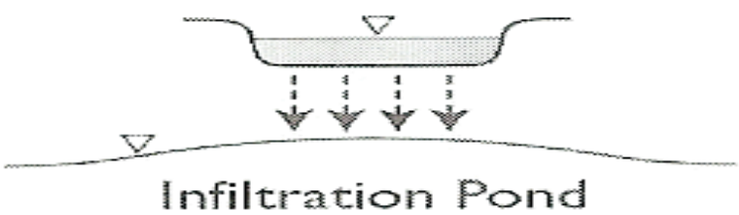
Regione Emilia-Romagna
Assessorato Ambiente e Sviluppo Sostenibile

STUDIO SULLA RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE IN EMILIA-ROMAGNA



RELAZIONE

arpa agenzia regionale prevenzione e ambiente dell'emilia-romagna
Ingegneria Ambientale
Rev.1, luglio 2008

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
Assessorato Ambiente e Sviluppo Sostenibile

Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua
Rosanna Bissoli - responsabile del Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua

ARPA
Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente

Responsabile di Progetto:
Andrea Chahoud - ARPA Ingegneria Ambientale

Gruppo di Lavoro:
Andrea Chahoud - ARPA Ingegneria Ambientale
Pierre Clément Damy - ARPA Ingegneria Ambientale
Gisella Ferroni - ARPA Ingegneria Ambientale
Luca Gelati - ARPA Ingegneria Ambientale
Giacomo Zaccanti - ARPA Ingegneria Ambientale
Luciana Bonzi - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
Paolo Severi - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
Elisa Banzola - consulente ARPA Ingegneria Ambientale
Fabrizio Morandi - consulente ARPA Ingegneria Ambientale
Giuseppe Patrizi - consulente ARPA Ingegneria Ambientale

Si ringraziano per la collaborazione e/o dati forniti:
Massimo Flilippini - Provincia di Rimini
Mauro Mastellari - Autorità di Bacino Conca e Marecchia
Pierangelo Pratelli - Hera Rimini
Marco Farina - Comune di Bologna
Marco Marcaccio - ARPA Direzione Tecnica
Silvia Franceschini - ARPA Sezione Provinciale di Reggio Emilia
Adriano Fava - ARPA Sezione Provinciale di Reggio Emilia
Daniele Cristofori - ARPA Ingegneria Ambientale
Paolo Spezzani - ARPA Ingegneria Ambientale
William Pratizzoli - ARPA Servizio IdroMeteo
Lucio Botarelli - ARPA Servizio IdroMeteo
Roberto Riberti - ARPA Sezione Provinciale di Bologna
Daniela Lucchini - ARPA Sezione Provinciale di Bologna
Cristina Lea Barbieri - ARPA Sezione Provinciale di Bologna
Alberto Capra – ARPA Sezione Provinciale di Rimini
Andrea Scaglioni - Consulente ARPA Ingegneria Ambientale
Domenico Preti - Autorità di Bacino del Reno
Leonardo Caporale - Servizio Tecnico Bacino Reno
Leonardo Rosciglione - Servizio Tecnico Bacino Reno
Ruggero Mazzoni - Provincia di Bologna
Claudio Savoia - Comune di Bologna

La grafica di copertina è stata curata da:
Leda Ferrari - ARPA Ingegneria Ambientale

In copertina: foto di un bacino artificiale di ricarica in Sud Africa

SOMMARIO

1. PREMESSA 1

2. ATTIVITÀ PREVISTE E ORGANIZZAZIONE DEL RAPPORTO 1

3. VALUTAZIONE DEGLI ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE A SUPPORTO DELLO STUDIO 1

3.1 Raccolta ed analisi critica delle esperienze di ricarica artificiale delle falde condotte in ambito nazionale ed internazionale 1
3.1.1 Metodi di ricarica artificiale delle falde 1
3.1.2 Tecniche di ricarica artificiale dirette 3
3.1.3 Tecniche di ricarica artificiale indirette 6
3.1.4 Problematiche inerenti la ricarica artificiale delle falde 6
3.1.5 Esperienze di ricarica artificiale delle falde 7

3.2 Analisi della normativa vigente 8

3.3 Valutazione delle necessità di adeguamento della modellistica delle acque sotterranee 9

4. AREA DI STUDIO N°1: CONOIDE DEL FIUME MARECCHIA... 11

4.1 Descrizione dell'area di studio 11
4.1.1 Ubicazione e caratteristiche geometriche dei bacini 11

4.2 Ricognizione ed analisi degli strumenti vigenti di pianificazione territoriale 14

4.3 Caratterizzazione territoriale ed ambientale dell'area di studio 20
4.3.1 Inquadramento geografico-territoriale 20
4.3.2 Inquadramento geomorfologico 21
4.3.3 Inquadramento geologico 23
4.3.4 Inquadramento idrogeologico ed idrostrutturale 26
4.3.5 Inquadramento idrostratigrafico di dettaglio 29
4.3.6 Caratterizzazione quali-quantitativa delle acque sotterranee 35
4.3.6.1 Elaborazioni piezometriche 35
4.3.6.2 Stato di qualità delle acque sotterranee: i nitrati 39
4.3.7 Caratterizzazione quali-quantitativa delle acque superficiali 41
4.3.7.1 Aspetti quantitativi 41
4.3.7.2 Aspetti qualitativi 41
4.3.8 Analisi dei rapporti falda-fiume 50

4.4 Verifica di fattibilità dell' utilizzo dell'area di studio per la ricarica artificiale delle falde . 52
4.4.1 Valutazione quantitativa delle possibilità di ricarica artificiale ad opera dei laghetti 52
4.4.1.1 Caratteristiche generali 52
4.4.1.2 Organizzazione della simulazione 54
4.4.1.3 Condizioni di calcolo e scenari 56
4.4.1.4 Discussione dei risultati 56
4.4.2 Valutazione degli effetti della ricarica artificiale sulla dinamica di flusso della conoide 60
4.4.2.1 Analisi dei carichi idraulici 60
4.4.2.2 Analisi del bilancio idrogeologico 74

5. AREA DI STUDIO N°2: CONOIDE DEL FIUME RENO 79

5.1 Premessa 79

5.2 Descrizione delle possibili aree di studio 79
5.2.1 Proposte 1 (ponte FS Zanardi e Lippo di Calderara di Reno) 81
5.2.2 Proposte 2 (zona Tiro a Segno) 83

5.2.3 Proposte 3 (area golenale Croce di Casalecchio) 86
5.2.3.1 Variante operativa della proposta 3: intervento diretto sull'alveo del Fiume 88

5.3 Principali elementi di caratterizzazione quali quantitativa delle acque sotterranee 88
5.3.1 Aspetti quantitativi 88
5.3.2 Aspetti qualitativi: analisi dei composti organo alogenati 91

5.4 Principali elementi di caratterizzazione quali quantitativa delle acque superficiali 94
5.4.1 Aspetti quantitativi 94
5.4.2 Aspetti qualitativi 95

5.5 Attività sperimentale di campionamento 99
5.5.1 Area interessata dal campionamento di terreno 99
5.5.2 Metodologie di campionamento 101
5.5.3 Risultati delle analisi 109

5.6 Elementi di possibile integrazione con lo Schema Direttore Reno Vivo 110

5.7 Verifica di fattibilità della ricarica artificiale delle falde in conoide Reno 111
5.7.1 Valutazione quantitativa delle possibilità di ricarica artificiale lungo il Fiume Reno 111
5.7.1.1 Organizzazione delle simulazioni 111
5.7.1.2 Proposta 3.1 (area golenale Croce di Casalecchio) 112
5.7.1.3 Proposta 2.2 (Cava Tiro a Segno) 117
5.7.2 Valutazione degli effetti della ricarica artificiale sulla dinamica di flusso della conoide 122
5.7.2.1 Analisi dei carichi idraulici 123
5.7.2.2 Analisi del bilancio idrogeologico 134

6. CONCLUSIONI 139

6.1 Termini generali per la fattibilità di un intervento di ricarica artificiale delle falde 139
6.1.1 Criterio "idrogeologico" generale 140
6.1.2 Criterio "idrologico" generale 141
6.1.3 Criterio "qualità dell'acqua" 142
6.1.4 Indicazioni generali per una successiva fase di sperimentazione 142

6.2 Conclusioni per la ricarica artificiale in conoide Marecchia 143

6.3 Conclusioni per la ricarica artificiale in conoide Reno 143

7. BIBLIOGRAFIA 146

ALLEGATO 1: SCHEDE MONOGRAFICHE DI STUDI E PROGETTI DI RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE 149

ALLEGATO 2: BIBLIOGRAFIA SPECIFICA DI STUDI E PROGETTI DI RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE 161

ALLEGATO 3: CERTIFICATI DELLE PROVE DI LABORATORIO 165

ALLEGATO 4: RAPPORTI DI PROVA DEI CAMPIONI DI SEDIMENTO E DI ACQUA 173

1. PREMESSA

Il Piano Regionale di Tutela delle Acque, approvato con deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 40 del 21 dicembre 2005, ha evidenziato la necessità di avviare progetti pilota riguardanti alcune tematiche tra le quali quella della ricarica artificiale delle falde. È in tale contesto che si colloca il presente studio che ha individuato le seguenti due zone come quelle di interesse per la possibile sperimentazione:

1) Bologna: ex-cave sul Reno ed aree golenali;
2) Rimini: gli ex bacini di cava situati in destra del Fiume Marecchia ed utilizzabili sia per l'accumulo di acqua a scopo irriguo sia per la ricarica artificiale.

L'obiettivo principale del progetto è quindi quello di verificare la idoneità all'utilizzo delle aree di studio per la sperimentazione della ricarica artificiale delle falde e quindi di fornire i primi indirizzi progettuali per la fattibilità degli interventi.
Come previsto dalla Convenzione, nell'ambito dell'esecuzione delle attività del presente studio Arpa ha provveduto ad attivare gli opportuni contatti con gli Enti territorialmente interessati dalle aree di studio (Servizi regionali, Autorità di Bacino, Comuni e Province), fin dalle fasi iniziali per condividerne gli indirizzi e le possibilità di sviluppo e nelle fasi successive per stimolare il necessario confronto sulle opportunità e le problematiche emerse.

2. ATTIVITÀ PREVISTE E ORGANIZZAZIONE DEL RAPPORTO

L'organizzazione delle attività all'interno dello studio è così articolata:

1. raccolta ed analisi critica delle esperienze di ricarica artificiale delle falde condotte in ambito nazionale ed internazionale;
2. ricognizione ed analisi degli strumenti vigenti di pianificazione territoriale;
3. caratterizzazione territoriale ed ambientale delle aree di studio;
4. verifica di fattibilità dell'utilizzo delle aree di studio per la ricarica artificiale delle falde.

Nella stesura del presente rapporto vengono prima riportati gli elementi di carattere generale a supporto dello studio e quindi di comune interesse per le due aree di studio e successivamente gli specifici elementi di attinenza e di approfondimento per ciascuna di esse.

3. VALUTAZIONE DEGLI ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE A SUPPORTO DELLO STUDIO

3.1 RACCOLTA ED ANALISI CRITICA DELLE ESPERIENZE DI RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE CONDOTTE IN AMBITO NAZIONALE ED INTERNAZIONALE

3.1.1 Metodi di ricarica artificiale delle falde

La ricarica artificiale delle falde acquifere è un metodo tuttora in via di sviluppo che si prefigge, a seconda dei siti di applicazione, uno o più dei seguenti scopi:

- recupero del livello piezometrico di una falda stressata da eccessivi prelievi idrici da pozzi, dovuti al sempre maggiore fabbisogno idrico da parte dell'uomo;

- aumento della potenzialità idrica di una falda acquifera;
- miglioramento qualitativo dell'acqua di falda reso possibile dall'immissione di acqua di qualità superiore con conseguente diluizione di quella di falda;
- riduzione della subsidenza prodotta dagli eccessivi prelievi idrici di acque sotterranee;
- immagazzinamento in bacini di acqua di ruscellamento durante i periodi più piovosi, per una utilizzazione in quelli più siccitosi;
- riduzione dell'intrusione del cuneo salino nelle falde costiere;
- infiltrazione in zone agricole e parchi cittadini di acque reflue trattate ricche di concimanti naturali.

