pratica mediante la corrispondenza tra la litologia prevalente ed i valori di permeabilità desunti dalle prove di portata;
- (2) la fase di calibrazione vera e propria sull'intero periodo da T1 a T8 (in regime transitorio) , che ha portato al livello di definizione di  $k$  e  $S$  definitivo e, dove necessario, alla precisazione dei prelievi;
- (3) ripetizione della fase (2) fino a portare entro un intervallo di confidenza di 1 m lo scarto tra valori osservati e valori misurati per almeno l'80 % dei casi disponibili;
- (4) assestamento finale del bilancio (ricarica zenitale e ricarica fluviale).

#### **2.3.1 Assetto delle permeabilità**

Nella Figura 2-32 è riportata la frequenza di distribuzione delle permeabilità al termine della taratura, mentre nelle figure successive sono riportate le distribuzioni delle  $k$  in alcune sezioni del modello. È stata infine effettuato un confronto tra le permeabilità osservate e derivanti dalle prove sperimentali e quelle attribuite al modello nelle specifiche posizioni di esecuzione delle prove. La corrispondenza appare buona anche in rapporto al fatto che vengono confrontate le permeabilità e non le trasmissività (parametro misurato). Nella Figura 2-33 viene invece riportata la distribuzione del coefficiente di immagazzinamento specifico.

Figura 2-32: frequenza di distribuzione delle permeabilità (fine taratura)

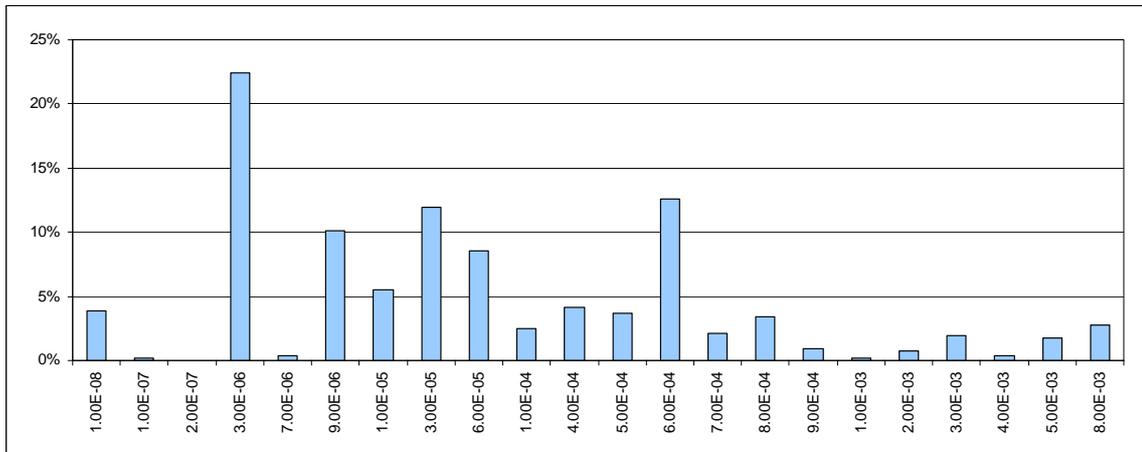


Figura 2-33: frequenza di distribuzione dei coefficienti di immagazzinamento specifico (fine taratura)

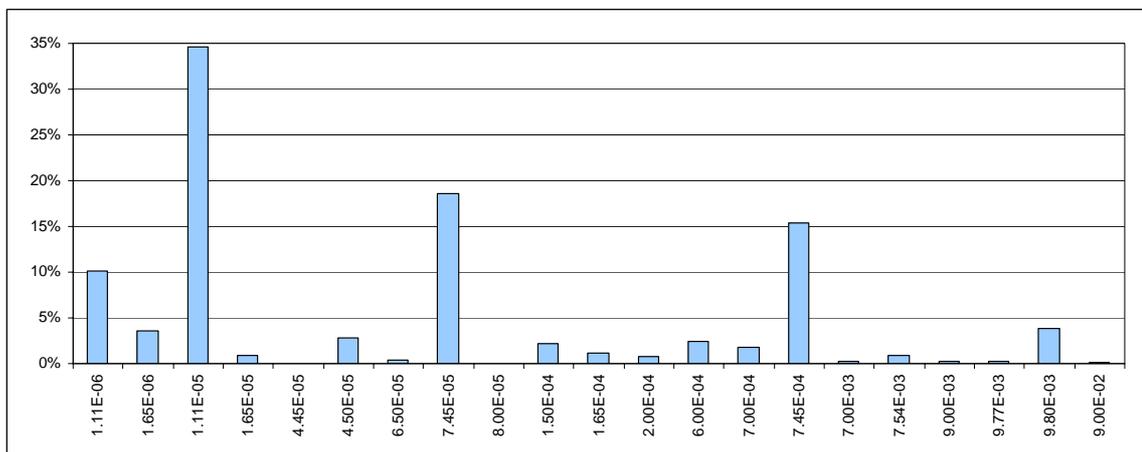


Figura 2-34: distribuzione delle permeabilità a fine taratura, sezione trasversale I3



Figura 2-35: distribuzione delle permeabilità a fine taratura, sezione trasversale I15

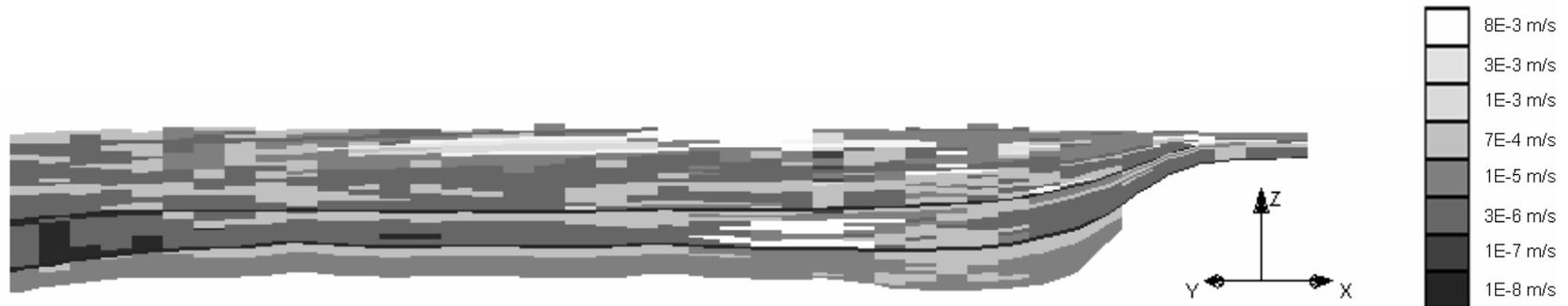


Figura 2-36: distribuzione delle permeabilità a fine taratura, sezione J14

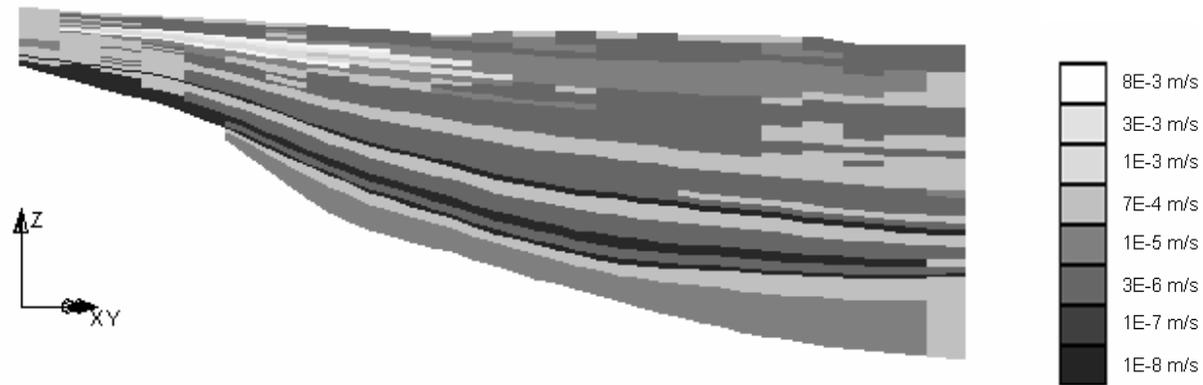


Figura 2-37: distribuzione delle permeabilità a fine taratura, sezione J37

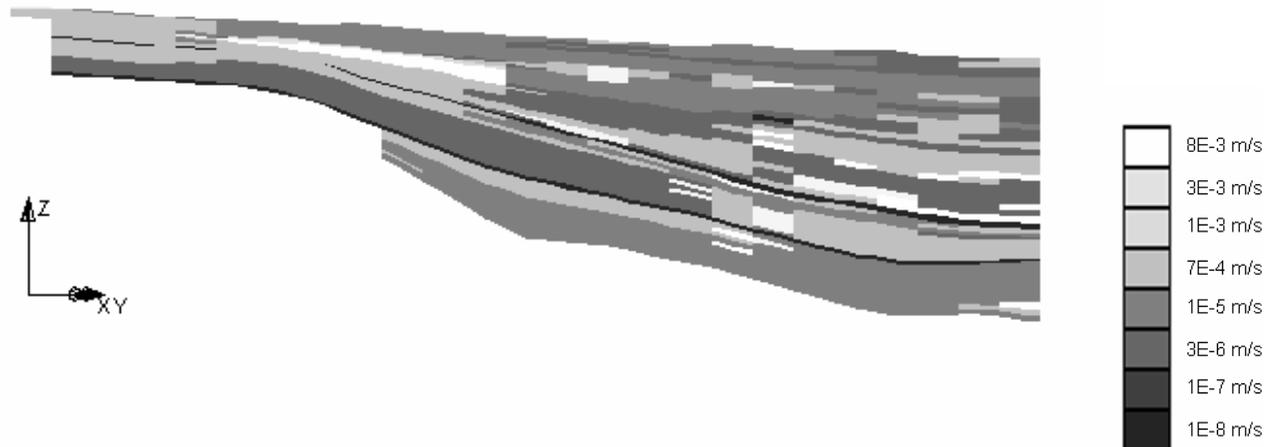


Figura 2-38: distribuzione delle permeabilità a fine taratura, sezione J28

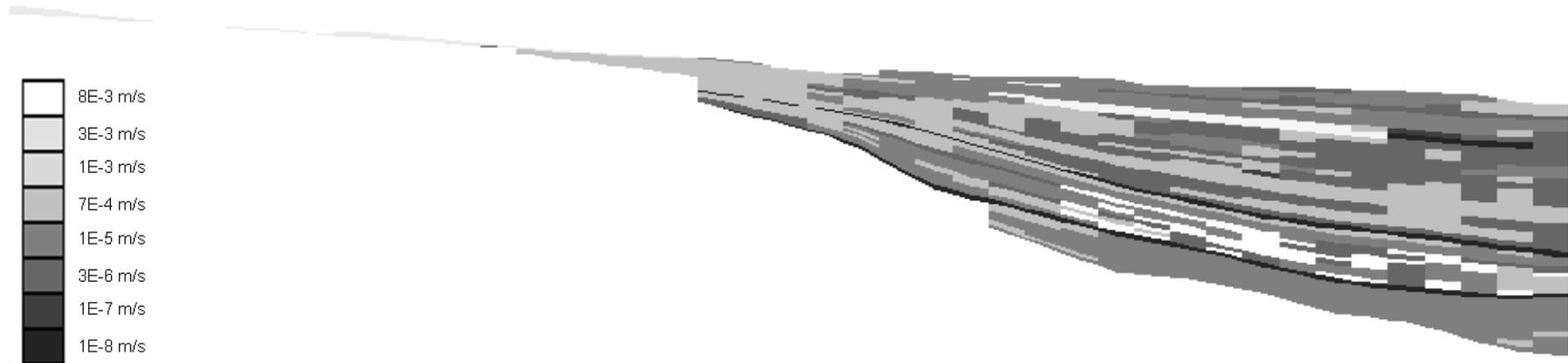
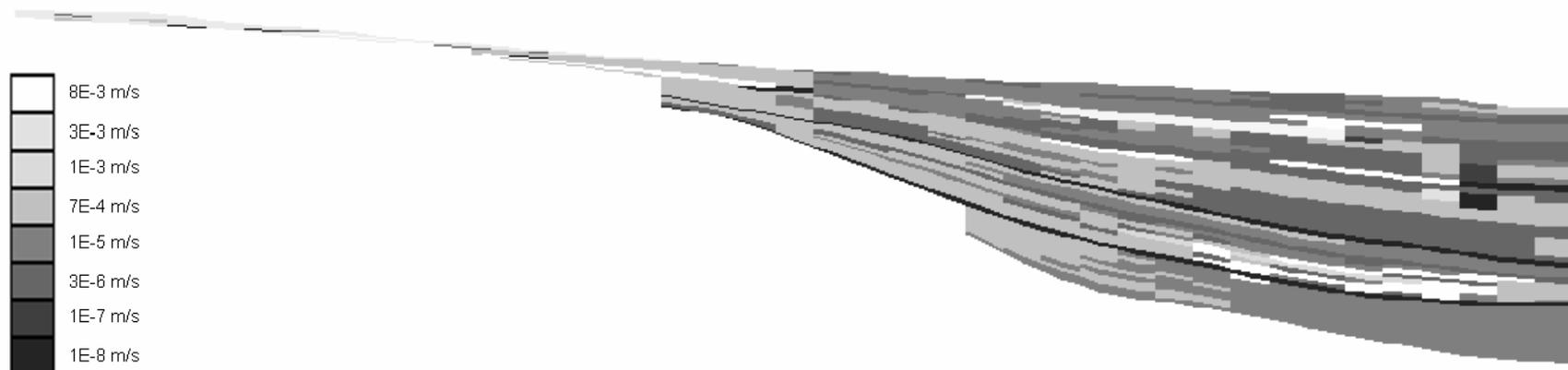


Figura 2-39: distribuzione delle permeabilità a fine taratura, sezione J30



### 2.3.2 Assetto del flusso

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

Figura 2-40: carico idraulico (m s.l.m.) layer 20, istante T1

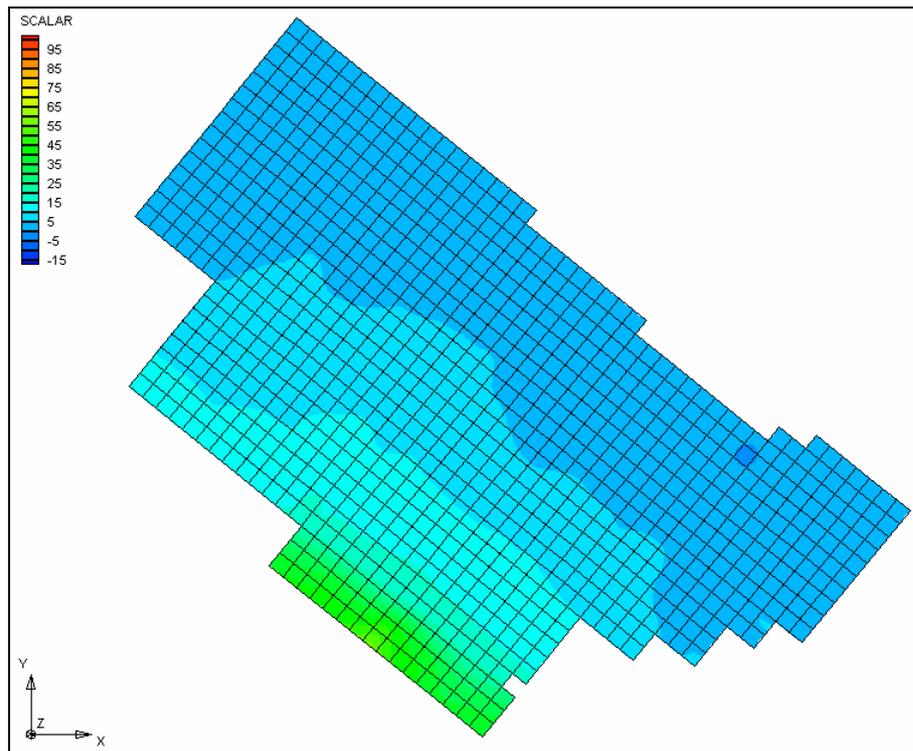


Figura 2-41: carico idraulico (m s.l.m.) layer 20, istante T6

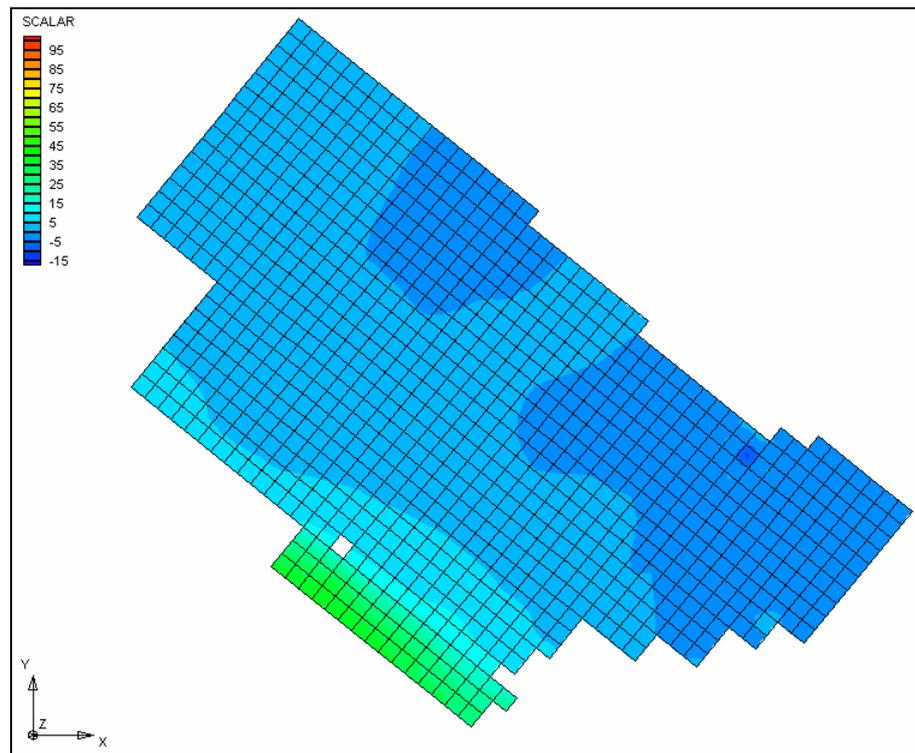


Figura 2-42: carico idraulico (m s.l.m.) layer 20, istante T8

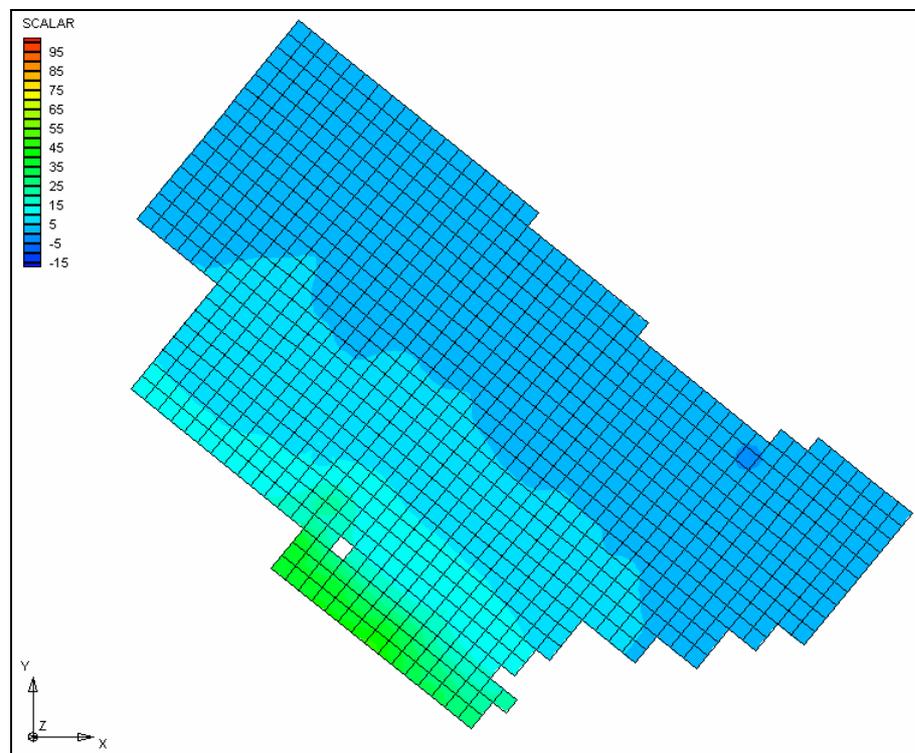


Figura 2-43: carico idraulico (m s.l.m.) layer 35, istante T2

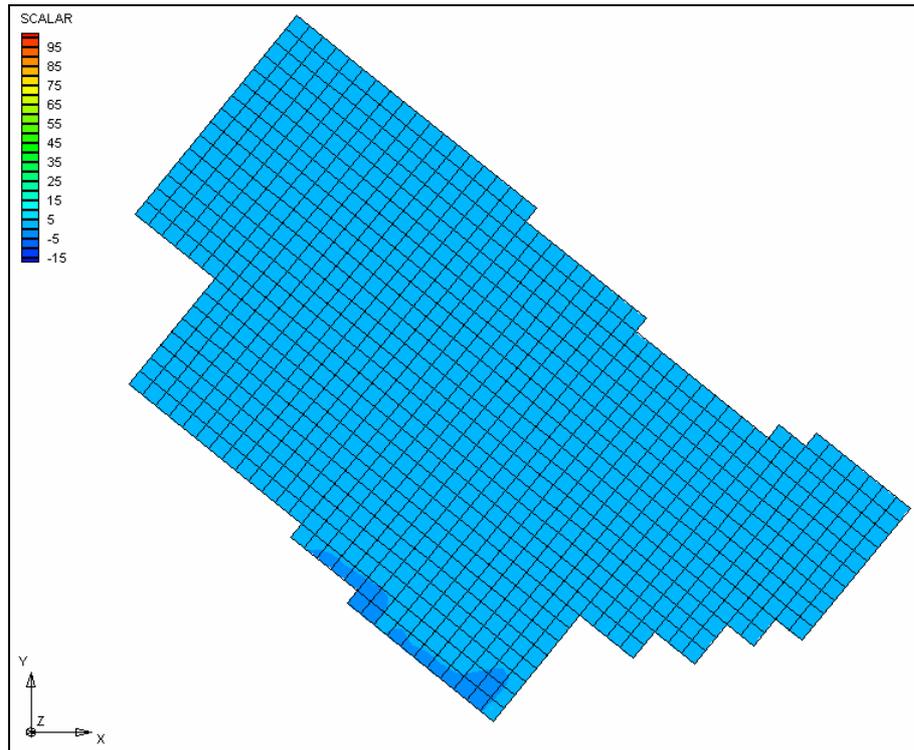


Figura 2-44: carico idraulico (m s.l.m.) layer 35, istante T4

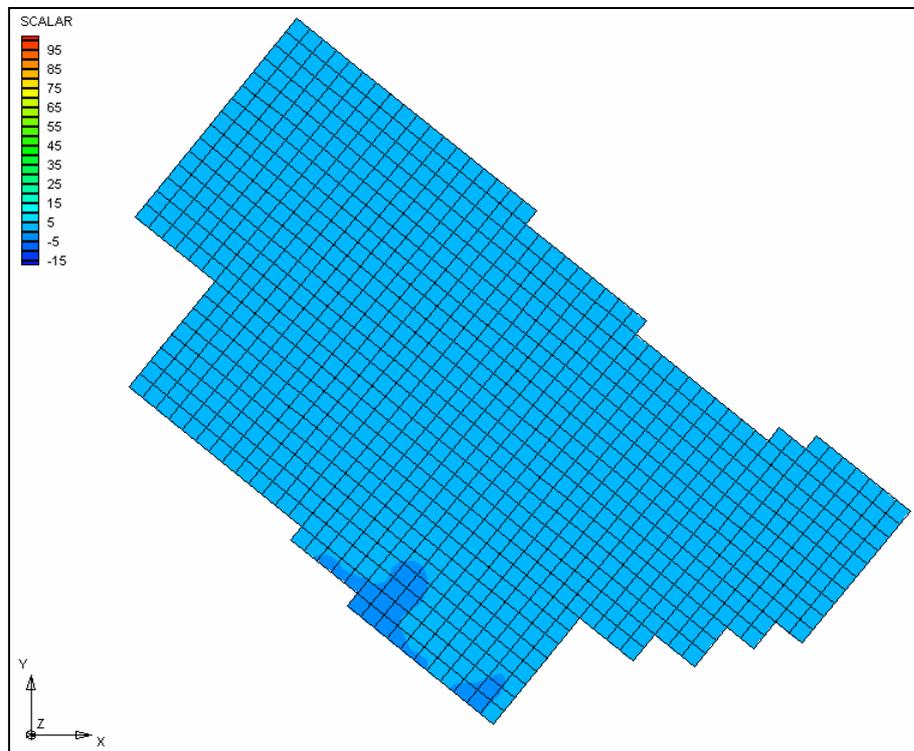
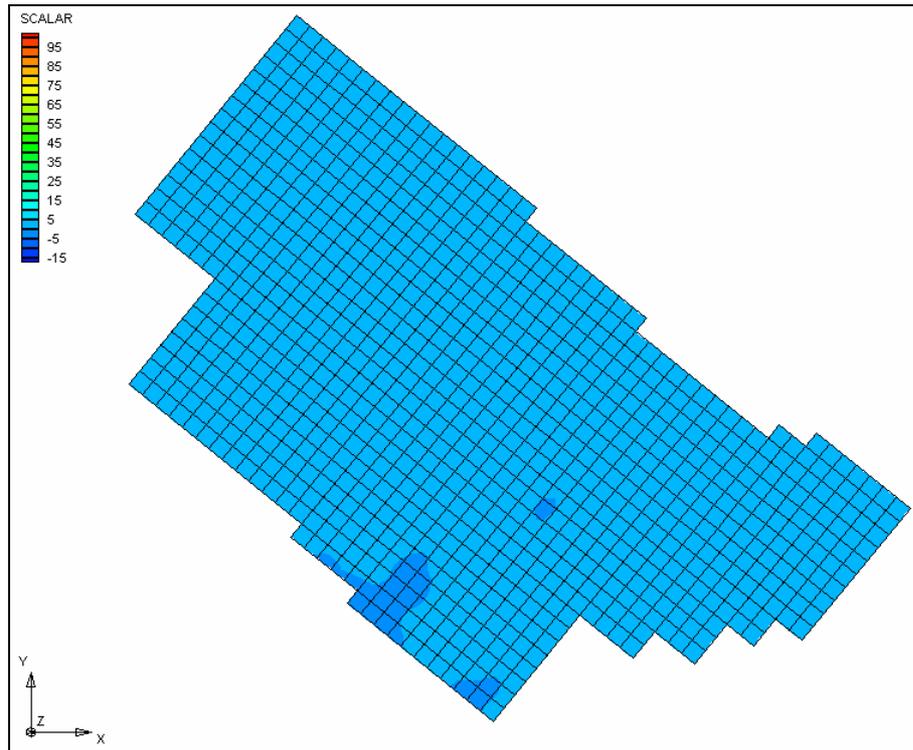


Figura 2-45: carico idraulico (m s.l.m.) layer 35, istante T7



Nelle figure da Figura 2-40, a Figura 2-47 è riportata tale distribuzione ottenuta al termine della taratura del modello; a titolo esemplificativo della distribuzione tridimensionale del carico idraulico sono stati effettuati alcuni tagli sia sul piano geografico e corrispondenti a diverse profondità del sistema acquifero, sia in sezione longitudinale.

Figura 2-46: carico idraulico (m s.l.m.) sezione 19, istante T1

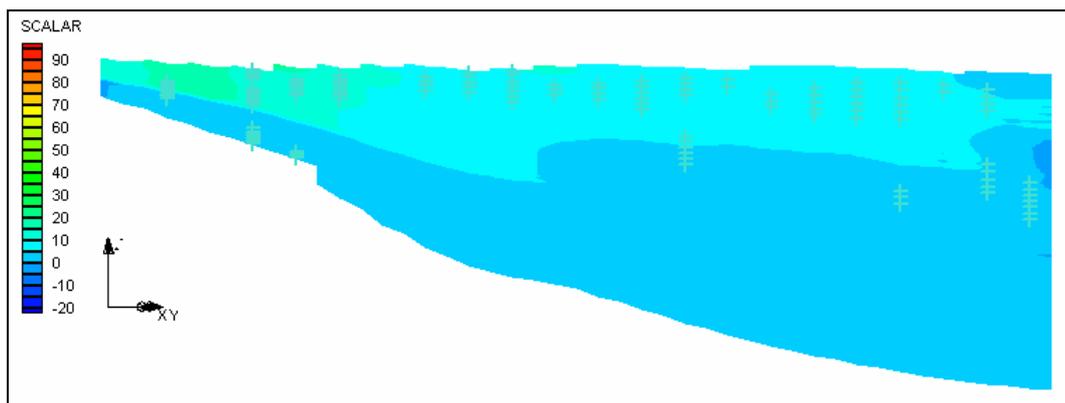


Figura 2-47: carico idraulico (m s.l.m.) sezione 19, istante T3

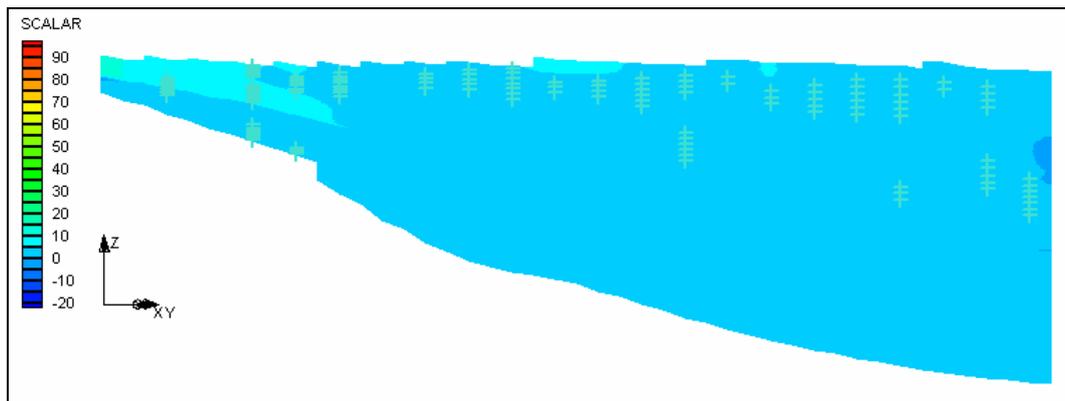


Figura 2-48: carico idraulico (m s.l.m.) sezione 19, istante T7

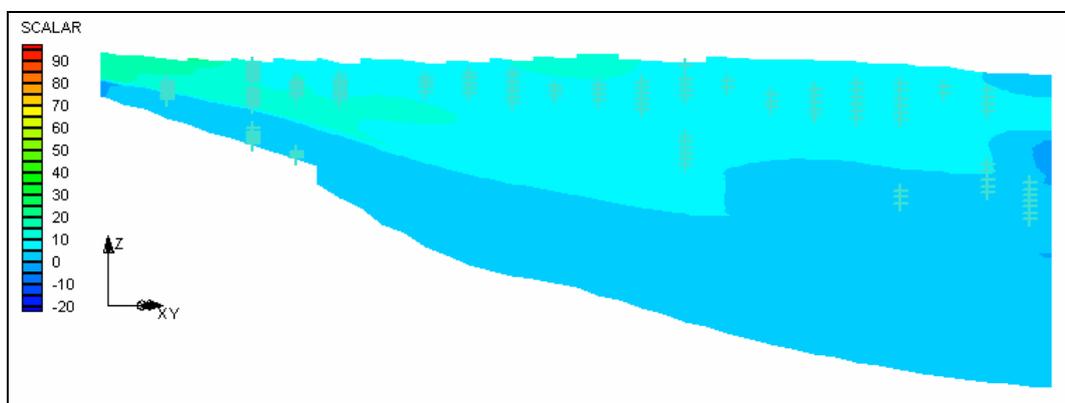


Figura 2-49: velocità del flusso, sezione 41, istante T1

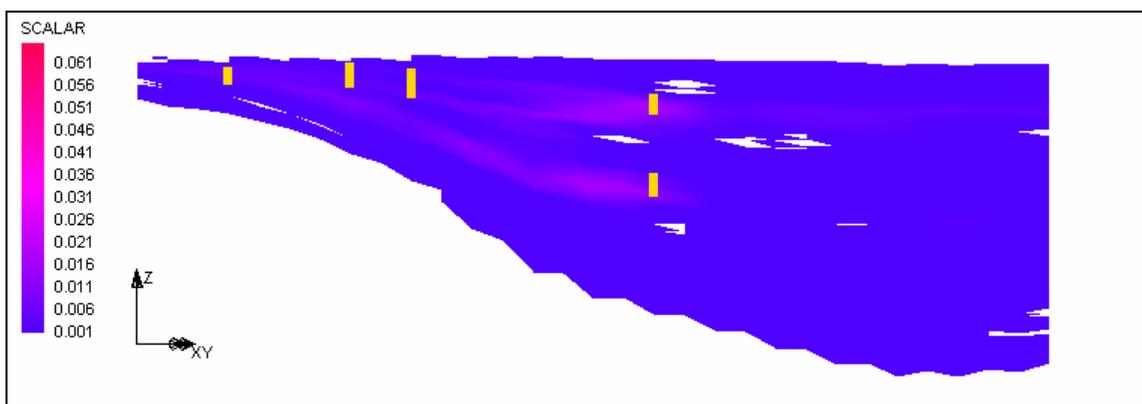


Figura 2-50: velocità del flusso, sezione 41, istante T8

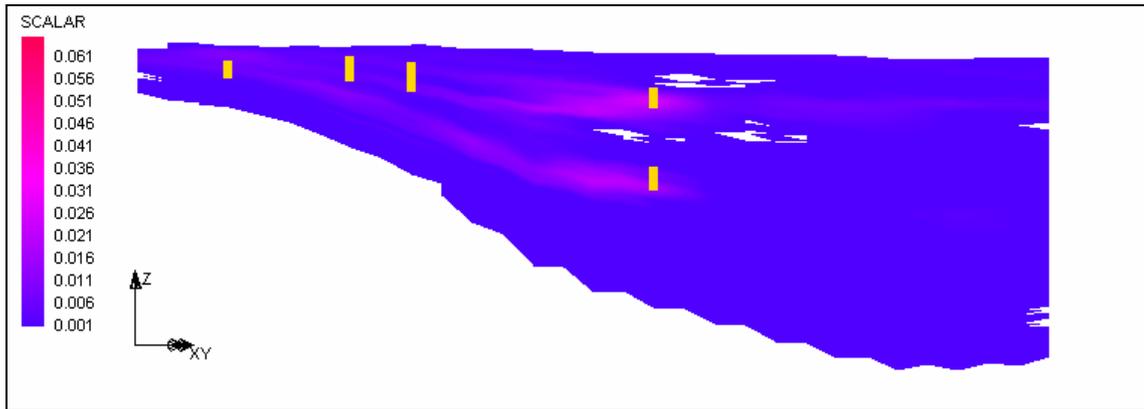
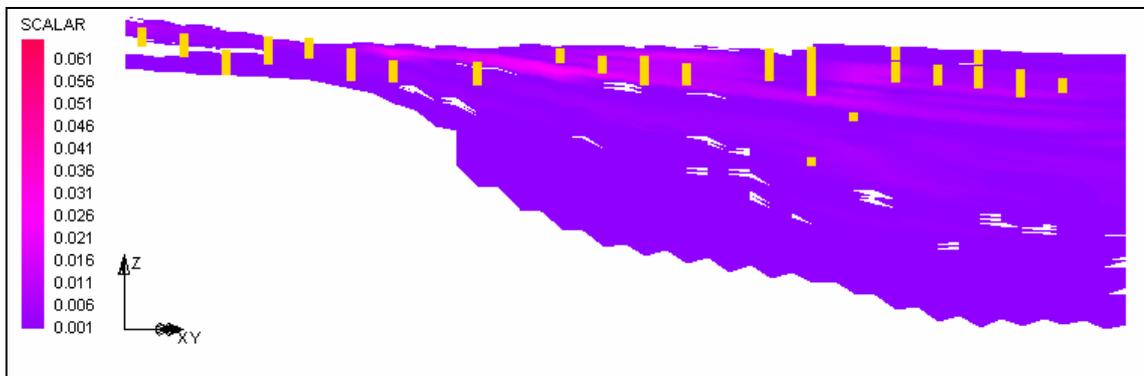


Figura 2-51: velocità del flusso, sezione 34, istante T4



Dalla distribuzione del carico idraulico attraverso le permeabilità è possibile calcolare i flussi di scambio di fluido tra tutte le diverse celle del modello. La visualizzazione della intensità di tali flussi è forse il metodo migliore per mostrare l'aderenza dell'approssimazione numerica utilizzata allo schema concettuale che ci si era proposti di ottenere e gli schemi in sezione longitudinale sono quelli che meglio consentono di rappresentare questo aspetto. Nelle figure seguenti (Figura 2-49, Figura 2-50 e Figura 2-51) le velocità sono espresse come intensità (parte scalare del vettore velocità di flusso). Come si vede, le aree con il flusso più elevato sono concentrate all'apice della conoide e nelle aree di bassa pianura in cui vi è una certa concentrazione di prelievi da pozzo. Il campo delle velocità è quindi dominato in gran parte dall'energia fornita attraverso l'estrazione da pozzo ed in misura minore dal trasferimento di acqua tra la parte sommitale dell'acquifero ed il reticolo idrografico.

### 2.3.3 Controllo della taratura

Il controllo della taratura del modello avviene inizialmente attraverso la verifica diretta della corrispondenza fra i valori dei carichi idraulici calcolati dal modello e le serie storiche osservate. La taratura è stata condotta attraverso il controllo di circa 60 punti di misura con disponibilità di dati in almeno 6 degli 8 periodi di tempo della discretizzazione temporale. Pertanto nelle figure che seguono vengono riportati sia il confronto fra i dati di alcuni pozzi significativi delle serie storiche osservate (linee

tratteggiate che rappresentano un intervallo di confidenza  $\pm 1m$ ) e quelli calcolati su alcuni punti d'acqua significativi sia gli scatter-plot dei valori osservati/calcolati per gli otto stress periods evidenziando il buon risultato raggiunto dalla taratura.

Nelle figure da Figura 2-52 a Figura 2-56 sono rappresentate le serie temporali in uscita dal modello in corrispondenza delle posizioni dei punti di misura utilizzati per il controllo della taratura. Nelle diverse figure i pozzi sono stati suddivisi separando i pozzi appartenenti all'apice della conoide da quelli della zona di pianura e differenziando questi ultimi in funzione del complesso acquifero di appartenenza.

Nelle figure da Figura 2-57 a Figura 2-64 sono invece rappresentati gli scatter-plot per ciascun istante temporale, dove ad ogni punto corrisponde un pozzo utilizzato per la taratura e la distanza dalla diagonale centrale rappresenta lo scostamento tra il valore osservato e il valore calcolato.

È importante osservare nelle figure non solo la buona corrispondenza istante per istante dei valori simulati rispetto alle osservazioni ma anche la generale tendenza degli andamenti su tutto il periodo. Vi sono comunque alcune eccezioni: nella Figura 2-52 vengono appositamente riportati alcuni punti di controllo la cui taratura non ha reso possibile una buona aderenza ai dati sperimentali; ciò accade nell'apice della conoide parte del sistema molto sensibile alle variazioni di carico in risposta a variazioni di ricarica e nello stesso tempo determinante rispetto alla dinamica delle acque nella zona più a valle.

Figura 2-52: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo (apice della conoide)

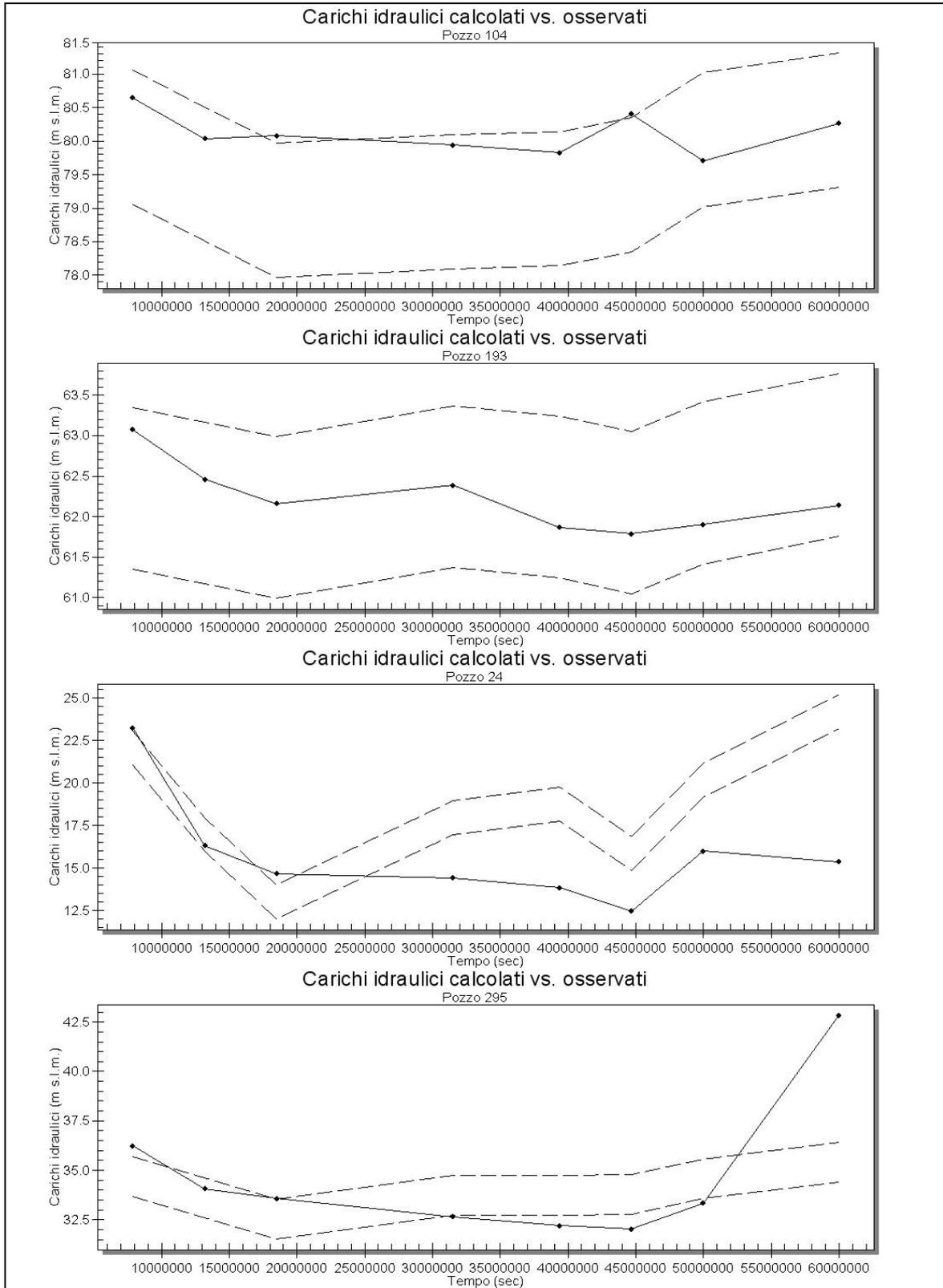


Figura 2-53: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo (zona di pianura, complesso acquifero A0)

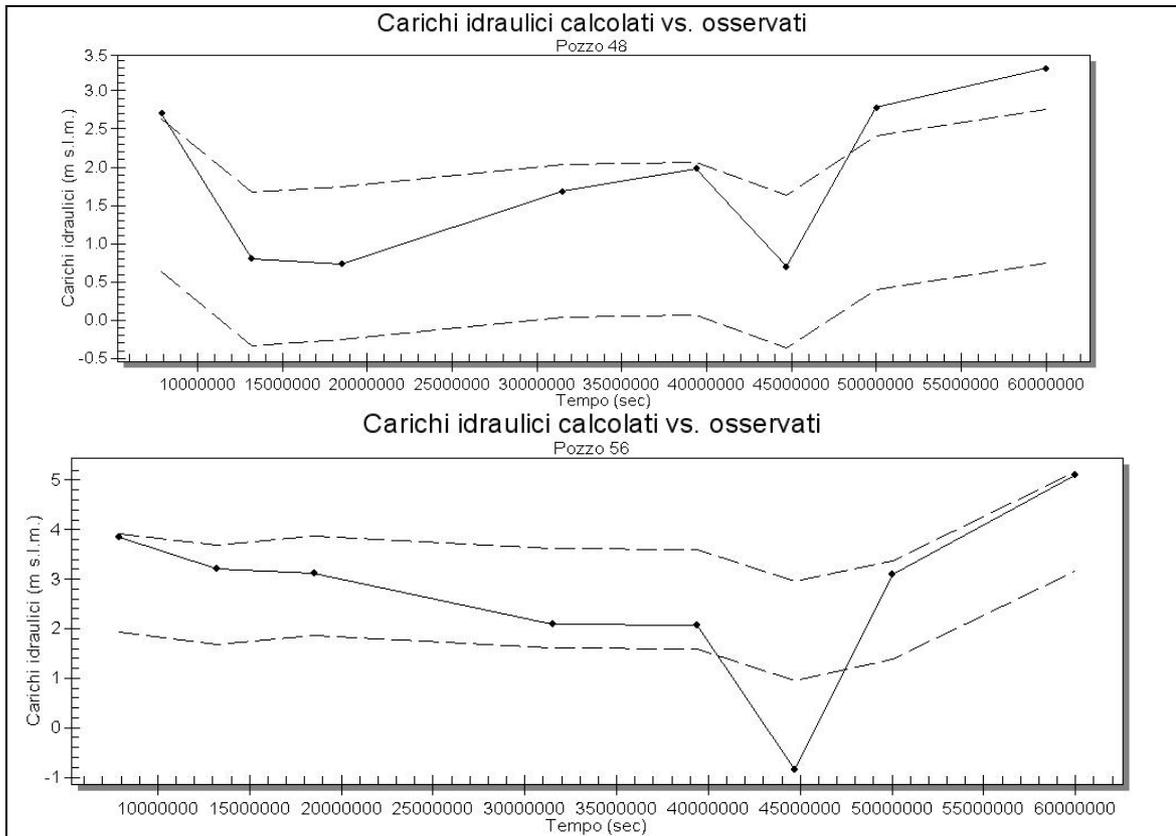


Figura 2-54: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo (zona di pianura, complesso acquifero A1)

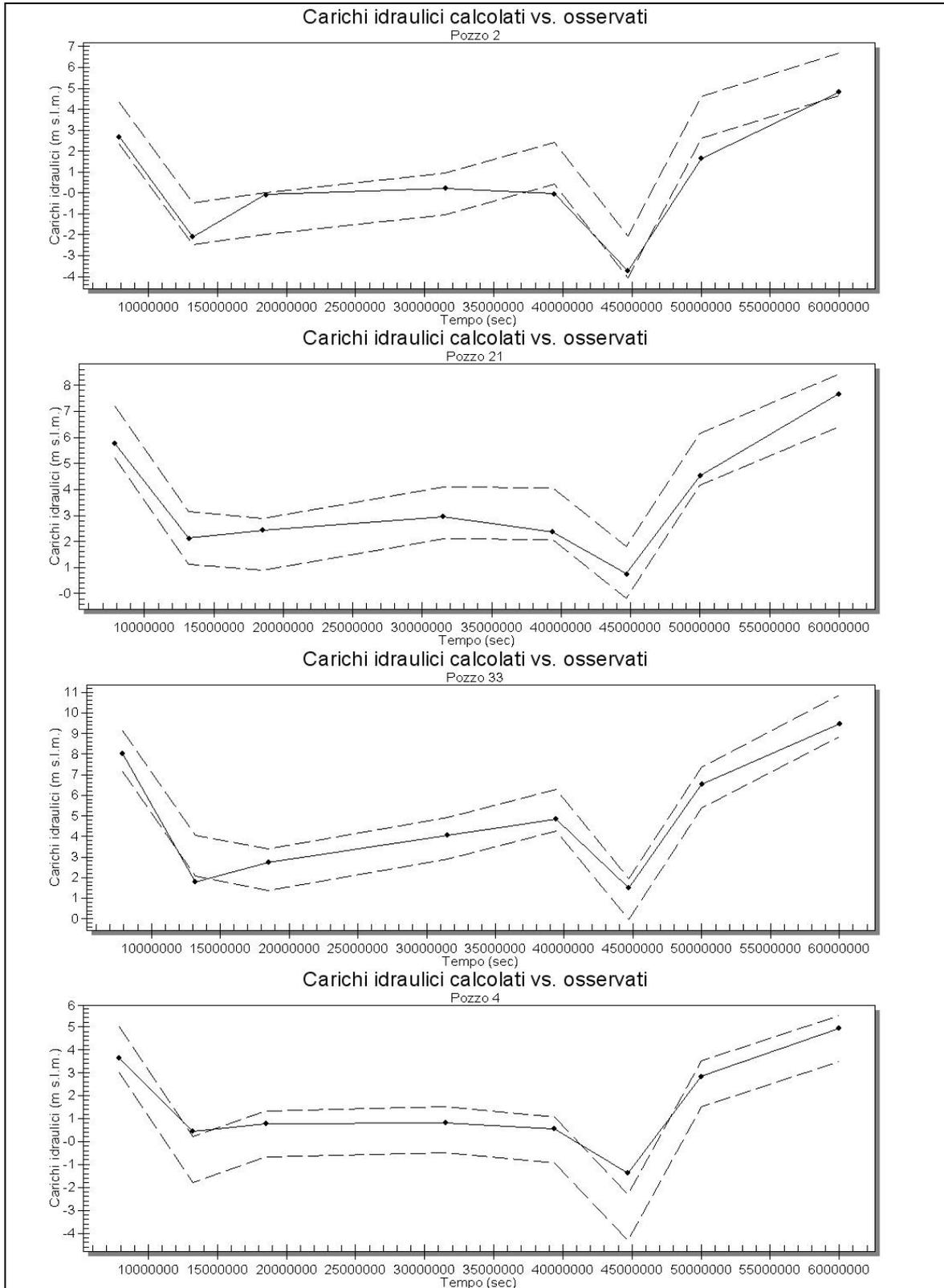


Figura 2-54: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo (zona di pianura, complesso acquifero A1), segue

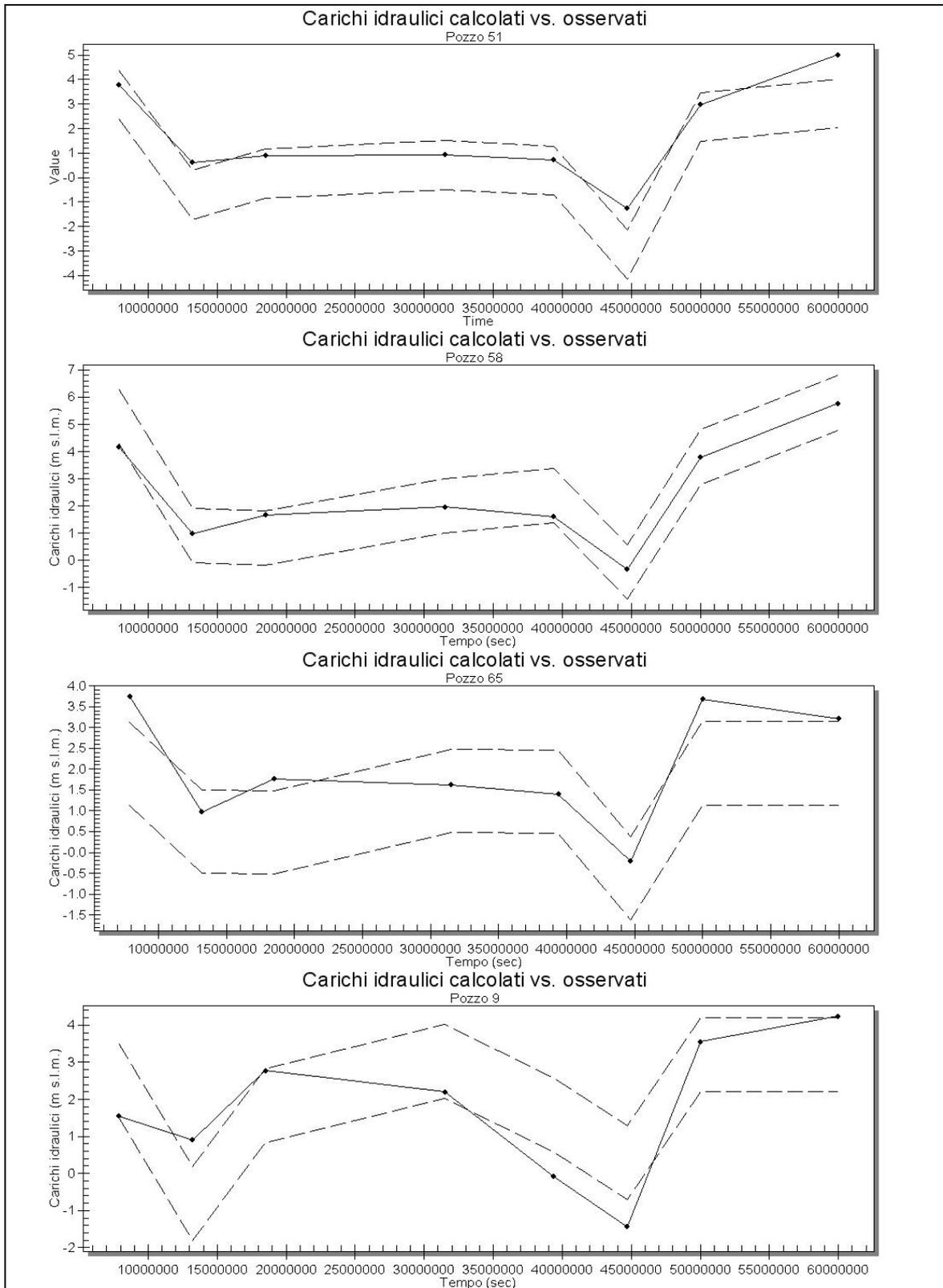


Figura 2-55: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo (zona di pianura, complesso acquifero A2)

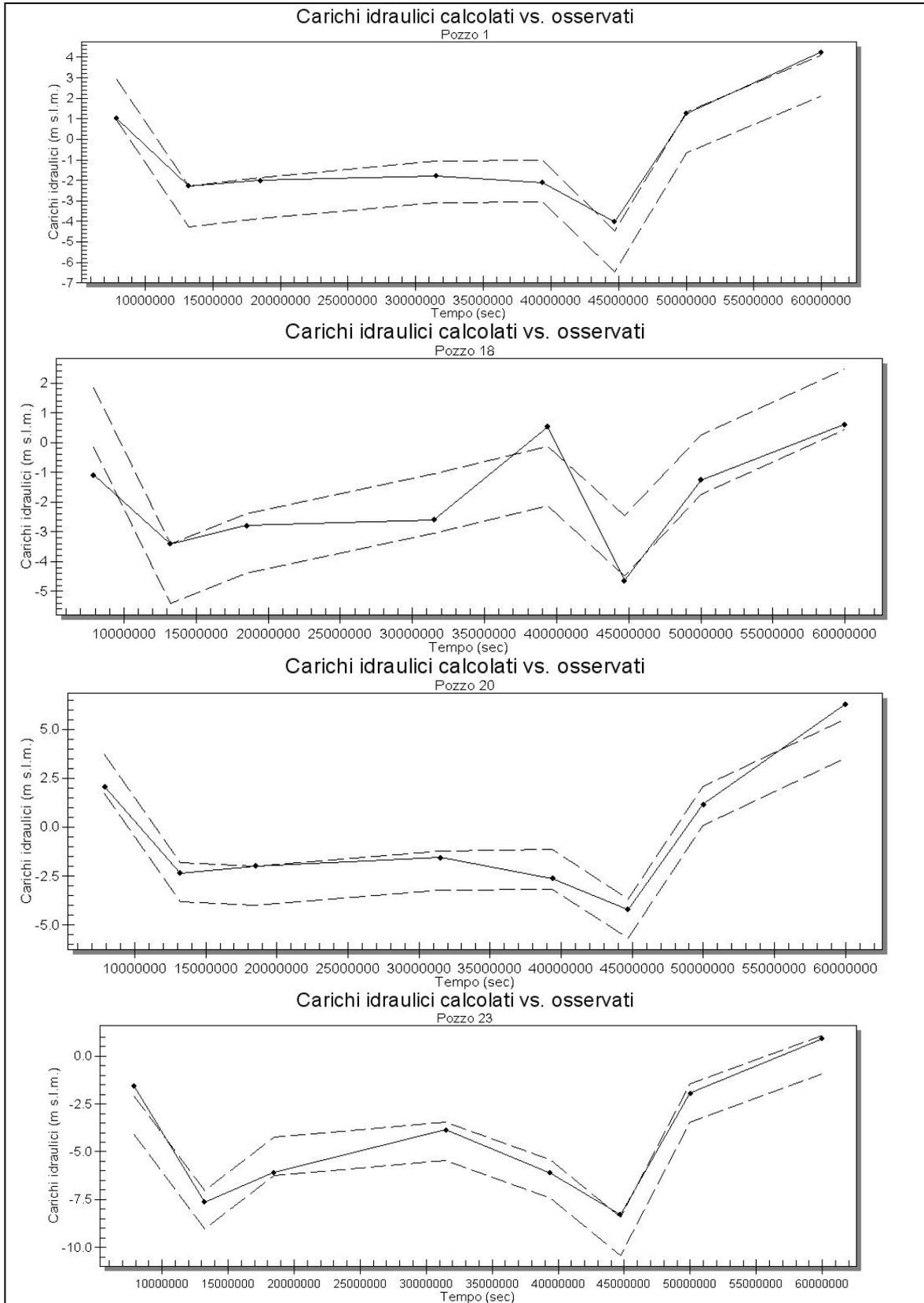


Figura 2-55: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo (zona di pianura, complesso acquifero A2), segue

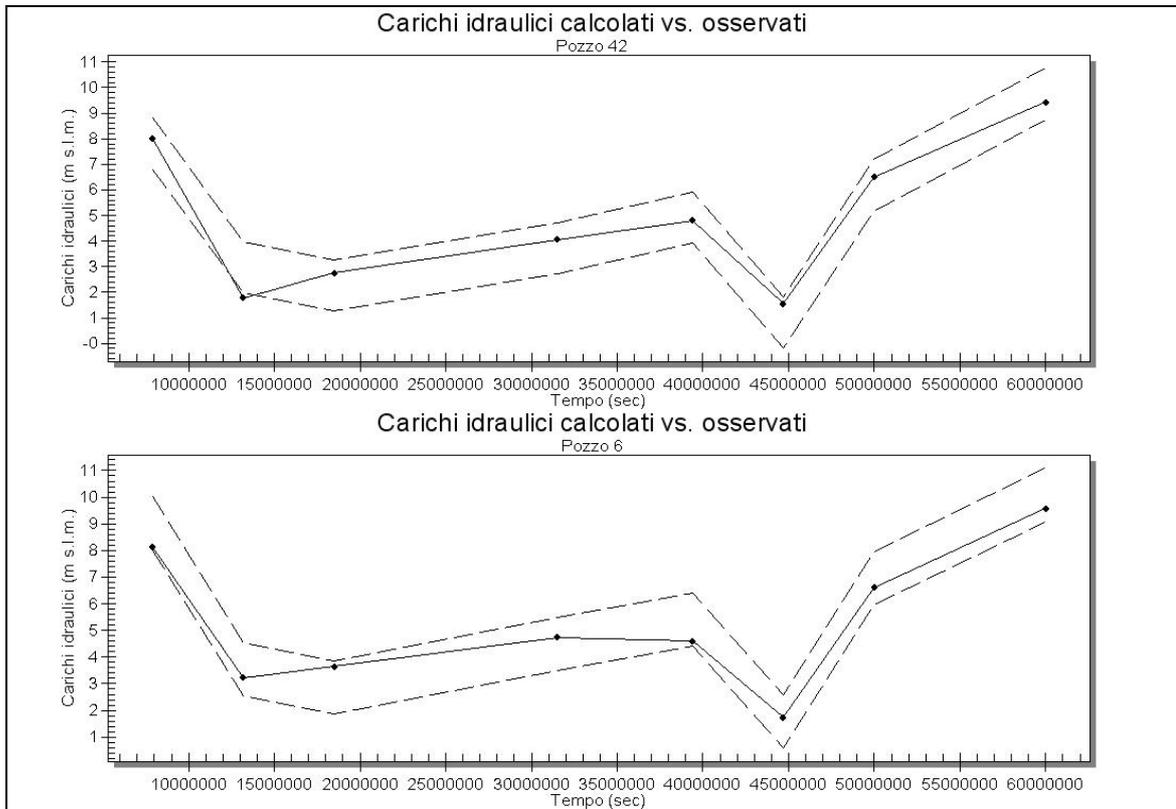


Figura 2-56: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo (zona di pianura, complesso acquifero A3-A4)

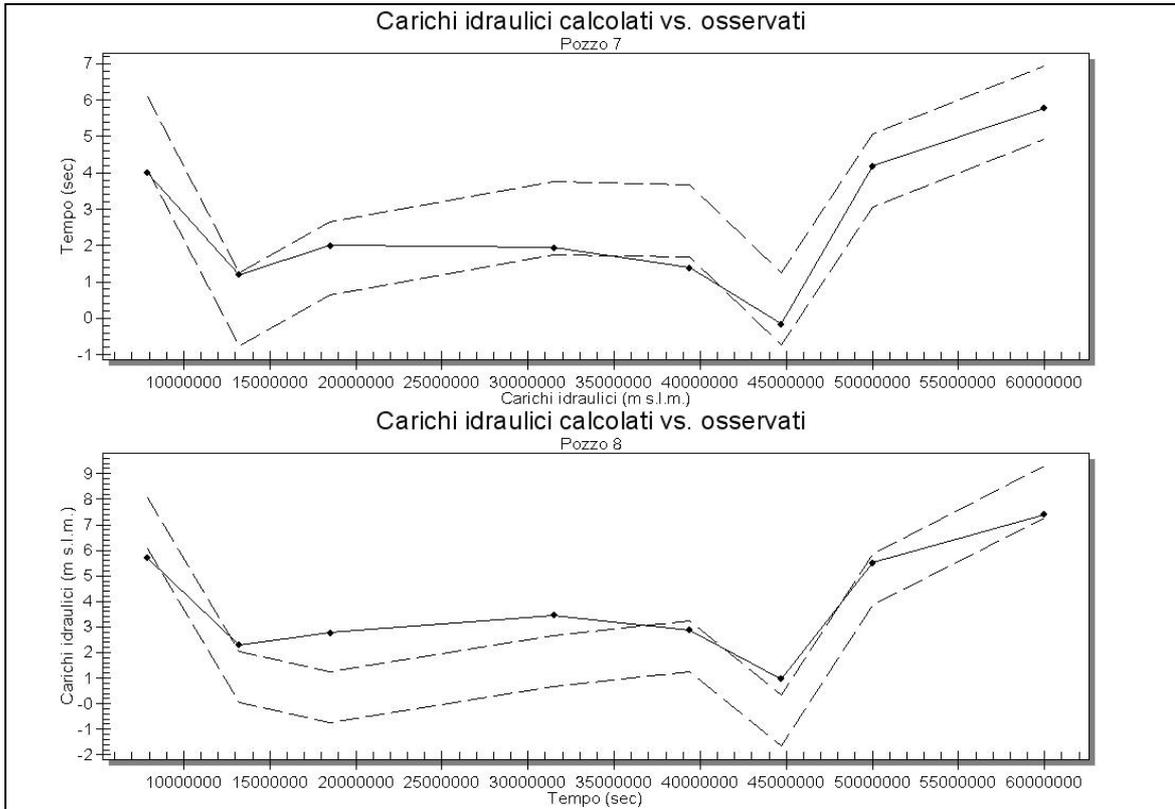


Figura 2-57: Distribuzione degli scarti nel periodo T1

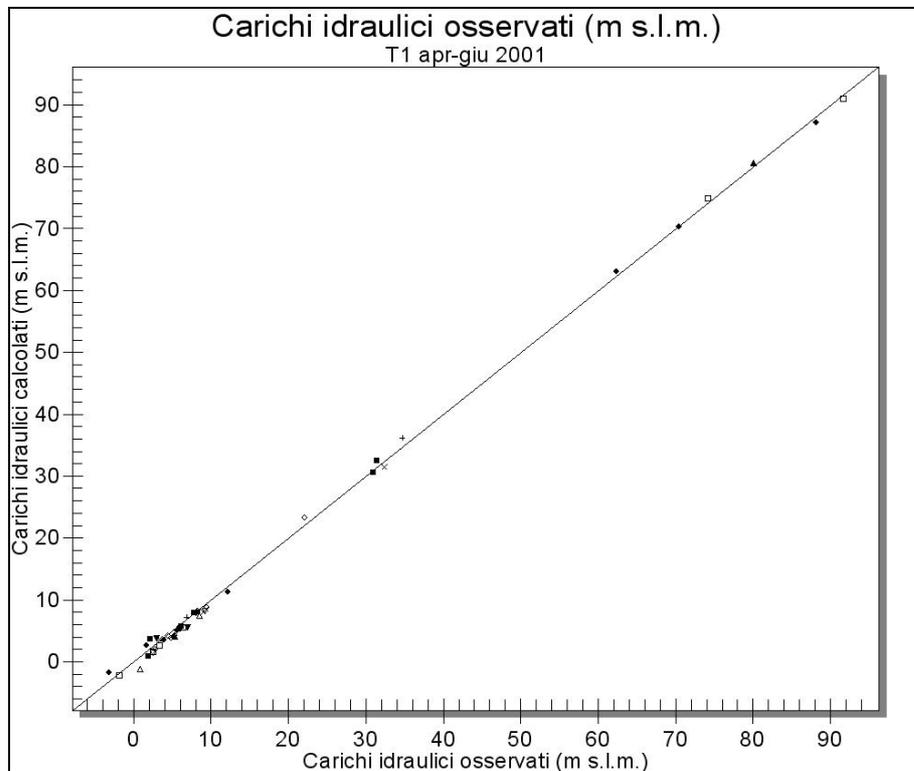


Figura 2-58: Distribuzione degli scarti nel periodo T2

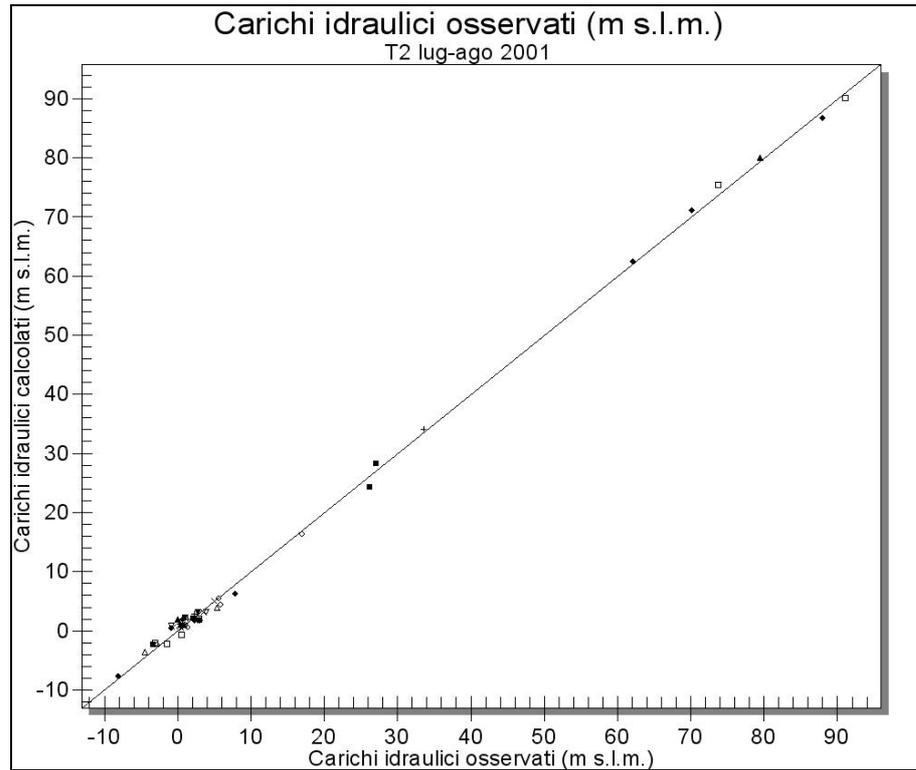


Figura 2-59: Distribuzione degli scarti nel periodo T3

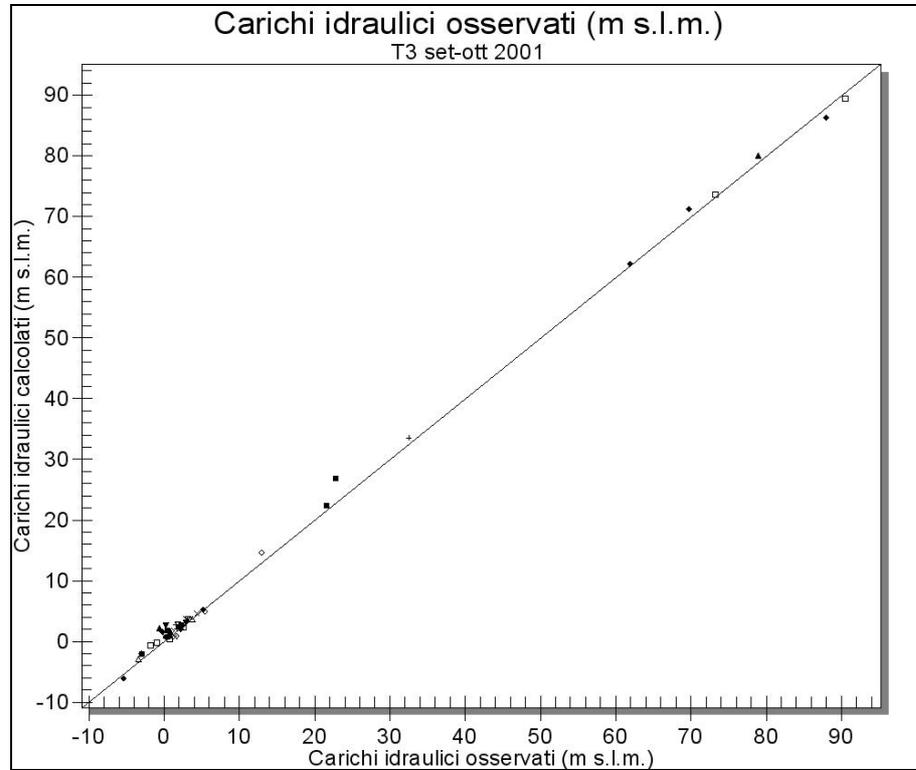


Figura 2-60: Distribuzione degli scarti nel periodo T4

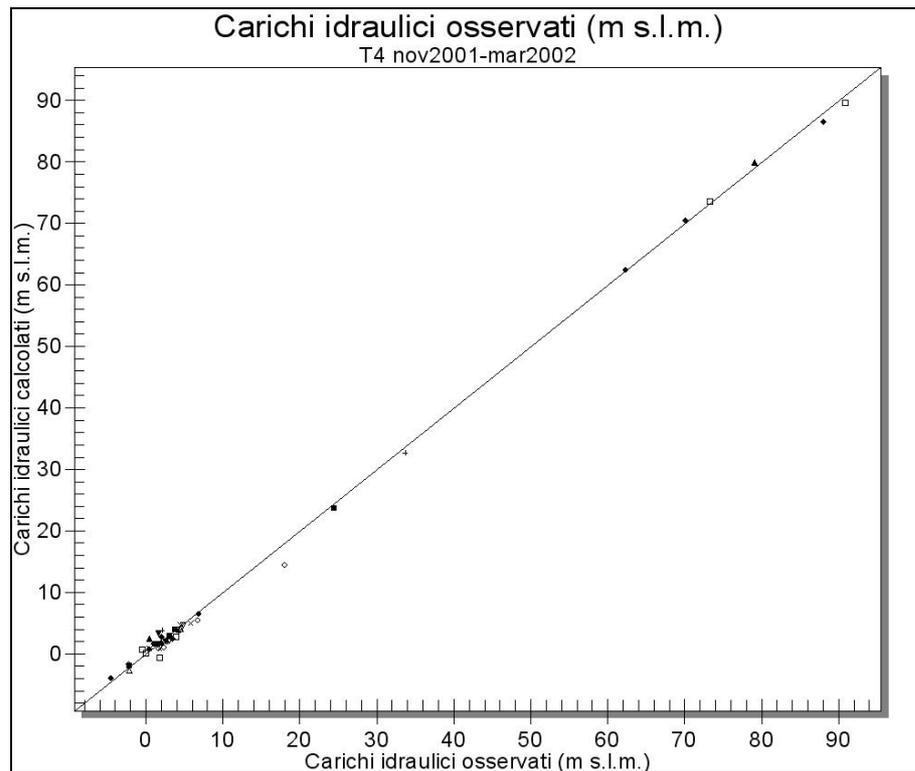


Figura 2-61: Distribuzione degli scarti nel periodo T5

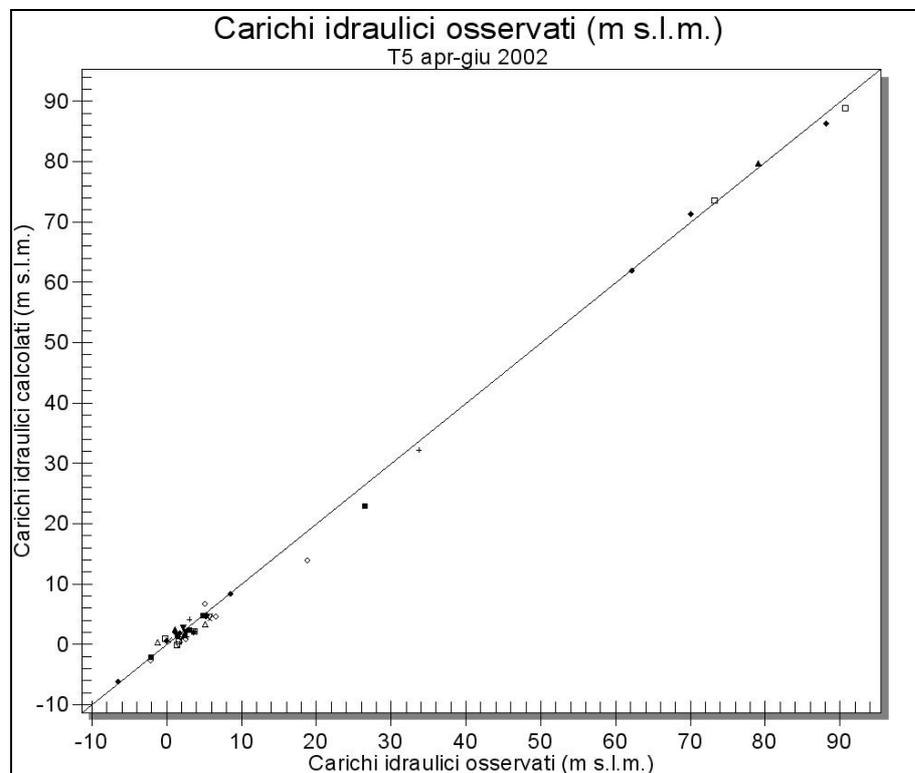


Figura 2-62: Distribuzione degli scarti nel periodo T6

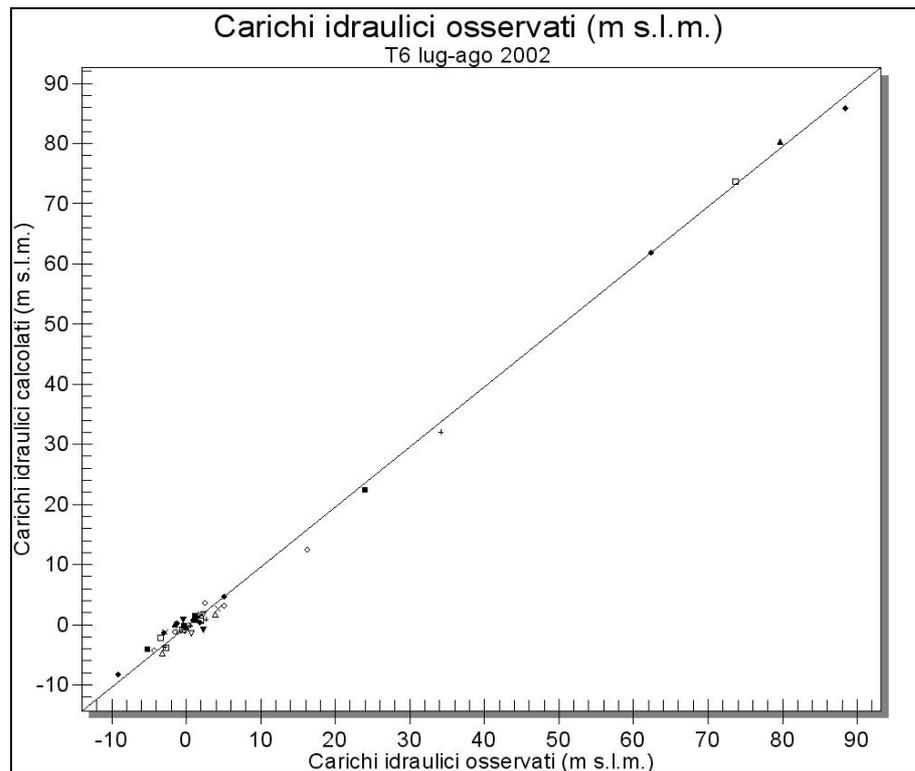


Figura 2-63: Distribuzione degli scarti nel periodo T7

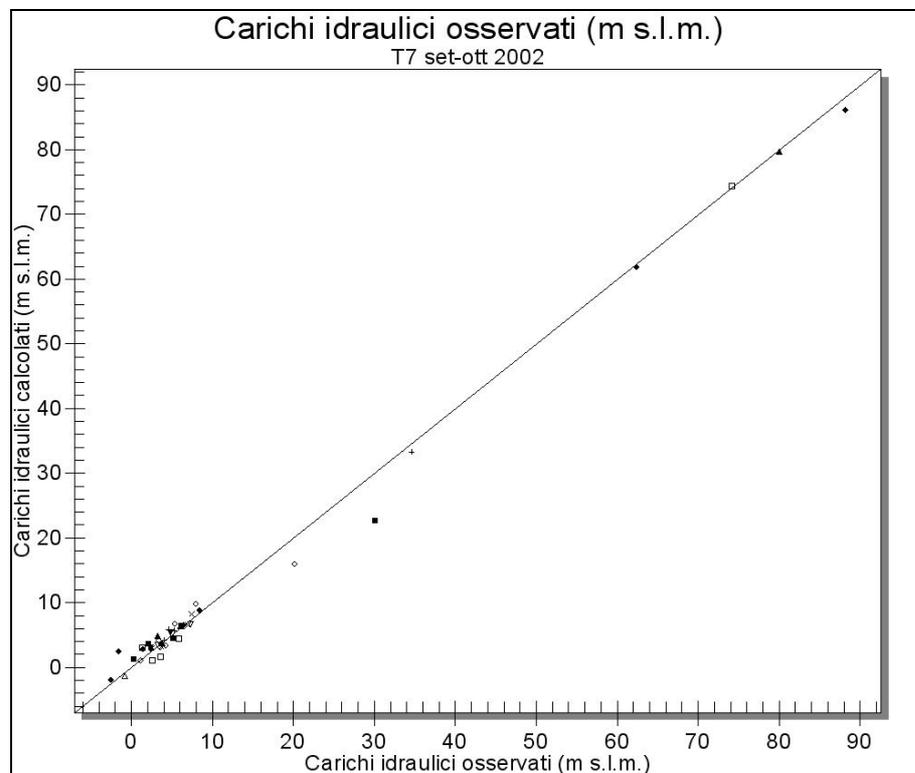
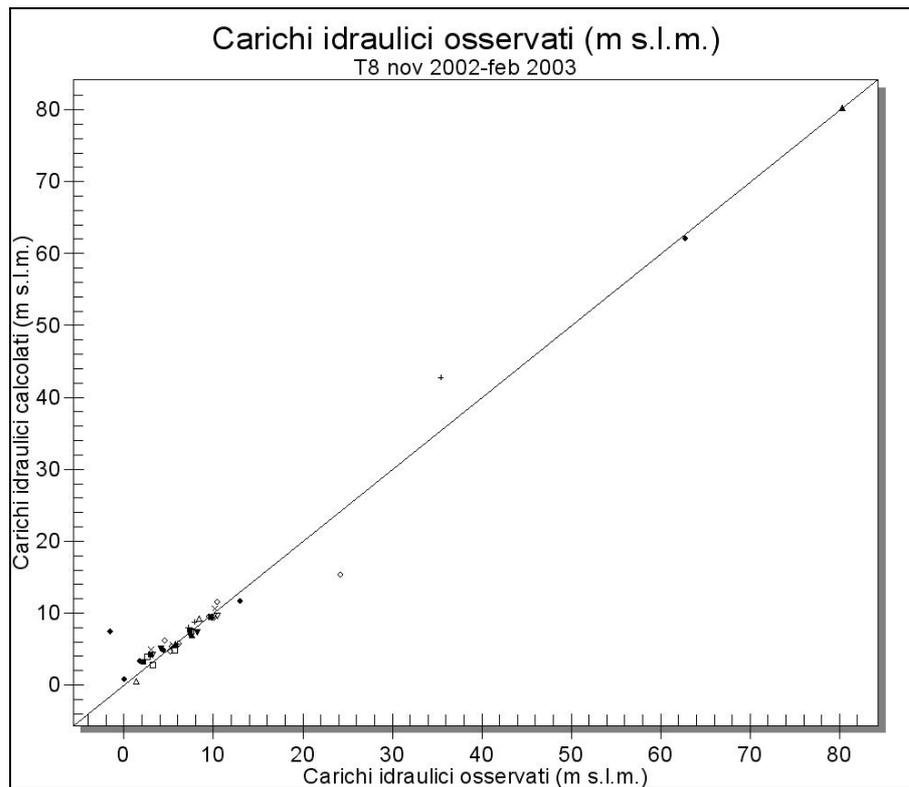


Figura 2-64: Distribuzione degli scarti nel periodo T8



### 2.3.4 Bilancio idrogeologico della conoide

Un ulteriore controllo della bontà del modello matematico si effettua verificando il bilancio idrogeologico. In questo modo si può verificare se viene rispettata l'equazione del bilancio idrogeologico e i relativi termini che la compongono. Nel nostro caso il modello è in grado di restituire un valore per ognuno degli 8 istanti del periodo di taratura del modello. Le diverse voci di bilancio in ingresso ed uscita vengono calcolate sia in termini di portate medie per il singolo stress period di simulazione ( $m^3/s$ ) sia in termini di volumi (milioni di  $m^3$ ) cumulati nei diversi periodi. Nel dettaglio gli ingressi corrispondono alla ricarica (pioggia e fiume), alle entrate dai bordi ed alle variazioni positive del termine di immagazzinamento. Le uscite ai prelievi, alle uscite dai bordi e alle variazioni negative dell'immagazzinamento del sistema. Si nota quindi come la quota di variazione dell'immagazzinamento messa a bilancio corrisponda se positiva ad un volume/portata di acqua che viene sottratta al sistema.