Le ragioni che spingono ad intraprendere interventi di ricarica artificiale, piuttosto che approvvigionamenti idrici per mezzo di dighe sono numerose. Infatti, la costruzione di questi manufatti incontra diverse problematiche fra cui:

- locazioni adatte difficili da trovare;
- l'evaporazione può raggiungere i 2 m/anno con conseguente perdita di risorsa;
- accumulo di sedimenti;
- rischio di cedimento della struttura, rischio di terremoto;
- malattie provocate da acque contaminate;
- problemi ecologici (distruzione di habitat, specie in estinzione);
- problemi ambientali (interramento, erosione costiera, subsidenza, impatto paesaggistico);
- problemi socio-culturali (evacuazione abitanti, distruzione di siti archeologici e luoghi sacri);
- opposizione pubblica;
- elevato costo dei lavori di realizzazione;

Inoltre, fra gli aspetti favorevoli all'applicazione di interventi di ricarica artificiale si possono elencare i seguenti:

- un serbatoio sotterraneo è protetto da fioritura di alghe, pioggia radioattiva, evaporazione e terremoti;
- attraverso filtrazione ne consegue una purificazione dell'acqua immessa con eliminazione o riduzione di solidi sospesi, microrganismi patogeni e inquinanti;
- si ottiene una attenuazione delle fluttuazioni di qualità e temperatura dell'acqua immagazzinata;
- l'acquifero può anche essere utilizzato per il trasporto dell'acqua come se fosse un acquedotto.

Condizioni necessarie per effettuare interventi di ricarica artificiale sono la disponibilità di:

- strati permeabili in superficie o a profondità non molto elevate
- quantità sufficienti di acqua superficiale di buona qualità.

Fra le fonti d'acqua da utilizzare in interventi di ricarica artificiale sono da annoverare le seguenti:

- corsi d'acqua perenni
- corsi d'acqua intermittenti
- acqua potabile
- acqua piovana
- acqua d'irrigazione
- ruscellamento diretto urbano e autostradale
- effluenti reflui trattati
- acque residue industriali trattate.

Le tecniche di ricarica artificiale utilizzate sono di due tipi: dirette e indirette.

Si precisa che, attualmente, gli interventi vengono realizzati per lo più all'estero, mentre in Italia sono principalmente in via di sperimentazione.

3.1.2 Tecniche di ricarica artificiale dirette

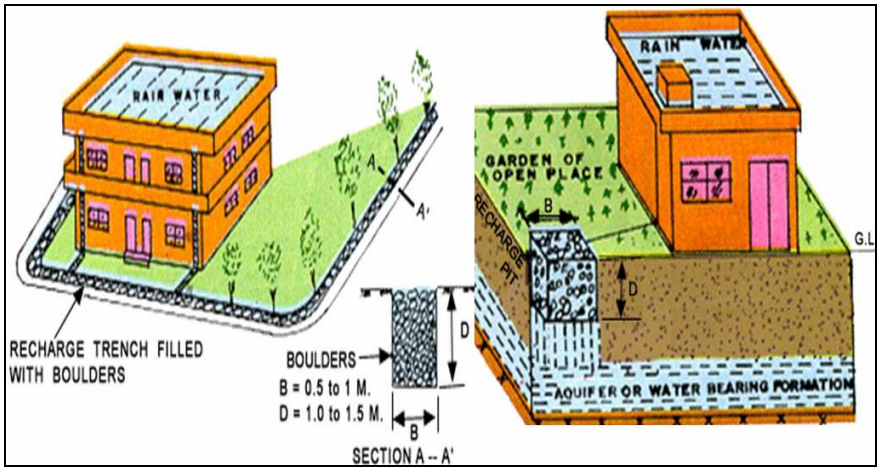
Le tecniche di ricarica artificiale dirette si suddividono a loro volta in superficiali e in sotterranee.
I tipi di ricarica artificiale superficiale si possono ulteriormente differenziare in tre sottocategorie:

1. raccolta d'acqua (Cina, India, Tailandia, Nepal)
2. strutture interne a letti fluviali (Egitto, India, Kenya, Namibia, Oman, USA, Italia)
3. strutture esterne a letti fluviali (Paesi Bassi, Egitto, Taiwan, Sud Africa, Italia).

La prima sottocategoria comprende:

- interventi di raccolta di acqua piovana da tetti di abitazioni, che può essere immagazzinata all'interno di cisterne o può essere scaricata in un acquifero per mezzo di fosse o pozzi riempiti con materiale grossolano (Figura 3.1);
- aratura secondo le curve di livello dei terreni e terrazzamenti in modo da contrastare il ruscellamento superficiale (Figura 3.2)

Figura 3.1: esempio di raccolta di acqua piovana immessa in un acquifero per mezzo di fosse o pozzi riempiti con materiale grossolano (India).



Fra le strutture interne a letti fluviali vi sono opere quali:

- piccole dighe da ubicare lungo corsi d'acqua intermittenti, aventi lo scopo di arrestare il ruscellamento superficiale. Spesso a valle di tali manufatti vengono collocati alcuni pozzi per avere la possibilità di prelevare parte dell'acqua immagazzinata (Figura 3.3a);
- particolari arginature che incanalano un corso d'acqua secondo percorsi tortuosi di lunghezza maggiore rispetto a quella naturale, che aumentano quindi la superficie bagnata del letto; piccoli sbarramenti posti a distanza regolare lungo un corso d'acqua; sistemi di fossi che si diramano da un canale (Figura 3.3c-d);
- dighe sotterranee dette bandhara. Sono costruite all'interno di un acquifero e devono poggiare su un substrato roccioso impermeabile. Hanno lo scopo di ridurre le variazioni del livello piezometrico dell'acquifero coinvolto (Figura 3.4).

Le principali strutture da realizzare esternamente a letti fluviali sono:

- bacini artificiali (Paesi Bassi, Sud Africa, California, Bustan, Italia), che spesso possono essere ex cave, oppure canali (Figura 3.5b);
- irrigazione a pioggia (Finlandia, Figura 3.5a);
- inondazioni di terreni.
- Questi ultimi tre metodi necessitano dei seguenti requisiti:
- volumi d'acqua disponibili;
- bassi contenuti di solidi sospesi per evitare l'intasamento dei fondi;
- alto tasso di infiltrazione del bacino;

- l'acquifero deve essere freatico, sufficientemente permeabile, non inquinato e senza evaporiti (alite, gesso).

Figura 3.2: esempi di: a) aratura secondo le curve di livello del terreno (Australia); b) terrazzamento realizzato in Yemen per favorire l' invasamento durante la breve stagione delle piogge.

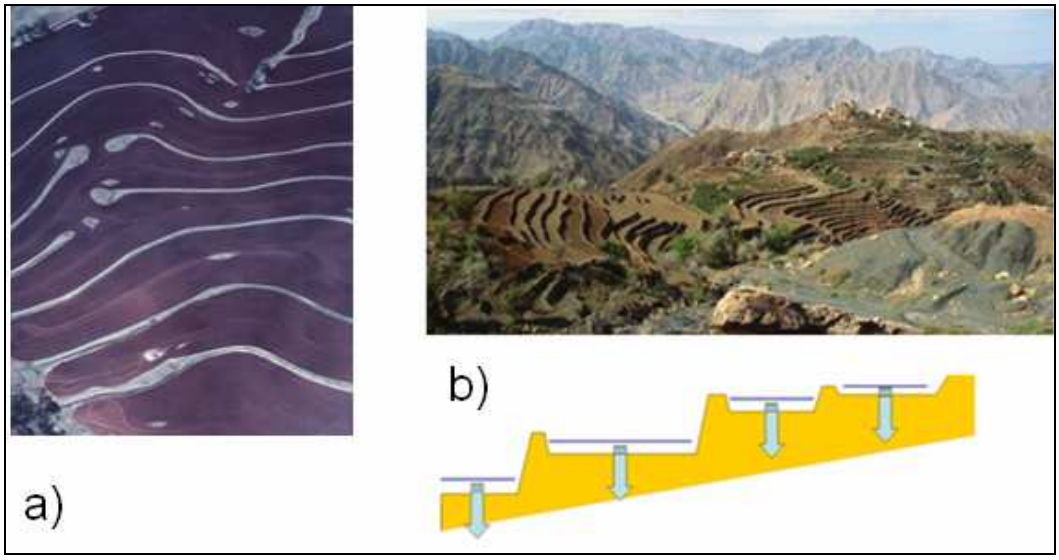


Figura 3.3: esempi di sistemi atti ad aumentare la percolazione: a) piccola diga per immagazzinare acqua (India); b) fossi che si diramano da un canale (da Oaksford in Asano, 1985); c) arginature a T (San Gabriel River in California); d) piccoli sbarramenti posti a distanza regolare lungo un corso d'acqua.

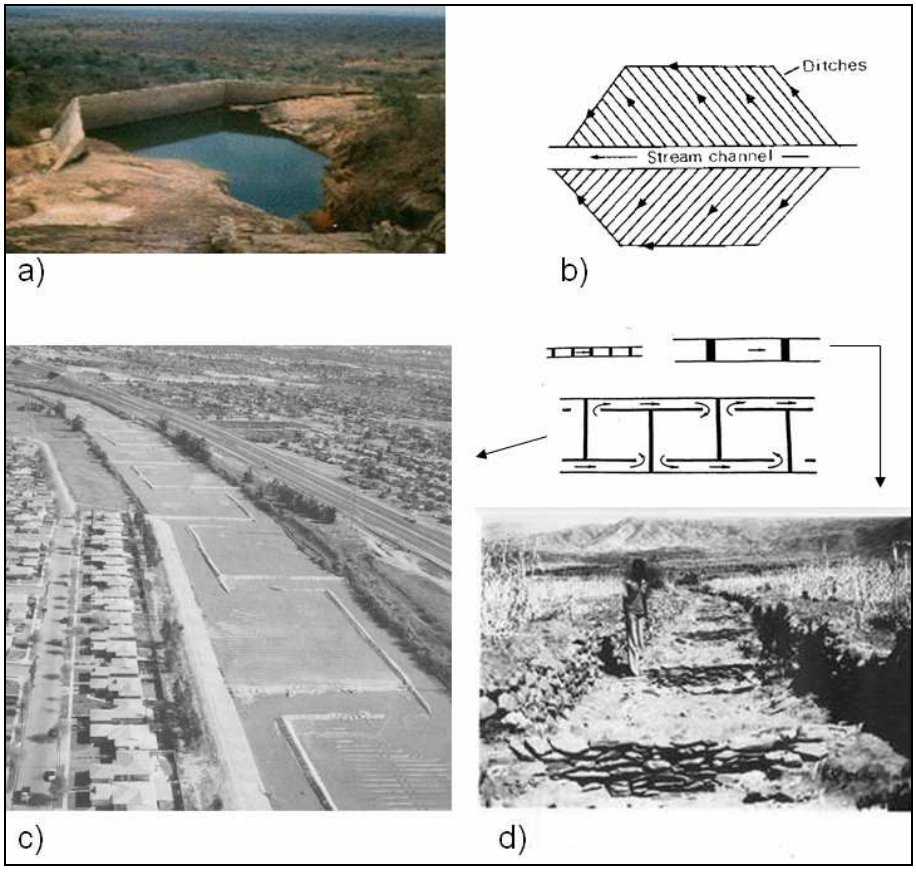


Figura 3.4: ricarica artificiale attraverso una diga sotterranea (Chadha, 2002)

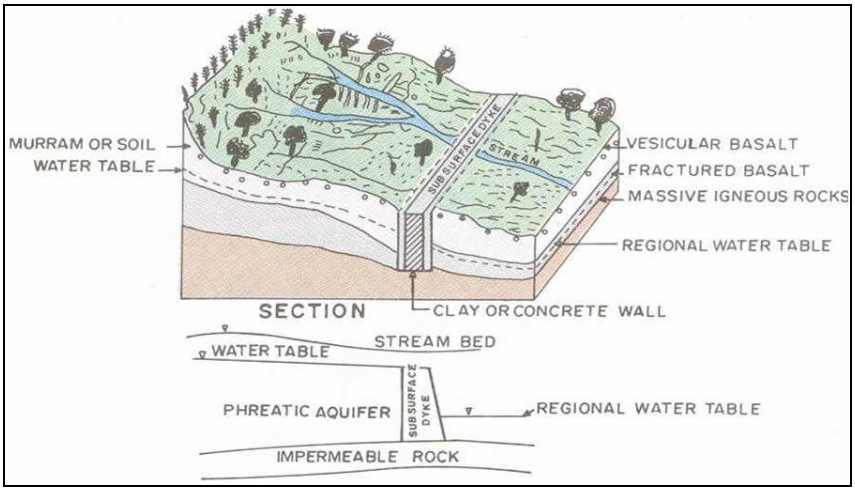
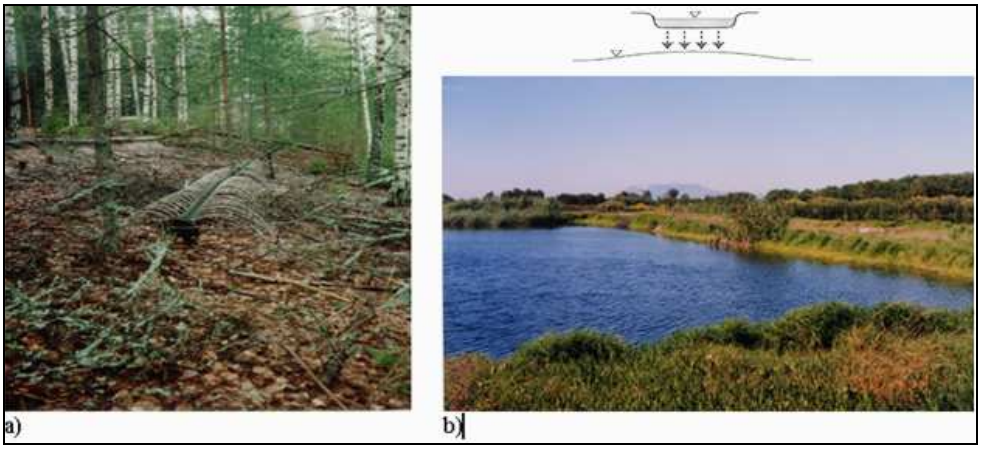