Nelle Figura 2-65 e nella Figura 2-66 vengono riportati gli andamenti delle voci di bilancio rispettivamente in ingresso ed in uscita dall'intero sistema durante gli otto istanti della simulazione in transitorio. La successiva Figura 2-67 contiene i flussi netti, intesi come voci in ingresso – voci in uscita. In questo caso i prelievi vengono inseriti con il segno meno a significare una uscita dal sistema. Gli stessi valori sono riportati in forma tabellare in Tabella 2-4.

Tabella 2-4: bilancio idrogeologico della conoide (m<sup>3</sup>/s)

IN/OUT	fb_zona	Zona	voce bilancio	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
				79000000	132000000	185000000	315000000	394000000	447000000	500000000	600000000
IN:	Flow Budget	All Zones	Limiti a carico imposto	0.10	0.22	0.10	0.15	0.08	0.17	0.10	0.07
IN:	Flow Budget	All Zones	Ricarica	2.30	0.18	0.42	1.21	1.19	0.80	4.53	2.63
IN:	Flow Budget	All Zones	Immagazzinamento	1.33	2.06	1.15	0.18	0.38	1.06	0.03	0.09
OUT:	Flow Budget	All Zones	Limiti a carico imposto	1.66	0.85	0.63	0.70	0.61	0.43	1.47	1.94
OUT:	Flow Budget	All Zones	Ricarica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT:	Flow Budget	All Zones	Immagazzinamento	1.08	0.09	0.07	0.21	0.08	0.03	2.29	0.20
OUT:	Flow Budget	All Zones	Prelievi	0.98	1.51	0.97	0.63	0.96	1.58	0.90	0.65
IN-OUT	Flow Budget	All Zones	Limiti a carico imposto	-1.57	-0.64	-0.53	-0.55	-0.53	-0.26	-1.37	-1.87
IN-OUT	Flow Budget	All Zones	Ricarica	2.30	0.18	0.42	1.21	1.19	0.80	4.53	2.63
IN-OUT	Flow Budget	All Zones	Immagazzinamento	0.24	1.97	1.08	-0.03	0.30	1.03	-2.26	-0.11
IN-OUT	Flow Budget	All Zones	Prelievi	-0.98	-1.51	-0.97	-0.63	-0.96	-1.58	-0.90	-0.65

Figura 2-65: bilancio idrogeologico della conoide, termini in ingresso

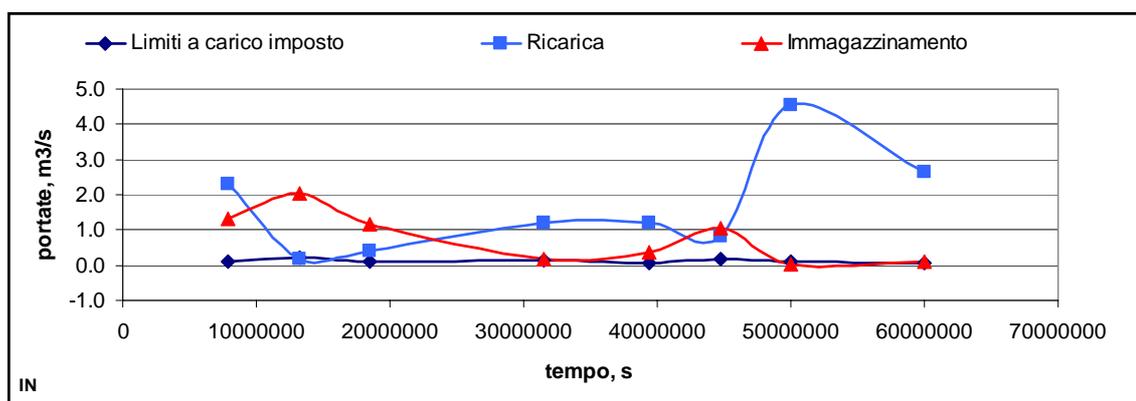
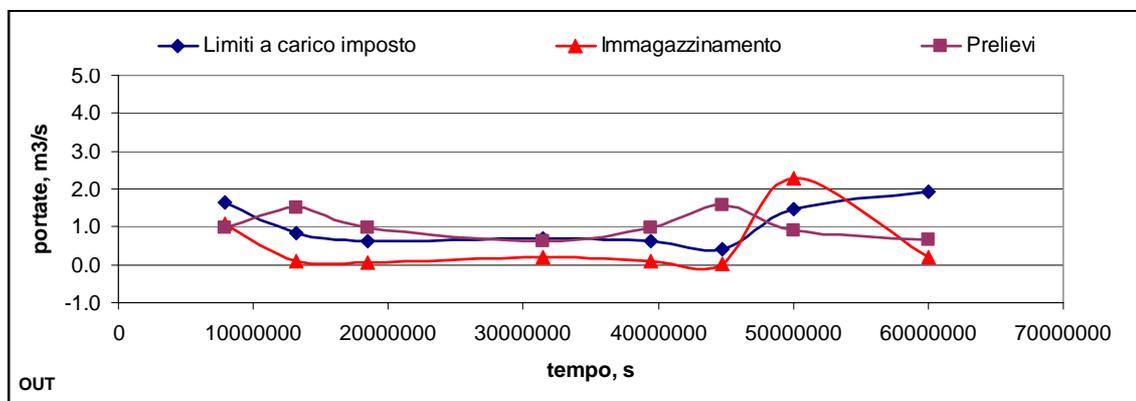
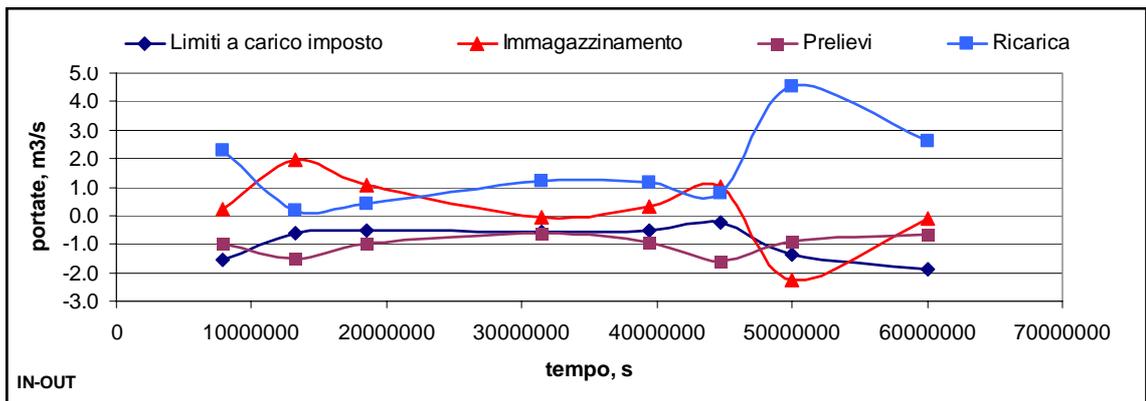


Figura 2-66: bilancio idrogeologico della conoide, termini in uscita



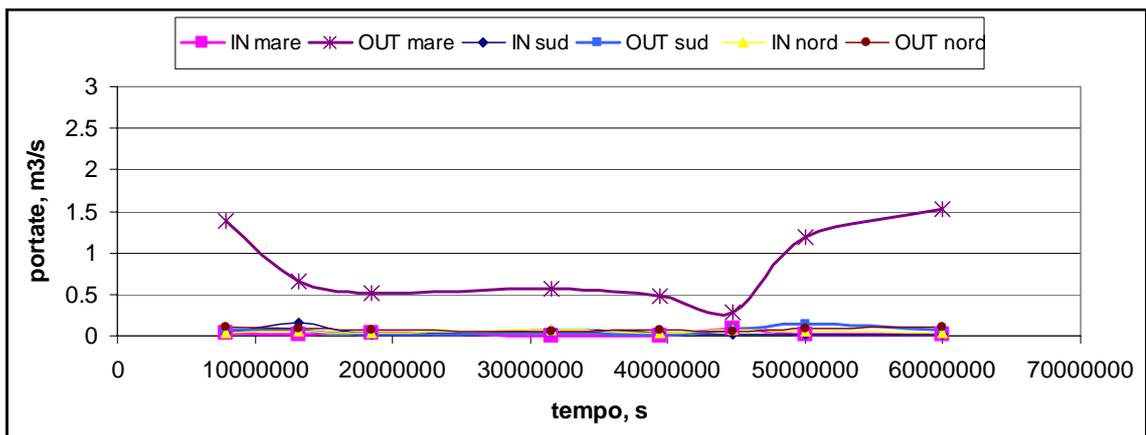
Dall'analisi del bilancio complessivo della conoide si evidenzia che l'immagazzinamento di acqua all'interno del sistema subisce la dinamica prelievi/ricarica rispecchiandone le variazioni stagionali. In particolare in corrispondenza dei periodi estivi (T2 e T6) caratterizzati dai maggior prelievo si assiste ad una uscita di acqua da sistema anche a spese dell'immagazzinamento, viceversa nei periodi di maggiore ricarica zenitale si assiste ad un recupero di acqua all'interno dell'immagazzinamento. Tale segnale è particolarmente evidente negli ultimi due periodi (T7 e T8) nei quali si assiste ad un particolare aumento della ricarica da pioggia tale da provocare una uscita di acqua dal sistema nella direzione di valle.

Figura 2-67: bilancio idrogeologico della conoide flussi netti (ingressi-uscite)



Nella successiva Figura 2-68 viene invece riportato il dettaglio dei contributi laterali (ingressi e uscite) differenziando la zona a mare dal lato Nord e dal lato Sud. Tale figura evidenzia la marginalità degli afflussi e deflussi laterali (lato nord e lato sud) rispetto al deflusso verso valle in direzione mare.

Figura 2-68: bilancio idrogeologico della conoide, ingressi e uscite dai bordi



Nella Tabella 2-5 viene riportato, a livello di sintesi, il bilancio idrogeologico dell'intera conoide con i valori espressi in milioni di  $m^3$  ed aggregati per ciascuno dei due anni di tempo in cui è stata condotta la taratura del modello. Il primo anno corrisponde ai primi 4 stress period (T1-T4), il secondo anno (in realtà solo 11 mesi) ai rimanenti 4 stress period (T5-T8). In particolare il valore di ricarica totale è stato ripartito nei due contributi che lo compongono (pioggia e fiume).

Tabella 2-5: bilancio idrogeologico della conoide (Mm<sup>3</sup>)

<b>Primo anno di simulazione (aprile 2001-marzo 2002, 12 mesi)</b>			
	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Limiti a carico imposto	4.5	30.2	-25.7
<i>Ricarica da pioggia</i>	17.6		
<i>Ricarica da fiume</i>	19.5		
Ricarica Totale (pioggia e fiume)	37.1		37.1
Immagazzinamento	29.7	12.0	17.7
Prelievi		29.1	-29.1
<b>Totale</b>	<b>71.3</b>	<b>71.3</b>	<b>0.0</b>
<b>Secondo anno di simulazione (aprile 2002-febbraio 2003, 11 mesi)</b>			
	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Limiti a carico imposto	2.7	34.2	-31.5
<i>Ricarica da pioggia</i>	46.0		
<i>Ricarica da fiume</i>	18.0		
Ricarica (pioggia e fiume)	64.0		64.0
Immagazzinamento	9.7	14.9	-5.2
Prelievi		27.3	-27.3
<b>Totale</b>	<b>76.4</b>	<b>76.4</b>	<b>0.0</b>
<b>Intero periodo simulazione (aprile 2001-febbraio 2003, 23 mesi)</b>			
	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Limiti a carico imposto	7.2	64.4	-57.2
<i>Ricarica da pioggia</i>	63.6		
<i>Ricarica da fiume</i>	37.5		
Ricarica (pioggia e fiume)	101.1		101.1
Immagazzinamento	39.4	27.0	12.4
Prelievi		56.3	-56.3
<b>Totale</b>	<b>147.7</b>	<b>147.7</b>	<b>0.0</b>

Al fine di una maggiore comprensione delle dinamiche interne alla conoide è stato eseguito un approfondimento relativamente al bilancio idrogeologico per sottoporzioni della conoide stessa. In particolare la conoide è stata suddivisa nei singoli complessi acquiferi riconosciuti al suo interno (A0, A1, A2, A3-A4 e B) e modellati con una ulteriore partizione del complesso più superficiale differenziando la zona apicale (apice) dalla zona più a valle (A0).

Il primo risultato che ne è conseguito è stata la possibile ripartizione dei prelievi (Figura 2-69 e Figura 2-70) attribuiti al modello di calcolo che evidenzia nei complessi acquiferi A1 ed A2 le porzioni di conidi maggiormente sfruttate con percentuale variabile dall'80 al 90 % del prelievo complessivo.

Figura 2-69: ripartizione dei prelievi nei complessi acquiferi

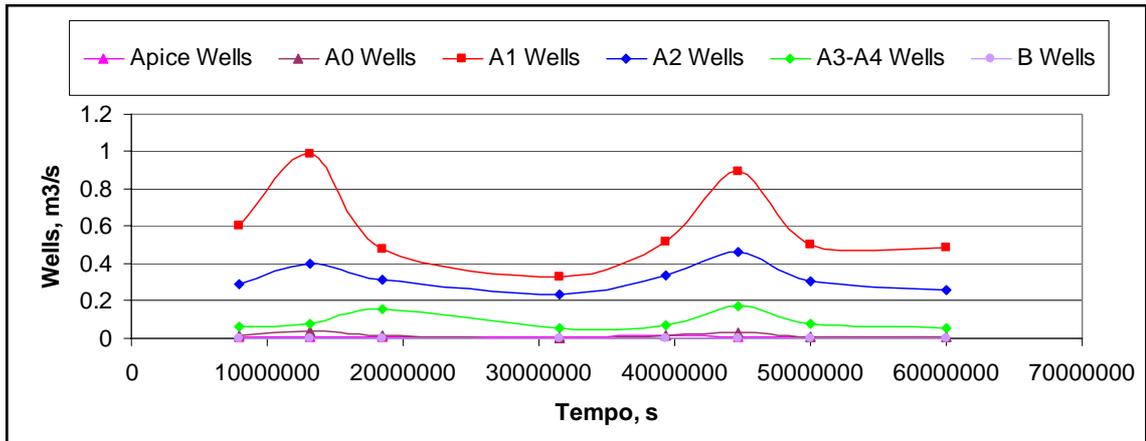
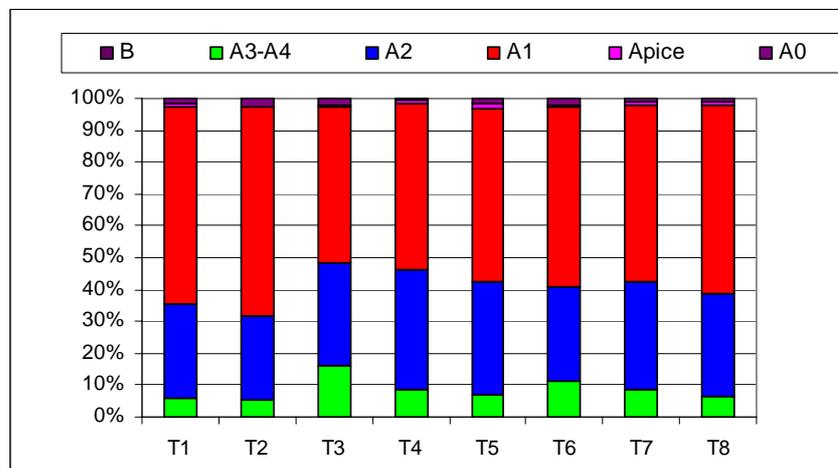


Figura 2-70: distribuzione percentuale dei prelievi nei complessi acquiferi



Nelle figure che seguono vengono riportati gli andamenti dei bilanci negli otto stress period sia in forma tabellare sia in forma grafica. L'analisi consente di individuare sia l'incidenza delle voci di bilancio complessivo dell'intera conoide all'interno delle singole zone, sia i termini di scambio tra le stesse. Da una analisi risultano di interesse i seguenti elementi:

- il sistema dei prelievi incide principalmente sui complessi acquiferi A1 ed A2 (80-90% del totale) ed in misura minore nei complessi (A3-A4);
- la ricarica da pioggia e da fiume avviene nella parte sommitale del sistema in corrispondenza del complessi acquiferi A0, A1 e nella parte apicale della conoide
- si assiste ad un deflusso verso valle (direzione mare) al quale contribuiscono principalmente il complesso acquifero A1, A0 e in parte anche il complesso acquifero A2; Tale deflusso è influenzato dal sistema dei prelievi variabile da zona a zona e da istante ad istante (a prelievi maggiori corrispondono deflussi a valle minori);
- i complessi acquiferi A3-A4 e B non contribuiscono al deflusso di acqua verso valle ma al contrario evidenziano un seppur piccolo segnale di inversione del

flusso nei periodi T3 e T6 in corrispondenza dei picchi di prelievo in tali complessi;

- l'immagazzinamento di acqua nel sistema subisce la dinamica dei prelievi nei complessi acquiferi dove questi insistono cedendo acqua (A0, A1 ed A2) e la dinamica della ricarica zenitale dove essa effettivamente avviene (A0, A1 e apice conoide).

L'analisi degli scambi di fluido tra le diverse zone confermano la dinamica generale del flusso all'interno dell'intera conoide: i complessi acquiferi più profondi rimangono praticamente isolati dal sistema di circolazione principale dei complessi acquiferi sovrastanti. Unica eccezione sono i prelievi di acque attribuiti al complesso acquifero A3-A4 con picchi di portata pari a 0.16 – 0.18 m<sup>3</sup>/s nei periodi T3 e T6 e localizzati in parte nella zona ancora indifferenziata della conoide ed in parte nella zona vicino a Bellaria (a nord). Tali prelievi sono compensati in parte (prevalentemente i primi) da un richiamo di acqua dalla zona superiore (A2) ed in parte (prevalentemente i secondi) da una uscita di acqua a spese dell'immagazzinamento.

L'apice della conoide riceve acqua per ricarica zenitale (pioggia) e ne trasferisce parte verso valle (A0) secondo un segnale abbastanza regolare compensando le fluttuazioni del sistema prelievi/ricarica stagionale.

Il complesso acquifero A1 ed il complesso acquifero A2, dove insistono i maggiori prelievi sono sedi delle principali dinamiche derivanti sia dalla sollecitazione di tipo antropico (estrazione da pozzo e variazione dell'immagazzinamento) sia dalla naturale componente di deflusso verso valle influenzata anch'essa dalla dinamica degli emungimenti.

Figura 2-71: water budget apice conoide, portate in ingresso (a), in uscita (b) e flussi netti (c)

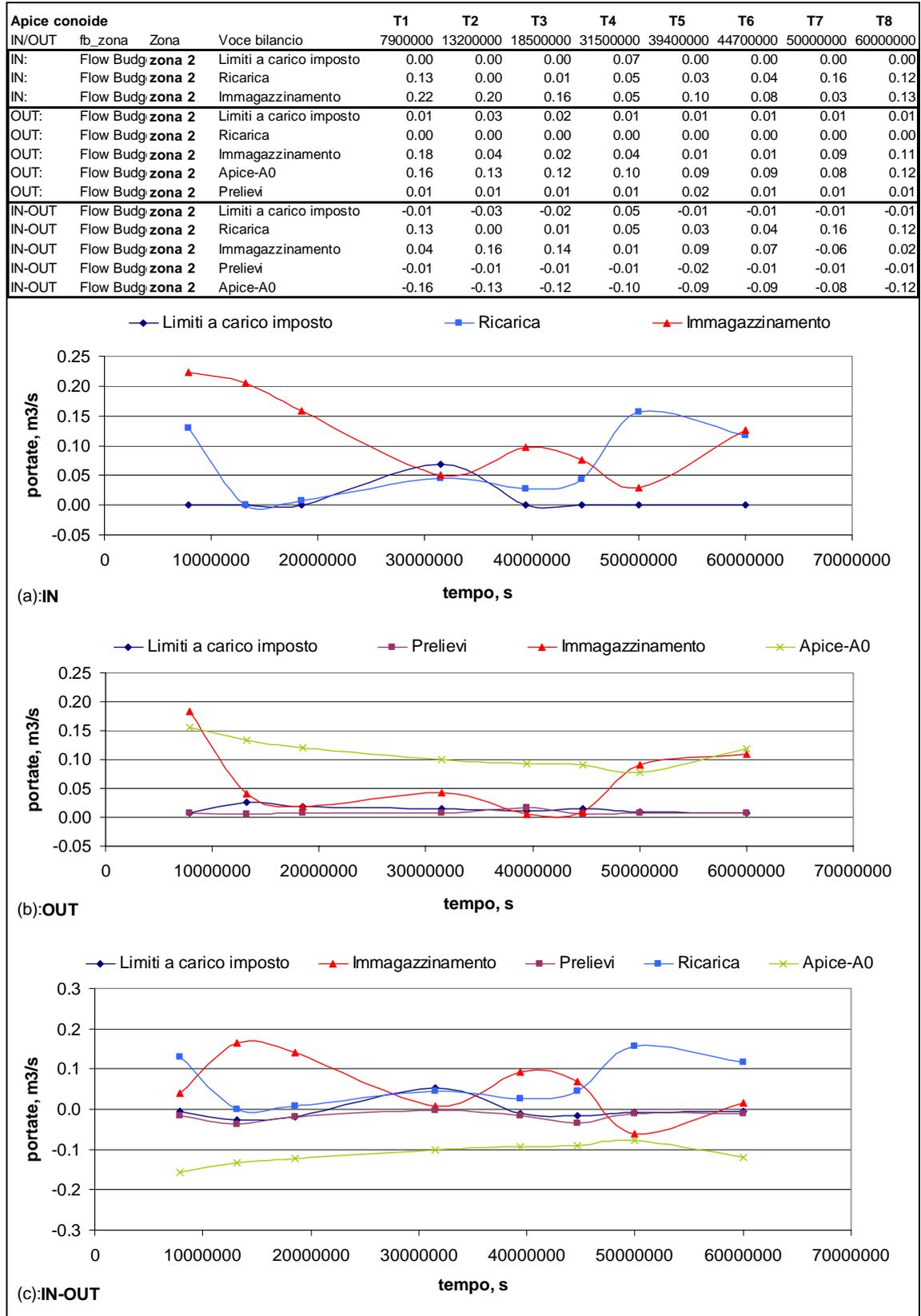
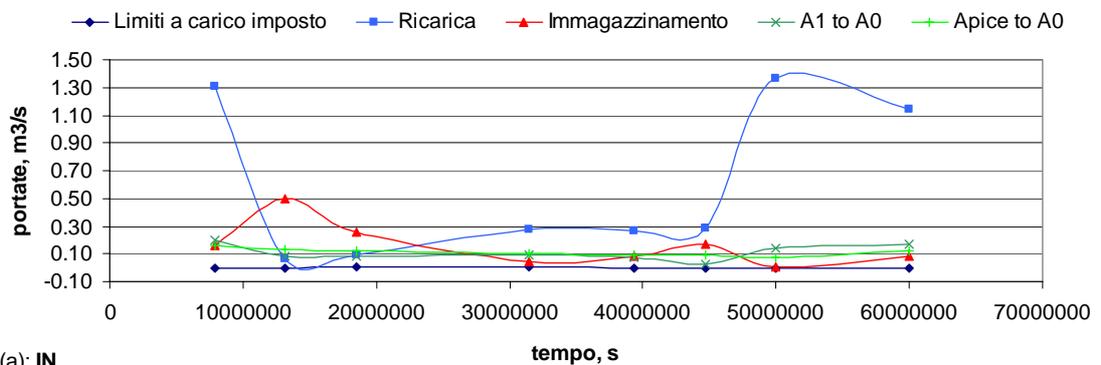
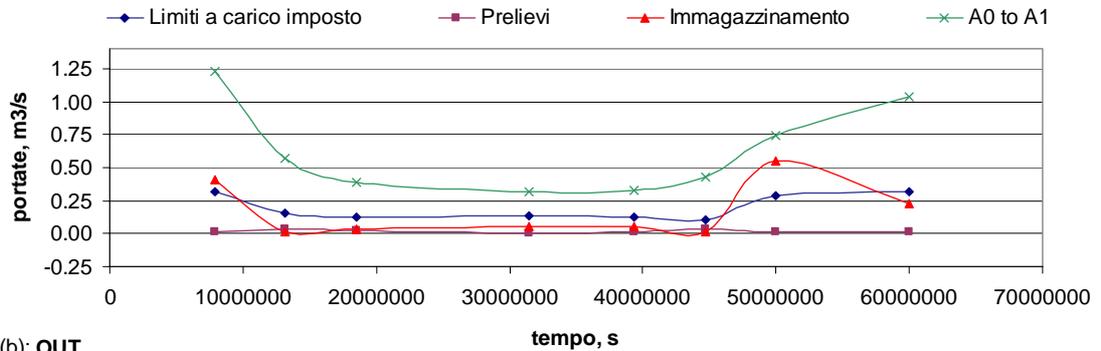


Figura 2-72: water budget A0, portate in ingresso (a), in uscita (b) e flussi netti (c)

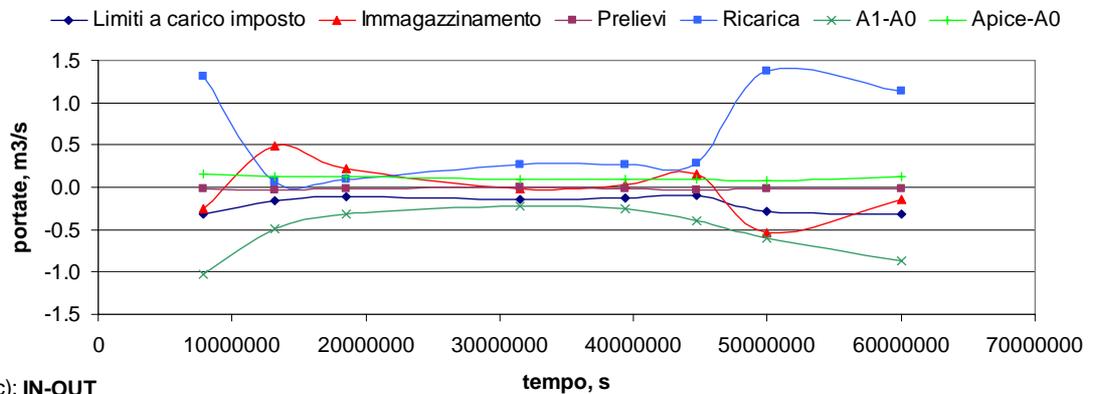
Complesso acquifero A0				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
IN/OUT	fb_zona	Zona	Voce bilancio	79000000	132000000	185000000	315000000	394000000	447000000	500000000	600000000
IN:	Flow Budg	zona 5	Limiti a carico imposto	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IN:	Flow Budg	zona 5	Ricarica	1.31	0.06	0.09	0.27	0.27	0.29	1.37	1.14
IN:	Flow Budg	zona 5	Immagazzinamento	0.16	0.49	0.26	0.05	0.09	0.17	0.00	0.08
IN:	Flow Budg	zona 5	A1 to A0	0.20	0.09	0.08	0.09	0.07	0.03	0.14	0.17
IN:	Flow Budg	zona 5	Apice to A0	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	0.12
OUT:	Flow Budg	zona 5	Limiti a carico imposto	0.32	0.16	0.12	0.14	0.13	0.10	0.29	0.31
OUT:	Flow Budg	zona 5	Ricarica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT:	Flow Budg	zona 5	Immagazzinamento	0.41	0.01	0.03	0.06	0.05	0.01	0.55	0.23
OUT:	Flow Budg	zona 5	Prelievi	0.02	0.04	0.02	0.00	0.02	0.04	0.01	0.01
OUT:	Flow Budg	zona 5	A0 to A1	1.23	0.57	0.39	0.31	0.32	0.43	0.74	1.04
IN-OUT	Flow Budg	zona 5	Limiti a carico imposto	-0.32	-0.16	-0.11	-0.14	-0.13	-0.10	-0.29	-0.31
IN-OUT	Flow Budg	zona 5	Ricarica	1.31	0.06	0.09	0.27	0.27	0.29	1.37	1.14
IN-OUT	Flow Budg	zona 5	Immagazzinamento	-0.25	0.48	0.23	-0.01	0.04	0.16	-0.54	-0.15
IN-OUT	Flow Budg	zona 5	Prelievi	-0.02	-0.04	-0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.01	-0.01
IN-OUT	Flow Budg	zona 5	A1-A0	-1.03	-0.48	-0.31	-0.23	-0.25	-0.40	-0.60	-0.87
IN-OUT	Flow Budg	zona 5	Apice-A0	0.16	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.08	0.12



(a): IN



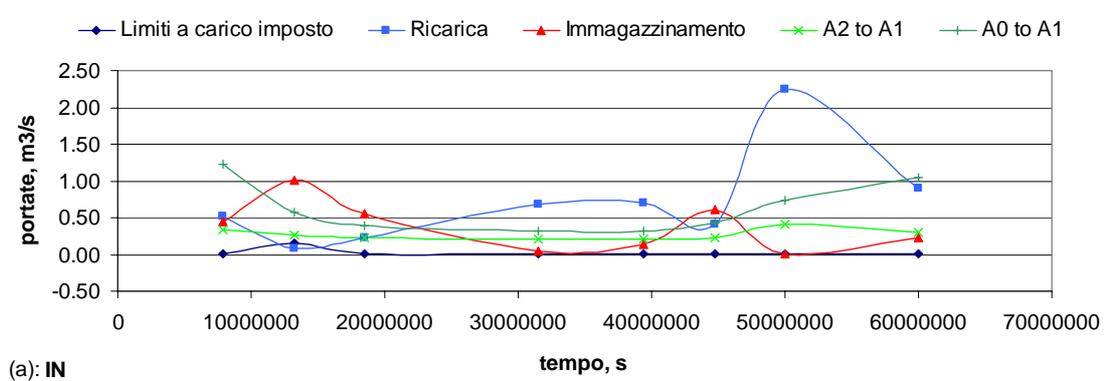
(b): OUT



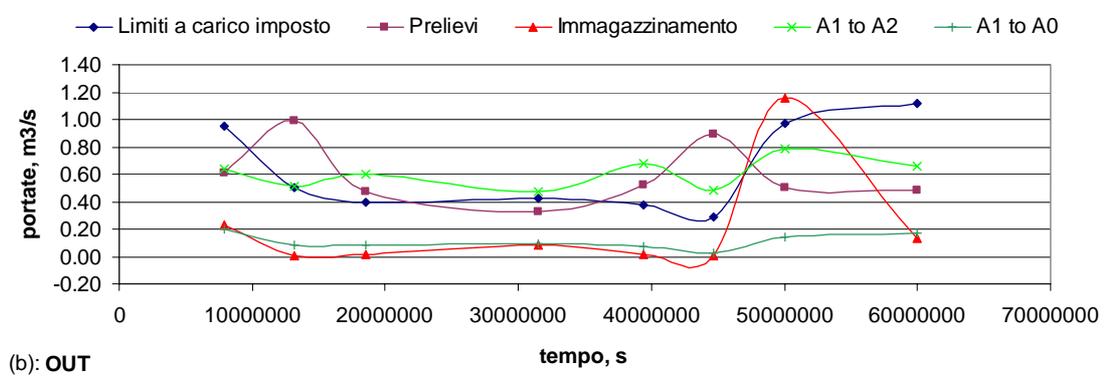
(c): IN-OUT

Figura 2-73: water budget A1, portate in ingresso (a), in uscita (b) e flussi netti (c)

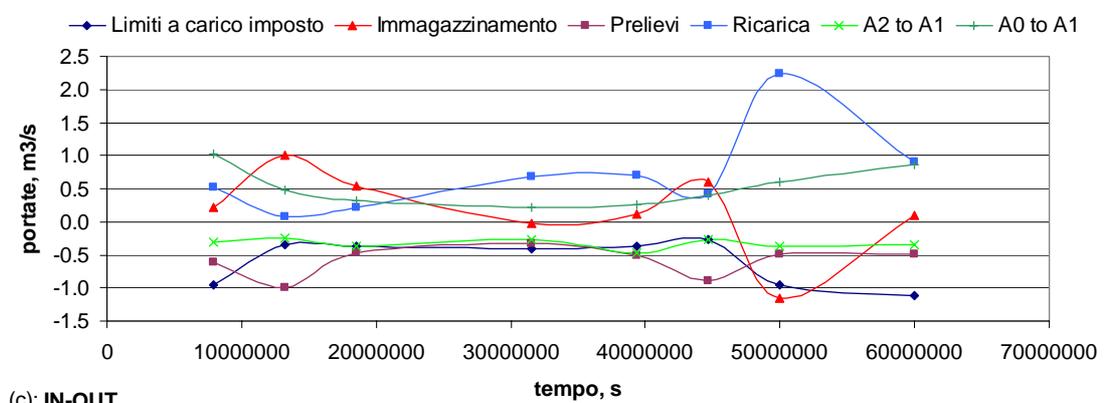
Complesso acquifero A1				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
IN/OUT	fb_zona	Zona	Voce bilancio	79000000	132000000	185000000	315000000	394000000	447000000	500000000	600000000
IN:	Flow Budg zona 10	Limiti a carico imposto		0.01	0.16	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
IN:	Flow Budg zona 10	Ricarica		0.52	0.08	0.23	0.69	0.70	0.41	2.24	0.90
IN:	Flow Budg zona 10	Immagazzinamento		0.44	1.01	0.55	0.05	0.13	0.61	0.00	0.23
IN:	Flow Budg zona 10	A2 to A1		0.34	0.26	0.23	0.21	0.20	0.22	0.41	0.31
IN:	Flow Budg zona 10	A0 to A1		1.23	0.57	0.39	0.31	0.32	0.43	0.74	1.04
OUT:	Flow Budg zona 10	Limiti a carico imposto		0.95	0.50	0.39	0.42	0.38	0.28	0.97	1.12
OUT:	Flow Budg zona 10	Immagazzinamento		0.23	0.01	0.01	0.08	0.01	0.00	1.15	0.13
OUT:	Flow Budg zona 10	A1 to A2		0.64	0.51	0.60	0.48	0.68	0.48	0.78	0.66
OUT:	Flow Budg zona 10	A1 to A0		0.20	0.09	0.08	0.09	0.07	0.03	0.14	0.17
OUT:	Flow Budg zona 10	Prelievi		0.61	0.99	0.47	0.33	0.52	0.89	0.50	0.49
IN-OUT	Flow Budg zona 10	Limiti a carico imposto		-0.95	-0.34	-0.38	-0.41	-0.36	-0.28	-0.96	-1.11
IN-OUT	Flow Budg zona 10	Ricarica		0.52	0.08	0.23	0.69	0.70	0.41	2.24	0.90
IN-OUT	Flow Budg zona 10	Immagazzinamento		0.21	1.00	0.54	-0.03	0.12	0.60	-1.15	0.10
IN-OUT	Flow Budg zona 10	Prelievi		-0.61	-0.99	-0.47	-0.33	-0.52	-0.89	-0.50	-0.49
IN-OUT	Flow Budg zona 10	A2 to A1		-0.30	-0.25	-0.38	-0.27	-0.48	-0.26	-0.37	-0.35
IN-OUT	Flow Budg zona 10	A0 to A1		1.03	0.48	0.31	0.23	0.25	0.40	0.60	0.87