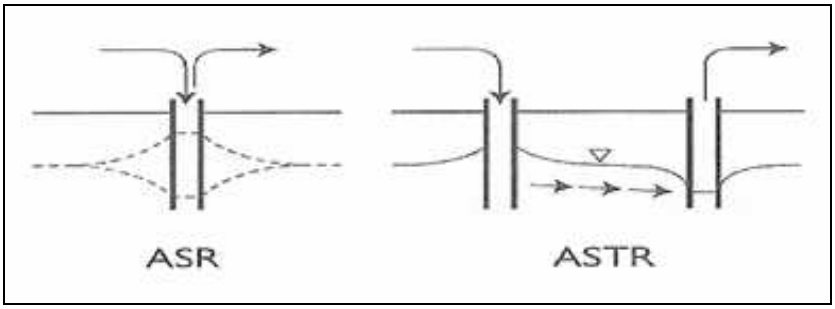
Figura 3.5: esempi strutture di ricarica artificiale da realizzare esternamente a letti fluviali: a) irrigazione a pioggia (Finlandia); b) bacino artificiale (Sud Africa) con schema d'infiltrazione (Dillon, 2005).



Le tecniche di ricarica artificiale sotterranea realizzate all'estero (Australia, Messico, USA, Paesi Bassi) consistono in:

- pozzi di iniezione (a pressione);
- pozzi di ricarica (per gravità);
- pozzi vadosi (di profondità minima 60 m, riempiti da ghiaie con al centro un filtro)
- gallerie di ricarica;
- pozzi di iniezione che possono funzionare anche in estrazione nei periodi estivi di massima richiesta idrica o per consentire il mantenimento del minimo deflusso vitale (Las Vegas). Tali pozzi sono detti ASR (sigla che sta per Acquifero, Stoccaggio, Recupero, Figura 3.6). Esistono anche pozzi detti ASTR, composti da due pozzi: uno di monte che funziona in iniezione e uno di valle in prelievo. Rispetto al metodo ASR si aggiunge quindi il trasporto di acqua fra i due pozzi.

Figura 3.6: schemi di un pozzo ASR con doppia funzione di iniezione e prelievo e di pozzi ASTR, dove quello di monte è di iniezione, mentre quello di valle è di prelievo (Dillon, 2005).



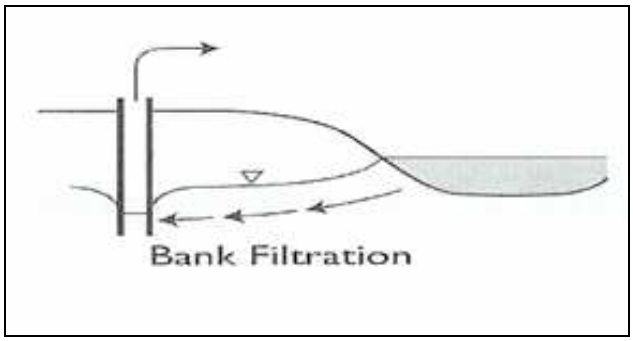
Questi metodi sotterranei sono da applicare quando non vi sono terreni disponibili e quando la zona vadosa non è adatta o inquinata. Necessitano di diversi requisiti quali:

- un acquifero profondo o confinato;
- disponibilità di acqua ;
- spesso una preventiva filtrazione per evitare l'intasamento dei filtri e l'inquinamento dell'acquifero, oltre che una clorazione più una eventuale microfiltrazione e/o un'osmosi inversa per eliminare virus, batteri e patogeni. Tali trattamenti sono indispensabili nel caso si utilizzi acque reflue;
- l'acqua di iniezione non deve differire troppo dall'acqua dell'acquifero;
- la pressione piezometrica in un pozzo di iniezione deve essere < 0.2 volte la profondità del filtro.

3.1.3 Tecniche di ricarica artificiale indirette

Per quanto riguarda il metodo della ricarica indiretta o indotta, si tratta di acqua superficiale di un fiume perenne che viene richiamata verso la sottostante falda in connessione idraulica da un significativo prelievo idrico nell'acquifero ottenuto attraverso pozzi. Tale prelievo è responsabile di generare un cono di depressione nella falda stessa, a sua volta induttore del suddetto richiamo d'acqua fluviale. Nell'applicazione di tale metodo è cruciale la distanza fra pozzo e fiume, affinché il tempo di percorrenza sia sufficientemente lungo per migliorare la qualità dell'acqua in modo naturale (Figura 3.7).

Figura 3.7: schema di ricarica artificiale indotta (Dillon, 2005)



Alcuni casi di tale tecnica sono stati realizzati in Germania, Ungheria, Paesi Bassi, USA.

3.1.4 Problematiche inerenti la ricarica artificiale delle falde

Nell'intraprendere un progetto di ricarica artificiale, è importante valutare i seguenti effetti:

- diminuzione nel tempo del grado di infiltrazione sul fondo di un bacino o sui filtri dei pozzi a seguito:

a) dell'innalzamento piezometrico prodotto sulla falda
b) dell'intasamento dei pori prodotto da solidi sospesi

- effetti di peggioramento qualitativo dell'acqua di ricarica dovuti all'attraversamento dell'insaturo
- impatto ambientale

Occorre inoltre considerare diversi fattori di fondamentale importanza tra i quali:

- disponibilità di determinati volumi d'acqua
- compatibilità delle caratteristiche chimico-fisiche fra l'acqua di ricarica e quella di falda
- idoneità delle caratteristiche strutturali e idrodinamiche dell'acquifero e dell'insaturo sovrastante.

Una valutazione molto importante è sicuramente il calcolo stimato della ricarica artificiale efficace attraverso un bilancio idrogeologico in un bacino artificiale. A questo proposito si può considerare la seguente equazione (Heilweil *et alii,* 2005):

$$\mathbf{R = I_{sw} - O_{sw} - (+/- \Delta S) - E}$$

dove:

- R è il volume della ricarica artificiale efficace, cioè quella che raggiunge la falda;
- I_{sw} è il volume di acqua superficiale immessa nel bacino artificiale;
- O_{sw} è il volume di acqua superficiale prelevata dal bacino artificiale;
- ΔS è la variazione del volume di acqua superficiale immagazzinata (+) o ceduta (-) all'interno del bacino artificiale;
- E è il volume dell'evaporazione.

L'evaporazione potenziale (PET) può essere calcolata in cm/giorno con la seguente relazione (McGuinness e Bordne, 1971):

$$\mathbf{PET = [(0.01*T_a) – (0.37*Q_s)]*2.54}$$

dove:

- T_a è la temperatura dell'aria in gradi Farenheit
- Q_s è la radiazione solare in calorie/cm^2/giorno.

Per quanto riguarda il grado di infiltrazione sul fondo di un bacino è importante valutare la conducibilità idraulica, che è funzione sia delle proprietà dell'acquifero sia del fluido; in particolari condizioni climatiche gioca un ruolo importante la temperatura dell'acqua che influenza la viscosità della stessa.

La permeabilità intrinseca rappresenta, invece, la componente della conducibilità idraulica relativa alle proprietà dell'acquifero. È da notare che l'aumento di quest'ultima in inverno sembra essere causato dalla scomparsa di biofilm e materiale algale legata alla ridotta attività biologica dei periodi dell'anno più freddi, e/o dalla riduzione delle dimensioni delle bolle di gas intrappolate nell'acquifero.

3.1.5 Esperienze di ricarica artificiale delle falde

È stata effettuata una raccolta delle esperienze di ricarica artificiale della falda condotte:

- a livello internazionale nei paesi all'avanguardia nella ricerca e sperimentazione per questi tipi di interventi;
- a livello nazionale, con particolare attenzione a quelle presenti in ambito regionale.

Dalla ricerca si è constatato che rispetto all'estero, in Italia gli interventi di ricarica artificiale delle falde acquifere sono meno diffusi e per lo più in via di sperimentazione.

L'analisi è stata finalizzata alla valutazione delle diverse scelte progettuali adottate in funzione delle particolari situazioni locali di intervento ed in rapporto alle specifiche esigenze e problematiche emerse. Particolare interesse ha riguardato le tipologie di tecniche utilizzate, i

contesti territoriali di applicazione e gli obiettivi degli interventi realizzati. La ricerca ha riguardato anche le tecniche disponibili e le particolari problematiche ad esse connesse.
Tutto il materiale raccolto è stato quindi così strutturato

1) redazione di una scheda monografica dei principali lavori censiti (paese/elementi tecnici/contesto territoriale/ esigenze/ problematiche) evidenziando i maggiori problemi emersi in situazioni simili a quelle del nostro territorio. Per ciascuna pubblicazione sono state indicate diverse informazioni schematiche sugli aspetti principali, ovvero: paese e anno della pubblicazione, scopi, contesto territoriale, tecnologia adottata, problemi emersi, dati tecnici ed eventuale utilizzo della modellistica. (allegato 1);
2) redazione della bibliografia comprendente tutti i lavori recuperati e l'eventuale recapito per la consultazione (allegato 2).

3.2 ANALISI DELLA NORMATIVA VIGENTE

Dalla precedente analisi si evince come in Italia gli interventi di ravvenamento delle falde acquifere siano rappresentati da progetti pilota ancora in via di studio e sperimentazione. Attualmente la normativa vigente in campo sia nazionale sia regionale è di carattere generale in termini di tutela e uso delle risorsa idrica e coinvolge indirettamente alcuni aspetti della ricarica artificiale quali il Deflusso Minimo Vitale (DMV), le derivazioni e la concessione di acqua pubblica.
Gli aspetti di tutela quali-quantitativa della risorsa idrica sono regolati dal "Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – *Norme in materia ambientale*", in particolare l'art. 144 recita che:

"Tutte le acque superficiali e sotterranee, ancorché non estratte dal sottosuolo, appartengono al demanio dello Stato"(comma 1);

"Le acque costituiscono una risorsa che va tutelata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà; qualsiasi loro uso è effettuato salvaguardando le aspettative ed i diritti delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale"(comma 2);

"La disciplina degli usi delle acque è finalizzata alla loro razionalizzazione, allo scopo di evitare gli sprechi e di favorire il rinnovo delle risorse, di non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la piscicoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri ideologici"(comma 3);

"Gli usi diversi dal consumo umano sono consentiti nei limiti nei quali le risorse idriche siano sufficienti e a condizione che non ne pregiudichino la qualità"(comma 4).

Pertanto si evidenzia il concetto di acqua intesa come risorsa pubblica da tutelare e da utilizzare in modo da salvaguardare i diritti delle generazioni future. Sono quindi da favorire quegli interventi che apportano sensibili miglioramenti quali-quantitativi alla risorsa idrica, perciò potrebbero essere inclusi interventi di ricarica artificiale.
Per quanto riguarda le concessioni di derivazioni di acqua pubblica dai corpi idrici superficiali naturali, bisognerà riferirsi alle seguenti disposizioni legislative regionali:

- "Disciplina della procedura di valutazione dell'impatto ambientale", Legge regionale del 18 maggio 1999, n.9.
- "Regolamento per la disciplina del procedimento di concessione di acqua pubblica" Regolamento regionale del 20 novembre 2001, n. 41;
- "Norme" del Piano di Tutela delle Acque (P.T.A.) approvato dall'Assemblea legislativa con deliberazione n. 40 del 21 dicembre 2005;
- "Adeguamenti normativi in materia ambientale. Modifiche a leggi regionali", Legge regionale del 6 marzo 2007, n.4.

Perciò, per quanto attiene la disciplina per la procedura di valutazione dell'impatto ambientale, i progetti relativi alle aree di ricarica che non ricadono all'interno di aree naturali protette, sono assoggettati a screening ai sensi degli artt. 9 e 10 della L.R. 9/99 o perché appartenenti alla categoria A.1.1 ("*Utilizzo non energetico di acque superficiali nei casi in cui la derivazione superi i 1000 litri al minuto secondo e di acque sotterranee, ivi comprese acque minerali e termali, nei casi in cui la derivazione superi i 100 litri al minuto secondo; sistemi di estrazione o di ricarica artificiale delle acque freatiche in cui il volume annuale dell'acqua estratta o ricaricata sia pari o superiore a 10 milioni di metri cubi*") o B.1.21 ("*Derivazioni di acque superficiali ed opere connesse che prevedano derivazioni superiori a 200 litri al minuto secondo o di acque sotterranee che prevedano derivazioni superiori a 50 litri al minuto secondo; progetti di ricarica artificiale delle acque freatiche non compresi nel punto A.1.1*").
Mentre per la regolazione dei rilasci rapportati al Deflusso Minimo Vitale bisognerà seguire i criteri e le modalità applicative dettate nella disciplina delle concessioni di derivazione di acqua pubblica dai corpi idrici superficiali naturali del Titolo IV, capitolo 1 delle "Norme" del P.T.A. della Regione Emilia-Romagna.

3.3 VALUTAZIONE DELLE NECESSITÀ DI ADEGUAMENTO DELLA MODELLISTICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Questa fase del lavoro ha riguardato l'analisi delle possibilità di inserimento, all'interno degli attuali modelli matematici di simulazione del flusso delle acque sotterranee disponibili, dell'intervento di ricarica artificiale ipotizzato al fine di valutarne gli effetti ed i benefici quantitativi sulla disponibilità della risorsa. Per comprendere la necessità di questa fase del lavoro occorre richiamare:

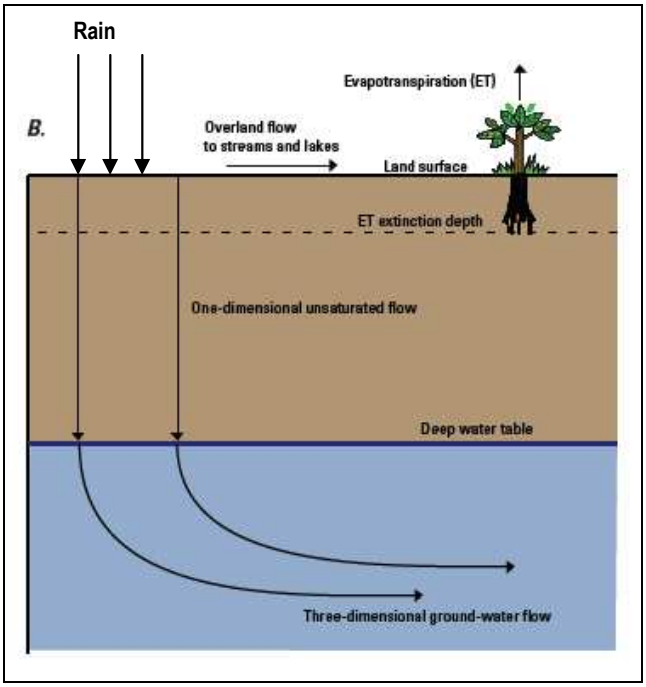
1. le specificità del codice di calcolo utilizzato per l'implementazione dei modelli di flusso delle acque sotterranee;
2. le modalità con le quali viene inserita in fase di modellazione numerica il termine di ricarica.

Il codice di calcolo utilizzato per la modellazione numerica del flusso delle acque sotterranee delle conoidi Reno e Marecchia è il MODFLOW 2000 (Sviluppato dal Servizio Geologico americano, U.S. Geological Survey) che ha le seguenti caratteristiche:

- Categoria: Flusso saturo
- Modulare
- Dimensione: 3-D
- Regime di moto: stazionario/transitorio
- Metodo numerico: differenze finite

Il meccanismo con il quale avviene fisicamente la ricarica del sistema, sia essa da pioggia, da fiume o realizzata artificialmente con un laghetto, prevede il passaggio attraverso la zona non satura eventualmente presente il cui spessore può essere variabile da zero (ad esempio in presenza di collegamento idraulico fiume/falda o falda/laghetto) a diversi metri o decine di metri a seconda della quota della falda freatica localmente presente (Figura 3.8). Inoltre la ricarica della falda operata dalle precipitazioni avviene in misura variabile a seconda della dinamica meteorica, della tipologia e morfologia ed uso del suolo, risultando quindi in un termine di ricarica effettiva del sistema profondo di flusso delle acque sotterranee.
Il codice di calcolo MODFLOW è in grado si simulare il flusso delle acque sotterranee in condizioni di saturazione e quindi assume che la ricarica (effettiva) della falda venga assegnata direttamente alla falda stessa senza simulare la dinamica all'interno dello strato non saturo presente tra la superficie topografica e la superficie freatica. Ciò viene fatto attraverso l'utilizzo del modulo RECHARGE che viene appositamente attivato in sede si simulazione numerica.

Figura 3.8: il processo di ricarica meteorica della falda



Devono quindi essere effettuate delle stime per via esterna (rispetto a MODFLOW) al fine di alimentare il modulo RECHARGE con la ricarica effettivamente disponibile. Questo è ciò che è stato fatto in fase di implementazione dei relativi modelli sia per il Reno sia per il Marecchia realizzando delle simulazioni rispettivamente con CRITERIA e con MACRO, codici numerici che effettuano una valutazione del drenaggio profondo verso la falda attraverso il bilancio idrico del suolo tenendo così conto sia della dinamica meteorica, sia del tipo di suolo e delle colture applicate.
Risulta quindi ipotizzabile, anche per la valutazione della ricarica artificiale operata da un bacino di infiltrazione, il ricorso ad una via esterna per il calcolo dei quantitativi di acqua di possibile infiltrazione da immettere in ingresso al circuito sotterraneo. Questo è ciò che è stato fatto per le due aree di studio realizzando modelli ad hoc per il calcolo dei quantitativi di acqua di possibile infiltrazione come verrà descritto in dettaglio nei successivi paragrafi 4.4.1 e 5.7.1).
Ulteriore problematica legata all'utilizzo di un codice di calcolo per il solo flusso saturo è legata alla particolare dinamica, maggiormente evidente nell'analisi stagionale della ricarica, di oscillazione della falda freatica che porta quindi alla completa desaturazione delle celle del modello poste al di sopra di questa e che Modflow tende via via ad escludere dal dominio di calcolo. Ciò poteva costituire un limite soprattutto nella valutazione degli effetti di un ipotizzabile intervento di ricarica artificiale dove risulta significativo valutare i recuperi dei livelli piezometrici ed il conseguente innalzamento della freatica. E' stato quindi effettuato uno specifico approfondimento sulle possibilità del codice di calcolo attualmente utilizzato di superare tale inconveniente attraverso una apposita funzionalità di MODFLOW denominata REWETTING che permette, se necessario, di riportare in condizioni di saturazione e quindi di fatto di riattivare le celle che al ciclo precedente si erano seccate.
Complessivamente l'analisi effettuata consente di affermare che, per gli scopi del presente progetto, la valutazione degli effetti di un intervento di ricarica artificiale della falda risulta possibile attraverso l'utilizzo della modellistica attualmente disponibile seguendo il seguente approccio:

1. valutazione quantitativa e calcolo delle capacità e delle possibilità di ricarica operabili artificialmente attraverso l'utilizzo dei laghetti ex bacini di cava (paragrafi 4.4.1 e 5.7.1);

2. inserimento dei quantitativi di acqua di possibile infiltrazione al codice di calcolo MODFLOW e definizione dei relativi scenari di ricarica artificiale;
3. valutazione degli effetti della ricarica artificiale sulla dinamica di flusso dell'intera conoide: recupero dei carichi idraulici e analisi del bilancio idrogeologico della conoide (paragrafi 4.4.2 e 5.7.2).

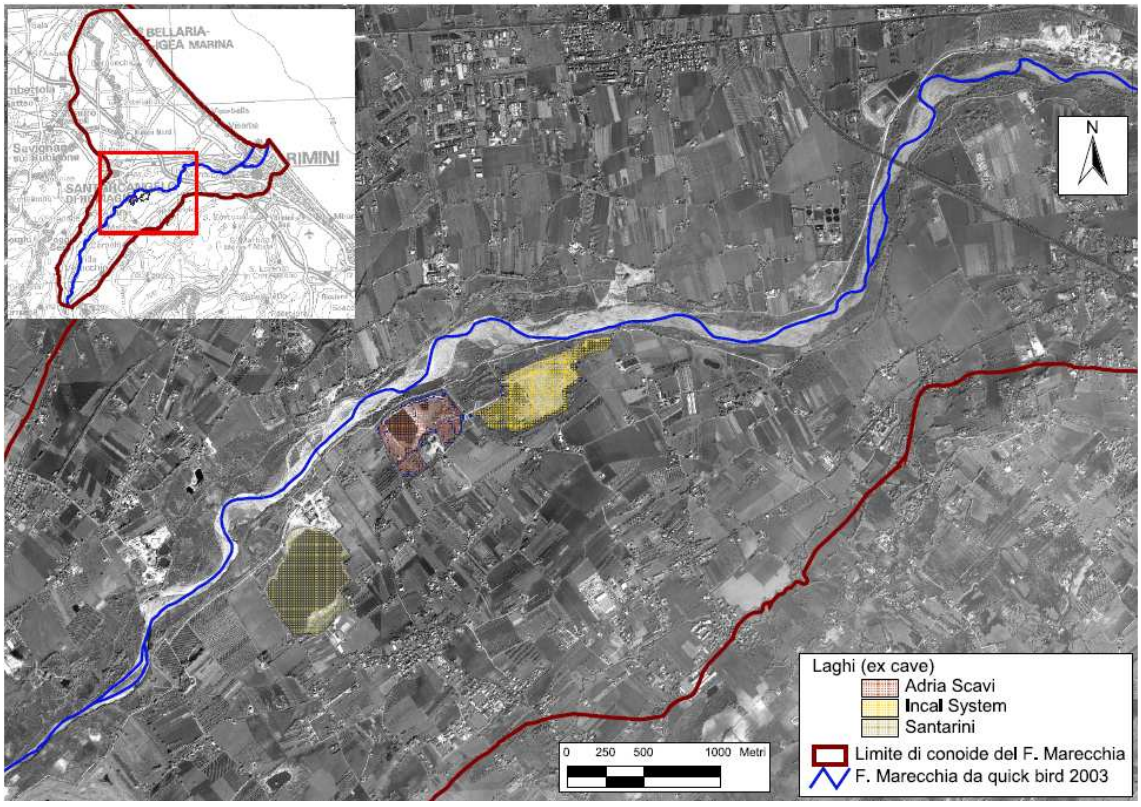
4. AREA DI STUDIO N° 1: CONOIDE DEL FIUME MARECCHIA

4.1 DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

4.1.1 Ubicazione e caratteristiche geometriche dei bacini

A seguito degli incontri svoltisi in fase di avvio del presente progetto è stata segnalata la disponibilità, da parte dell'Autorità dei Bacino Conca e Marecchia e della Provincia di Rimini, di tre laghetti (bacini artificiali di ex cava generati dall'estrazione di inerti) situati in destra idrografica del Fiume Marecchia all'interno dei territori comunali di Santarcangelo di Romagna e di Rimini (Figura 4.1).

Figura 4.1 Foto aerea (quick bird 2003) dell'area di studio con i tre laghi di ex cava, possibili oggetto di interventi di ricarica artificiale.



La Tabella 4.1 riporta le principali caratteristiche dei tre laghi oggetto del presente studio mentre le figure successive (da Figura 4.2 a Figura 4.4) riportano parte del materiale fotografico rilevato durante i sopralluoghi effettuati dall'Autorità di Bacino Conca e Marecchia e da ARPA-

IA nel mese di ottobre 2007 (periodo di basso stagionale), e nel mese di maggio 2008 (periodo di alto stagionale).

Tabella 4.1: specchietto riassuntivo delle principali caratteristiche dei laghi di ex cava.

	LAGHI		
CARATTERSTICHE LAGHI	**Santarini o CSB**	**Adria Scavi o Icar-Istag**	**Incal System**
Forma	Elissoidale dal contorno irregolare e asse maggiore con direzione NNE-SSO	allungata parallela al F. Marecchia con lati rettilinei	allungata parallela al F. Marecchia con lati rettilinei
Fondo	impermeabilizzato	solo parzialmente impermeabilizzato	solo parzialmente impermeabilizzato
Perimetro (km)	2.1	1.9	2.7
Superficie (ha)	28	16.5	23
Quota media del p.c. (m s.l.m.)	48.5	41.4	36
Profondità media rispetto al piano campagna (m)	8.5	11.9 (variabile da 15 nella porzione di monte a 5.8 in quella di valle	10 nella porzione di monte; 12 nel laghetto separato di valle
Quota media del fondo (m s.l.m.)	40	29.5	26 nella porzione di monte; 22 nel laghetto di valle, al cui centro è 18
Volume stimato rispetto al piano campagna (m^3)	2.380.000	1.960.000	2.300.000
Altezza idrometrica media raggiungibile come massima teorica (m)	7	9	7.9 nella porzione di monte; 12 nel laghetto di valle
Volume massimo invasabile (m^3)	1.960.000	1.485.000	1.817.000

Figura 4.2: lago Santarini a fine ottobre 2007 (in alto foto Autorità di Bacino Conca-Marecchia), ed a maggio 2008 (in basso, foto Arpa).