(a): IN



(b): OUT



(c): IN-OUT

Figura 2-74: water budget A2, portate in ingresso (a), in uscita (b) e flussi netti (c)

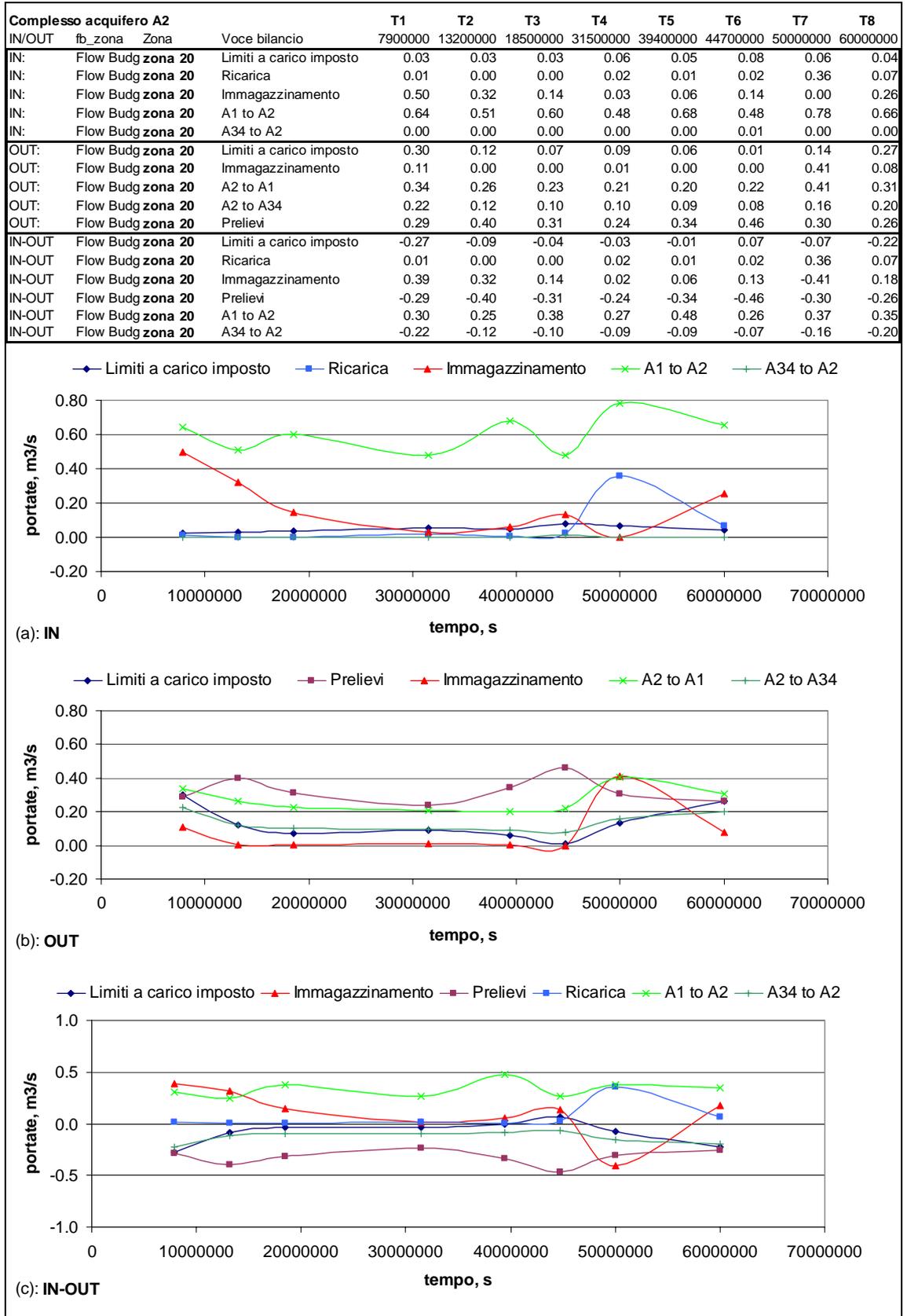
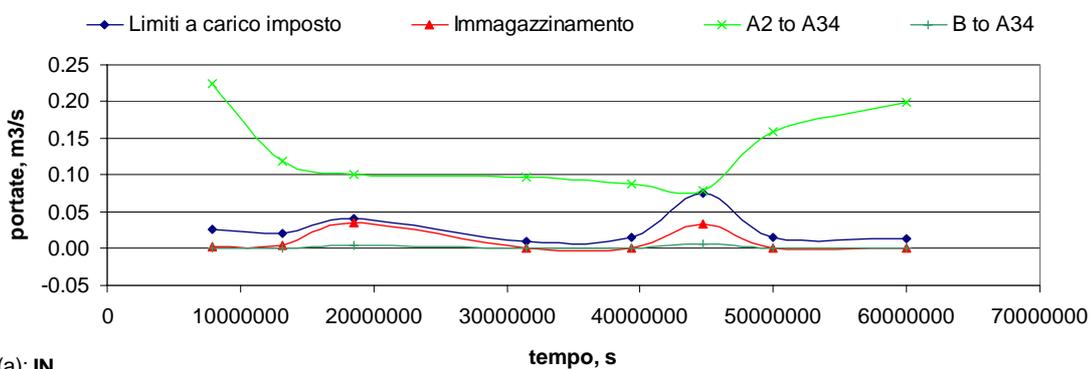
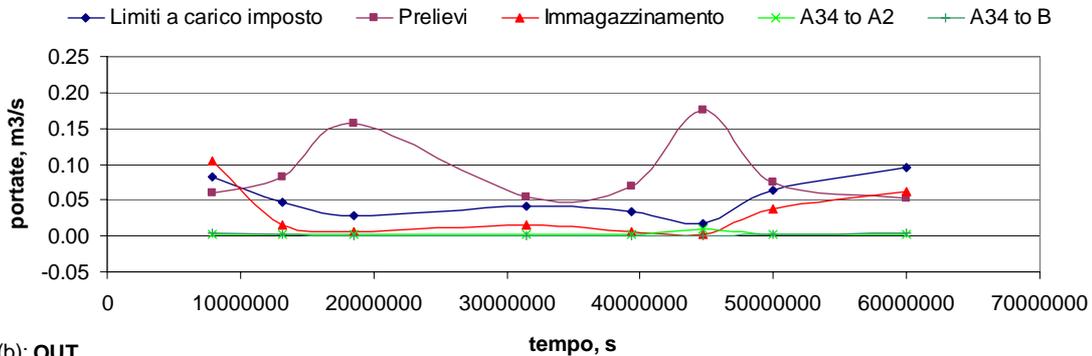


Figura 2-75: water budget A3-A4, portate in ingresso (a), in uscita (b) e flussi netti (c)

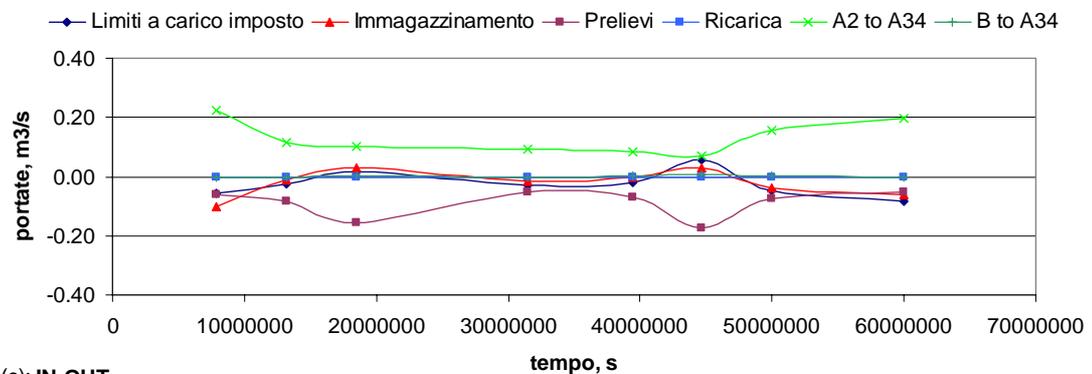
Complesso acquifero A3-A4			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
IN/OUT	fb_zona	Zona	Voce bilancio	79000000	132000000	185000000	315000000	394000000	447000000	500000000	600000000
IN:	Flow Budg zona 30	Limiti a carico imposto	0.03	0.02	0.04	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.01
IN:	Flow Budg zona 30	Ricarica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IN:	Flow Budg zona 30	Immagazzinamento	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
IN:	Flow Budg zona 30	A2 to A34	0.22	0.12	0.10	0.10	0.09	0.08	0.16	0.20	0.20
IN:	Flow Budg zona 30	B to A34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
OUT:	Flow Budg zona 30	Limiti a carico imposto	0.08	0.05	0.03	0.04	0.03	0.02	0.06	0.10	0.10
OUT:	Flow Budg zona 30	Immagazzinamento	0.10	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.04	0.06	0.06
OUT:	Flow Budg zona 30	A34 to A2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
OUT:	Flow Budg zona 30	A34 to B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT:	Flow Budg zona 30	Prelievi	0.06	0.08	0.16	0.05	0.07	0.18	0.08	0.05	0.05
IN-OUT	Flow Budg zona 30	Limiti a carico imposto	-0.06	-0.03	0.01	-0.03	-0.02	0.06	-0.05	-0.08	-0.08
IN-OUT	Flow Budg zona 30	Ricarica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IN-OUT	Flow Budg zona 30	Immagazzinamento	-0.10	-0.01	0.03	-0.02	0.00	0.03	-0.04	-0.06	-0.06
IN-OUT	Flow Budg zona 30	Prelievi	-0.06	-0.08	-0.16	-0.05	-0.07	-0.18	-0.08	-0.05	-0.05
IN-OUT	Flow Budg zona 30	A2 to A34	0.22	0.12	0.10	0.09	0.09	0.07	0.16	0.20	0.20
IN-OUT	Flow Budg zona 30	B to A34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00



(a): IN

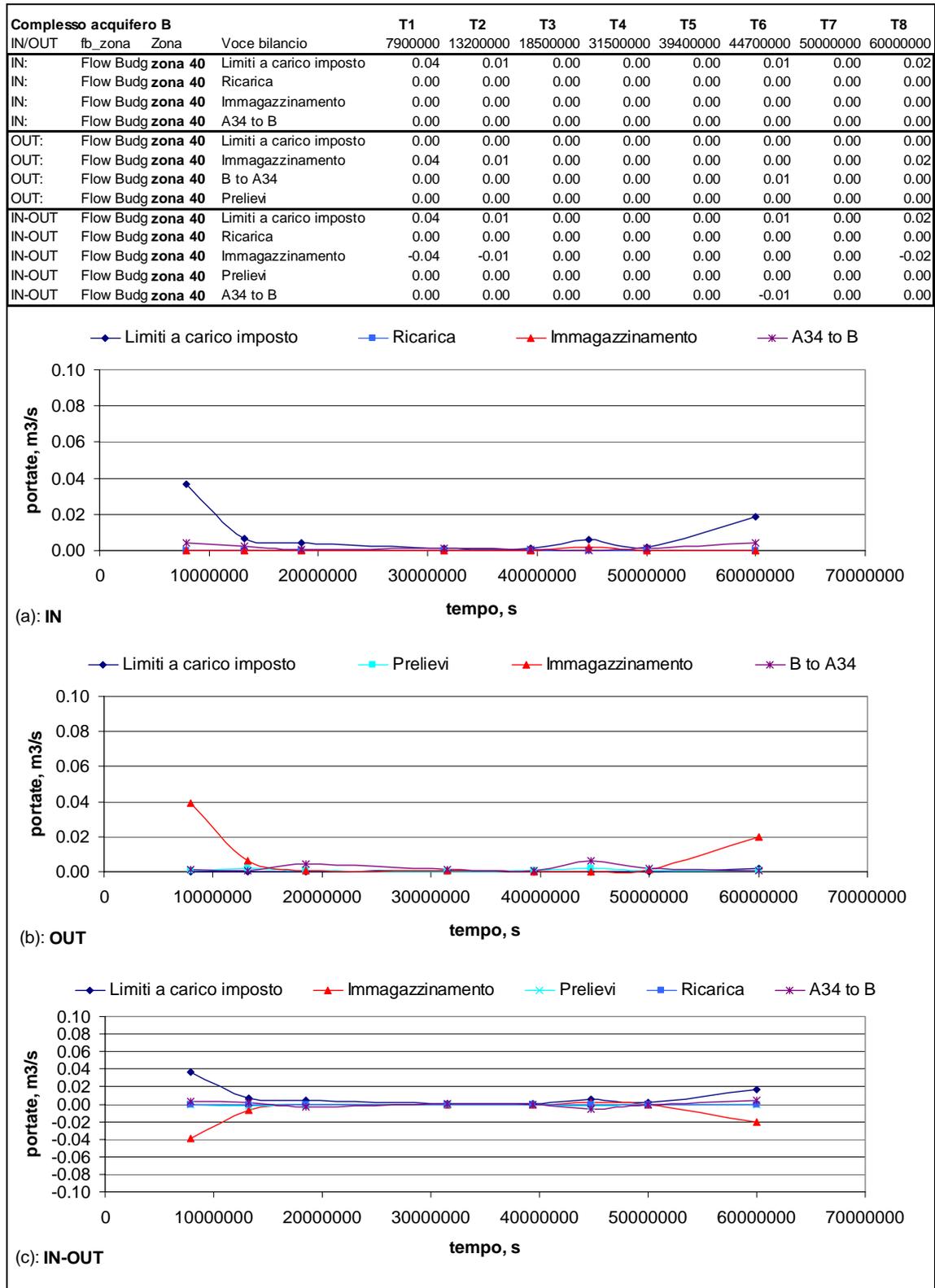


(b): OUT



(c): IN-OUT

Figura 2-76: water budget B, portate in ingresso (a), in uscita (b) e flussi netti (c)



## 2.4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI TRASPORTO DI NITRATI

### 2.4.1 Analisi della distribuzione di nitrati nella conoide

Per l'analisi della distribuzione dei nitrati all'interno della conoide del Fiume Marecchia si è fatto riferimento alle seguenti fonti informative:

1. dati relativi al lavoro [3] (Idroser S.p.A., novembre 1990. *Determinazione delle caratteristiche quali-quantitative delle risorse idriche sotterranee della conoide del fiume Marecchia*. Rapporto Tecnico.;
2. nuove analisi 2005 realizzate ad hoc per il Progetto e dati storici ex-Amir (dal 1975 al 2004) raccolti e sistematizzati all'interno dell'attività C6 del Progetto Complessivo condotta dallo Studio SGAI di Rimini per conto di Hera S.p.A;
3. dati della Rete Regionale di Monitoraggio delle acque sotterranee: dal 1987 al 2004;
4. dati relativi al Progetto [7] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) *Progetto Operativo Monitoraggio Acque: indagine di idrologia isotopica*. Rapporto tecnico finale. Bologna.) all'interno del quale sono state effettuate due campagne di misura a scala regionale (luglio 2001 e marzo 2002) con 34 pozzi ricadenti nel territorio della provincia di Rimini ed alcuni all'interno dell'area di studio;
5. analisi chimiche condotte ad hoc per il presente progetto su alcuni punti nella parte apicale della conoide dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli;
6. dati relativi alle analisi dei dati qualitativi antecedenti l'istituzione della Rete di Monitoraggio presenti nei referti analitici degli ex PMP (dagli anni '50 fino al 1987) di cui al lavoro [8] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, (1997). *Quadro conoscitivo a livello comunale delle acque sotterranee nei primi 100 metri di profondità*. In Supporto per la predisposizione di criteri tecnici e procedurali ai fini di una metodologia omogenea alla istruttoria dei prelievi idrici. Rapporto tecnico. Bologna.)

Gli obiettivi dell'analisi sono principalmente i seguenti:

- a) costruire una buona distribuzione delle concentrazioni di nitrati all'interno della conoide da utilizzare come punto di partenza per le simulazioni in transitorio del modello di trasporto;
- b) costruire un set di dati da porre come controllo per la taratura del modello di trasporto;
- c) effettuare una analisi preliminare dei dati per individuare le zone della conoide maggiormente interessate dalla presenza dei nitrati ed ipotizzare i principali meccanismi relativi alla sua dinamica;
- d) individuare il possibile ruolo dello strato non saturo di spessore anche di alcuni metri che potrebbe essere sede di accumuli o rilasci in funzione delle escursioni piezometriche stagionali;
- e) valutare il contributo della parte apicale della conoide, a monte di Santarcangelo, che non è coperta dai dati della Rete di monitoraggio

In Tabella 2-6 è riportata una descrizione sintetica dei dati appartenenti alle prime cinque fonti informative sopra elencate dove le fonti 2, 3 e 4 sono analizzate nel loro insieme (85 punti) restringendo l'arco temporale al periodo di simulazione del modello

(2001-2003). La fonte 1, benché datata ha comunque permesso di effettuare alcune valutazioni a carattere puntuale sulla parte apicale della conoide in attesa delle misurazioni ad hoc poi effettuate nei primi mesi del 2006 su alcuni punti di misura. La fonte 6 contiene un gran numero di dati ma la mancanza della georeferenziazione dei punti di misura ha permesso solo delle valutazioni a scala comunale. Lo spunto più di interesse di questa fonte è sicuramente l'arco temporale che si spinge indietro nel tempo fino agli anni '50.

In Figura 2-77 sono riportati i dati "storici" a livello comunale per i comuni appartenenti alla conoide del Marecchia in sovrapposizione all'andamento medio provinciale, così da poter analizzare i principali andamenti delle serie storiche. Per una valutazione della significatività del dato viene anche il numero di analisi disponibili.

Da un primo sguardo d'insieme alla Provincia di Rimini, si può notare che dal 1958 al 1976 le concentrazioni medie di nitrati presenti nelle acque di falda si aggirano intorno ai 10 mg/l, mentre a partire dal 1977 fino al 1987 si assiste ad una veloce e sensibile crescita fino a valori medi di 20-30 mg/l, con un picco di 50 mg/L del 1981 anno caratterizzato da una particolare abbondanza di referti analitici.

Tabella 2-6: Analisi delle concentrazioni di nitrati nella conoide del Marecchia a partire dalle diverse fonti informative.

Periodo	Posizione	Min	Max	Media	n°dati	n°dati>50 mg/L	%dati>50mg/L	Media>50mg/L	Media<50mg/L
1990 (dati Idroser)	Porzione APICALE conoide Marecchia	4.2	229	<b>80.3</b>	37	25	67.6	<b>106.7</b>	<b>25.3</b>
	Porzione DISTALE conoide Marecchia	1.3	186	<b>45.4</b>	25	8	32.0	<b>86.7</b>	<b>26</b>
	Torriana	21	37	<b>29</b>	2	0	0.0	-	<b>29</b>
	Verrucchio	20	229	<b>107.1</b>	12	10	83.3	<b>123.6</b>	<b>24.4</b>
	Poggio Berni	24	120	<b>82</b>	4	3	75.0	<b>101.3</b>	<b>24</b>
	Santarcangelo	4.2	174	<b>60.8</b>	14	8	57.1	<b>90.1</b>	<b>21.6</b>
	Rimini_apice	10	128	<b>76.2</b>	6	4	66.7	<b>101.8</b>	<b>25</b>
	Rimini_distale	1.3	186	<b>46.8</b>	21	6	28.6	<b>98.2</b>	<b>26.2</b>
	Rimini	1.3	186	<b>53.3</b>	27	10	37.0	<b>99.6</b>	<b>26.1</b>
Bellaria	42	53	<b>48.6</b>	3	2	66.7	<b>51.9</b>	<b>42</b>	
2001-03	Porzione DISTALE conoide Marecchia	0.1	158	<b>27.7</b>	85	17	20.0	<b>77.6</b>	<b>15.2</b>
2006	Porzione APICALE conoide Marecchia	2.2	105	<b>50</b>	12	6	50	<b>85.4</b>	<b>14.6</b>

Si può inoltre vedere che i valori maggiori di concentrazione di nitrati (dai 15 ai 35 mg/l) si attestano entro profondità massime delle falde di 50-70 m, con i picchi più elevati entro i primi 20 m (Figura 2-78). Proprio tali profondità corrispondono anche alla fascia maggiormente indagata con un numero di campioni d'acqua analizzati di due o tre ordini di grandezza superiori rispetto ai dati disponibili per gli acquiferi più profondi.

Concentrando poi l'analisi ai dati disponibili sulla conoide del Marecchia l'intervallo dei valori di concentrazione dei nitrati registrati è molto ampio ed è variabile non solo da comune a comune, ma anche all'interno di sotto-porzioni degli stessi.

L'analisi dei dati storici mostra che la parte più distale della conoide presenta i valori di nitrati più contenuti, nei Comuni di Bellaria e di Rimini, con due serie storiche che si mantengono molto simili dal 1958 al 1975 con medie rispettivamente intorno ai 5 e 10 mg/l, poi dal 1976 al 1987 si assiste ad un aumento dei valori con massimi agli inizi degli anni '80 fino a circa 15 mg/l per Bellaria e 40 mg/l per Rimini (Figura 2-77).

Dai dati Idroser disponibili per il 1990 è stata ricavata per la porzione distale della conoide del Marecchia una concentrazione media di nitrati di circa 45 mg/l, superiore quindi ai dati storici, ma occorre tenere presente che il 70% dei dati disponibili ha valori inferiori ai 50 mg/L con una media di 26 mg/l, aumentata quindi dal restante 30% di dati con valori medi elevati intorno a 87 mg/l.

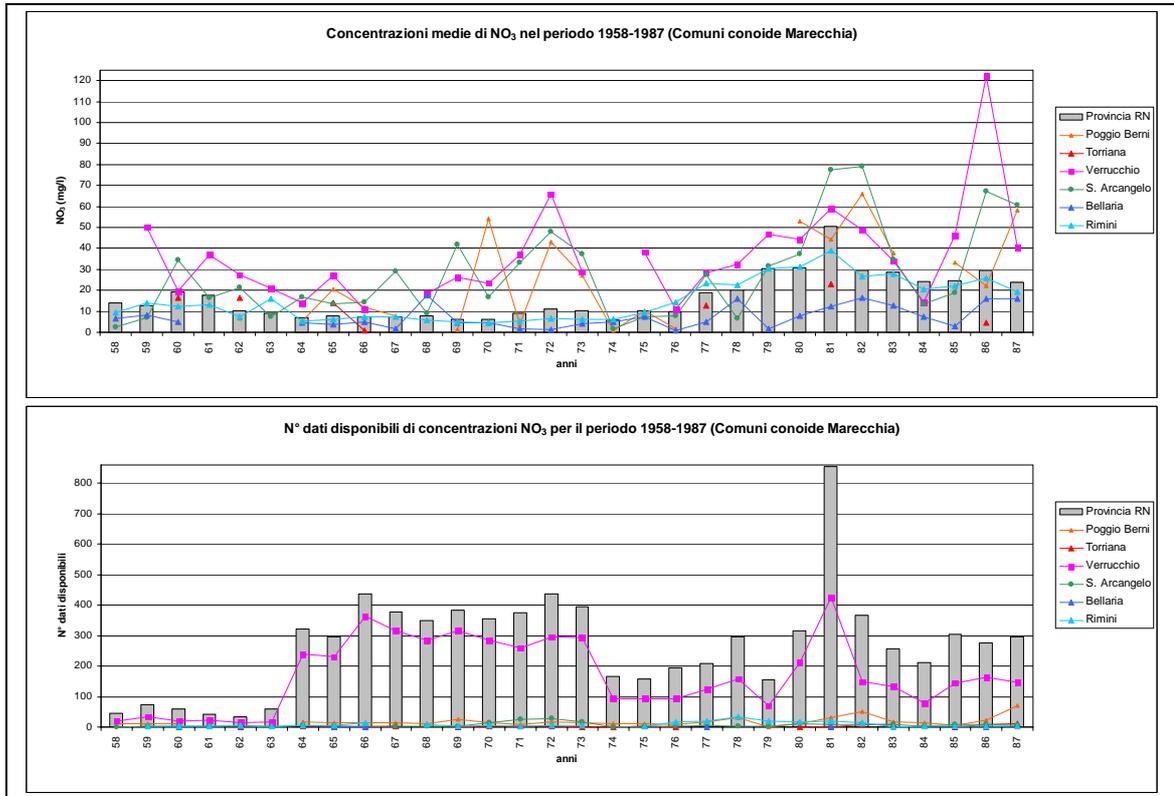
L'analisi delle rimanenti fonti per il periodo 2001-2003 di simulazione del modello di trasporto, mostra valori medi di concentrazione dei nitrati nella porzione distale della conoide intorno ai 28 mg/L, più bassi quindi rispetto a quelli del 1990 e più allineati con le serie storiche già descritte. Tale media è data da un 80% di campioni d'acqua con valori minori ai 50 mg/l, aventi una media intorno ai 15 mg/l e dal restante 20% con valori medi di circa 78 mg/l.

Per quanto riguarda la porzione apicale della conoide del Marecchia i valori medi di concentrazione dei nitrati risultano in generale sensibilmente più elevati rispetto alla parte distale. L'andamento dei valori medi annui registrati dal 1958 al 1987 nei Comuni della conoide appare marcatamente ondulatorio e variabile da un anno all'altro, anche se nel complesso esiste una buona correlazione dei dati relativi ai diversi Comuni ed in sintonia con l'andamento medio su base provinciale.

I Comuni, il cui territorio ricade in parte nella porzione apicale della conoide del Marecchia, con le maggiori concentrazioni di nitrati presenti nelle falde (1958-1990) sono in primo luogo Verrucchio, con valori compresi fra 10 e 120 mg/l, poi Santarcangelo e Poggio Berni, con valori compresi fra 5 e 80 mg/l, mentre Torriana ha concentrazioni medie molto più contenute intorno ai 30 mg/l.

Da uno sguardo d'insieme alle serie storiche dei dati disponibili, si può individuare una linea di tendenza via via in crescita dal 1958 al 1990, con i picchi più elevati registrati nei periodi: 1959-62, 1969-73, 1979-83 e 1986-87, pari rispettivamente a valori medi indicativi di: 30-50, 40-60, 50-70 e fino a 120 mg/l nel caso del Comune di Verrucchio.

Figura 2-77: concentrazioni medie di nitrati e numero di analisi nel periodo 1958-1987 per i comuni della conoide del Marecchia e per la Provincia di Rimini.



Dai dati Idroser del 1990 sono stati ricavati valori medi di concentrazione dei nitrati in crescita, intorno agli 80 mg/l, rispetto a quelli relativamente più contenuti del 1987 (circa 40-60 mg/l). Tale crescita risulta sicuramente non indifferente, in quanto quasi il 70% dei dati è rappresentato da valori maggiori di 50mg/l con media superiore ai 100 mg/l, mentre solo il restante 30% possiede una media di circa 25 mg/l.

Per la parte apicale della conoide non risultando coperta dalla rete di monitoraggio non risultavano disponibili analisi nell'arco temporale 2001-2003 del modello di simulazione. È stata quindi effettuata nella primavera del 2006 una campagna di monitoraggio (circa una dozzina di misure) che copre essenzialmente i Comuni di Verrucchio e Santarcangelo, nella quale sono stati registrati valori medi di concentrazione dei nitrati intorno ai 50 mg/l. La metà dei dati risulta superiore a quest'ultimo, con medie a loro volta pari a circa 85 mg/l, mentre la restante metà si attesta sui 15 mg/l.

Figura 2-78: concentrazioni medie di nitrati e numero di analisi per fasce di profondità (Provincia di Rimini, periodo 1958-1987)

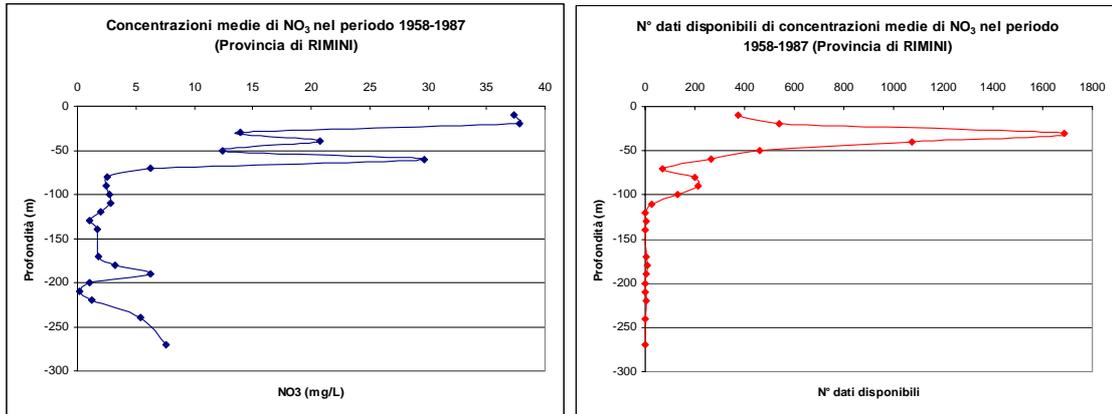
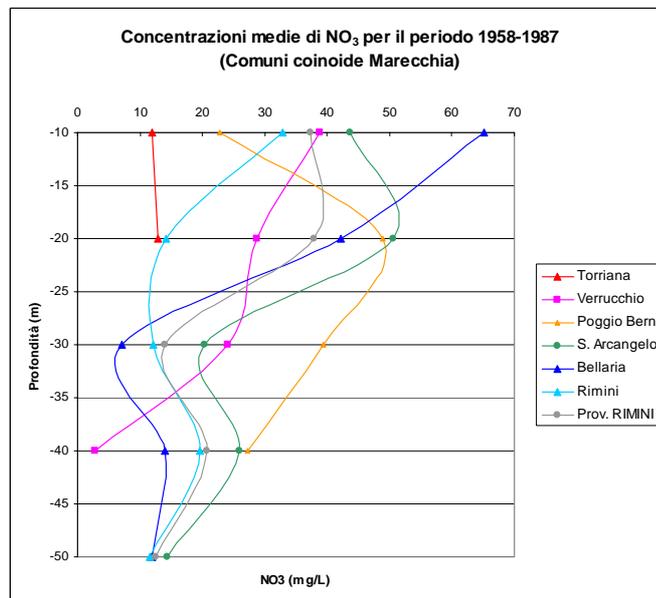


Figura 2-79: concentrazioni medie di nitrati per fasce di profondità (Comuni conoide Marecchia, periodo 1958-1987)



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

Come anticipato al precedente paragrafo 2.4.1 l'analisi della distribuzione dei nitrati ha come scopo la valutazione della distribuzione della concentrazione da inserire come condizione iniziale al sistema di simulazione. I dati disponibili nel periodo 2001-2003 sono stati suddivisi negli 8 istanti di tempo in cui è stata suddivisa la discretizzazione temporale (Figura 2-4) ed analogamente a quanto precedentemente descritto per il carico idraulico (paragrafo 2.2.2) è stata fatta l'analisi strutturale che ha portato alla definizione dei semivariogrammi sperimentali utilizzati nelle tre direzioni per la regionalizzazione dei dati.

Figura 2-80- Pozzi utilizzati per la stima della condizione iniziale di concentrazione di nitrati

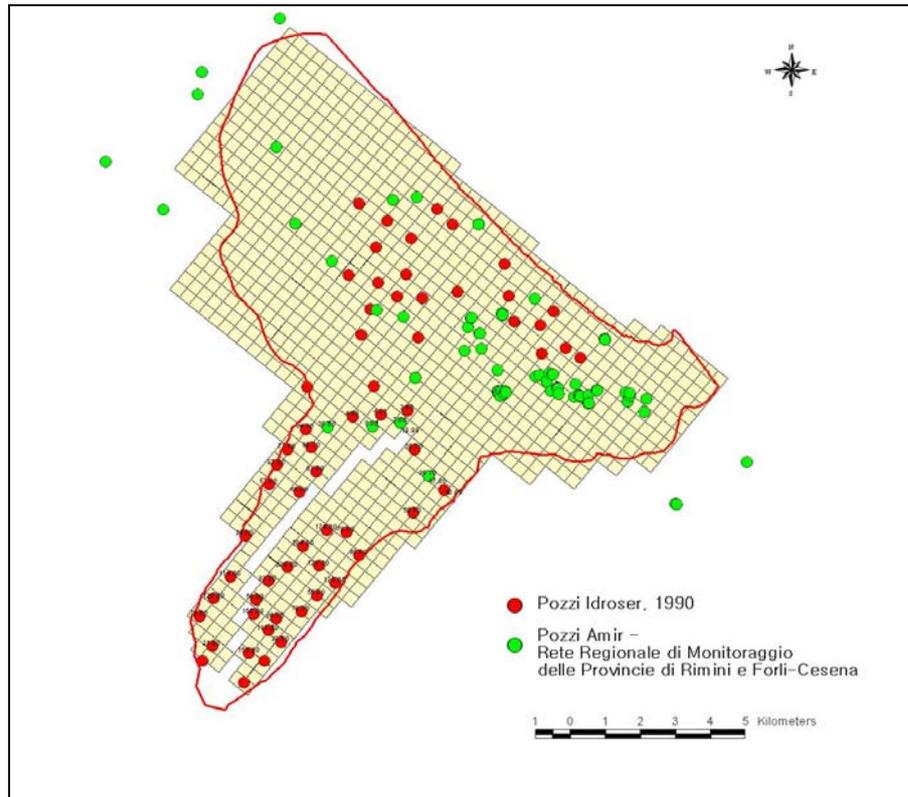
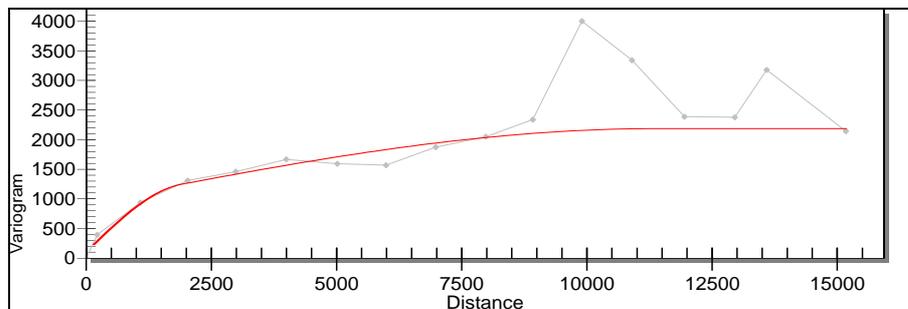


Figura 2-81: Semivariogramma sperimentale (grigio) e teorico (rosso) per l'asse X (distanze in metri, varianze in  $m^2$ )



Sono stati utilizzati i dati dei pozzi ex-AMIR, dei pozzi della rete regionale di monitoraggio e quelli dei pozzi della rete isotopica (paragrafo 2.4.1). Per colmare il vuoto di informazione nella parte apicale della conoide, sono stati utilizzati i dati tratti da [3] (Idroser S.p.A., novembre 1990. *Determinazione delle caratteristiche qualitative quantitative delle risorse idriche sotterranee della conoide del fiume Marecchia*. Rapporto Tecnico.). La distribuzione dei pozzi utilizzati è riportata in Figura 2-80. Analogamente a quanto esposto al paragrafo 2.2.2 per la stima della condizione iniziale ovvero del valore di concentrazione all'inizio della simulazione del modello, è stata effettuata un'analisi strutturale dei dati. Nelle figure che seguono sono riportati i sono

riportati i semivariogrammi sperimentali utilizzati nelle tre direzioni per la regionalizzazione dei dati.

Figura 2-82: Semivariogramma sperimentale (grigio) e teorico (rosso) per l'asse Y (distanze in metri, varianze in  $m^2$ )

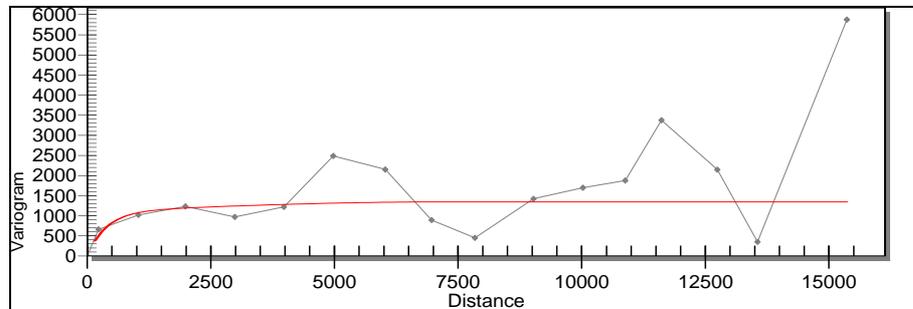
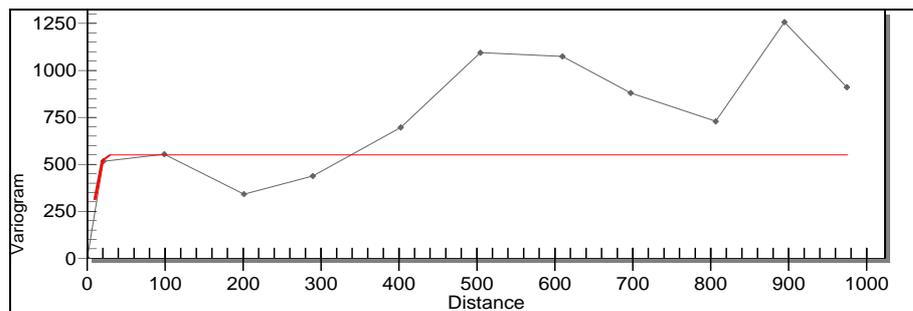


Figura 2-83: Semivariogramma sperimentale (grigio) e teorico (rosso) per l'asse Z (distanze in metri, varianze in  $m^2$ )



Le regionalizzazioni sono state eseguite con il metodo del kriging ordinario. Nelle immagini da Figura 2-84 a Figura 2-87, sono riportati i risultati dell'applicazione, basata sui modelli di variogramma precedenti. **I valori delle concentrazioni sono espresse in  $mg/m^3$  di nitrati.** L'assunzione del  $m^3$  come unità di volume deriva dalla necessaria consistenza delle unità di misura del sistema di calcolo che assume il metro come unità di misura delle lunghezze.

Le distribuzioni delle concentrazioni di nitrati risultanti dalla regionalizzazione dei dati è riportata nelle figure (da Figura 2-84 a Figura 2-87) attraverso la consueta lettura su di alcune sezioni e tagli orizzontali assunte come riferimento. Tale risultato, ottenuto dapprima regionalizzando una serie di osservazioni sperimentali di nitrati, è stato poi corretto manualmente per recuperare le maggiori discrepanze delle stime rispetto all'assetto fisico presumibilmente più ragionevole. Infatti, la regionalizzazione probabilistica di krigaggio ordinario non può tenere conto dell'assetto strutturale degli acquiferi, essendo basata esclusivamente sulle concentrazioni.

Il problema maggiore, tuttavia, è stato quello della selezione di un set di dati adeguato: infatti, le serie recenti disponibili coprono solo in parte l'area di lavoro e le regionalizzazioni di queste hanno dato risultati abbastanza scadenti. Per questo motivo, si è risolto di impiegare anche le informazioni dei monitoraggi precedenti di alcuni anni

il periodo usato per il modello, in modo da ottenere la maggior copertura territoriale possibile.

In questo modo si è ottenuta una distribuzione della concentrazione tendenzialmente conservativa, soprattutto nell'ipotesi che l'uso dei nitrati di agricoltura sia calato nel corso del tempo come conseguenza dell'applicazione di migliori tecniche agronomiche.

Figura 2-84: Concentrazione iniziale ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), layer 3

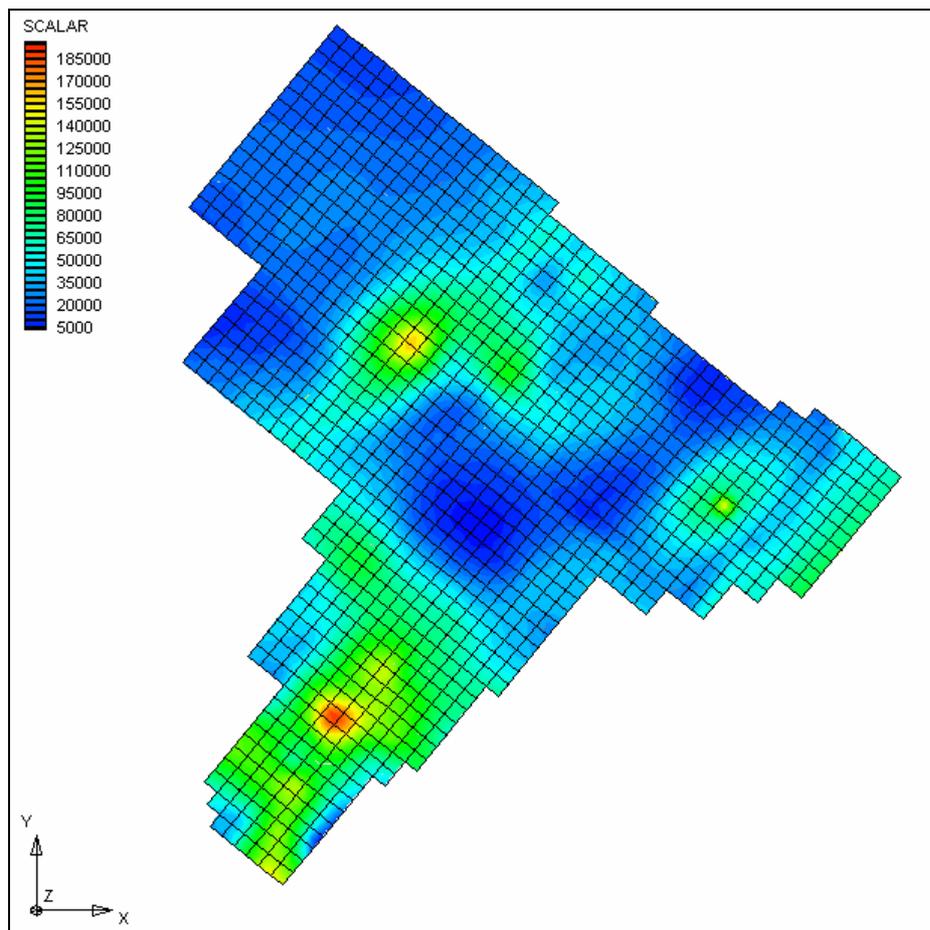


Figura 2-85: Concentrazione iniziale ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), sezione 20

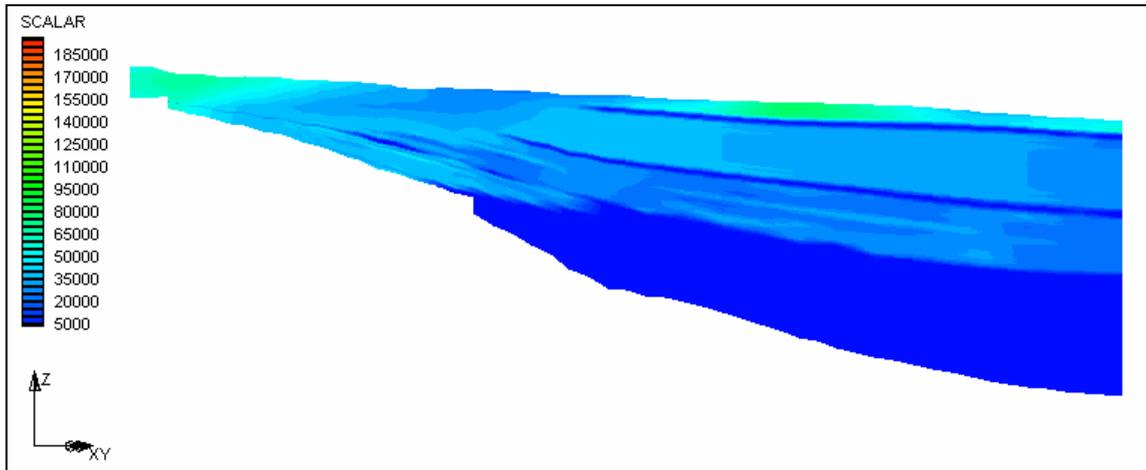


Figura 2-86: Concentrazione iniziale ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), layer 16

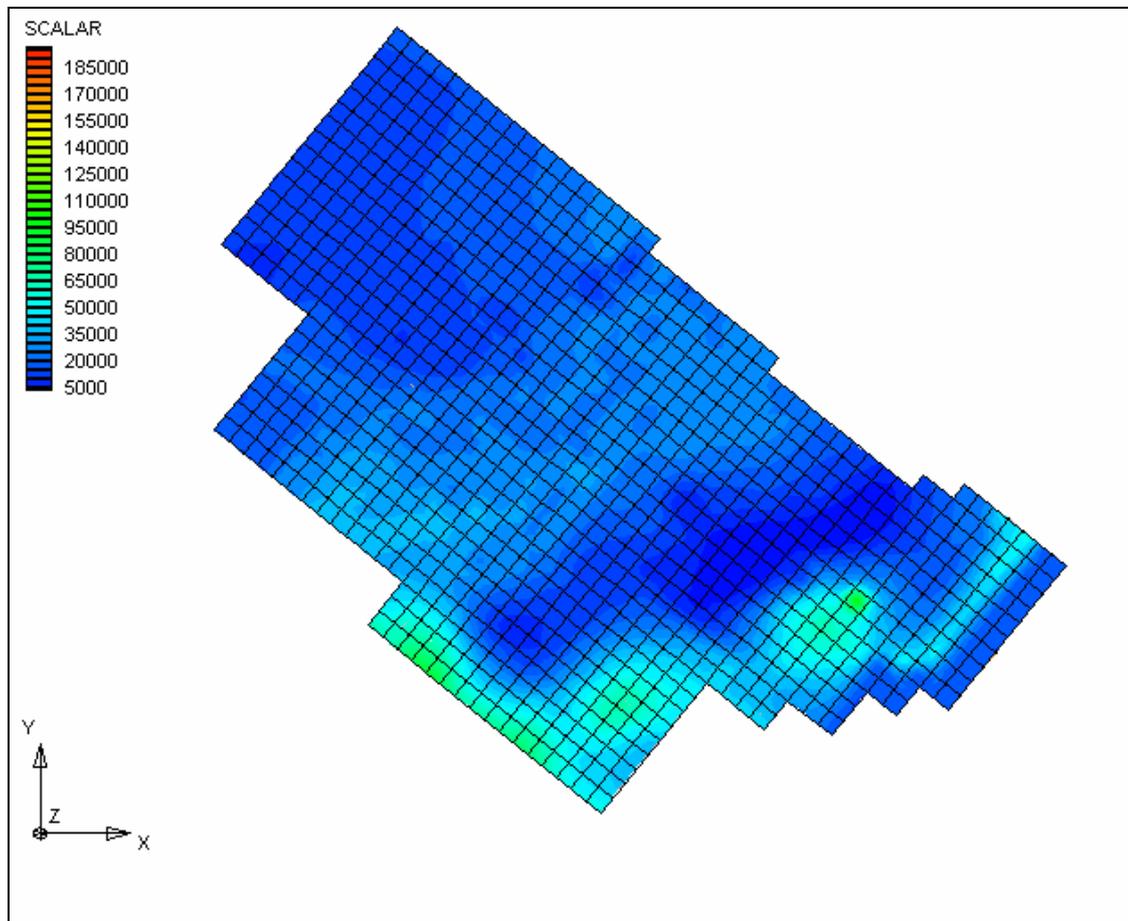
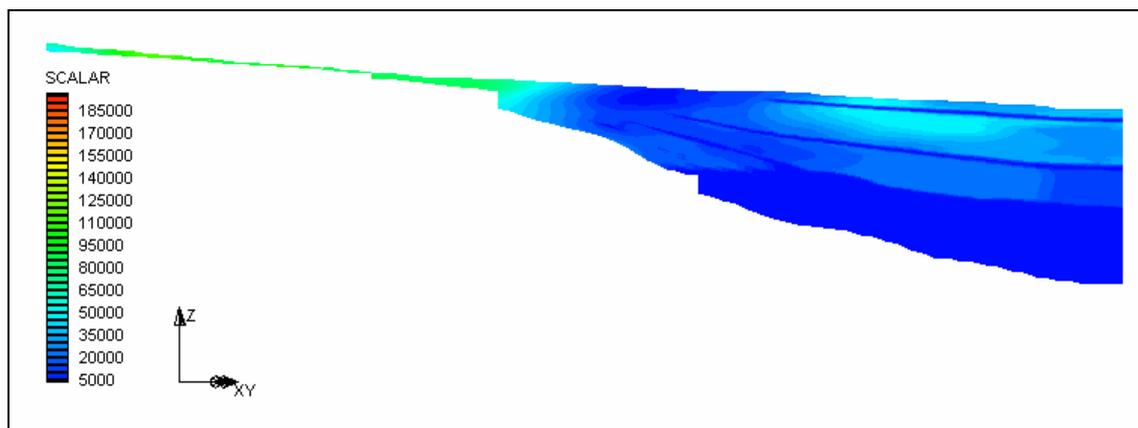


Figura 2-87: Concentrazione iniziale ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), sezione 26



Tale distribuzione è stata assunta come condizione iniziale per il primo istante della simulazione modellistica in transitorio.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno sono state assunte come segue:

- acqua in uscita attraverso i prelievi con concentrazione di nitrati pari a quella presente nel punto di estrazione;
- acqua in ingresso ed in uscita dai bordi del modello con concentrazione di nitrati pari a quella presente nella relativa cella di bordo.

#### 2.4.3 Definizione del termine sorgente (Ricarica zenitale)

Il modello di trasporto prevede che i nitrati in ingresso al tetto del sistema vengano espressi in termini di concentrazione ( $\text{mg}/\text{l}$  di nitrati). La stima di tale termine ha fatto riferimento alle seguenti tre principali fonti informative:

1. attività C9 del Progetto Complessivo riguardante la dinamica dell'azoto nei suoli;
2. attività C10 del Progetto Complessivo riguardante la valutazione dei carichi di azoto descritta al precedente paragrafo 1;
3. risultanze dell'attività di supporto al Piano di Tutela delle Acque ([11], Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003). *Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi e verifica ed aggiornamento del catasto degli scarichi*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività E. Rapporto tecnico. Bologna.)

Le valutazioni dei carichi di azoto apportati al suolo, sversati verso i corpi idrici superficiali o drenati verso le falde nonché i termini del bilancio di azoto vengono generalmente espressi in  $\text{kg}$  di Azoto (espresso come N) e rapportati all'unità territoriale (l'ettaro). A tali unità di misura si farà riferimento all'interno del presente paragrafo mentre occorrerà applicare il fattore moltiplicativo 4.43 per passare alle masse espresse in nitrati prima di applicare il dato al modello e per poter confrontare i dati con le concentrazioni presenti nelle acque sotterranee della conoide.

Vengono di seguito riportate sinteticamente le risultanze ed alcune valutazioni riguardo le tre fonti informative sopra riportate. La necessità di far riferimento a più fonti informative corrisponde di fatto ad una necessità di corrispondenza generale dei dati derivati da diversi lavori che poi nel loro insieme andranno più o meno direttamente ad alimentare il quadro conoscitivo del Piano di Tutela delle Acque, e nello stesso tempo alla possibilità di comparazione degli stessi dati la significativa incidenza sui risultati ottenuti dalle ipotesi che stanno alla base dei diversi lavori (rotazioni colturali, irrigazione, carichi applicati, ecc).

#### **2.4.3.1 Valutazione della dinamica dell'azoto nei suoli (attività C9)**

Ai fini dell'individuazione dei dati di ricarica zenitale da imporre al modello di trasporto è stata condotta una analisi dei dati risultanti dall'attività C9 del Progetto Complessivo già descritti in [1] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi qualitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica).

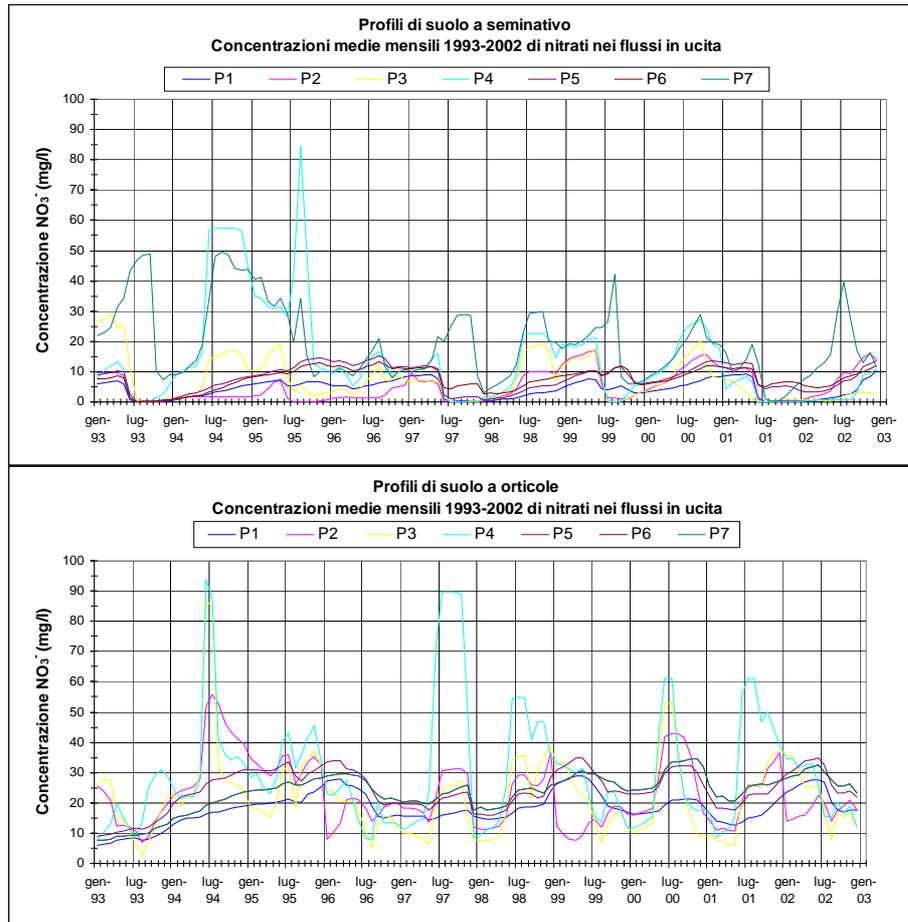
I dati giornalieri simulati dal modello di bilancio azotato SOILN, sono stati accorpati su base mensile in modo da ottenere per ogni profilo di suolo i principali termini delle equazioni di bilancio nei flussi in uscita con cadenza appunto mensile e considerando sempre i due casi di colture, ovvero uno per le orticole e un altro per il seminativo.

L'esame delle concentrazioni medie mensili dei nitrati presenti nei flussi in uscita dalla base del modello evidenzia lo stretto collegamento con l'apporto di fertilizzanti azotati usati in agricoltura; infatti dal confronto fra ogni profilo di suolo coltivato a seminativo o ad orticole si riscontrano chiaramente concentrazioni di nitrati considerevolmente superiori per le orticole.

Tabella 2-7: Tabella delle concentrazioni medie dei nitrati presenti nei flussi in uscita dalla base del modello, relative al decennio 1993-2002.

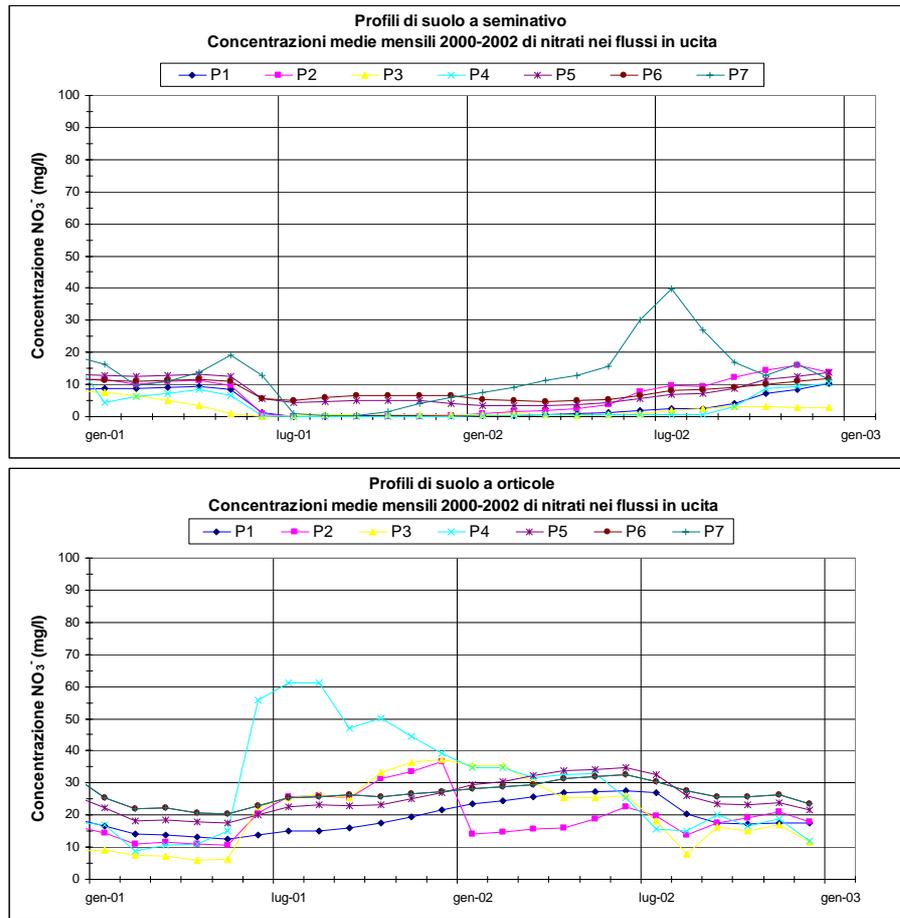
<b>Concentrazioni medie (mg/l) dei nitrati nei flussi in uscita (decennio 1993-2002)</b>			
		P7 seminativo	19
P4 orticole	30	P4 seminativo	14
P5 orticole	24	P5 seminativo	8
P7 orticole	23		
P6 orticole	23	P6 seminativo	8
P2 orticole	23	P2 seminativo	5
P3 orticole	22	P3 seminativo	7
P1 orticole	18	P1 seminativo	4

Figura 2-88: concentrazione media di nitrati in uscita dalla base del profilo (1993-2002)



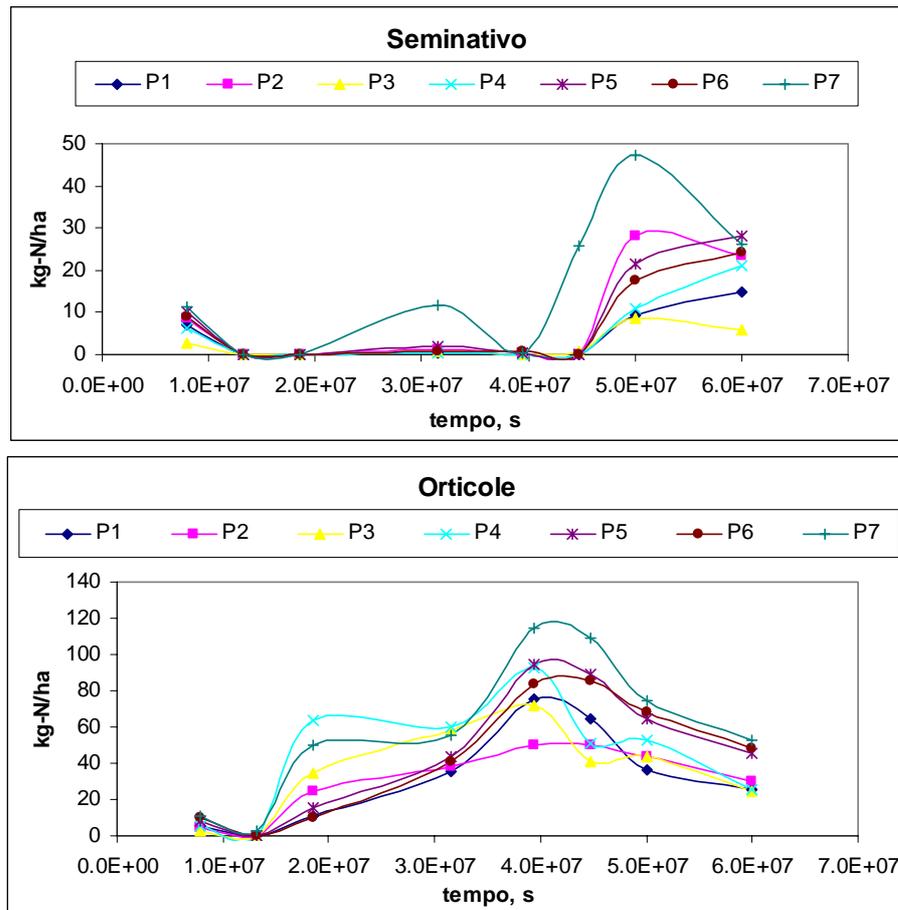
È logico aspettarsi questi risultati, visto che i quantitativi di fertilizzanti azotati usati in un ciclo a rotazione quadriennale a prevalenti orticole (lattuga 3 cicli-frumento-fagiolino-frumento-finocchio) sono il doppio (800 kg /ha) rispetto a quelli necessari (380 kg/ha) per un ciclo sempre quadriennale, ma a seminativo (frumento-barbabietola-orzo-barbabietola). Di seguito si riporta la tabella con i valori medi in ordine decrescente delle concentrazioni dei nitrati relative al decennio 1993-2002 per i sette profili di suolo. Si può vedere che l'intervallo va da 18 a 30 mg/l nel caso delle orticole e da 4 a 19 mg/l nel caso del seminativo. La modulazione nel tempo di tali dati è riportata nella successiva Figura 2-88 per l'intero arco temporale di simulazione di SOIL-N ed in Figura 2-89 per il periodo di simulazione del modello.

Figura 2-89: concentrazione media di nitrati in uscita dalla base del profilo (2001-2002)



Risulta opportuno fin da ora evidenziare, ai fini di una maggiore comprensione sia delle presenti valutazioni che dei risultati forniti dal modello, la necessità di esprimere le grandezze in termini di masse piuttosto che di concentrazioni: questo perché il valore di concentrazione non è altro che l'espressione del rapporto massa/fluido, rapporto fortemente condizionato dell'acqua che viene messa in ricarica al sistema. In Figura 2-90 vengono quindi riportati gli stessi dati in termini di kg/ha in riferimento agli 8 istanti temporali del modello dove si nota come l'aumento delle masse di nitrati in ingresso al sistema dell'ultimo periodo sia un segnale chiaro che risultava non così evidente ragionando in termini di concentrazioni.

Figura 2-90: masse di nitrati in uscita alla base del profilo



#### 2.4.3.2 Valutazione dei carichi di Azoto (attività C10)

Questa parte del lavoro risulta già ampiamente descritta al paragrafo 1. Tale attività consente di effettuare ipotesi sui possibili movimenti verso le falde dei carichi di azoto sulla base del raffronto dei carichi generati, ovvero quelli apportati al suolo, e quelli sversati, ovvero quelli che per ruscellamento avranno come recapito finale il corpo idrico superficiale (Figura 1-5). Tale attività rappresenta una discesa di scala rispetto ai lavori del Piano di Tutela Regionale alla quale sono state inserite valutazioni al fine di calendarizzare gli apporti al suolo di azoto all'interno dell'anno solare.

Tenendo conto di tali dati ed ipotizzando in rapporti 1:2 il drenaggio verso la falda rispetto allo scorrimento superficiale si potrebbero ipotizzare i valori più alti (18-22 kg/ha/y) in tutta la parte apicale della conoide fino all'altezza dell'autostrada con i valori più alti dell'intervallo all'altezza di Santarcangelo. Valori più bassi, fino a 3-5 kg/ha/y nella parte nord occidentale della conoide. La media su tutto il territorio di conoide risulta essere di circa 9 kg/ha/y.

#### 2.4.3.3 Attività di supporto al PTA

In [11] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003). *Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi e verifica ed aggiornamento del catasto*

*degli scarichi.* In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività E. Rapporto tecnico. Bologna.) sono state fatte delle valutazioni metodologicamente analoghe a quelle dell'attività C9 utilizzando in modello CRITERIA per il bilancio idrico e di azoto nei suoli dell'intero territorio regionale. L'estrazione di tali dati nel limitato contesto territoriale della conoide permette di effettuare alcune valutazione sui 5-6 punti della maglia di calcolo di Criteria. Tali valori potrebbero ipotizzare, nella parte apicale della conoide, valori di kgN/ha/y superiori a 15 in sinistra Marecchia e anche fino a 50 in destra. All'altezza di S.Arcangelo valori di circa 10 e poi quasi niente a valle. L'ipotesi di valori più bassi a S.Arcangelo non segue i dati dell'attività C10 e neanche le nuove analisi effettuate sui pozzi che mostrano un ritorno dei nitrati in quella zona.

#### **2.4.3.4 I dati di ricarica zenitale di nitrati in ingresso nel modello**

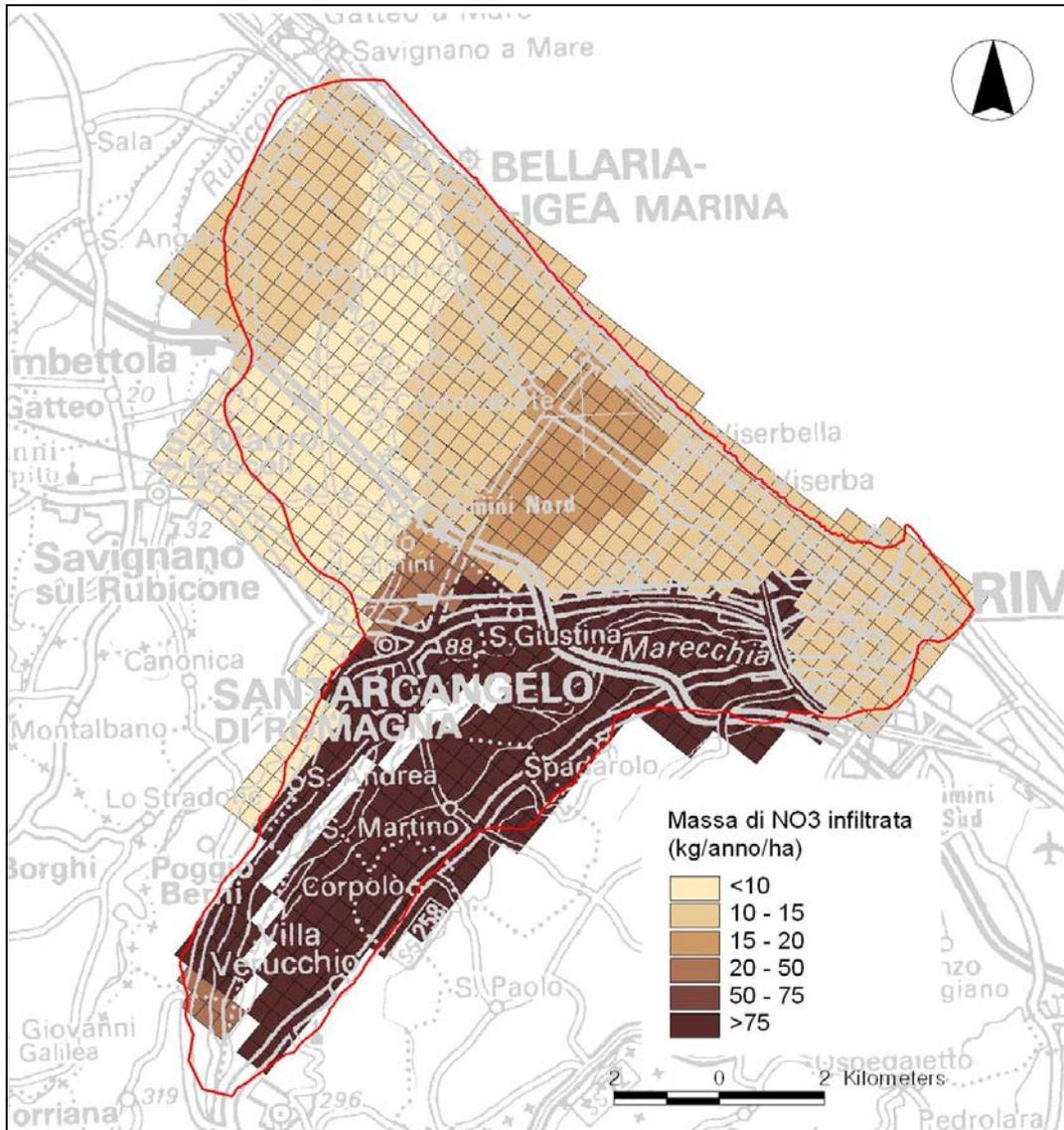
L'analisi comparata delle diverse fonti informative precedentemente descritte e riguardanti i quantitativi di azoto da porre come ricarica del sistema ha portato all'individuazione dei carichi di azoto riportati in Figura 2-91 come valori di apporto di primo tentativo. I valori ipotizzati su base annua sono stati ripartiti all'interno dei diversi stress period secondo lo schema di Tabella 2-8 derivata dalla calendarizzazione mensile degli apporti di cui al precedente paragrafo 1.4.

Tabella 2-8: Percentuali applicate per la calendarizzazione dei nitrati

<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
36%	5%	21%	38%

I quantitativi di azoto così calcolati sono stati veicolati all'interno del sistema attraverso l'acqua in ingresso con la ricarica da pioggia. Sulle celle corrispondenti all'alveo del Fiume Marecchia è stata attribuita direttamente la concentrazione desunta dalle stazioni di monitoraggio delle acque superficiali disponibili a monte ed a valle della zona di ricarica (Figura 1-6).

Figura 2-91: carichi di azoto in ingresso al modello (kg-NO<sub>3</sub>/ha/y)



## 2.4.4 Stima delle variabili di controllo

### 2.4.4.1 Meccanismi del trasporto di un soluto in soluzione

Il moto di un soluto in soluzione è descritto mediante la classica equazione differenziale di avvezione e dispersione. Tale modello ipotizza che il soluto si muova per convezione all'interno del mezzo poroso secondo una velocità media della massa liquida e che si disperda in funzione delle dimensioni dei pori. Tale fenomeno può essere rappresentato attraverso la distribuzione delle velocità del soluto che assume una forma a campana in cui la media corrisponde alla fase convettiva e la deviazione dalla media la fase dispersiva.

L'equazione di dispersione avvezione che descrive il trasporto di un soluto in un fluido è basata sul bilancio di massa per il quale in un elemento cubico dello spazio interessato dal fenomeno, la massa entrante meno quella uscente deve essere uguale alle variazioni di massa presente più o meno alle variazioni per reazioni chimiche e biologiche.

Si distinguono tre meccanismi di trasporto degli inquinanti nelle acque di falda sotterranee:

1. trasporto dovuto a flusso avveztivo: è legato al solo moto dell'acqua, per il quale la massa di inquinante che attraversa nell'unità di tempo una sezione trasversale unitaria dell'acquifero normale al moto, corrisponde al prodotto tra la concentrazione della sostanza inquinante nell'acqua e la velocità di movimento dell'acqua stessa.
2. trasporto dovuto a dispersione meccanica: è legato alla tortuosità dei percorsi nel mezzo poroso e funzione della velocità effettiva dell'acqua  $u$  (m/s) e dei coefficiente di dispersione longitudinale, trasversale e verticale.
3. trasporto dovuto all'azione della diffusione molecolare, tiene conto della diffusione delle sostanze chimiche che si sviluppa all'interno delle soluzioni di liquidi in presenza di un gradiente di concentrazione.

La velocità media effettiva dell'acqua  $u$  (m/s) dipende a sua volta dalla velocità Darciana, dalla conducibilità idraulica, dalla porosità efficace (adimensionale) e dal gradiente idraulico (adimensionale).

Sono questi i meccanismi che regolano il destino della molecola nitrato che, una volta abbandonato lo strato attivo del suolo dove avvengono le reazioni di nitrificazione-denitrificazione ed assorbimento diretto da parte della vegetazione, è essenzialmente legato a processi avveztivi, cioè di trasporto solidale con il flusso idrico, dispersivi, dovuti alle tortuosità dell'acquifero, ed in minor misura diffusivi per il gradiente di concentrazione.

Si ricorda inoltre che il nitrato (PM di 62 mg) risulta scarsamente reattivo almeno fintanto che non si instaurino nell'acquifero condizioni fortemente riducenti, come nel caso delle falde confinate più profonde e distanti dalle aree di ricarica, dove l'azoto nitrico si riduce ad azoto ammoniacale.

Tenendo conto che la componente avveztiva del trasporto dipende direttamente dal campo di moto dell'acqua derivato dal modello di flusso attraverso il calcolo delle velocità per la parametrizzazione del modello di trasporto occorre definire un ulteriore parametro che nel modello di flusso non viene coinvolto: la porosità. Inoltre occorre definire i valori di altri due parametri: la dispersività e la diffusività che insieme regolano gli altri due meccanismi che caratterizzano il trasporto dei nitrati (dispersione idrodinamica).

#### **2.4.4.2 Parametrizzazione del modello di trasporto (porosità, dispersività)**

La porosità efficace è rappresentata dal rapporto fra il volume o sezione dei macropori effettivamente disponibili al flusso idrico ed il volume o sezione trasversale al flusso intera dell'acquifero.

La dispersione idrodinamica tiene invece conto in maniera congiunta della dispersione meccanica e della diffusione molecolare attraverso il coefficiente di dispersione che è funzione delle dispersività longitudinali, trasversali e verticali dell'acquifero e del coefficiente di diffusione molecolare. A scala macroscopica, il parametro dispersività

definisce l'allungamento, l'allargamento e l'approfondimento di un soluto trasportato rispetto alla velocità media dell'acqua.

Tabella 2-9: parametri del modello di trasporto utilizzati in input

classi	Disp. L (m)	Disp. T (m)	Disp. V (m)	Por. Eff. (%)
A_a0_3m6	5.0	2.5	0.5	33%
L_a0_1m5	20.0	10.0	1.8	31%
S_a0_4m4	10.0	5.0	0.9	28%
G_a0_6m5	7.5	3.8	0.7	29%
Ma0_1m3	3.0	1.5	0.3	23%
A_a1_3m6	5.0	2.5	0.5	33%
L_a1_1m5	7.5	3.8	0.7	31%
S_a1_5m4	10.0	5.0	0.9	27%
G_a1_6m5	4.0	2.0	0.4	29%
M_a1_3m3	3.0	1.5	0.3	22%
A_a2_9m6	7.5	3.8	0.7	32%
L_a2_1m5	7.5	3.8	0.7	31%
S_a2_6m4	12.0	6.0	1.1	26%
G_a2_6m4	12.0	6.0	1.1	26%
A_a3-4_3m6	5.0	2.5	0.5	33%
L_a3-4_1m5	7.5	3.8	0.7	31%
S_a3-4_7m4	12.0	6.0	1.1	25%
G_a3-4_6m4	12.0	6.0	1.1	26%
A_b_3m5	9.0	4.5	0.8	30%
L_b_1m5	7.0	3.5	0.6	31%
S_b_8m4	15.0	7.5	1.4	24%
G_b_6m4	12.0	6.0	1.1	26%
A1_1m8	2.0	1.0	0.2	6%
A2_1m7	3.0	1.5	0.3	20%
A3_2m7	3.0	1.5	0.3	20%
A4_7m6	6.0	3.0	0.5	32%
S1_9m4	25.0	12.5	2.3	24%
S2_5m4	25.0	12.5	2.3	27%
S3_7m4	28.0	14.0	2.5	28%
S4_1m4	9.0	4.5	0.8	28%
G1_1m3	10.0	5.0	0.9	23%
G2_2m3	10.0	5.0	0.9	23%
G3_3m3	12.0	6.0	1.1	22%
G4_4m3	14.0	7.0	1.3	22%
G5_5m3	10.0	5.0	0.9	22%
G6_8m3	10.0	5.0	0.9	21%

Non risultando disponibili dalle prove in pozzo delle stime utili alla definizione di questi parametri si è fatto riferimento a dati disponibili in letteratura e derivati da esperienze analoghe alla presente.

Nella tabella seguente si riportano i parametri idrodinamici di input utilizzati nel modello

Nel modello è stato attribuito un coefficiente di diffusione molecolare di 1.0e-008, costante per tutte le litologie del complesso idrogeologico modellato.

## 2.5 TARATURA DEL MODELLO DI TRASPORTO

### 2.5.1 Distribuzione delle concentrazioni di nitrati

Una delle principali uscite del modello di trasporto è rappresentata dal campo di concentrazione di nitrati all'interno della conoide. **Si ricorda che le concentrazioni sono espresse in  $\text{mg}/\text{m}^3$  di nitrati.**

Nelle figure che seguono vengono riportate alcune immagini rappresentative del campo di concentrazione ottenuto dallo strumento di calcolo nell'usuale rappresentazione per sezioni e per piani.