Figura 4.3: lago Adria Scavi a fine ottobre 2007 (in alto, foto Autorità di Bacino Conca-Marecchia), ed a maggio 2008 (in basso, foto Arpa).

Figura 4.4: porzione separata di valle del Lago Incal System a fine ottobre 2007 (foto Autorità di Bacino Conca-Marecchia).

Figura 4.5: Porzione di monte del Lago Incal System a fine ottobre 2007 (foto Autorità di Bacino Conca-Marecchia), ed a maggio 2008 (in basso, foto Arpa).

4.2 RICOGNIZIONE ED ANALISI DEGLI STRUMENTI VIGENTI DI PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

Al fine di individuare il contesto paesaggistico ambientale ed i vincoli in cui verrebbero a collocarsi gli eventuali interventi di ricarica artificiale della falda acquifera, è stata effettuata un'analisi sui principali strumenti di pianificazione presenti nel territorio in esame.
In particolare sono stati analizzati i seguenti Piani:

a) il Piano Territoriale Paesistico Regionale (P.T.P.R.) della Regione Emilia-Romagna, approvato con la deliberazione del Consiglio regionale 28 gennaio 1993, n. 1338.; che è parte tematica del Piano Territoriale Regionale (P.T.R.);
b) il Piano Infraregionale delle Attività Estrattive (P.I.A.E.) della Provincia di Rimini, approvato con delibera della Giunta Regionale 1820/1997;
c) il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) della Provincia di Rimini, approvato dalla Giunta Regionale con deliberazione n. 656 dell'11 maggio 1999, a cui è

stata successivamente apportata una Variante al P.T.C.P. approvata dalla Giunta Regionale con deliberazione n. 2377 del 12 novembre 2001;

d) il Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico (P.A.I.) del Marecchia-Conca;
e) il Piano di Tutela delle Acque (P.T.A.) della Regione Emilia-Romagna, approvato dall'Assemblea Legislativa con Deliberazione n. 40 del 21 dicembre 2005.

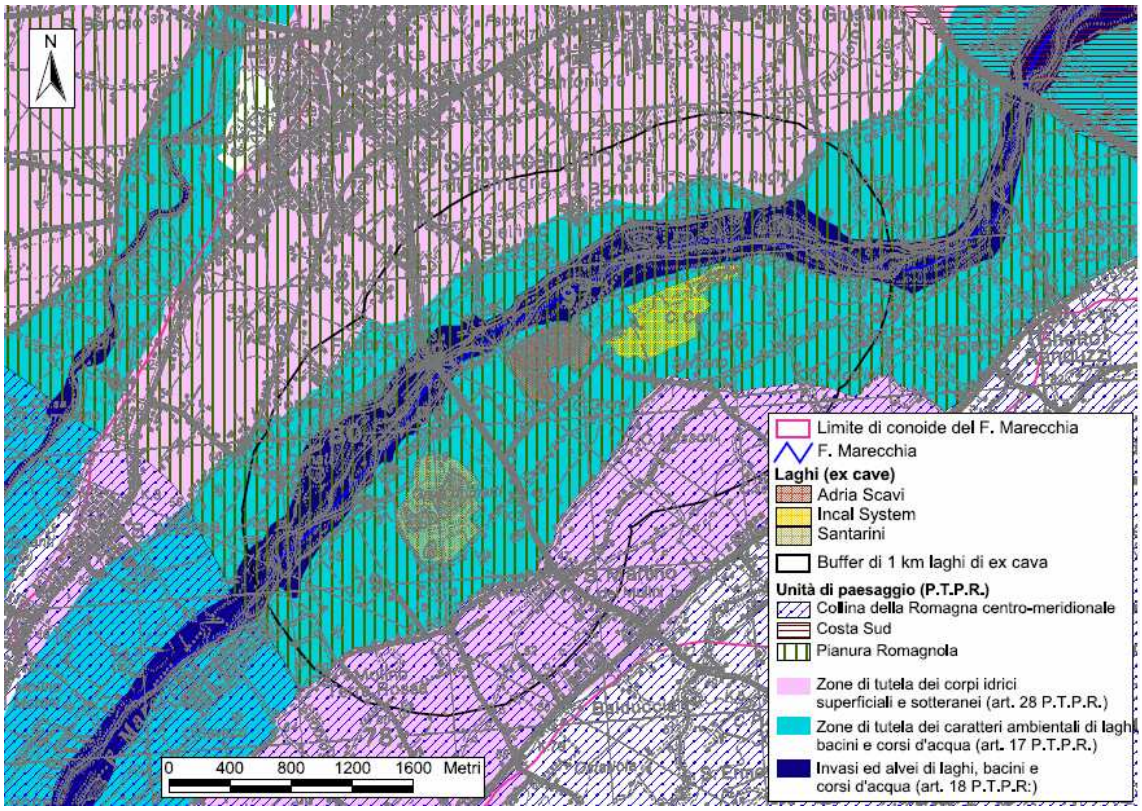
In base ai Piani esaminati, emerge che nelle aree di studio non esistono vincoli, ma solo zone di tutela.

Per quanto riguarda la risorsa idrica i tre bacini di ex cava sono interessati da zone di tutela e da zone di vulnerabilità.

I principali temi che riguardano le aree di studio sono:

- sistema ambientale (sistemi che strutturano la forma del territorio, assetti idrogeologici e idraulici, sistema boschivo, patrimonio naturalistico, territorio rurale, protezione e vulnerabilità delle acque superficiali e sotterranee);
- limitazioni delle attività di trasformazione e d'uso derivanti dall'instabilità o dalla permeabilità dei terreni.

Figura 4.6: stralcio della carta con le zone di tutela del P.T.P.R. ricadenti nell'area dei tre laghi di ex cava.



In riferimento al P.T.P.R.,i tre laghi di ex cava ricadono nell'"Unità di paesaggio della Pianura Romagnola" (Figura 4.6), che presenta nel suo complesso regionale le seguenti caratteristiche principali:

- temperatura media annua di 12.9 °C,
- precipitazione media annua di 773 mm,
- altimetria prevalente (87.6%) compresa nella fascia 0-40 m s.l.m. e secondariamente (12.4%) ricadente nella fascia 40-600 m s.l.m.
- suoli prevalenti argillosi
- distribuzione dell'uso del suolo suddivisa in: agricolo (96.73%), urbano (3.11%) e boscato (0.14%)

- elementi fisici rappresentati da formazioni alluvionali con microrilievo costituito da grondaie fluviali spente e vive e da terrazzi fluviali e marini dell'alta pianura
- elementi biologici rappresentati da una fauna di pianura prevalentemente nei coltivi alternati a scarsi incolti e terreni ben drenati occupati da una tipica agricoltura promiscua (paesaggio della piantata), oggi in via di trasformazione con netta prevalenza di colture frutticole ed erbacee specializzate.

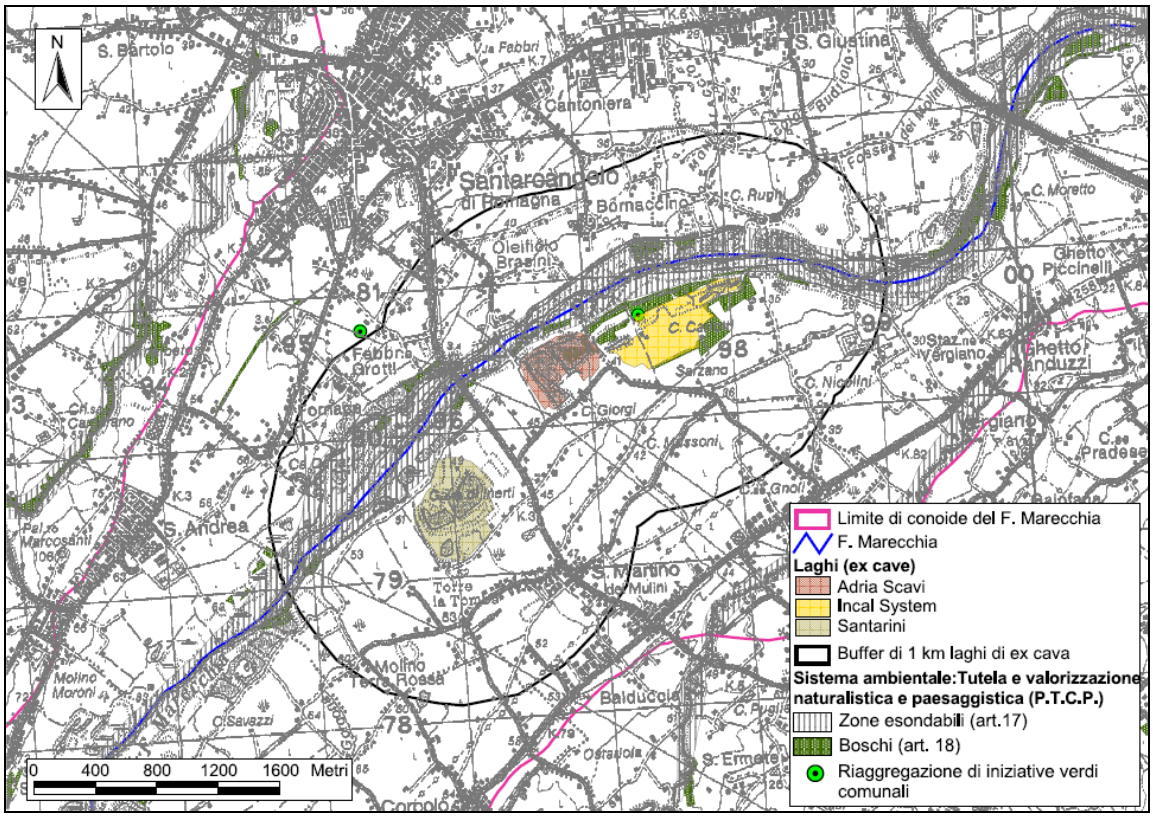
Sempre in riferimento al P.T.P.R., si può osservare che i laghi oggetto di studio ricadono in una **zona di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua** (art.17 modificato dalle delib. G.R. 2567/2002 e 272/2005), nella quale "…*gli invasi ad usi plurimi* (comma 5c) …*sono ammess*i…*qualora siano previsti in strumenti di pianificazione nazionali, regionali o provinciali*. *I progetti di tali opere dovranno verificarne oltre alla fattibilità tecnica ed economica, la compatibilità rispetto alle caratteristiche ambientali e paesaggistiche del territorio interessato direttamente o indirettamente dall'opera stessa, con riferimento ad un tratto significativo del corso d'acqua e ad un adeguato intorno, anche in rapporto alle possibili alternative. Detti progetti dovranno essere sottoposti alla valutazione di impatto ambientale, qualora prescritta da disposizioni comunitarie, nazionali o regionali*".
Nelle immediate vicinanze della zona di tutela suddetta, a NO dei laghi, il F. Marecchia risulta inserito nella fascia di tutela degli invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (art.18), in cui sono ammessi invasi ad usi plurimi "…*qualora siano previsti in strumenti di pianificazione nazionali, regionali o provinciali…*" e opere idrauliche "…*sulla base di piani, programmi e progetti disposti dalle autorità preposte…*" mentre a SO, entro il *buffer* di 1 km intorno ai laghi, il territorio ricade all'interno della zona di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei (art. 28), la quale è caratterizzata "…*da elevata permeabilità dei terreni con ricchezza di falde idriche…*", dove sono vietati "…*l'interramento, l'interruzione o la deviazione delle falde acquifere sotterranee, con particolare riguardo per quelle alimentanti acquedotti per uso idropotabile…*".
Per quanto riguarda il P.I.A.E. non sono previste attività estrattive nel Comune di Rimini; inoltre il Comune di Santarcangelo di Romagna ha fatto la scelta, attraverso il proprio Piano delle Attività Estrattive (P.A.E.), di considerare conclusa l'attività estrattiva sul proprio territorio.
Nella Figura 4.7, Figura 4.8 e Figura 4.9 sono indicate per l'area di studio le zone di tutela e valorizzazione naturalistica e paesaggistica e le zone di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi sotterranei indicate nel P.T.C.P. della Provincia di Rimini.
Si può vedere che i tre laghi di ex cava ricadono all'interno di:

- una zona di tutela degli assetti idrogeologici, indicata come **zona ad alta vulnerabilità** intrinseca degli acquiferi sotterranei (art. 16), in cui sono vietati, salvo particolari deroghe: scarichi liberi nel suolo e nel sottosuolo di liquidi e altre sostanze, lagunaggio di liquami zootecnici, scavi di pozzi non autorizzati, discariche e interramento, interruzione e deviazione di falde acquifere
- un'**area di protezione ambientale e naturalistica** (**PAN**). Si tratta di aree (vedi art. 33), per le quali vengono previsti progetti di valorizzazione paesistica di tipo naturalistico-ambientale che "…*interessano i principali ambiti fluviali della Provincia (Marecchia, Uso, Conca e Marano) e l'insieme delle emergenze naturalistiche e ambientali del sistema collinare ad essi direttamente connesse. La progettazione, l'attuazione, la gestione e la regolamentazione delle aree PAN è promossa dalla Provincia, anche su proposta dei Comuni in forma singola o associata, tramite accordi di programma fra enti locali, istituti pubblici e associazioni…*". Inoltre "…*il P.T.C.P. individua ulteriori ambiti di valorizzazione finalizzati alla realizzazione di progetti di recupero e promozione ambientale…*" (nel caso specifico: dei bacini idrici del Marecchia) "…*e progetti di*

recupero e promozione agricola / produttiva ed ambientale…" (nel caso specifico: della pianura alluvionale del Marecchia).

- **zona di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua** (art. 22), la quale, per le caratteristiche morfologiche e vegetazionali, appartiene agli ambiti fluviali del reticolo idrografico principale. Costituisce un' "Area di valore naturale e ambientale" (di cui all'art. A – 17 della L.R- n. 20/2000) e una struttura portante della rete ecologica provinciale. In tali aree gli invasi ad usi plurimi (comma 10 punto c) sono ammessi "*…qualora siano previsti in strumenti di pianificazione nazionali, regionali o provinciali. In assenza di tali previsioni, i progetti di tali opere dovranno verificarne oltre alla fattibilità tecnica ed economica, la compatibilità rispetto alle caratteristiche ambientali e paesaggistiche del territorio interessato direttamente o indirettamente dall'opera stessa, con riferimento ad un tratto significativo del corso d'acqua e ad un adeguato intorno, anche in rapporto alle possibili alternative. Detti progetti dovranno essere sottoposti alla valutazione di impatto ambientale, qualora prescritta da disposizioni comunitarie, nazionali o regionali*".

Figura 4.7: stralcio della carta con le zone di tutela del P.T.C.P. ricadenti nell'area dei tre laghi di ex cava.



Inoltre, i laghi Adria Scavi e Incal System sono interessati, sia al loro interno in porzioni marginali, sia in porzioni ad essi circostanti, da aree coperte dal **sistema forestale e boschivo** (art 18). Si tratta di "*…terreni coperti da vegetazione forestale o boschiva, arborea di origine naturale e/o artificiale, in qualsiasi stadio di sviluppo, nonché di terreni temporaneamente privi della preesistente vegetazione arborea in quanto percorsi o danneggiati dal fuoco, ovvero colpiti da altri eventi naturali od interventi antropici distruttivi nonché gli esemplari arborei singoli, in gruppi isolati o in filari meritevoli di tutela..*". Tali terreni ricompresi "*…costituiscono "aree di valore naturale e ambientale" ai sensi dell'art. A – 17 della L.R. n. 20/2000. Il P.T.C.P. conferisce al sistema dei boschi finalità prioritarie di tutela naturalistica, di protezione idrogeologica, di ricerca scientifica, di funzione climatica e turistico - ricreativa,*

oltreché produttiva e persegue l'obiettivo della ricostituzione del patrimonio boschivo come ecosistema forestale polifunzionale…".

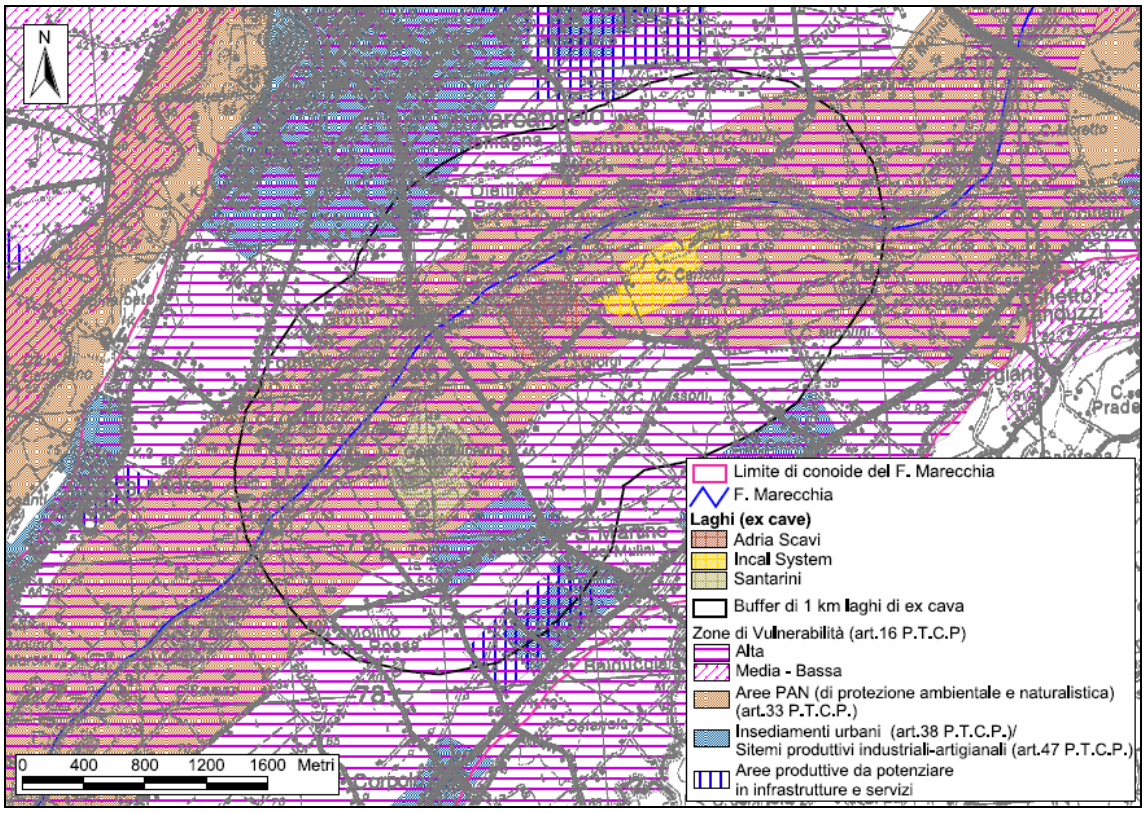
Si segnala presso la porzione nord-occidentale del lago Incal System la presenza di una forma prevista nel P.T.C.P. di **riaggregazione di iniziative verdi comunali**, quali: parchi urbani, attrezzature sportive, percorsi natura, recuperi ambientali, ecc. ai fini della valorizzazione, fruizione sociale ed espansione dei sistemi verdi tutelati.

È importante precisare che nelle immediate vicinanze dei laghi oggetto di studio, a NO di questi, scorre il F. Marecchia che ricade in una fascia allungata, in cui si individuano sempre per quanto riguarda il P.T.C.P., le seguenti aree di tutela:

- zona esondabile (art. 17)
- alvei di corsi d'acqua (art.21)

per le quali, per una fascia di 10 metri dal limite degli invasi ed alvei di piena ordinaria dei laghi, bacini e corsi d'acqua è vietata l' agricoltura e quasi ogni tipo di attività.

Figura 4.8: stralcio della carta con le zone di tutela del P.T.C.P. ricadenti nell'area dei tre laghi di ex cava.

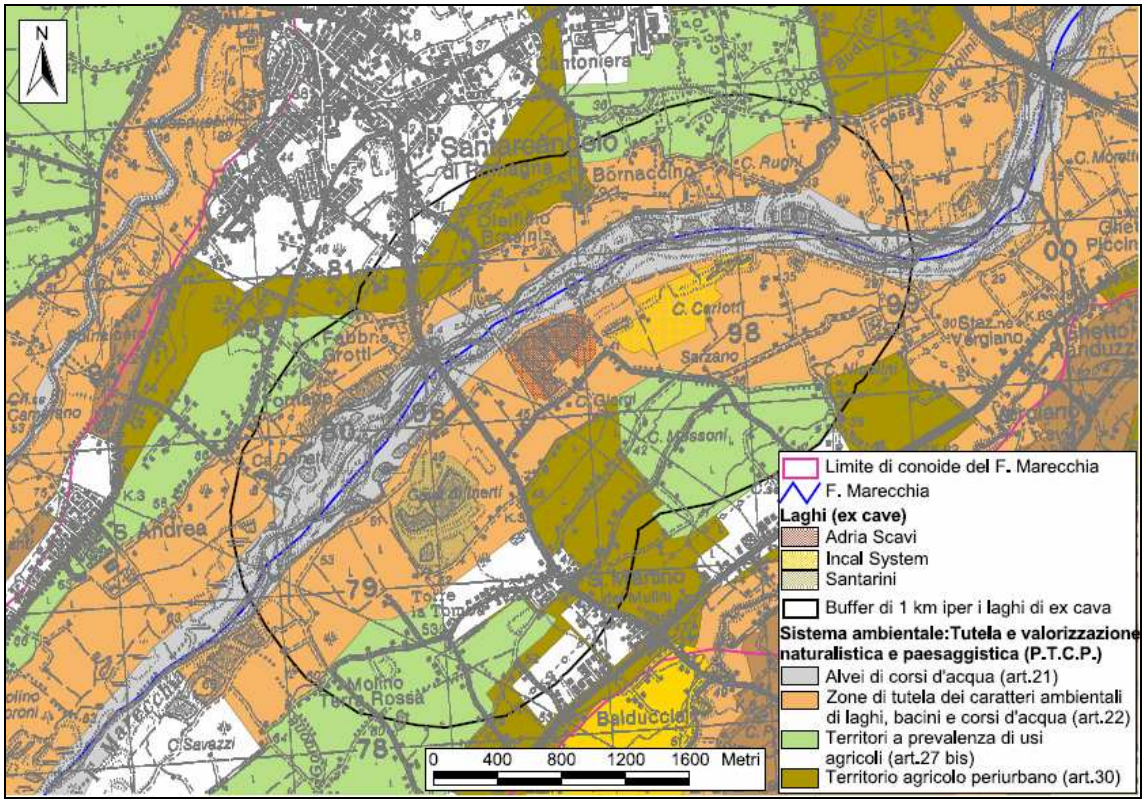


In riferimento alle Norme di Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico (P.A.I) del Marecchia-Conca, l'art. 9 (**fasce di territorio di pertinenza dei corsi d'acqua** ad alta vulnerabilità idrologica - terrazzi fluviali in connessione idraulica con l'alveo) definisce:

- Ruolo e funzioni: le fasce ad alta vulnerabilità idrologica, *"…congiuntamente alle fasce ripariali e alle fasce arginali, hanno la funzione della salvaguardia della qualità ambientale dei corsi d'acqua…*"
- Modalità di gestione: conservazione e ripristino delle caratteristiche idromorfologiche e idrogeologiche, mantenimento e ampliamento degli spazi naturali, impianto di formazioni vegetali a carattere permanente con essenze autoctone, conversione dei seminativi in prati permanenti, introduzione nelle coltivazioni agricole delle tecniche di produzione biologica o integrata

- Prescrizioni: al fine di salvaguardare la ricarica della falda e il sostegno alle portate di magra dei corsi d'acqua, non sono consentiti gli interventi di riduzione della permeabilità del suolo.