Figura 2-92: Concentrazione nitrati ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), sezione 26, istante T1

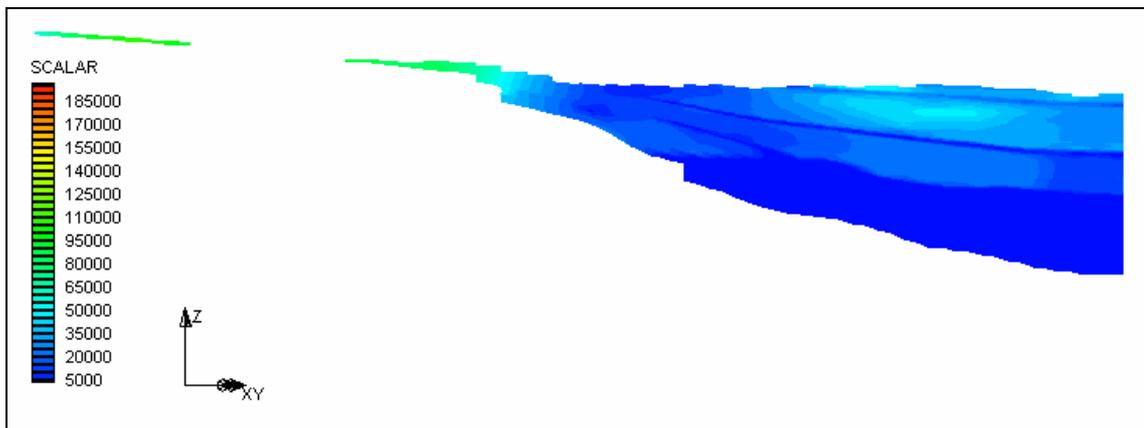


Figura 2-93: Concentrazione nitrati ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), layer 21, istante T1

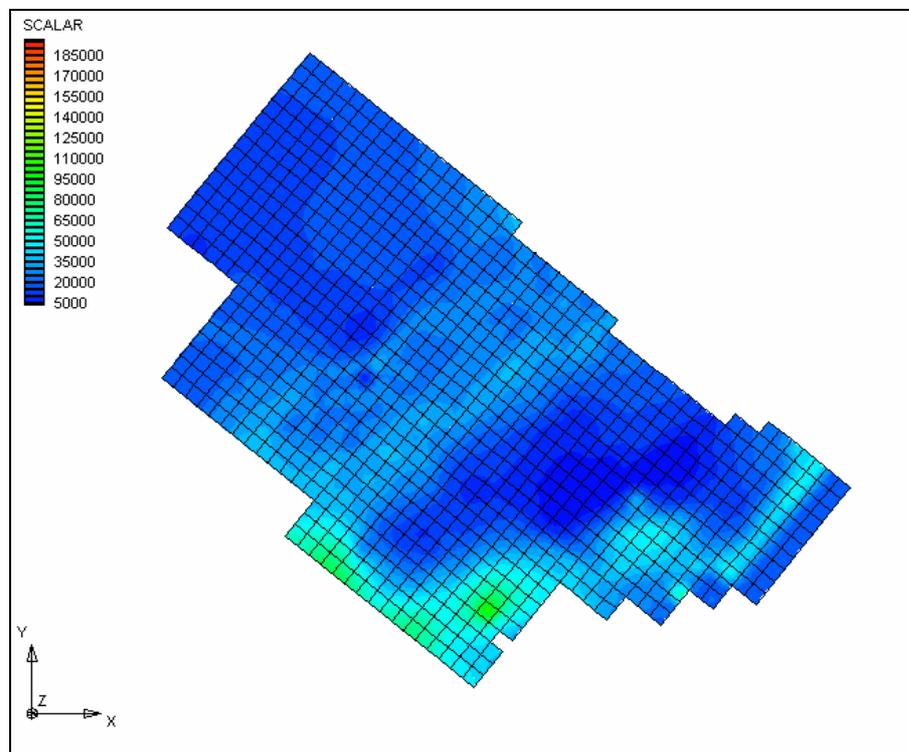


Figura 2-94: Concentrazione nitrati ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), layer 23, istante T2

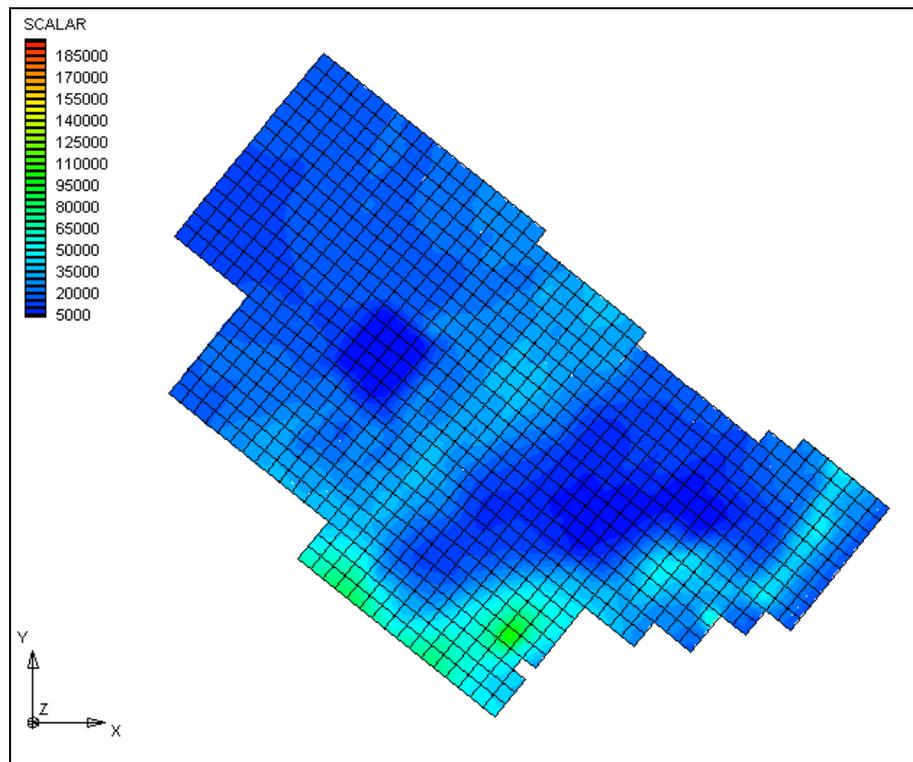


Figura 2-95: Concentrazione nitrati ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), sezione 20, istante T2

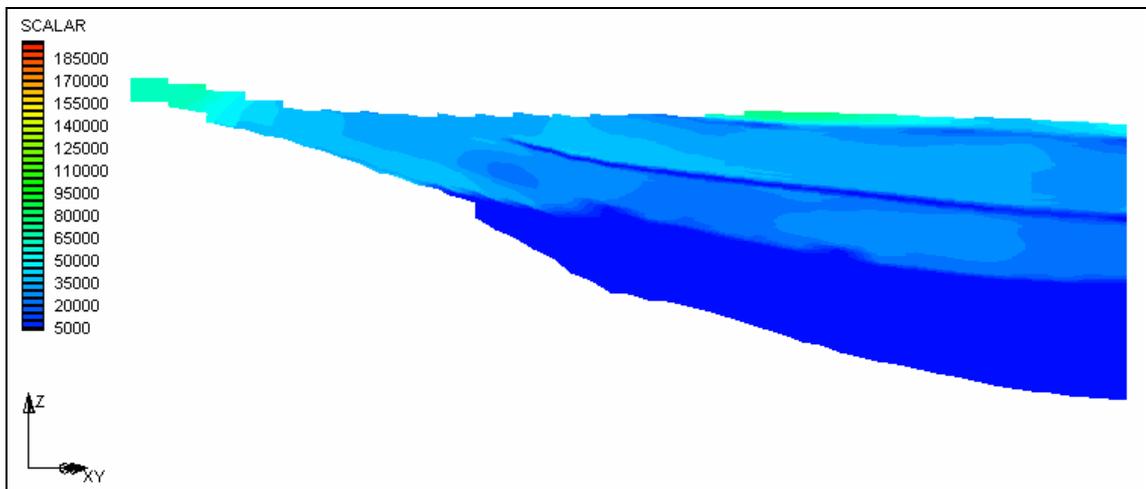


Figura 2-96: Concentrazione nitrati ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), layer 4, istante T4

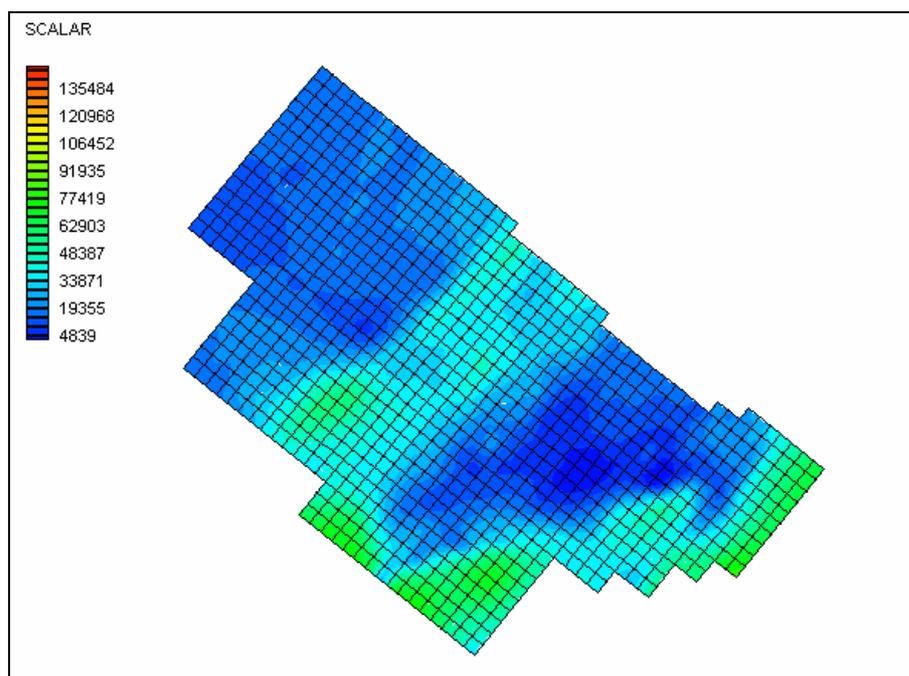
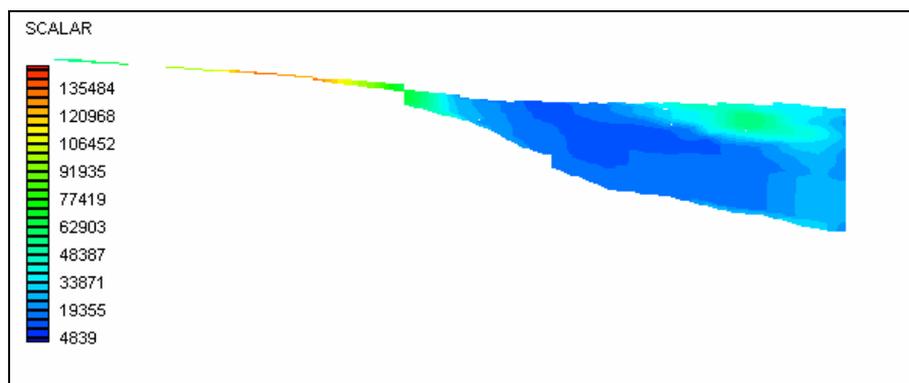


Figura 2-97: Concentrazione nitrati ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), sezione 28, istante T4



## 2.5.2 Controllo della taratura

Come per il modello di flusso il controllo della taratura del modello avviene inizialmente attraverso la verifica diretta della corrispondenza dei valori calcolati dal modello con le serie storiche osservate.

Figura 2-98: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo

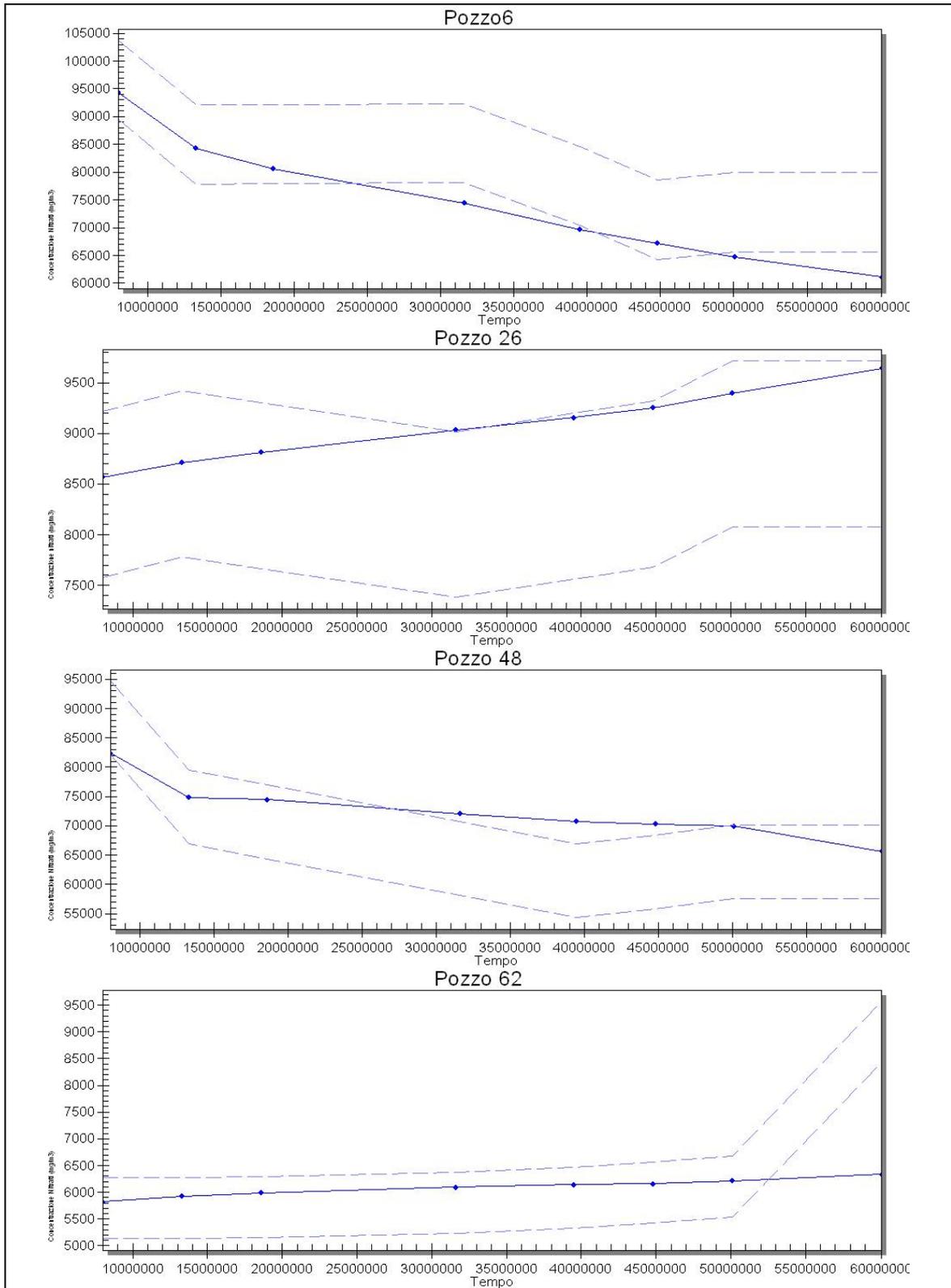
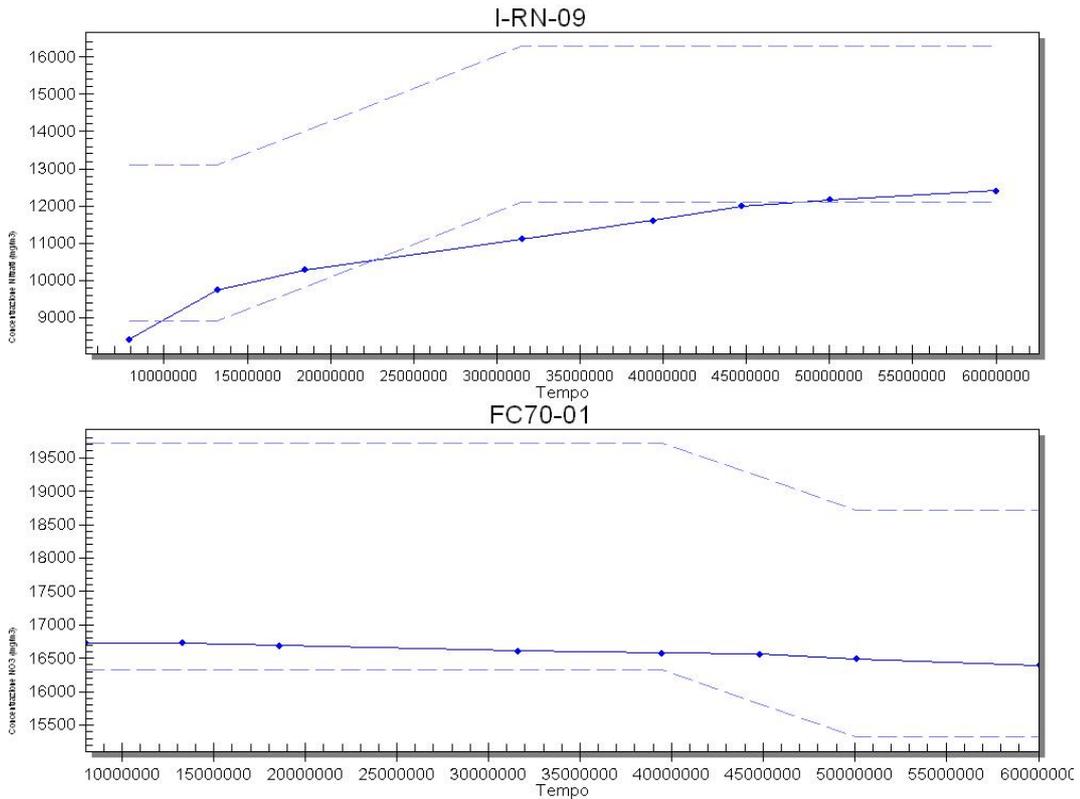


Figura 2-98: Serie storiche osservate/calcolate su alcuni punti di controllo, segue



La taratura è stata condotta attraverso il controllo di circa 80 punti di misura, con disponibilità di dati, all'interno degli otto periodi di tempo della discretizzazione temporale, variabile da 1 a 6 e in media uguale a 4 misure. Per il modello di trasporto si è preferito privilegiare la presenza anche di un solo dato degli otto necessari proprio per poter adeguare il processo di calibrazione al maggior numero di informazioni possibili anche a scapito di una continuità temporale del dato. Nelle seguenti figure sono riportati sia il confronto dei dati delle serie storiche osservate (linee tratteggiate che rappresentano un intervallo di confidenza pari al 10% del valore minimo della serie) con quelli calcolati su alcuni punti, sia gli scatter-plot dei valori osservati/calcolati per i primi 4 stress periods in modo da evidenziare lo stato raggiunto dalla taratura.

Nella Figura 2-98 sono riportate alcune serie temporali in uscita dal modello dei punti di controllo utilizzati per la taratura.

Nelle figure da Figura 2-99 a Figura 2-106 sono invece rappresentati gli scatter-plot, uno per ogni istante temporale, dove ad ogni punto corrisponde un pozzo utilizzato per la taratura e la distanza dalla diagonale centrale lo scostamento tra valore osservato e valore calcolato.

Figura 2-99: Distribuzione degli scarti nel periodo T1

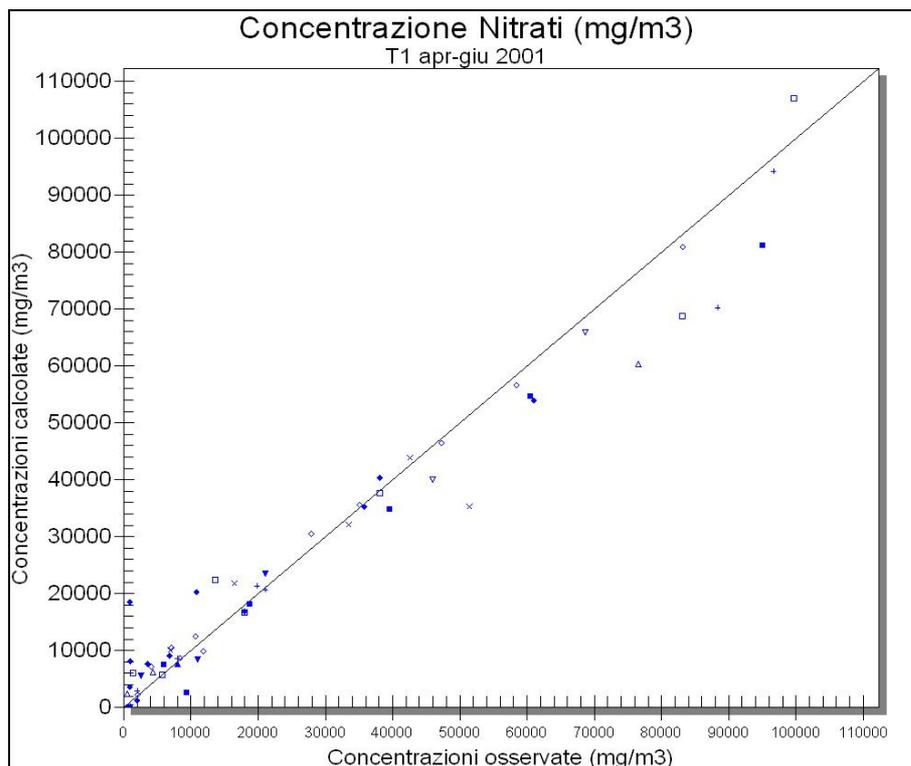


Figura 2-100: Distribuzione degli scarti nel periodo T2

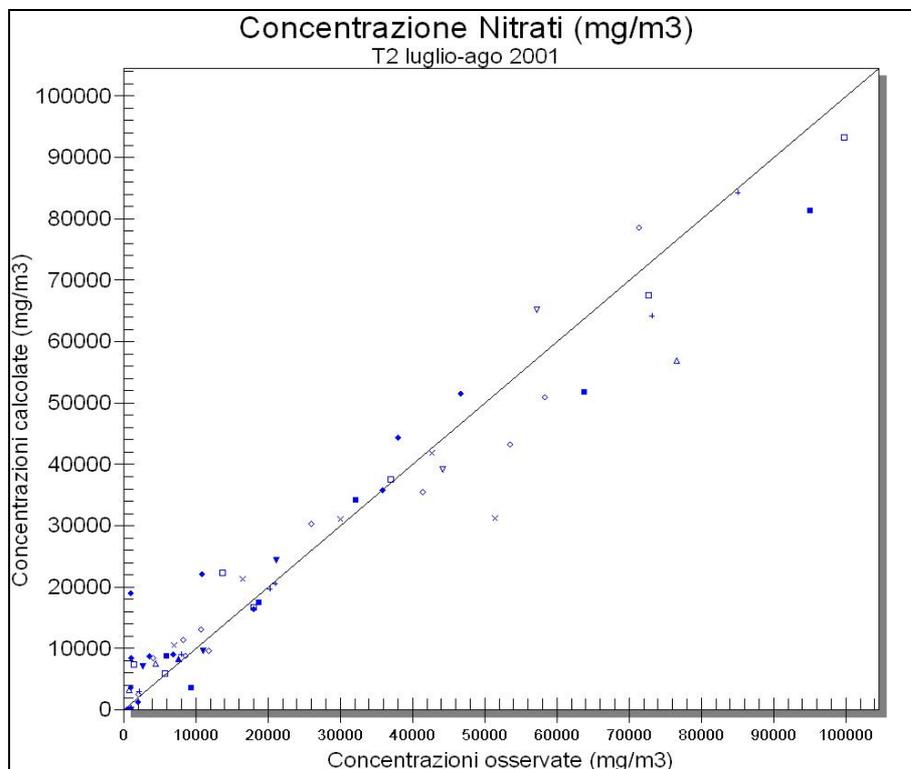


Figura 2-101: Distribuzione degli scarti nel periodo T3

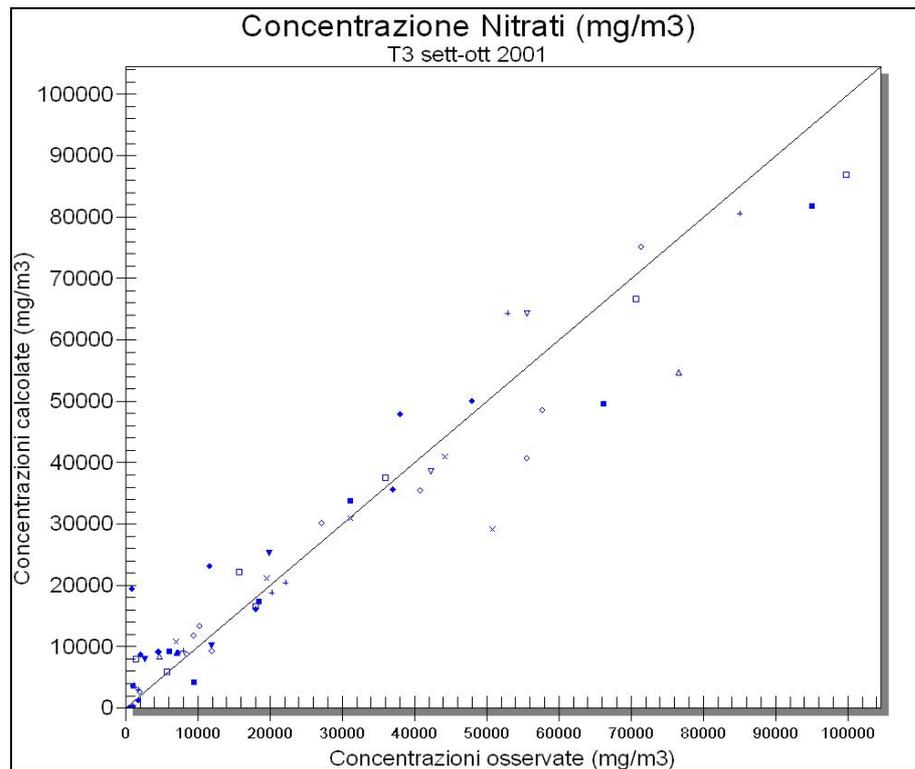


Figura 2-102: Distribuzione degli scarti nel periodo T4

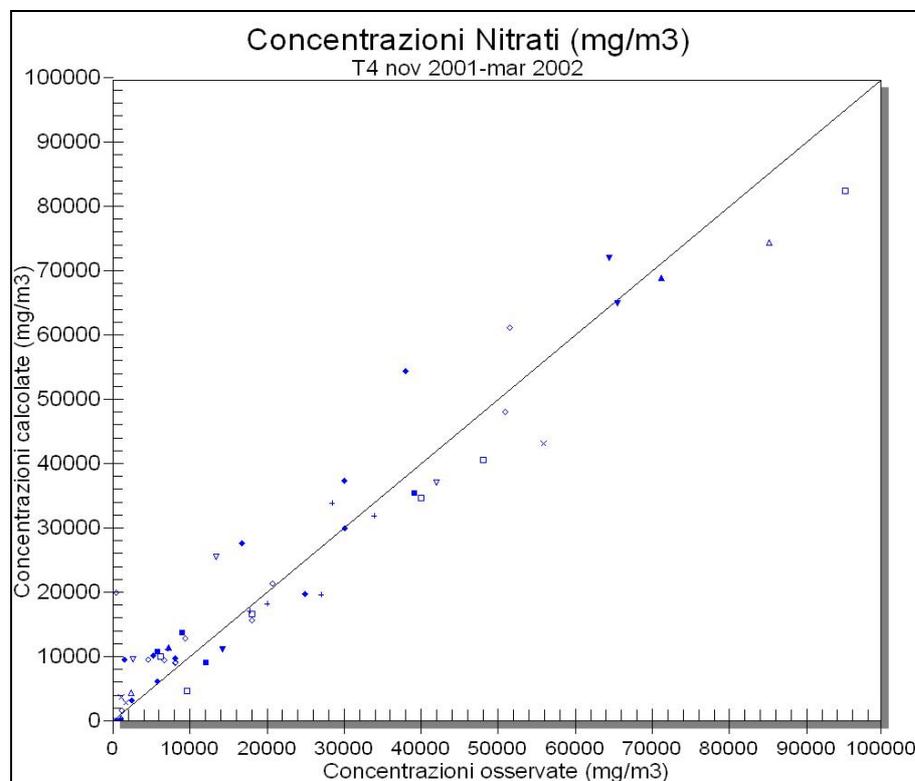


Figura 2-103: Distribuzione degli scarti nel periodo T5

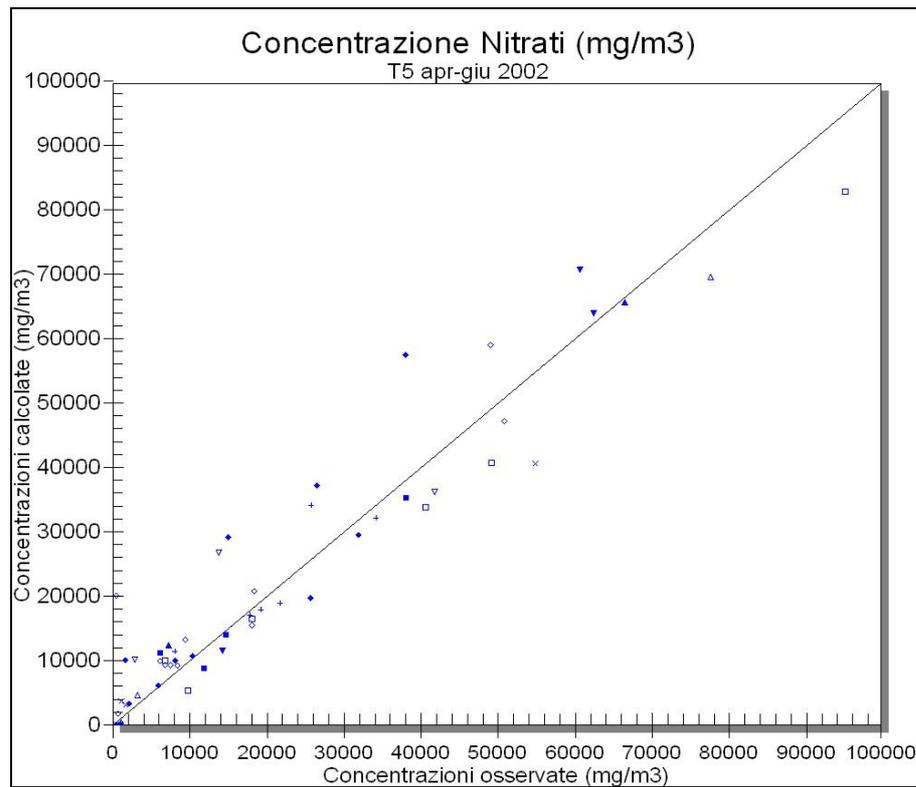


Figura 2-104: Distribuzione degli scarti nel periodo T6

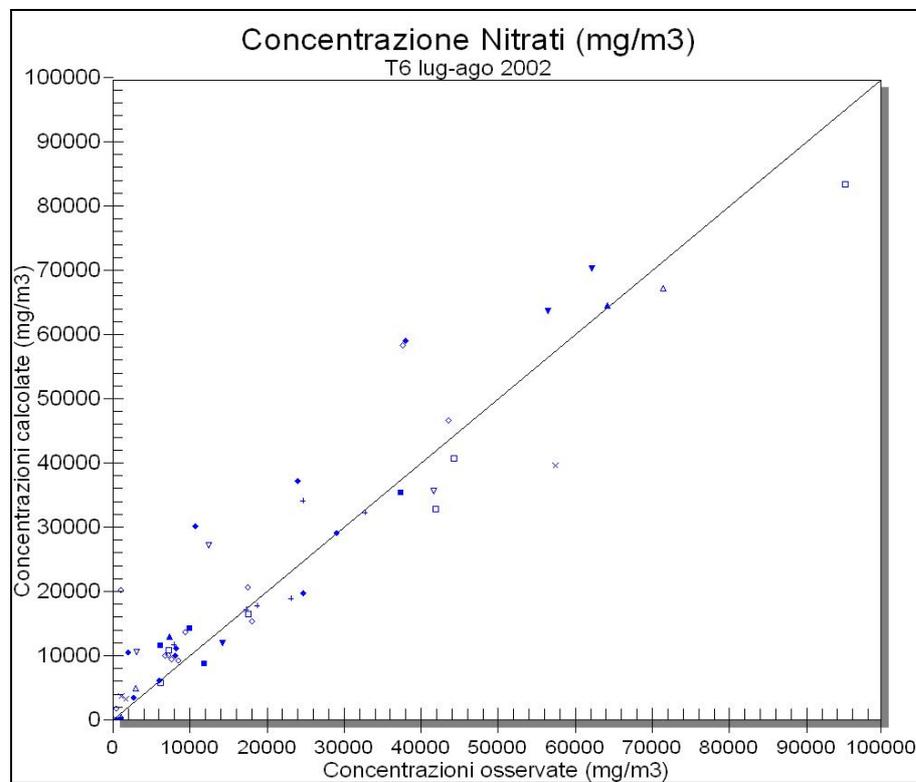


Figura 2-105: Distribuzione degli scarti nel periodo T7

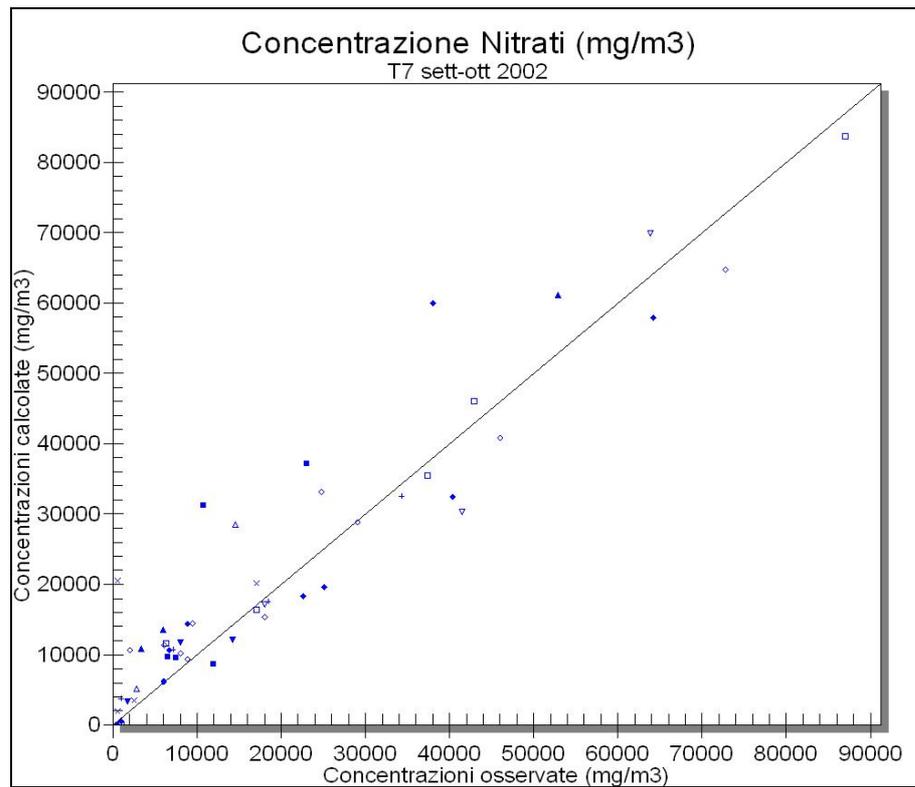
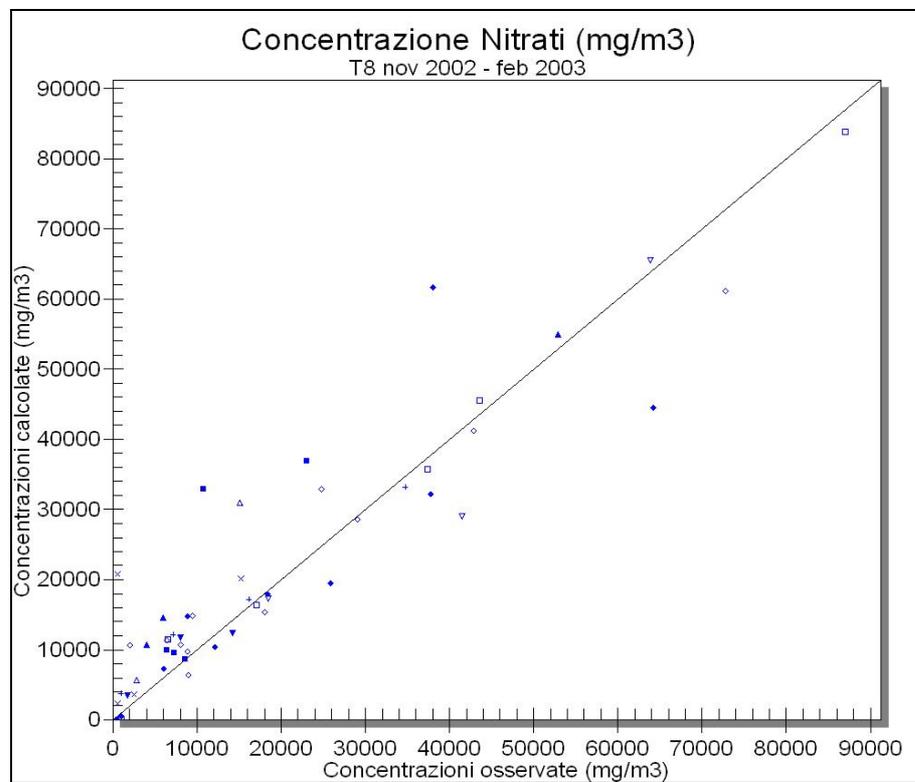


Figura 2-106: Distribuzione degli scarti nel periodo T8



### 2.5.3 Bilancio di massa di nitrati nella conoide

La Tabella 2-10 riporta il bilancio di massa relativo agli 8 periodi della taratura (valori in t). Il bilancio è costituito dalle seguenti voci specifiche:

- per quello che riguarda gli ingressi di soluto, questi derivano da (i) infiltrazione al suolo legata alle attività antropiche e (ii) trasferimento di soluto (della stessa natura) attraverso le sezioni di monte che alimentano il sistema (limiti a condizione di potenziale imposto sul lato di monte e sui fianchi);
- le uscite sono costituite (i) dalle perdite verso mare (limite a potenziale imposto sul lato di mare) e (ii) dalle uscite associate all'acqua estratta attraverso i pozzi.
- un ulteriore termine (net mass from fluid storage) corrisponde alla massa di nitrati associata alle variazioni dell'immagazzinamento di acqua nel sistema (saldo tra ingressi ed uscite).

L'analisi della Tabella 2-10 rende possibile alcune considerazioni::

- a. le uscite di soluto sono a carico dei pozzi nella misura di circa il 45 % del totale delle uscite;
- b. la massa di soluto legata allo storage ha variazioni sempre negative, a significare una tendenza nel periodo orientata alla diminuzione delle masse residenti nel sistema (Figura 2-107);
- c. la massa di soluto che esce a mare è comunque significativa.

Come noto, questo bilancio è riferito alla sola parte satura del sistema sotterraneo, dato che il mezzo non saturo non è stato considerato; ne segue che tutte le dinamiche che contribuiscono a formare il flusso di soluto in ingresso all'acquifero sono al netto di ciò che accade nello strato biologico del terreno e nel mezzo non saturo in senso stretto. Al momento, si può solo tentare di svolgere qualche valutazione di massima sulla scorta delle informazioni sperimentali ottenute nel corso del progetto, che hanno mostrato che il terreno del non saturo presenta concentrazioni variabili nell'ordine di 1-30 mg/kg di azoto, quindi concentrazioni dell'ordine di 4-120 mg/kg di NO<sub>3</sub>.

Attraverso il modello di flusso, tuttavia, è stato quantomeno possibile stimare il volume del mezzo non saturo, pari a circa  $1.8 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>, quindi dell'ordine di  $2.5 \cdot 10^9$  t. Se si considera anche solo la concentrazione minima rilevata sul campo, se ne deduce una massa residente di nitrato-equivalente nell'ordine delle 10.000 t.

Infine, se si considera che questa massa può essersi accumulata in un periodo di tempo che è a sua volta nell'ordine dei 50 anni, si può stimare, con larga approssimazione, che al bilancio globale deve essere associato un contributo medio di 200 t/anno, che è l'ingresso che ha contribuito a formare la massa residente nel mezzo non saturo.

Questa stima è abbastanza coerente con la massa di soluto utilizzata in ingresso al mezzo saturo, pari a circa 500 t/anno e consente di ipotizzare che vi sia stato un periodo significativo (anni 70-80?) con un ingresso globale significativamente maggiore di quello stimato oggi e quindi tale da aver consentito l'accumulo delle masse residenti elevate che oggi si riscontrano.

Infine in Figura 2-108 viene riportata la distribuzione dei carichi di azoto messi in ricarica al modello e risultante dal processo di taratura del modello.

Tabella 2-10: Principali termini del bilancio di massa (valori in tonnellate)

<b>T1</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		187	-187
Carico costante	26	296	-270
Ricarica	191		191
Net mass from fluid storage (soluto)			18
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-248
<b>T2</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		188	-188
Carico costante	16	114	-98
Ricarica	31		31
Net mass from fluid storage (soluto)			-2820
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-3076
<b>T3</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		100	-100
Carico costante	12	86	-74
Ricarica	96		96
Net mass from fluid storage (soluto)			-803
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-881
<b>T4</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		164	-164
Carico costante	20	230	-210
Ricarica	178		178
Net mass from fluid storage (soluto)			-251
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-448
<b>T5</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		171	-171
Carico costante	11	122	-111
Ricarica	164		164
Net mass from fluid storage (soluto)			-71
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-189
<b>T6</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		177	-177
Carico costante	19	61	-42
Ricarica	28		28
Net mass from fluid storage (soluto)			-462
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-654
<b>T7</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		108	-108
Carico costante	7	172	-165
Ricarica	153		153
Net mass from fluid storage (soluto)			-43
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-163
<b>T8</b>	<b>IN</b>	<b>OUT</b>	<b>IN-OUT</b>
Pozzi		138	-138
Carico costante	8	416	-408
Ricarica	170		170
Net mass from fluid storage (soluto)			28
Total (variazione di massa residente nel sistema)			-349

Figura 2-107: massa residente di nitrati e sua variazione negli istanti della simulazione

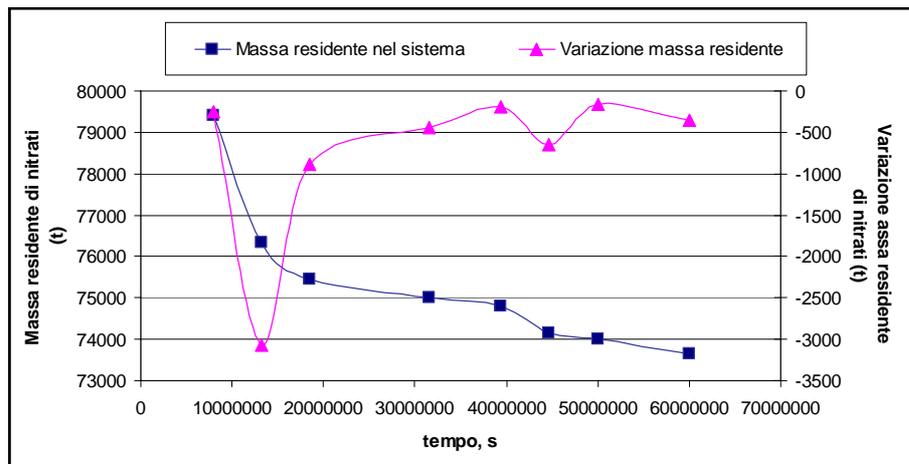
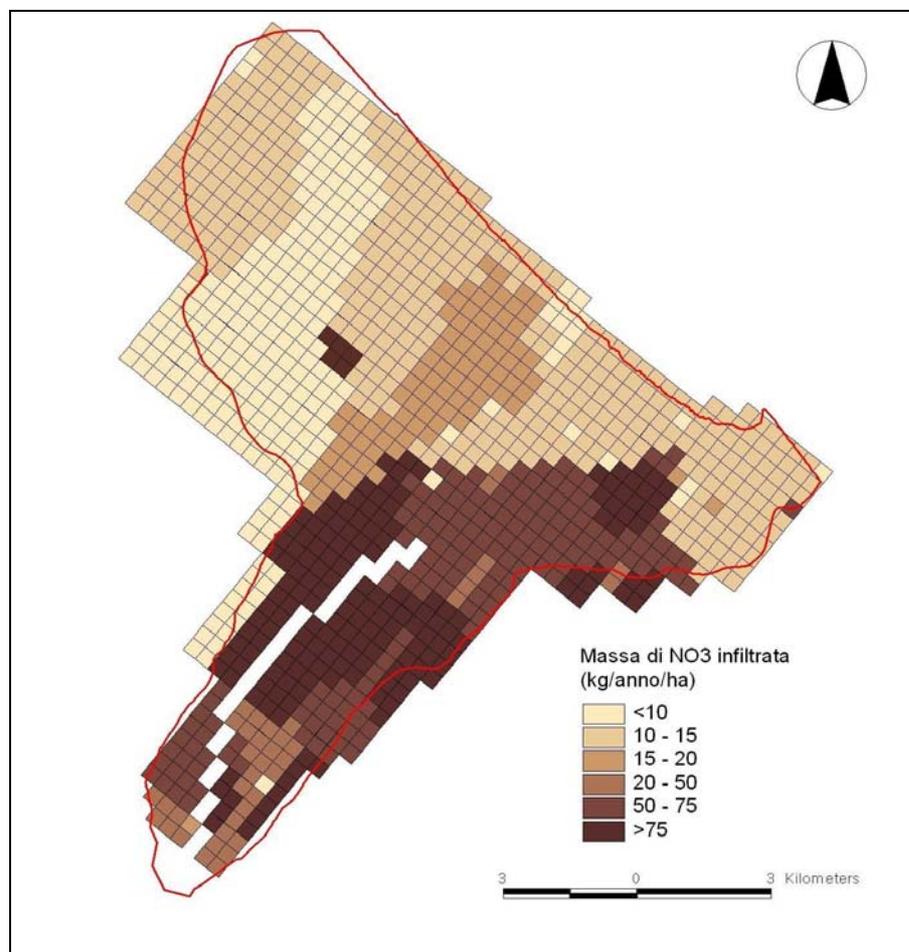


Figura 2-108: distribuzione dei nitrati in ingresso a fine taratura



## 2.6 UTILIZZO DEI MODELLI

Al termine dello sviluppo della modellistica del flusso e del trasporto dei nitrati nella conoide del fiume Marecchia, risulta quanto mai opportuno soffermarsi per valutare le effettive possibilità di utilizzo di uno strumento sofisticato quale quello implementato secondo quanto descritto nei paragrafi precedenti.

In tal senso l'approccio può essere duplice:

1. da un lato fornire una serie di indicazioni di carattere operativo derivate non solo dall'esperienza maturata all'interno del presente lavoro ma soprattutto da quella di più ampia scala e riguardante l'utilizzo di applicazioni di tipo modellistico all'interno dei processi di pianificazione. Tali indicazioni rappresentano anche le considerazioni di chiusura di questa parte del lavoro volte anche a valutare gli aspetti di prospettiva sui futuri utilizzi ed ambiti applicativi;
2. dall'altro lato fornire già alcuni elementi, emersi nel corso del lavoro ed a fronte del solido quadro conoscitivo così costituito, che possano essere posti all'attenzione degli enti preposti per lo sviluppo del processo di pianificazione.

Nei paragrafi che seguono i due aspetti vengono descritti nel loro naturale intreccio di rapporti funzionali soprattutto del primo nei confronti del secondo.

### 2.6.1 Considerazioni generali sulla schematizzazione della circolazione idrica sotterranea in funzione delle modalità di gestione

Per comprendere le effettive possibilità di pianificare lo sfruttamento delle risorse sotterranee del Marecchia, è opportuno riprendere lo schema di circolazione dell'acqua con un'ottica di carattere generale.

L'assetto sotterraneo del Marecchia non è diverso dalle altre aree della regione Emilia Romagna e si può schematizzare facendo riferimento a tre modalità di circolazione; questa schematizzazione deriva dal modello concettuale del Piano di Tutela delle Acque ([9]) e può essere proposta sulla base delle modalità di circolazione:

- a) *“falde” soggette a circolazione veloce di acque recenti per gravità (risorsa rinnovabile)*. Si tratta della fascia sommitale del sistema sotterraneo (A0-A1), che è in equilibrio idraulico sia a monte (ricarica zenitale e fluviale), che a valle con l'Adriatico. Corrisponde genericamente alla falda “freatica”, anche se localmente (soprattutto nelle porzioni più a valle) presenta ramificazioni abbastanza ben sviluppate che possono fornire condizioni di pressione;
- b) *“falde” potenzialmente soggette a circolazione veloce di acque recenti per effetto delle estrazioni da pozzo*. Si tratta in questo caso delle falde che sono in connessione idraulica con le precedenti nella zona apicale della conoide, ma che, in assenza di differenziali energetici significativi, hanno velocità di flusso bassissime. A valle si estendono in misura anche significativa sotto al basamento marino;
- c) *“falde” confinate*. Lenti d'acqua completamente confinate possono essere trovate, in teoria, in qualunque posizione della conoide distale, tuttavia è evidente che le probabilità aumentano con la profondità e con la distanza dall'apice della conoide. Strutturalmente proseguono, come nel caso precedente, sotto al basamento marino; in natura la velocità dell'acque è praticamente nulla, salvo le variazioni indotte con i pozzi.

Questo modo di leggere l'acquifero, al di là della strutturazione di dettaglio consueta, aiuta a comprendere le modalità attraverso le quali è possibile identificare i criteri di sfruttamento e di pianificazione. Ad esempio:

- le falde sommitali, quelle genericamente "freatiche", sono la sede naturale della circolazione delle acque di ricarica pluviale e fluviale, per cui dovrebbero costituire la fonte primaria di approvvigionamento; in termini di bilancio si ha mediamente in questa fascia il 60 % del consumo da pozzo dell'intera area di studio;
- le falde degli altri due gruppi partecipano poco o nulla al ciclo dell'alimentazione a gravità, salvo le forzature che possono essere indotte nel caso b) e che, in altri contesti della regione, sono evidenti.

Per quello che riguarda le possibilità di sfruttamento, è invece utile fare riferimento all'evoluzione che, sotto questo punto di vista, vi è stata nel corso del tempo: infatti, il prelievo da acque sotterranee è stato condizionato in modo sempre più spinto da almeno due circostanze:

- la prima è la diffusione di sostanze contaminanti in zone sempre più ampie, da cui la propensione all'approfondimento delle quote di captazione dell'acqua. Questo aspetto è particolarmente vero per la produzione di acque potabili, ma è una tendenza largamente diffusa anche per le acque irrigue e industriali;
- la seconda è la concomitanza con gli effetti di subsidenza che, a determinate condizioni, costituiscono uno degli effetti negativi peggiori dell'estrazione dell'acqua.

Vi è una terza circostanza, meno significativa, costituita dall'ingresso di acqua di mare nei casi in cui il gradiente idraulico della falda freatica si inverte a causa di prelievo o di azioni di bonifica.

I primi due punti sono quelli più significativi, dato che hanno pesantemente condizionato l'evoluzione del prelievo nel corso degli ultimi decenni: il peggioramento veloce della qualità dell'acqua ha spinto ad aumentare la profondità e quindi ad aumentare la probabilità di sfruttare sistemi confinati (o comunque caratterizzati da una frequenza maggiore di livelli fini come limi e argille) e quindi la probabilità di innescare la subsidenza.

La subsidenza, soprattutto per un territorio costiero, è un punto di non ritorno: nei casi più conclamati, come a Ravenna, ha obbligato alla riduzione drastica del prelievo dalle falde mediamente profonde.

## **2.6.2 Le risposte e le potenzialità dei modelli**

Gli obiettivi dichiarati nel Protocollo di Intesa sono:

1. valutazione della riserva idrica permanente e della riserva idrica sfruttabile, riferiti sia alla conoide nel suo complesso che alle singole falde individuate, allo stato attuale dei punti di prelievo (rif. specifico ai campi pozzi ad uso idropotabile);
2. individuazione delle più probabili fonti di inquinamento da nitrati (diffuso di origine agricola e/o da scarichi civili) e loro localizzazione.

Nel corso del lavoro si sono poi aggiunti i seguenti:

3. indicazioni sulla possibile ottimizzazione delle zone di prelievo ad uso idropotabile in riferimento sia alla quantità (eventuale possibilità di maggior

sfruttamento) che alla qualità (zone di estrazione al minimo rischio di inquinamento da nitrati);

4. effetti sulle dinamiche del flusso e sulla contaminazione da nitrati conseguenti ad interventi di ricarica artificiale tramite infiltrazione dai bacini di ex cava posti in destra idraulica del F. Marecchia (laghetto ex “Incal Sistem” in Comune di Rimini e adiacente laghetto in Comune di Santarcangelo di R.);
5. effetti delle misure assunte dal PTA regionale nello specifico ambito della conoide del Marecchia, nei termini di efficacia rispetto alle criticità emerse, ed indicazioni per lo sviluppo dell’approfondimento provinciale del PTA;

Per quello che riguarda il punto 1), più generalmente orientato alla gestione quantitativa della risorsa idrica sotterranea, la risposta in parte è contenuta nelle stime di bilancio, nella loro forma disaggregata. Dai dati di bilancio ottenuti con il modello, si può dedurre un primo livello di garanzia di fattibilità relativamente al riorientamento della gestione della risorsa; infatti il sistema delle falde più superficiali (A0-A1) produce il 60 % circa dei prelievi. Poiché questi ultimi variano, nel periodo esaminato, da un minimo di circa 1000 l/s ad un massimo di 1700-1800 l/s, la ripartizione è di circa 600-1000 l/s dal sistema “freatico” e di circa 400-700 dalle falde più profonde; inoltre, il deflusso a mare della parte sommitale è in media di circa 1000 l/s.

Da queste brevi considerazioni si deduce che già il deflusso non utilizzato costituisce una valida alternativa al prelievo che avviene nelle falde profonde, prelievo che avviene invece per la maggior parte a spese delle riserve e comunque a fronte del pericolo della subsidenza. Se si considera poi che l’afflusso può essere intensificato con opportuni sistemi di ricarica, si vede bene che vi sono tutti gli spazi per agire in questo senso. Il recupero della qualità dell’acqua e l’immediata eliminazione delle sorgenti di contaminazione è la chiave di volta per avviare questo percorso.

Nell’analisi del bilancio si deve però valutare il periodo di tempo, nel nostro caso i due anni di taratura del modello, in funzione delle valutazioni che si vogliono effettuare in termini di bilancio. In ogni caso il ricorso anche in questo caso alle simulazioni di scenario sulla base di precise ipotesi alternative di prelievo risulta necessario per una completa definizione del problema.

Le verifiche di carattere puntuale rispetto al punto 2) necessitano invece di ulteriori approfondimenti relativamente alla dinamica all’interno dello strato non saturo, che tende a svolgere una funzione di immagazzinamento della massa di soluto e quindi a smorzare il segnale costituito dalla concentrazione che arriva in falda e quindi a nascondere le peculiarità dinamiche, tipicamente quelle stagionali, che distinguono le due maggiori fonti di contaminazione.

Per quello che riguarda poi i punti da 3) a 5), si tratta di obiettivi che possono essere perseguiti sviluppando gli adatti scenari di simulazione, come meglio descritto nei due paragrafi seguenti.

#### **2.6.2.1 Verifiche su base idraulica**

Su base puramente idraulica sono possibili le simulazioni di scenari che hanno per obiettivo quello di verificare la risposta del sistema sotterraneo a diverse ipotesi di ingresso/uscita dell’acqua. Queste ipotesi, a loro volta, possono essere classificate sulla base delle modalità di caratterizzazione degli scenari di simulazione, ad esempio:

- a) identificazione di zone di estrazione ottimali a parità di domanda idrica: in questo caso si intende la possibilità di verificare la risposta in termini di pressione/carico idraulico mantenendo lo stesso livello di sfruttamento, ma variando la posizione dei punti di presa. Dato che la risposta dell'acquifero non è omogenea, è possibile una forma di ottimizzazione in termini puramente geometrici, che tuttavia può dare risultati significativi;
- b) ottimizzazione della domanda idrica in senso stretto: in tal caso si opera sul versante della domanda idrica e si tenta di stimare la domanda indipendentemente dalla risorsa, per poi verificare se la risorsa è in grado di soddisfare la domanda compiutamente e a quale costo ambientale (subsidenza, per esempio), o riduzione significativa delle riserve ecc.;
- c) interventi per l'aumento della ricarica fluvio-zenitale: in questa categoria rientrano gli scenari che derivano da ipotesi ingegneristiche di incremento della ricarica. Tali ipotesi, a loro volta, sono ottenibili con approcci diversi, che vanno dall'utilizzazione di bacini di cava esausti, ai pozzi di iniezione, ai canali a perdere ecc.

### **2.6.2.2 Verifiche su base idraulica e sul trasporto di nitrati**

Vi è poi la possibilità di combinare gli scenari idraulici con il trasporto dei nitrati, sapendo che da questo punto di vista vi è sia la verifica delle ipotesi di sostenibilità e delle ipotesi di risanamento. Nel caso specifico del Marecchia appare subito evidente che la situazione ad oggi è già oltre il limite della sostenibilità e che bisogna dedicarsi soprattutto a scenari di risanamento.

In via non esaustiva, queste azioni possono essere riferite a:

- a) identificazione delle zone di estrazione con il minimo rischio di contaminazione. Questo aspetto va associato con le ipotesi di ottimizzazione della collocazione dei campi pozzo, dato che vi possono essere sia possibili sinergie, sia possibili effetti negativi che si sovrappongono;
- b) verifica dei risultati attesi di determinate azione normative sul versante degli sversamenti e delle aree di protezione;
- c) miglioramento dei criteri di protezione delle acque pubbliche, analogamente al punto precedente;
- d) infine, si possono citare gli interventi – e relative simulazioni – utili per il contenimento diretto di particolari sorgenti di contaminazione (fogne, scarichi civili e industriali ecc.);
- e) verifica dei progetti di ricarica artificiale, oltre che per la stima delle riserve idriche utilizzabili, per la valutazione degli effetti della diluizione sui nitrati e sul risanamento in generale.

### **2.6.3 Elementi di supporto alle scelte di pianificazione della risorsa idrica**

*Due priorità per la pianificazione e la tutela*

Le brevi considerazioni precedentemente esposte portano alla seguente conclusione:

*priorità n. 1)* per evitare la subsidenza (che è il guaio peggiore e con conseguenze più costose tra quelli che lo sfruttamento delle risorse sotterranee può generare) non vi è altra alternativa che concentrare l'attenzione sulla porzione effettivamente rinnovabile (caso *a*) dei tre schematizzati),

perché lo sfruttamento delle falde che ricadono nei casi *b)* e *c)* non è mai indipendente dalla subsidenza.

*priorità n. 2)* per poter sfruttare le risorse rinnovabili, le stesse non devono subire processi di degrado della qualità a causa del quale sono oggi tagliate fuori dall'interesse generale.

Le logiche conseguenze di queste evidenze sono:

- la necessità di concentrare l'attenzione e le risorse soprattutto sul recupero di qualità dell'acqua di falda in modo da invertire la tendenza in atto da decenni;
- la necessità di limitare assolutamente l'estrazione dell'acqua dalle falde confinate o comunque a contatto con acquitardi diffusi e significativi (casi *b)* e *c)*).

Oltre a ciò, le solite ovvie considerazioni di carattere non meno importante:

- primo tra tutti il rispetto del principio di sostenibilità, che non ha senso e non può essere messo in pratica se non vi è la salvaguardia della qualità della risorsa;
- l'inaccettabilità della diffusione in quantità massicce di sostanze dannose per la salute.

Non va dimenticato il fatto che una parte significativa dei nitrati diffusi per acque sotterranee viene veicolato in mare attraverso il flusso delle acque delle falde freatiche (circuito del caso *a)*). Ne segue che le azioni di tutela e risanamento che riguardano le acque sotterranee producono effetti significativi anche sulle acque marittime.

#### *Indicazioni operative*

Avendo acquisito il principio della salvaguardia della qualità come "motore" della pianificazione, ne segue la necessità di provvedere alla realizzazione di due tipi di azione:

- 1) eliminazione delle sorgenti di contaminazione;
- 2) verifica delle possibilità di risanamento nel breve, medio e lungo periodo.

#### *Eliminazione delle sorgenti di contaminazione*

Il modello matematico ha permesso di verificare la coerenza tra le principali sorgenti della contaminazione da nitrati e la distribuzione delle concentrazioni nelle acque sotterranee. Sulla base delle evidenze dei dati isotopici è anche confermata la natura della contaminazione che è un miscuglio di azoto organico e inorganico. Poiché il modello non simula il flusso e trasporto nel mezzo non saturo, non è stato possibile verificare la presenza di situazioni di dettaglio, tali da consentire una migliore definizione delle origini.

Resta il fatto che il problema nitrati nel Marecchia si traduce:

- in un ingresso principale nella zona apicale della conoide. Si tratta di una fascia di 3 x 3 km, nell'ambito della quale si concentra una larga parte degli ingressi di nitrati in falda;
- un ingresso posto poco a nord di S. Arcangelo;
- un terzo ingresso nella parte sud-est dell'area di studio.

L'eliminazione passa attraverso una ricognizione sul terreno, eventualmente accompagnata dal rilievo speditivo dei nitrati in acque superficiali (fossi e canali) e

sotterranee per circoscrivere rapidamente e quanto meglio possibile le fonti effettive (fossi inquinati, fogne rotte, vasche di liquami non efficienti, uso di fertilizzanti organici e inorganici eccessivo rispetto alle capacità di assorbimento delle piante).

Le azioni da intraprendere sono relativamente semplici:

- a) *sistemazione dei manufatti ove necessario;*
- b) *definizione delle zone di protezione delle acque sotterranee, come previsto dalle norme vigenti in materia.*

Entrambe le azioni possono essere realizzate rapidamente ed i risultati conseguiti nel breve e brevissimo periodo.

#### *Risanamento nel breve, medio e lungo periodo.*

Le azioni di risanamento hanno senso solo dopo aver effettuato, o almeno iniziato, la rimozione (o almeno il contenimento) delle sorgenti; in assenza di questa prima fase di interventi qualsiasi altra ipotesi è praticamente inutile.

Per affrontare il risanamento è necessario costruire e poi simulare con il modello opportuni scenari alternativi, dato che questo è l'aspetto più complesso del problema.

Infatti, l'unica strada percorribile concretamente è quella della rimozione per diluizione in acque pluvio-fluviali abbastanza pulite; ciò si ottiene:

- 1) semplicemente attendendo gli effetti del passaggio delle acque fresche nelle zone contaminate;
- 2) sviluppando azioni opportune per accelerare il processo basato sul flusso a gravità (es.: ricarica artificiale, drenaggio forzato con i pozzi).

Gli effetti e l'efficacia di ciascuna possibile azione vanno misurati attraverso la realizzazione di simulazioni specifiche, da organizzare sulla base di scenari studiati con attenzione.

Ad esempio, si deve tenere conto che la rimozione dei nitrati dalle falde più superficiali per gravità porta inevitabilmente ad un aumento contestuale del carico sversato a mare dalla falda stessa. Il risanamento delle falde profonde, invece, può avvenire solo per via forzata, salvo dover gestire il problema della depurazione delle acque estratte.

In ciascun caso, devono essere stimati i tempi di risposta delle falde e le masse in gioco.

### 3. VALUTAZIONI SULLA SUBSIDENZA (C5)

#### 3.1 IL MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA IN EMILIA-ROMAGNA

La subsidenza antropica è oggetto di monitoraggio in Emilia-Romagna da oltre 50 anni ad opera di Enti diversi che hanno istituito e misurato, in epoche diverse, reti di livellazione in ambiti locali più o meno limitati. Tali iniziative, osservate in un contesto regionale, rivelano sovrapposizioni, disomogeneità e lacune tali da rendere estremamente difficoltosa la definizione di un quadro organico del fenomeno. Al fine di superare tali difficoltà ARPA, su incarico della Regione e in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna, ha progettato ed istituito nel 1997-98 una **Rete Regionale di Controllo della Subsidenza** costituita, in particolare, da una rete di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e una rete di circa 60 punti GPS. Entrambe le reti sono state progettate a partire dal vasto patrimonio di capisaldi esistenti in un'ottica di ottimizzazione e valorizzazione delle precedenti esperienze selezionate ed integrate in funzione di un progetto a scala regionale.

La rete, nel suo complesso, è stata misurata per la prima volta nel 1999 [13]. Con tale rilievo, ad ogni caposaldo di livellazione è stata attribuita una quota assoluta sul livello medio del mare riferita, in particolare, ad un caposaldo ritenuto stabile sito nei pressi di Sasso Marconi (Appennino bolognese) e collegato alla rete di livellazione di alta precisione dell'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.).

Nell'ambito dello stesso lavoro sono stati realizzati i primi confronti fra le quote ottenute nel 1999 e le quote relative ai capisaldi storici presenti nella rete misurate da Enti diversi in periodi diversi. Tale confronto, in questa fase di rilievo "zero" della rete, ha presentato inevitabilmente problemi legati alla non uniformità dei piani di riferimento adottati dai vari Enti. Si è quindi cercato, in collaborazione con la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Ferrara, di risolvere tali problemi pervenendo infine a valori di correzione da applicare alle varie campagne di livellazione con lo scopo di renderle confrontabili fra loro.

Nel 2005 ARPA su incarico della Regione Emilia-Romagna ha avviato un progetto che prevede l'aggiornamento delle conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza, tramite l'interazione di due tecniche:

1. la livellazione di alta precisione di un sottoinsieme della rete regionale (circa il 50% delle linee di livellazione);
2. l'analisi interferometrica S.A.R. (Synthetic Aperture Radar) estesa all'intero territorio di pianura della regione.

La prima tecnica ha come scopo principale quello di prestare un supporto topografico alla seconda tecnica di tipo satellitare, la quale evidenzierà le velocità di movimento verticale del suolo con un grado di discretizzazione molto superiore rispetto alle livellazioni (oltre 100.000 punti). Tuttavia, ancor prima di arrivare ai risultati dell'analisi interferometrica, la livellazione è in grado di fornire, lungo le linee misurate, i movimenti verticali del suolo intervenuti dalla prima misura del 1999.

Nell'ambito del presente studio, in particolare, sono state realizzate elaborazioni *ad hoc* sui dati derivanti dalla prima misura della rete regionale (rete di livellazione). Vengono

inoltre fornite alcune indicazioni di massima sull'evoluzione del fenomeno negli ultimi 6 anni sulla base dei recentissimi dati derivanti dalle misure di livellazione eseguite nel 2005 [14]. Tali indicazioni sono da considerarsi parziali e provvisorie in attesa della completa realizzazione dell'analisi interferometrica, tuttora in corso, che potrà fornire un quadro di fenomeno più completo, preciso e aggiornato.

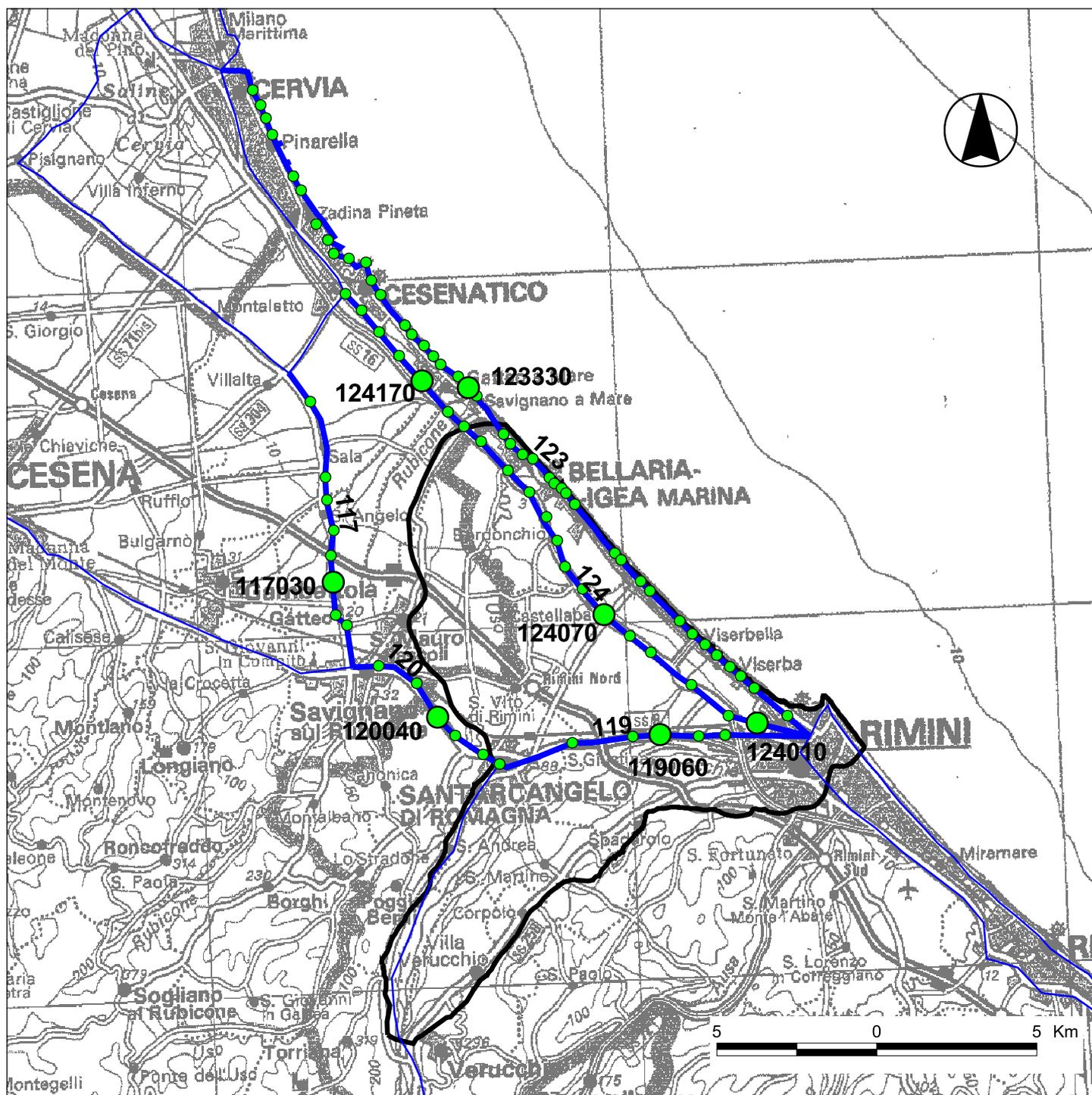
### **3.2 IL FENOMENO DELLA SUBSIDENZA NEL TERRITORIO RIMINESE NEL PERIODO 1987-1999**

Nell'ambito del presente progetto, sono state analizzate, in particolare, le linee della rete regionale di controllo della subsidenza ricadenti nel territorio della Provincia di Rimini e, in minima parte, della Provincia di Forlì-Cesena:

- Linee 120 e 119 (SS. 9 Via Emilia da Savignano sul Rubicone a Rimini);
- Linea 117 (da Savignano sul Rubicone a Villalta );
- Linea 124 (SS. 16 Adriatica da Rimini a Cesenatico);
- Linea 123 (litoranea da Rimini a Cesenatico).

La Figura 3-1 mostra la distribuzione dei capisaldi di livellazione (circa un centinaio). In tale figura vengono evidenziate sia le linee di livellazione lungo le quali sono stati elaborati gli andamenti delle velocità medie annue di abbassamento del suolo nel periodo 1987/93-99, sia i singoli capisaldi per i quali sono stati costruiti i diagrammi quota-tempo. In particolare questi ultimi sono stati scelti all'interno degli areali maggiormente subsidenti e sulla base della disponibilità di dati storici ampliando così, almeno puntualmente, la finestra temporale di analisi dei dati.

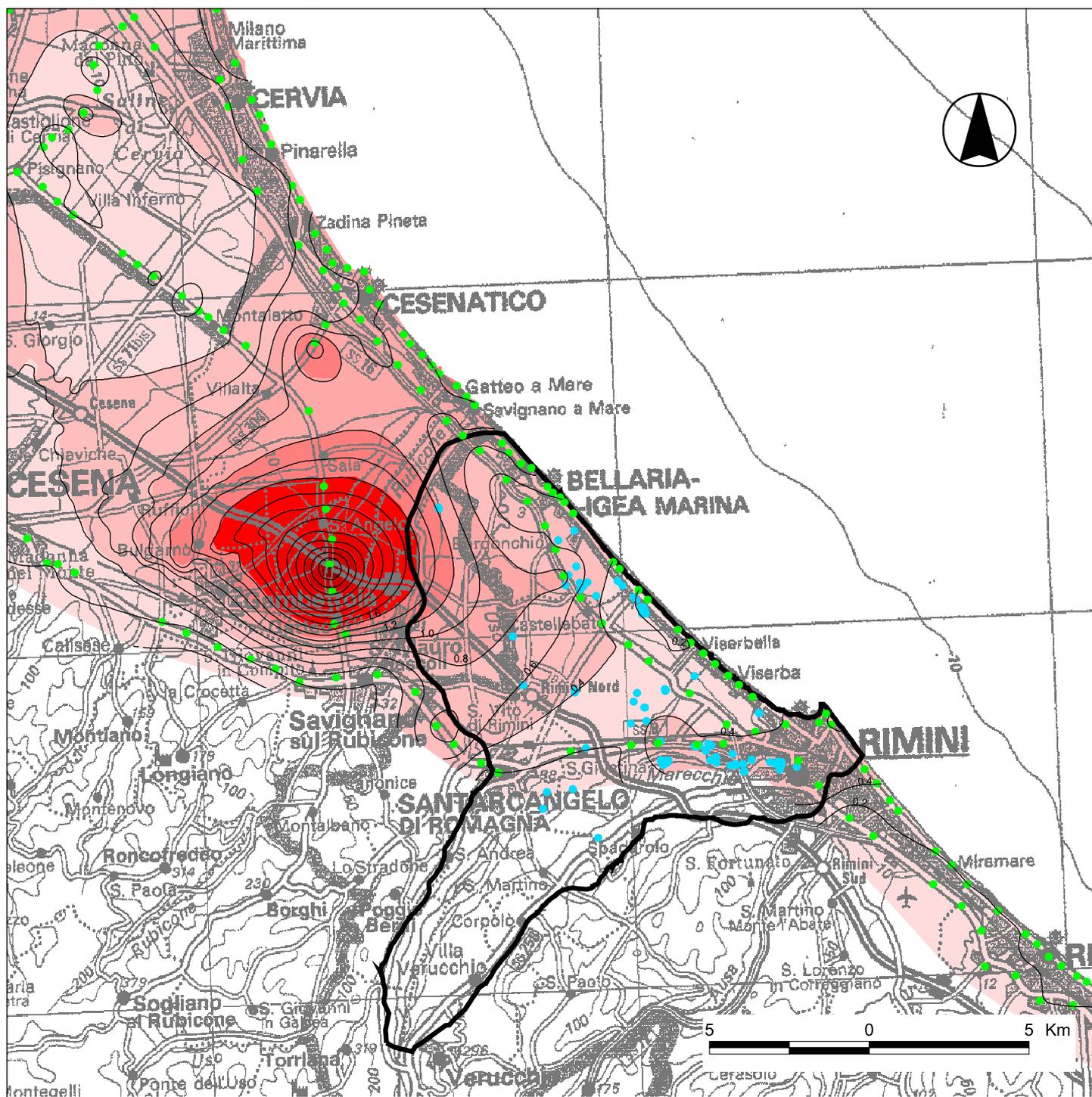
Figura 3 - 1 Linee e capisaldi di livellazione della rete regionale di controllo della subsidenza



-  Limite della conoide del Fiume Marecchia
-  Linee di livellazione
-  Linee di livellazione analizzate nel periodo 1987/93 - 1999
-  Capisaldi delle linee di livellazione analizzate
-  Capisaldi di livellazione con analisi temporale di lungo periodo

I capisaldi relativi alle Province di Rimini e di Forlì-Cesena, hanno contribuito alla costruzione della carta regionale delle isocinetiche di abbassamento del suolo, la quale è stata prodotta utilizzando i dati disponibili sul territorio regionale derivanti da reti di livellazione istituite da Enti diversi e misurate in periodi diversi. In Figura 3-2 è riportato un estratto di tale cartografia relativa al territorio oggetto del presente studio nella quale, in particolare, le velocità di abbassamento sono da riferirsi ai periodi dal 1987/90/93 al 1999.

Figura 3 - 2 Carta a curve di uguale velocità di abbassamento del suolo nel periodo 1987/93 - 1999



▬ Limite della conoide del Fiume Marecchia

● Prelievi ad uso civile

● Capisaldi di livellazione

▬ Curve di uguale velocità di abbassamento del suolo (cm/anno)

Velocità di abbassamento del suolo (cm/anno)

■ velocità < 0.4

■ 0.4 < velocità < 0.8

■ 0.8 < velocità < 1.2

■ 1.2 < velocità < 1.6

■ 1.6 < velocità < 2.0

■ 2.0 < velocità < 2.4

■ 2.4 < velocità < 2.8

■ 2.8 < velocità < 3.2

■ velocità > 3.2

Da un esame della Figura 3-2 si può notare come all'interno dell'area di conoide sia presente un fenomeno di subsidenza abbastanza uniforme, fatta eccezione per i valori ben superiori riscontrabili lungo la linea 117. Si può infatti osservare che lungo le linee 120, 119, 123 e 124 i valori di subsidenza oscillano fra 0,1 e 1,3 cm/anno con una media intorno a 0,5 cm/anno, mentre da Savignano sul Rubicone a Villalta, lungo la linea 117, la media risulta essere pari a 2,1 cm/anno con valori compresi fra 1 e 3,6 cm/anno, il cui picco si riscontra presso Sant'Angelo in Comune di Gatteo (Tabella 3-1).