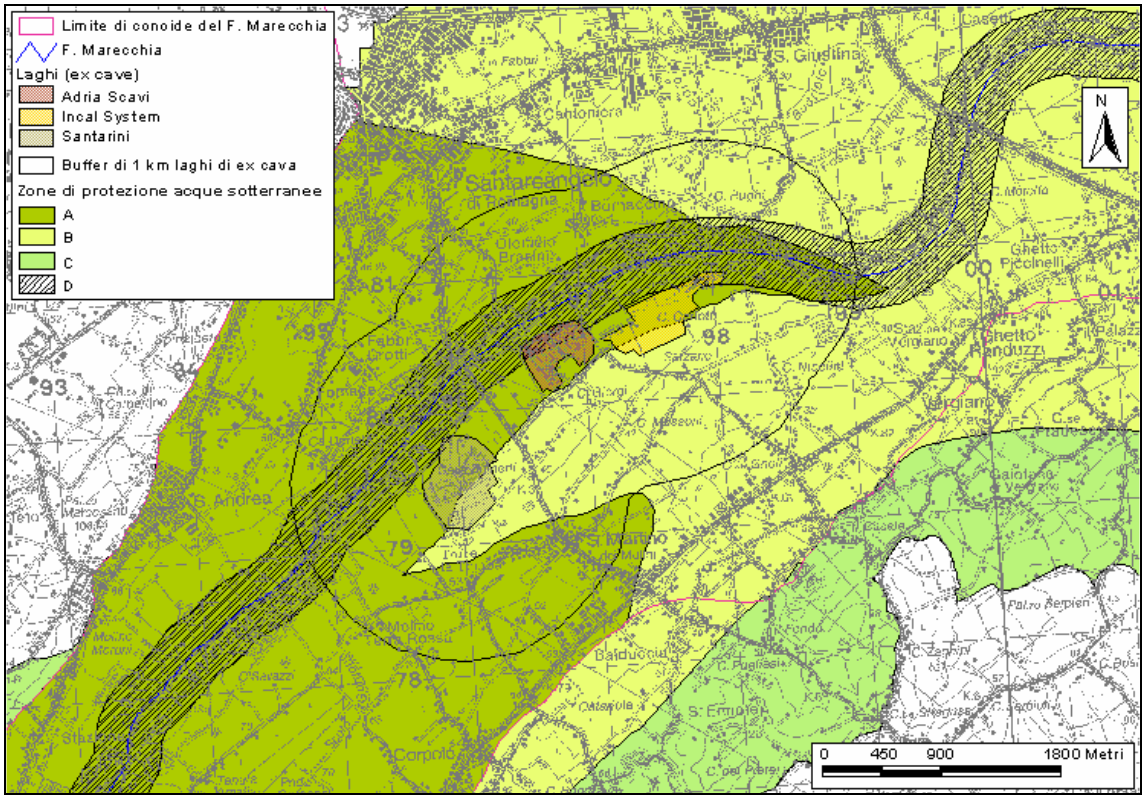
Figura 4.9:stralcio della carta con le zone di tutela del P.T.C.P. ricadenti nell'area dei tre laghi di ex cava.



In riferimento al P.T.A., in Figura 4.10 viene riportato uno stralcio della Tavola 1 con le zone di protezione delle acque sotterranee, dove si vede che i bacini di ex cava ricadono nella Zona A, caratterizzata da ricarica diretta della falda, identificabile da un punto di vista idrogeologico come un sistema monostrato.
Inoltre, le porzioni nord-orientali dei tre laghi di ex cava rientrano (o confinano) nella Zona D, corrispondente alla fascia fluviale del Marecchia, la quale ha un' ampiezza di 250 m per lato e una prevalente alimentazione laterale di subalveo.
Le porzioni sud-occidentali dei bacini, invece, rientrano (o confinano) nella Zona B, caratterizzata da ricarica indiretta della falda, identificabile da un punto di vista idrogeologico come un sistema debolmente compartimentato .
L'arti. 45 delle Norme del P.T.A. (disposizioni per le zone di protezione delle acque sotterranee nel territorio di pedecollina-pianura) stabilisce che nelle Zone di ricarica di tipo A, B e D devono essere rispettate alcune disposizioni tra cui:
"*… - le attività estrattive non devono comportare rischi di contaminazione della falda e sono subordinate alla definizione di progetti di recupero ambientale da effettuarsi alla cessazione dell'attività*

- *non sono ammessi tombamenti di invasi di cava con terreni eccedenti i limiti di qualità di cui alla colonna A del D.M. 471/99*
- *nelle zone di attività estrattive vanno finalizzate prioritariamente al recupero idraulico al fine di ripristinare e favorire il rapporto fiume falda…*"

Figura 4.10: stralcio della Tavola 1 del P.T.A. con le zone di protezione delle acque sotterranee ricadenti nell'area dei tre laghi di ex cava.



4.3 CARATTERIZZAZIONE TERRITORIALE ED AMBIENTALE DELL'AREA DI STUDIO

4.3.1 Inquadramento geografico-territoriale

I possibili tre bacini da utilizzare per interventi di ricarica artificiale nei pressi del F. Marecchia (Figura 4.1) ricadono nella porzione centro-apicale della conoide e si trovano in destra idrografica lungo una fascia di circa 3 km, ad una distanza dall'asta principale dell'ordine dei 100-300 m.

Il bacino più a monte è denominato "lago Santarini" o "lago CSB" ed è ubicato nel Comune di Santarcangelo di Romagna, 500 m a NO dell'abitato di San Martino dei Mulini.

Spostandosi verso NE, fino a circa 350 m a valle della S.P. Traversante Marecchia, sempre in Comune di Santarcangelo di Romagna, si trova il "lago Adria Scavi", talvolta denominato anche "lago Icar-Istag" e circa 50 m più a NE di questo, è situato il lago "Incal System" in Comune di Rimini.

I tre bacini di ex cava sono inseriti in un contesto territoriale di pianura alluvionale, caratterizzato da un paesaggio agrario che si presenta come un mosaico a maglia assai minuta, costituito da campi coltivati, strade e agglomerati sia urbani che industriali.

I campi sono coltivati in alternanza con colture per lo più a viti o a seminativo e presentano un orientamento in prevalenza monte-mare, tranne nelle immediate vicinanze del F. Marecchia, dove si dispongono invece perpendicolarmente a questo.

Esiste una persistenza e coincidenza tra la viabilità odierna e quella storica settecentesca ampiamente leggibile in buona parte delle strade che attraversano il territorio visto a scala provinciale. Le antiche direttrici sono tuttavia le più interrotte dall'edificazione di zone

industriali e grandi infrastrutture come l'autostrada A14, la tangenziale di Rimini e la superstrada per S. Marino.

4.3.2 Inquadramento geomorfologico

I tre laghi di ex cava ricadono da un punto di vista geomorfologico nella porzione centro-distale della conoide del F. Marecchia, area in cui si registra il massimo spessore deposizionale delle ghiaie cosiddette amalgamate.
I tre laghi sono ubicati a ridosso dell'alveo di piena straordinaria del F. Marecchia in destra idrografica (Figura 4.1).
Le quote altimetriche del piano campagna dell'area in esame variano dai 52 m s.l.m., in prossimità del bordo sud-occidentale del lago Santarini, ai 32 m s.l.m., subito a valle del lago Incal System, con una pendenza media intorno allo 0.7 %.
La conoide del F. Marecchia si può suddividere schematicamente, dal punto di vista geomorfologico, in una conoide "antica" (Pleistocene e pre-Pleistocene) ampiamente terrazzata ed in una "recente" (Olocene) caratterizzata da ampie divagazioni dell'alveo ed in cui è difficile ricostruire i limiti dei terrazzi ([9], Regione Emilia-Romagna, Comune di Rimini, Comune di Santarcangelo di Romagna, 2004. *Progetto di riassetto territoriale delle aree periurbane della Bassa Valmarecchia al fine di definire il recupero ambientale delle cave Incal System e Adria Scavi nel fiume Marecchia*. Rapporto tecnico.
Nella carta geomorfologica schematica della conoide del F. Marecchia, riportata in Figura 4.11, sono indicati i numerosi paleoalvei che hanno caratterizzato l'evoluzione storica dei diversi percorsi seguiti dal corso d'acqua. Tali divagazioni hanno determinato una sedimentazione verticale costituita da un'alternanza di litologie grossolane e fini in un susseguirsi di processi erosivi e deposizionali che hanno portato alla formazione dei terrazzi di diverso ordine (dal I° al IV° , via via più recenti), aventi una inclinazione media del 5-6 ‰.
La conoide antica si può fare estendere da Ponte Verucchio fino a poco più a valle della S.P. Traversante Marecchia, in corrispondenza della quale ha termine il terrazzo del III° ordine ([9], Regione Emilia-Romagna, Comune di Rimini, Comune di Santarcangelo di Romagna, 2004. *Progetto di riassetto territoriale delle aree periurbane della Bassa Valmarecchia al fine di definire il recupero ambientale delle cave Incal System e Adria Scavi nel fiume Marecchia*. Rapporto tecnico.. L'apice della conoide antica è caratterizzato da un esiguo spessore di materiale alluvionale (5-8 m). Nel tratto che va da Ponte Verucchio fino poco più a valle di Poggio Berni, il F. Marecchia scorre incassato in una incisione profonda oltre 13 metri rispetto ai terrazzi laterali.
Il F. Marecchia ha subìto un incremento della canalizzazione fino agli anni '80. Attualmente il tratto canalizzato ha una lunghezza di circa 7 km e si estende da Ponte Verucchio fino a circa 1 km a monte del lago Santarini. Inoltre, in tale tratto l'alveo di piena ordinaria del fiume si è drasticamente ridotto da 600-700 m di ampiezza a circa 70 m. L'erosione delle sottili alluvioni (ghiaie di canale fluviale) ha portato alla luce il substrato marino costituito da litotipi prevalentemente argillosi, facilmente erodibili. La litologia del substrato nonché l'andamento della stratificazione delle formazioni marine ha poi condizionato l'evolversi dell'erosione. Tale fenomeno erosivo è da mettere in relazione con le escavazioni di inerti compiute in alveo e sui terrazzi laterali ad iniziare dagli anni '60 (vedi carta geomorfologica di Figura 4.11).
Lo spessore del materasso alluvionale si ispessisce poi rapidamente raggiungendo già i 20 m a valle di Corpolò, all'altezza di S. Martino dei Molini e circa i 60 m in corrispondenza di Santarcangelo di Romagna.
Il tratto del F. Marecchia, a partire circa da 1 km a monte del lago Santarini arriva alla foce, seguendo un percorso di lunghezza pari a poco più di 12 km ed è caratterizzato da una morfologia a canali anastomizzati o braided, tipica dei corsi d'acqua a carattere torrentizio (Figura 4.12).

Figura 4.11: carta geomorfologica della Conoide del F. Marecchia tratta da: Quaderno n. 4 Circondario di Rimini “Acqua e Suolo”, 1993 (a cura di M. Zaghini).

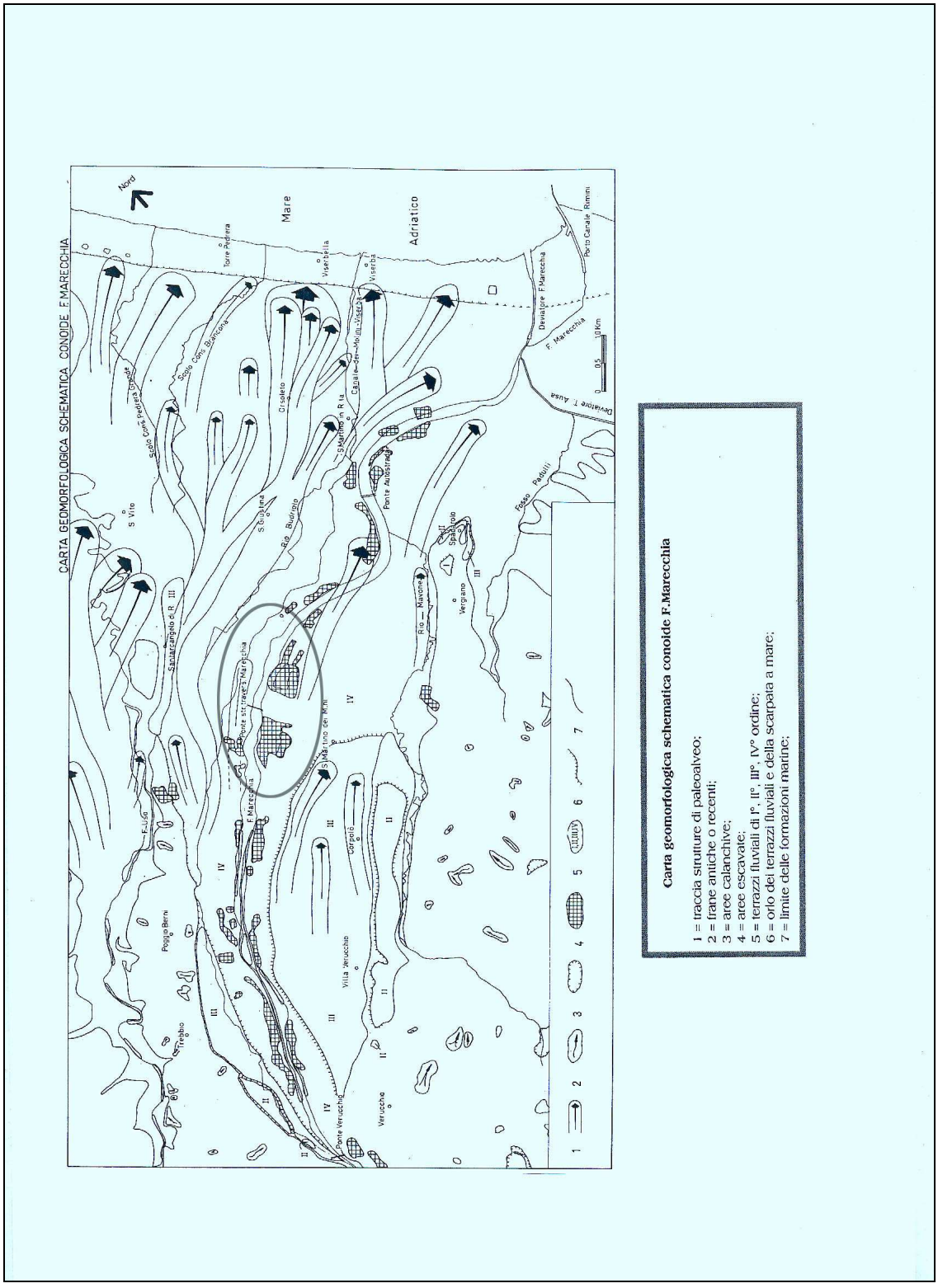


Figura 4.12: veduta di un tratto del F. Marecchia caratterizzato da una morfologia a canali anastomizzati o braided.