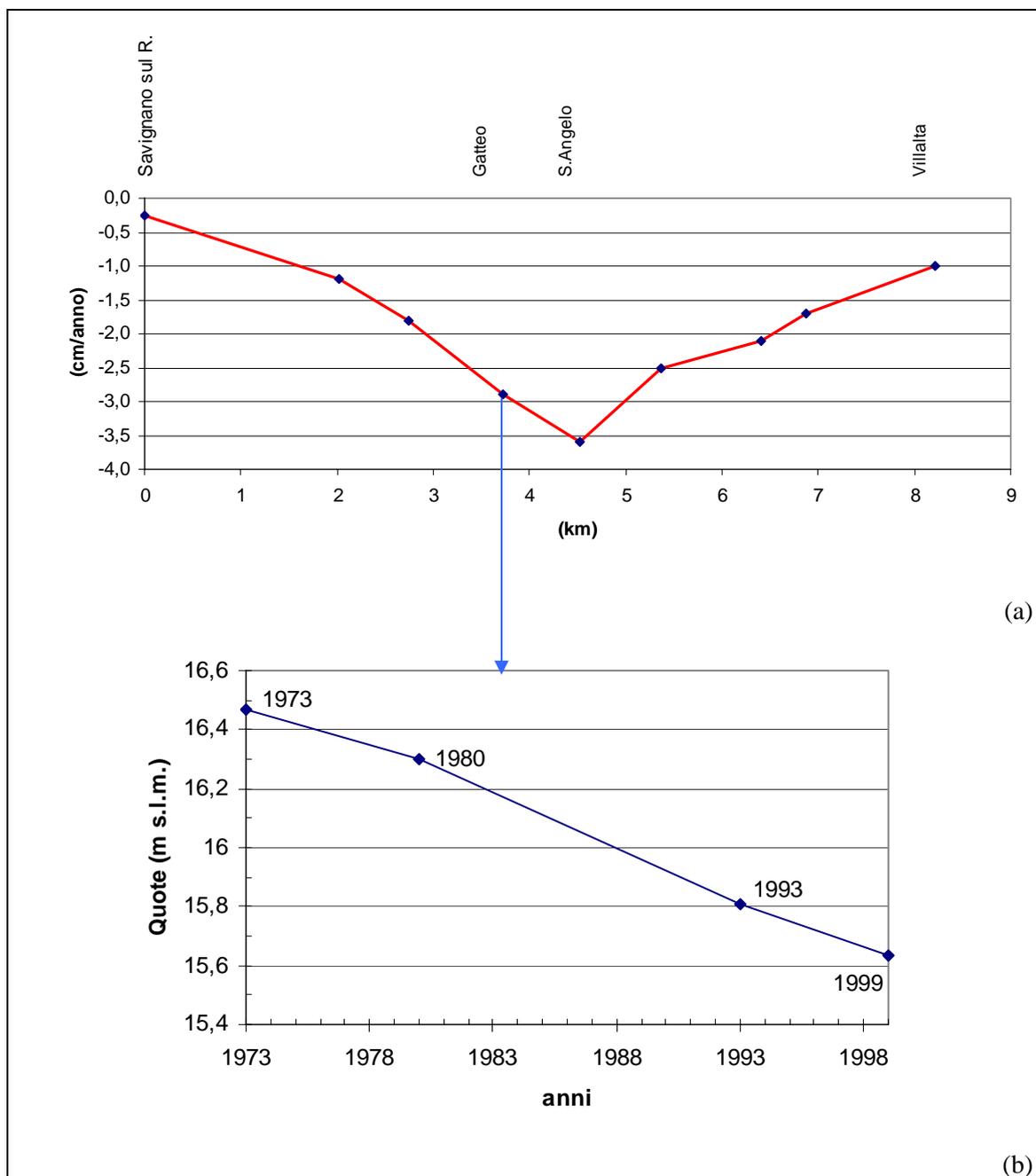
Tabella 3-1: Velocità medie annue di abbassamento del suolo lungo le linee di livellazione ubicate in prossimità della conoide del Marecchia, calcolate nel periodo compreso fra il 1987-90-93 e il 1999

Linea di livellazione	Subsidenza minima (cm/anno)	Subsidenza massima (cm/anno)	Subsidenza media (cm/anno)	Località più subsidente lungo la linea
117	1,0	3,6	2,1	Sant'Angelo
119	0,2	0,6	0,3	Ca' dell'Ospedale
120	0,2	0,9	0,5	Podere Ranocchio
123	0,1	1,3	0,7	Gatteo a Mare
124	0,2	1,1	0,6	Villa Marina

Come si può osservare, la massima subsidenza nell'areale riminese è concentrata alcuni km ad ovest del limite nord-occidentale della conoide del Marecchia, presso la località Sant'Angelo, all'altezza dell'autostrada.

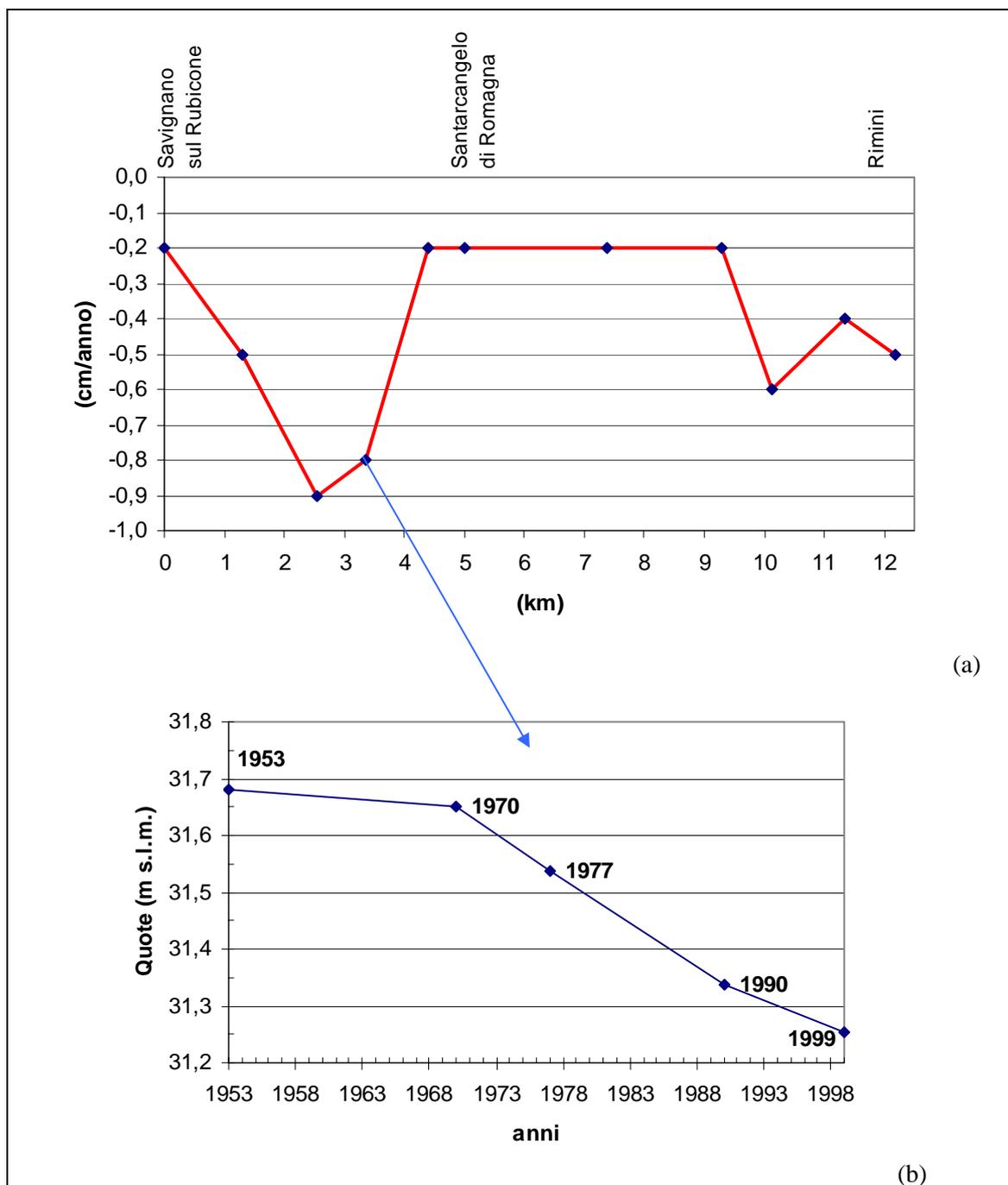
Successivamente verranno analizzati i profili di abbassamento costruiti lungo le 4 linee selezionate e per ciascun profilo verranno evidenziati i diagrammi quota-tempo dei capisaldi ritenuti più rappresentativi.

Figura 3-3: Velocità di abbassamento lungo la linea 117 da Savignano sul Rubicone a Villalta nel periodo 1993-1999 (a) e diagramma di abbassamento del caposaldo 117030 – Gatteo (b).



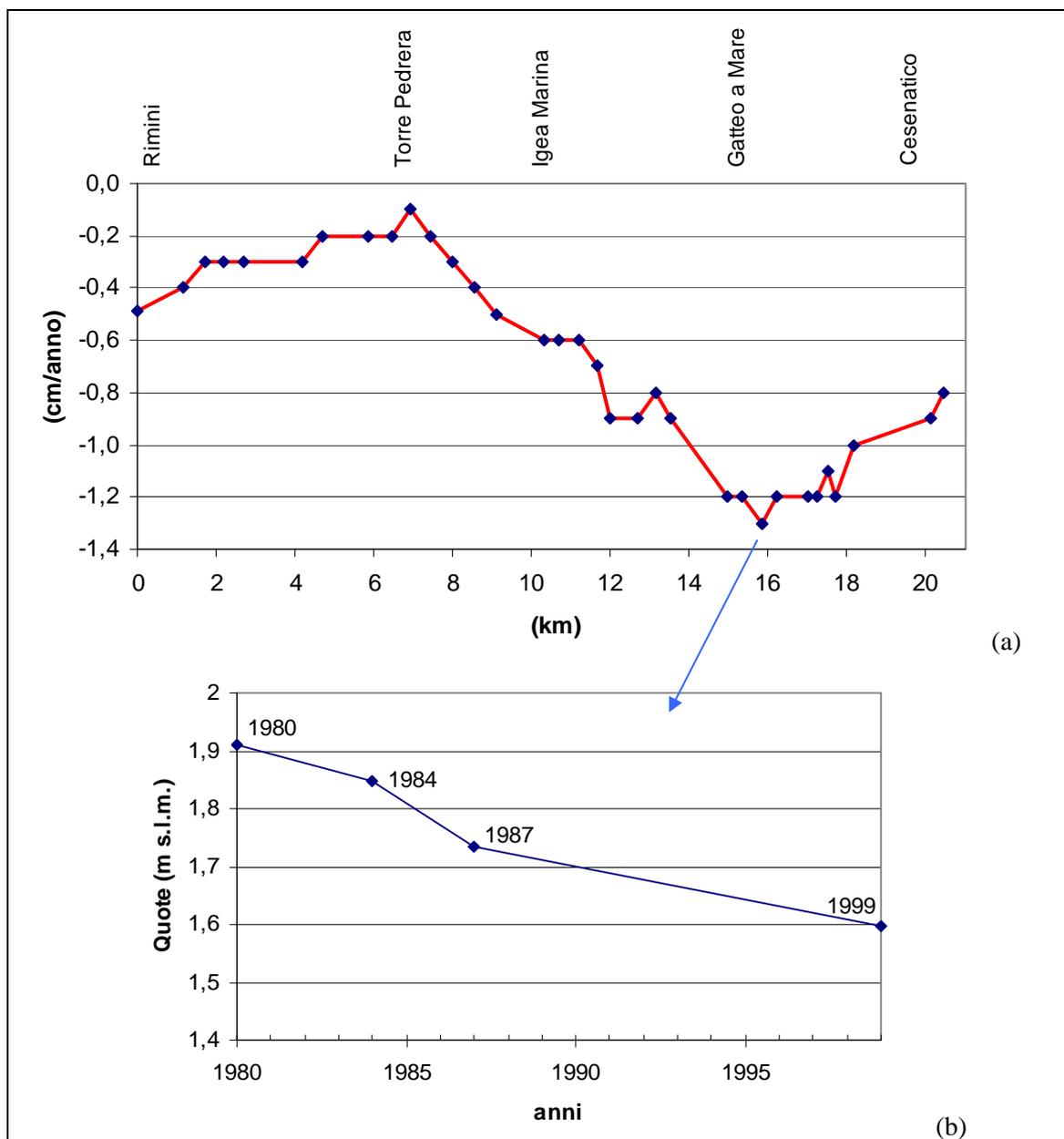
In Figura 3-3 (a) si può notare come lungo la linea 117, che lambisce il limite ovest della conoide, siano presenti i massimi valori di abbassamento nel periodo 1993-1999, con un picco di oltre 3.5 cm/anno in corrispondenza di località S. Angelo a nord di Gatteo. In particolare, in Figura 3-3 (b) si riporta il diagramma di abbassamento del caposaldo 117030 (Gatteo) che evidenzia un abbassamento di circa 90 cm in 26 anni, pari a 3.4 cm/anno.

Figura 3-4: Velocità di abbassamento lungo le linee 120-119 da Savignano sul Rubicone a Rimini nel periodo 1990-1999 (a) e diagramma di abbassamento del caposaldo 120040 – Loc. Vincenzi (b).



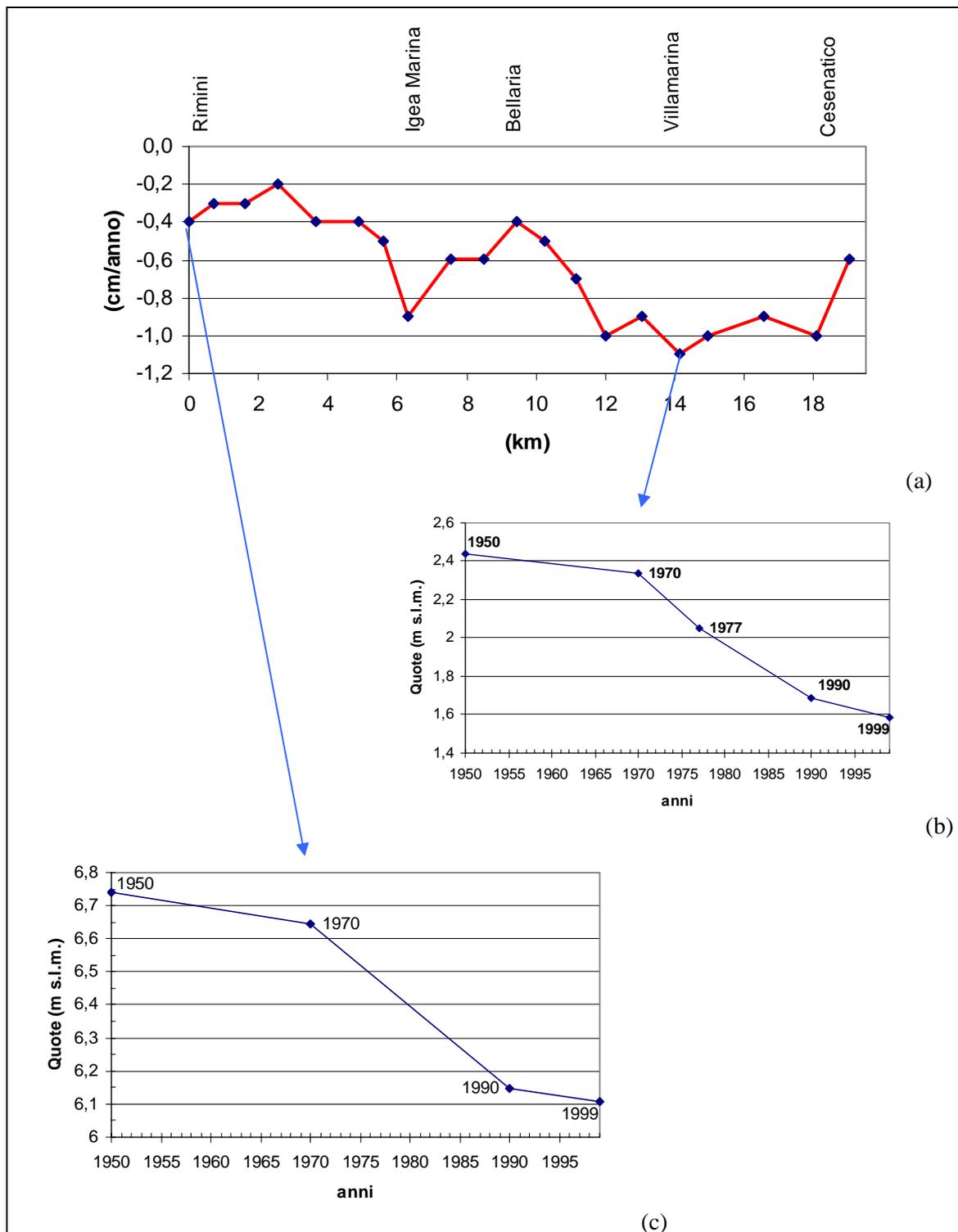
Lungo le linee 119-120 (Figura 3-4 (a)) si può notare nel periodo 1990-1999 una subsidenza di tipo pressoché naturale in corrispondenza dei centri di Savignano sul Rubicone e Santarcangelo di Romagna, mentre, appena ad est di Savignano, si evidenzia uno sprofondamento con un picco massimo di 0.9 cm/anno. In particolare in Figura 3-4 (b) si riporta il diagramma di abbassamento del caposaldo 120040 (loc. Vincenzi) che evidenzia un abbassamento di circa 40 cm in 46 anni, pari a 0.9 cm/anno.

Figura 3-5: Velocità di abbassamento lungo la linea 123 da Rimini a Cesenatico (litoranea) nel periodo 1987-1999 (a) e diagramma di abbassamento del caposaldo 123330 – Gatteo a Mare (b)



Sulla linea 123 (Figura 3-5 (a)), materializzata lungo la litoranea da Rimini a Cesenatico, si possono notare a partire da Rimini abbassamenti progressivamente minori da 0.5 cm/anno fino a meno di 0.2 cm/anno in corrispondenza di Torre Pedrera. Successivamente gli sprofondamenti vanno via via aumentando sino a raggiungere il punto massimo, in questo tratto di costa, di oltre 1.2 cm/anno a Gatteo a Mare. In quest'ultima località il diagramma di abbassamento del caposaldo 123330 (Figura 3-5 (b)) evidenzia un abbassamento di 32 cm in 19 anni, pari a circa 1.7 cm/anno.

Figura 3-6: Velocità di abbassamento lungo la linea 124 da Rimini a Cesenatico (SS. 16 Adriatica) nel periodo 1990-1999 (a), Diagramma di abbassamento del caposaldo 124170 – Villamarina (b) e Diagramma di abbassamento del caposaldo 124010 – Rimini (Cimitero) (c).



Sulla linea 124 (Figura 3-6 (a)), materializzata lungo la SS. 16 Adriatica da Rimini a Cesenatico, si può notare un andamento generale simile a quello già rilevato sulla linea litoranea. In particolare il caposaldo iniziale 124010, materializzato in corrispondenza del Cimitero di Rimini (Figura 3-6 (b)), evidenzia un abbassamento di circa 63 cm in 49 anni, pari a circa 1.3 cm/anno, mentre il caposaldo 124170 a Villamarina di Cesenatico (Figura 3-6 (c)) evidenzia un abbassamento di circa 85 cm in 49 anni (1.7 cm/anno).

### 3.3 Tendenza del fenomeno nel periodo 1999-2005

Nell'ambito della campagna di misure del 2005 (cfr. par. 3.1) è stato ripetuto il rilievo di tutte le linee evidenziate in Figura 3-1, ad eccezione della linea 124 (SS. 16 Adriatica). Nella Tabella 3-2 viene riportato per alcune località il confronto tra i valori di subsidenza del precedente periodo e quelli del periodo più recente.

Tabella 3-2: Confronto tra le velocità di abbassamento nel periodo 1999-2005 e le velocità di abbassamento nei precedenti periodi in alcune località.

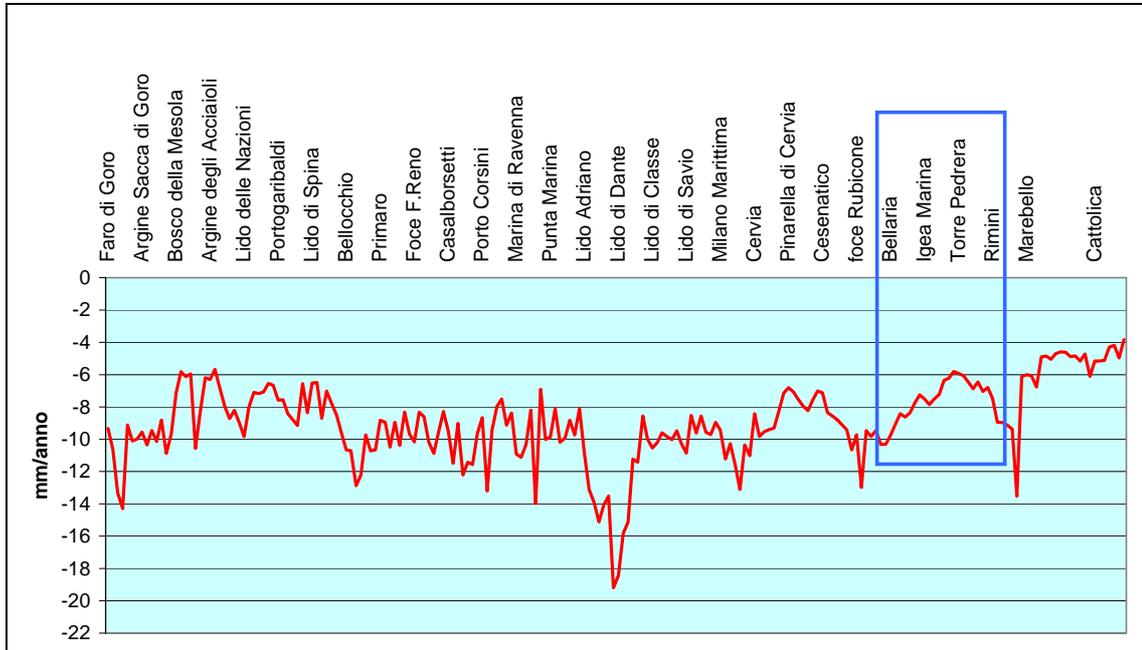
ID Caposaldo	Periodo	Velocità di abbassamento (mm/anno)	Velocità di abbassamento nel periodo 1999-2005 (mm/anno)	LOCALITA'
122350	1987-1999	2	4	Cattolica
122030	1987-1999	6	9	Rimini
123120	1987-1999	2	6	Torre Pedrera
123250	1987-1999	9	10	Bellaria
123330	1987-1999	12	10	Gatteo a Mare
123410	1987-1999	10	9	Cesenatico
117040	1993-1999	36	12	Gatteo
117060	1993-1999	21	21	Verzaglia (Gatteo)
120010	1990-1999	2	4	Savignano sul Rubicone
000720	1990-1999	2	4	Santarcangelo di Romagna

Si evidenzia, sostanzialmente, un aumento delle velocità di abbassamento in gran parte dell'areale riminese:

- lungo la costa l'aumento è presente da Rimini a Torre Pedrera, mentre più a nord si mantengono i trend precedenti;
- sprofondamenti più pronunciati si manifestano lungo l'intero tratto di via Emilia ricadente nell'area di conoide;

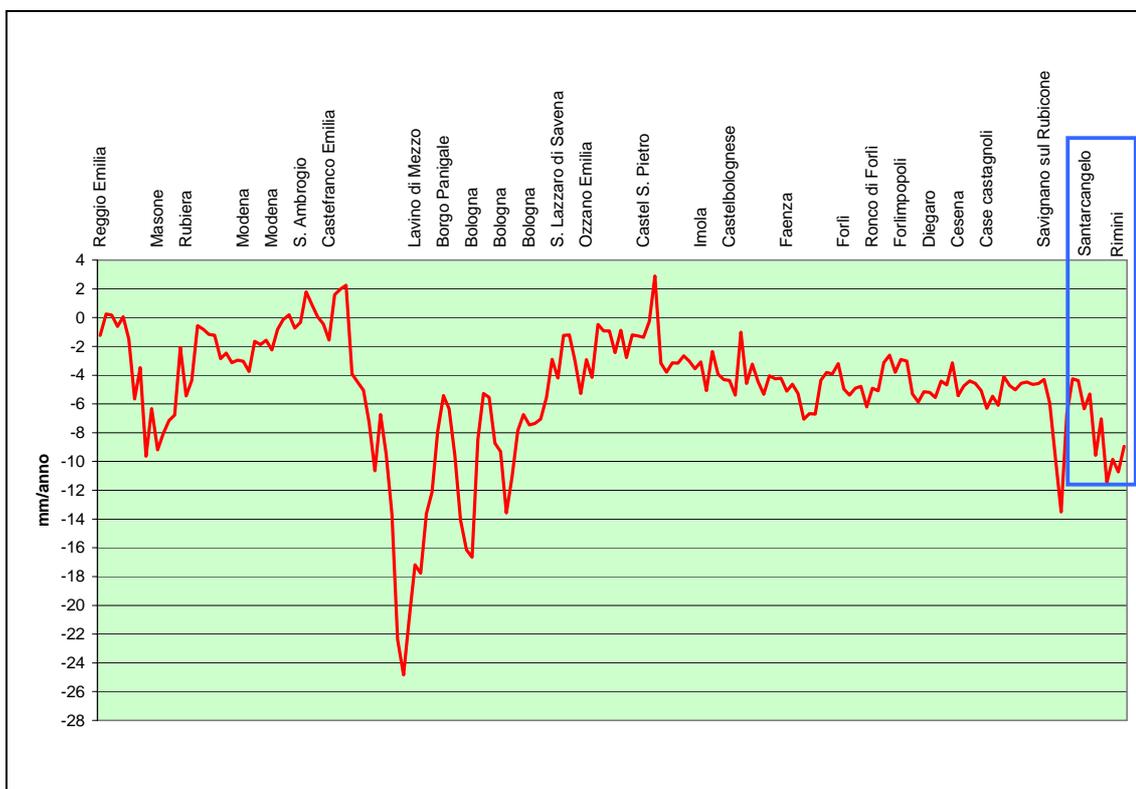
Una diminuzione del fenomeno si nota invece lungo la linea da Savignano sul Rubicone a Villalta, pur mantenendosi i valori in questo tratto al di sopra della media rispetto ai valori degli altri tratti analizzati.

Figura 3-7: Velocità di abbassamento lungo il litorale emiliano-romagnolo nel periodo 1999-2005 – Nel riquadro è evidenziato il tratto di profilo ricadente all'interno della conoide.



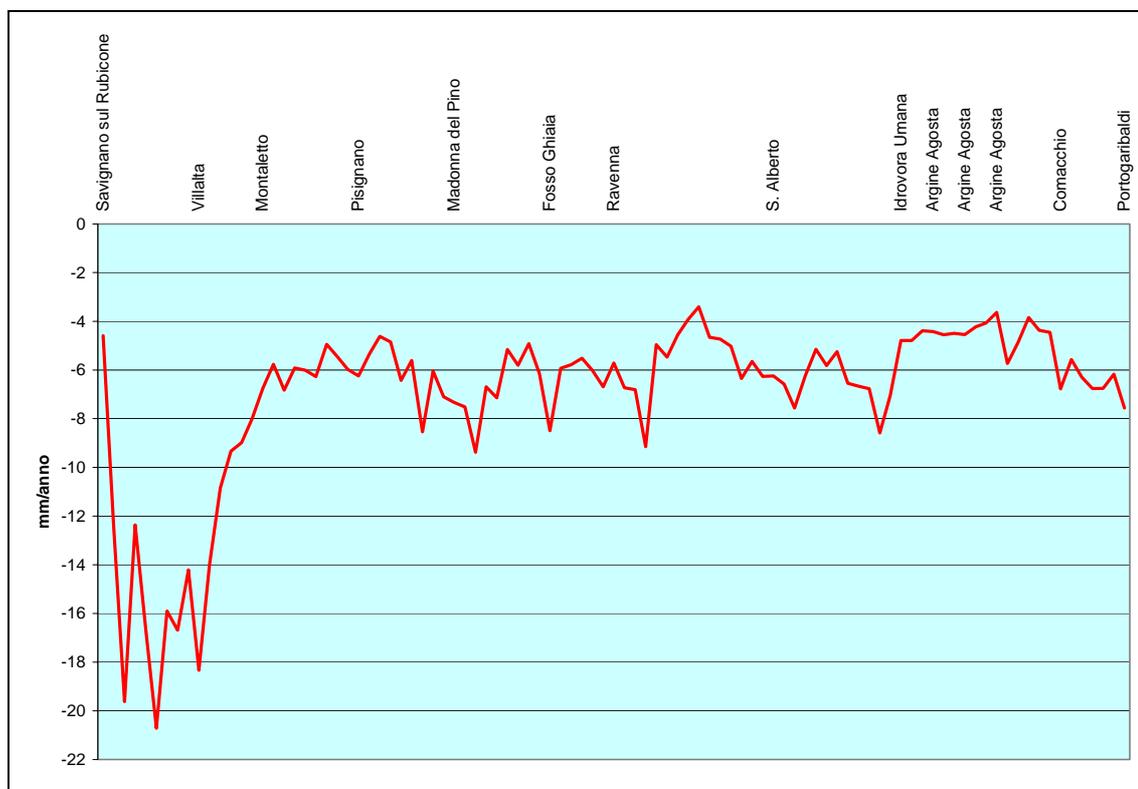
Come si può notare, confrontando il profilo di Figura 3-7 e il profilo di Figura 3-5 (a), relativo quest'ultimo alle velocità di abbassamento nel periodo 1987-1999, nel tratto di litorale ricadente all'interno della conoide si evidenzia un incremento dei ratei di subsidenza da Rimini fino a Torre Pedrera, mentre procedendo verso Bellaria viene mantenuto il trend precedente.

Figura 3-8: Velocità di abbassamento lungo la via Emilia nel periodo 1999-2005 – Nel riquadro è evidenziato il tratto di profilo ricadente all'interno della conoide.



Il confronto tra il profilo di Figura 3-8 ed il profilo di Figura 3-4 (a), relativo quest'ultimo alle velocità di abbassamento nel periodo 1990-1999, evidenzia un incremento dei ratei di subsidenza lungo l'intero tratto ricadente all'interno della conoide.

Figura 3-9: Velocità di abbassamento da Savignano sul Rubicone a Portograribaldi nel periodo 1999-2005.



Il profilo di Figura 3-9 è confrontabile, nel suo tratto iniziale da Savignano sul Rubicone a Villalta, con il profilo di Figura 3-3 (b) relativo al periodo 1993-1999. Si può notare come nel periodo più recente si siano attenuati quegli abbassamenti particolarmente pronunciati presenti nel periodo precedente, anche se, con punte intorno a 2 cm/anno, gli attuali sprofondamenti lungo questa linea rimangono i più elevati nell'areale riminese e forlì-cesenate.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.
- [2] Autorità di Bacino Interregionale Marecchia e Conca, 2002 - *Uso e tutela della risorsa idrica. Studio conoscitivo finalizzato al progetto di piano di bacino.*
- [3] Idroser S.p.A., novembre 1990. *Determinazione delle caratteristiche quali-quantitative delle risorse idriche sotterranee della conoide del fiume Marecchia*. Rapporto Tecnico.
- [4] Consorzio di Bonifica dell'Uso del Conca e dell'Agro Riminese – Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, 1977. *Studi e ricerche metodologiche per il ravvenamento artificiale del Conoide del Fiume Marecchia a scopo idropotabile e irriguo*. Rimini.
- [5] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) *Supporto per il bilancio idrico regionale, predisposizione di una analisi di sintesi a livello regionale, sui bilanci idrici, con disaggregazione per gli areali appartenenti alle diverse Autorità di Bacino*. Rapporto tecnico. Bologna.
- [6] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Modelli afflussi-deflussi nel reticolo idrografico naturale principale del territorio regionale*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività D. Rapporto tecnico. Bologna.
- [7] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2002) *Progetto Operativo Monitoraggio Acque: indagine di idrologia isotopica*. Rapporto tecnico finale. Bologna.
- [8] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, (1997). *Quadro conoscitivo a livello comunale delle acque sotterranee nei primi 100 metri di profondità*. In Supporto per la predisposizione di criteri tecnici e procedurali ai fini di una metodologia omogenea alla istruttoria dei prelievi idrici. Rapporto tecnico. Bologna.
- [9] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Le acque sotterranee della Regione Emilia Romagna: modello concettuale*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività B. Rapporto tecnico. Bologna.
- [10] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Creazione di una banca dati informatizzata per la parametrizzazione idrodinamica degli acquiferi*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle

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

- [11] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003). *Completamento del quadro conoscitivo sui carichi puntuali e diffusi e verifica ed aggiornamento del catasto degli scarichi*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività E. Rapporto tecnico. Bologna.
- [12] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna (2003) *Individuazione e disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano*. In Supporto tecnico alla Regione Emilia-Romagna, alle Province ed alle Autorità di Bacino per la elaborazione del Piano Regionale Di Tutela delle Acque e Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (Art. 44 del D. Lgs. 152/99 e Art. 115 L.R. 3/99) - Quadro conoscitivo Attività G. Rapporto tecnico. Bologna.
- [13] Regione Emilia-Romagna – ARPA (2001): *Misura della rete regionale di controllo della subsidenza, misura di linee della rete costiera non comprese nella rete regionale, rilievi batimetrici*, a cura di F. Bonsignore, Bologna, ARPA - Struttura di Ingegneria Ambientale.
- [14] Regione Emilia-Romagna – ARPA (2006): *Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola. Misura della rete costiera di controllo della subsidenza*, a cura di F. Bonsignore, Bologna, ARPA - Struttura di Ingegneria Ambientale.
- [15] Brooks, R.H. & Corey, A.T. 1964. *Hydraulic properties of porous media*. Hydrology paper n. 3, Colorado State University, Fort Collins, CO. 27 pp.
- [16] Calzolari, C. and Ungaro, F., 2001. *I modelli MACRO e SOILN: l'esperienza del progetto SINA-Carta pedologica in aree a rischio ambientale*. In *Modellistica e qualità ambientale dei suoli*, RTI CTN SSC 1/2001, ANPA Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 79-103.
- [17] Eckersten, H., Jansson, P.E. and Johnsson, H., 1996. *SOILN model, user's manual*, 3<sup>th</sup> Ed. Comm. 96:1, Swedish Univ. Agric. Sci., Dpt. of Soil Sciences, Uppsala.
- [18] Hargreaves, G. H. e Samani, Z. A., 1982. *Estimating potential evapotranspiration*. Tech. Note J. Irrig. Drain. Eng.
- [19] Jarvis, N.J 1994. *The MACRO model (version 3.1) Technical description and sample simulations*. Reports and dissertations n. 19, Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Soil Sciences, Uppsala, pp. 51.
- [20] Johnsson, H., Bergstrom, L., Jansson, P.E. & Paustin, K. 1987. *Simulation of nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil*. Agriculture, Ecosystem and Environment, 18, 333-356.

- [21] Larsson, M.H. and Jarvis, N.J., 1999. *A dual porosity model to quantify macropore flow effect on nitrate leaching*. J. Environ. Qual., 28, 1298-1307.
- [22] Larsson, M.H., 1999. *Quantifying Macropore Flow Effects on Nitrate and Pesticide Leaching in a Structured Argillose Soil. Field experiments and modeling with the MACRO and Argillose Soil*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 34 pp.
- [23] Regione Emilia - Romagna, Assessorato Agricoltura Ambiente e Sviluppo Sostenibile, 2004. *Disciplinari di produzione integrata*.
- [24] Regione Emilia – Romagna, Assessorato Agricoltura Ambiente e Sviluppo Sostenibile, 2004 . *Piano di Tutela delle Acque* (adottato con D.C.R. n. 633 del 22 dicembre 2004).
- [25] Van Genuchten, M. Th., Leij, F.J. e Yates, S.R., 1991. *The RETC Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils*. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of research and Development, U.S. Environmental Protection agency, ADA, OK 74820, pp 85.
- [26] Autorità di Bacino del Fiume Po, 1998. *Sottoprogetto n°2.1 – Inquinamento delle acque superficiali e sotterranee*.
- [27] Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA), 2001. *Manuale per l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici*. Edizioni l'Informatore Agrario.
- [28] Regione Emilia-Romagna, Assessorato Programmazione, Pianificazione e Ambiente, 1993. *Piano territoriale regionale per il risanamento e la tutela delle acque (L.R. 9/93) – Relazione generale*.
- [29] Regione Emilia-Romagna, Assessorato Agricoltura, 1995. *Impatto dell'uso agricolo del suolo sul dissesto idrogeologico, area pilota collina cesenate*. Collana studi e ricerche.
- [30] Regione Emilia-Romagna, Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo Sostenibile, Arpa-Ingegneria Ambientale, 2002. *Studio finalizzato alla definizione di procedure e metodologie per il controllo degli scarichi di fognatura in applicazione del D.Lgs. 152/99*.
- [31] Ducco, G., 1997. *Quantificazione dei flussi idrici e di azoto da diversi terreni e colture foraggere. Calibrazione e validazione di LEACHM e sua applicazione stocastica*. Tesi di dottorato. Dipartimento di Agronomia - Università di Torino.
- [32] Hanway, J.J., 1963. *Growth stages of corn (Zea mays L.)*. Agron. J. 55:487-492.
- [33] Hutson, J.L. e Wagenet, R.J., 1992. *LEACHM. Leaching Estimation and Chemistry Model. A process-based model of water and solute movement, transformation, plant uptake and chemical reaction in the unsaturated zone*. Dept. of Soil, Crop and Atmospheric Sciences. Research Series n°. 92-3. New York, Cornell University.

- [34] Jansson, P. E. e Andersson, R., 1988. *Simulation of runoff and nitrate leaching from an agricultural district in Sweden*. J. Hydrol., 99: 33-47.
- [35] Johnsson, H., Bergström, L., Jansson, P. E. e Paustian, K., 1987. *Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil*. Agric., Ecosystems, and Environm., 18: 333-356.
- [36] Jones, C.A., Cole, C.V., Sharpley, A.N. and Williams, J.R. 1984. *A simplified soil and plant phosphorous model: I. Documentation*. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 800-805.
- [37] Mosello, R. e Morselli, L., 1992. *Rete italiana per lo studio delle deposizioni atmosferiche (RIDEP). Situazione della studi sulla chimica delle deposizioni atmosferiche umide nel 1989 in Italia..* CNR di Verbania Pallanza. N° 33 di DOCUMENTA dell'Istituto Italiano di Idrobiologia. Pagg. 40.
- [38] Sharpley, A.N., Jones, C.A., Gray, C. and Cole, C.V. 1984. *A simplified soil and plant phosphorous model: II: Prediction of labile, organic and sorbed phosphorous*. Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 805-809.
- [39] Sharpley, A.N., Williams, J.R., 1990. *EPIC- Erosion/productivity impact calculator: I. Model documentation*. USDA Technical Bulletin, 1768, 235 pg.
- [40] Zinoni F., A. Battilani, G. Bardasi, G. Ducco, V. Marletto, M. Van Soetendael, T. Tonelli, 2002. *Studio del carico di inquinanti di origine agricola: applicazione del modello CRITERIA al comprensorio della bassa bolognese*. Nota interna ARPA-SMR, Bologna.