4.3.3 Inquadramento geologico

A scala regionale, i depositi della Conoide del F. Marecchia fanno parte del Supersintema Emiliano-Romagnolo, il quale si suddivide in Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (**AES**) e Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (**AEI**).
AES raggruppa tutti i depositi quaternari alluvionali (e parzialmente marini) che poggiano in discordanza sui depositi quaternari marini del Gruppo del Santerno e delle Sabbie di Imola, i quali fanno parte di AEI.
Di seguito in Figura 4.13 viene riportato uno stralcio del Foglio 256 Rimini della nuova Carta Geologica d'Italia, redatto alla scala 1:50.000 dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del progetto CARG (CARtografia Geologica). Lo stralcio mostra la geologia di superficie delle aree limitrofe ai tre bacini di ex cava.
Si può vedere che lungo l'asta fluviale del F. Marecchia e nelle aree esondabili in condizione di piena ordinaria affiorano **depositi alluvionali**, prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi, **in evoluzione** e privi di una connotazione stratigrafica formale (**b_1**).
Rispetto alla fascia dei depositi alluvionali di b_1, spostandosi lateralmente, sia in sinistra che in destra idrografica, affiora **l'Unità di Modena** (**AES_{8a}**), di età compresa fra il IV-VI secolo d.C. e l'Attuale, il cui spessore massimo è di 3-4 m. AES_{8a} rappresenta un'unità di rango inferiore del Subsintema di Ravenna (AES_8), nonché il tetto stratigrafico di questo (vedi descrizione riportata in seguito).
Tale unità affiora nell'area di studio in due facies: quella più grossolana è localizzata più a monte e arriva fino poco oltre il lago Incal System, per poi divenire più fine da tale punto fino alla foce, ad eccezione di una fascia nastriforme parallela al percorso del F. Marecchia.

La prima facies è costituita da ghiaie di riempimento di canale fluviale, che si presentano da molto grossolane a fini, con matrice sabbiosa o raramente argillosa, in strati generalmente amalgamati con strutture sedimentarie assenti o a embriciatura dei ciottoli a gradazione positiva per le ghiaie più fini. Tali depositi formano corpi nastriformi, corrispondenti a canali singoli, oppure assumono geometrie tabulari dovute a canali amalgamati lateralmente e verticalmente.
La facies più fine è costituita da alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale. Si tratta più precisamente di sabbie fini e finissime, spesso limose, alternate a limi, limi sabbiosi e limi argillosi, organizzati in strati con gradazione positiva o negativo-positiva.
L'Unità di Modena conserva un buono stato di preservazione delle forme deposizionali originarie (ad esempio argini e bacini interfluviali). Il limite superiore è sempre affiorante e coincidente con il piano campagna dato da un suolo calcareo di colore bruno. Il limite inferiore è dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non o scarsamente calcareo di epoca romana (o più antica) nelle aree di pianura.
L'Unità di Modena include concettualmente i depositi fluviali in evoluzione (b_1), ma in accordo con la tradizione della cartografia geologica preesistente, continuano a essere cartografati in modo separato.
Spostandosi lateralmente rispetto al F. Marecchia, oltre la fascia dell'Unità di Modena, affiora il **Subsintema di Ravenna** (**AES_8**) del Pleistocene Superiore-Olocene di età compresa fra circa 12.000 anni fa e l'Attuale, che rappresenta il subsintema sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.
I depositi fluviali di tale sintema sono organizzati in 3 ordini di terrazzi con inclinazione media di 5-6 ‰.
Nell'area di studio il Subsintema di Ravenna affiora nelle sue facies deposizionali continentali, che si differenziano sul territorio nel seguente modo: in sinistra idrografica, in una fascia allungata compresa circa fra S. Andrea e S. Giustina, e in destra nei tre bacini di ex cava oggetto di studio, affiora una facies più grossolana costituita da ghiaie di riempimento di canale fluviale a geometria nastriforme. Invece, in destra idrografica e in sinistra circa da S. Giustina alla foce, affiora una facies più fine costituita da alternanze di sabbie, limi e argille di tracimazione fluviale indifferenziata.
Quest'ultima facies forma un grosso corpo composito a geometria cuneiforme spesso fino a 20 m e presenta bioturbazione e pedogenesi, i cui fenomeni hanno modificato le tessiture e le forme originarie, per cui non è possibile distinguere i depositi di argine da quelli di piana inondabile.
Il Subsintema di Ravenna si compone anche, nella parte non affiorante nel sottosuolo di pianura, di depositi argillosi e limosi arricchiti in sostanza organica, di piana inondabile non drenata o palude, passanti verso l'alto a limi sabbiosi, limi e argille di piana alluvionale ben drenata.
Il Subsintema di Ravenna presenta il limite superiore coincidente con il piano campagna, dato da suoli per lo più non calcarei, mentre il limite inferiore coincide con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto del Subsintema di Villa Verucchio (AES_7).
Il **Subsintema di Villa Verucchio** (**AES_7**), del Pleistocene Superiore (125.000-18.000 anni fa) non interessa l'area dei tre bacini di ex cava in senso stretto. Affiora infatti in destra idrografica del F. Marecchia nella porzione apicale compresa fra Villa Verucchio e S. Martino dei Mulini, dove si rinvengono prevalenti ghiaie di canale fluviale organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione circa del 10 ‰.
Di seguito viene riportata in forma tabellare (Tabella 4.2) una sintesi della geologia precedentemente descritta.

Figura 4.13: stralcio, per l'area oggetto di studio, del Foglio 256 Rimini della nuova Carta Geologica d'Italia, realizzato alla scala 1: 50.000 dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del progetto CARG. Note: la legenda è stata modificata.

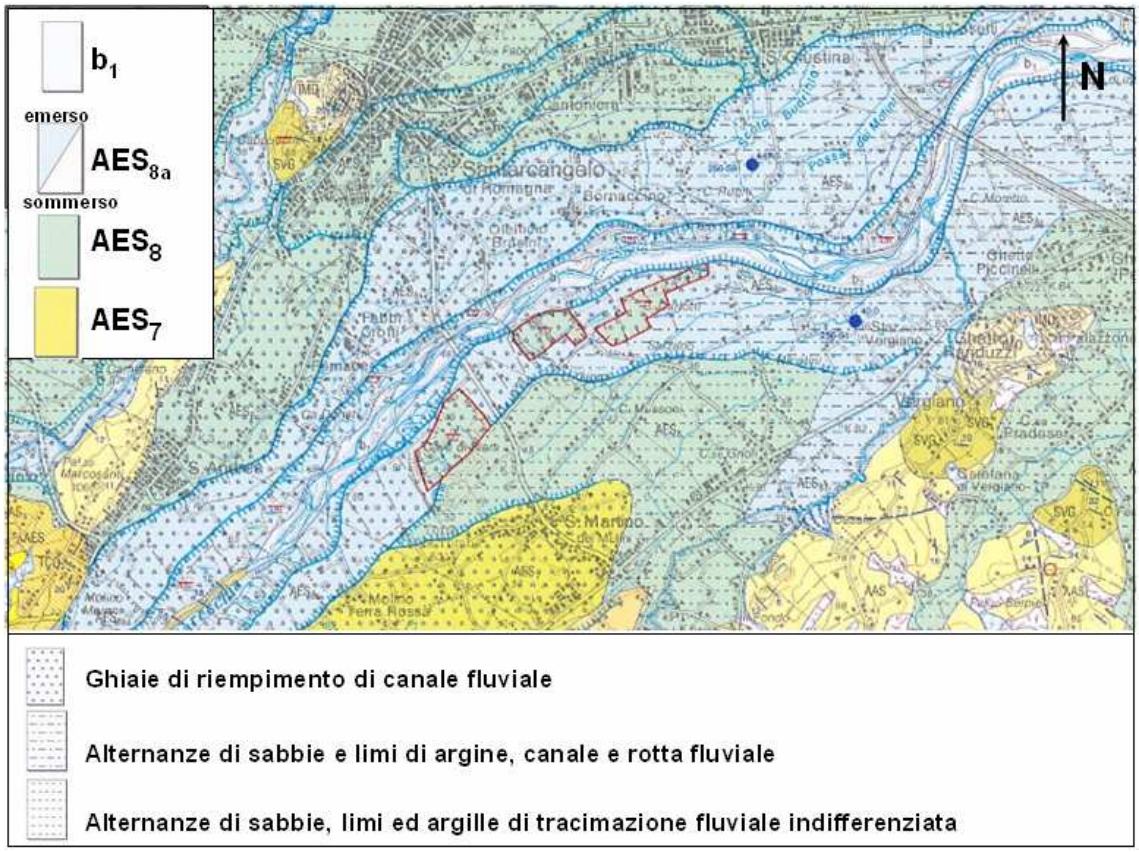


Tabella 4.2: di sintesi descrittiva della carta geologica di Figura 4.13.

Sistemi deposizionali	**Età**	**Spessori**	**Facies deposizionali nell'area di studio**	**Descrizione sintetica**	**Ubicazione nell'area di studio**
Depositi alluvionali in evoluzione (**b1**)	Attuale	variabili	continentale	prevalenti ghiaie e sabbie; localmente blocchi e materiale fine. Sono privi di una formale connotazione stratigrafica	lungo l'asta del F. Marecchia e nelle aree esondabili di piena ordinaria
Unità di Modena (**AES_{8a}**)	IV-VI sec. d.C.-Attuale	massimo 3-4 m	continentale	ghiaie di riempimento di canale fluviale; alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale. AES_{8a} include concettualmente b1 ed è un unità di AES_8.	lateralmente a b1, lungo una fascia parallela al F. Marecchia
Subsintema di Ranenna (**AES_8**)	Pleistocene Sup.-Olocene	massimo 20-25 m	continentale	ghiaie di canale fluviale; alternanze di sabbie, limi e argille di	lateralmente ad AES_{8a}: in sinistra

Sistemi deposizionali	Età	Spessori	Facies deposizionali nell'area di studio	Descrizione sintetica	Ubicazione nell'area di studio
	(12.000 anni fa-Attuale)			tracimazione fluviale indifferenziata. Non affioranti (nel sottosuolo): depositi argillosi e limosi con sostanza organica di palude, passanti verso l'alto a limi sabbiosi di piana inondabile ben drenata. Si individuano 3 ordini di terrazzi con inclinazione del 5-6 ‰.	idrografica del F. Marecchia fra S. Andrea e S. Giustina; in destra fra la ex cava Santarini e C.se Gnoli
Subsintema di Villa Verucchio (**AES_7**)	Pleistocene Sup. (125.000-18.000 anni fa)	massimo 10 m in affioramento e 80 m nel sottosuolo di pianura	continentale	ghiaie di canale fluviale organizzate in un solo ordine di terrazzo con inclinazione del 10 ‰. Nel sottosuolo di pianura: unità corrispondente a un ciclo trasgressivo regressivo	In destra idrografica del F. Marecchia fra Molino Terra Rossa e S. Martino dei Mulini

4.3.4 Inquadramento idrogeologico ed idrostrutturale

I tre laghi oggetto di studio, come già detto risultano ubicati nella porzione centro-distale della Conoide del F. Marecchia, la quale rappresenta fisicamente l'area di ricarica non solo della falda freatica, ma anche di quelle profonde, in quanto è qui che nel sottosuolo vi sono i maggiori spessori delle ghiaie cosiddette amalgamate.
La zona presenta perciò una elevata vulnerabilità, vista la possibilità di inquinamento delle falde acquifere da parte di un contaminate sversato accidentalmente sul suolo.
Le fonti della ricarica degli acquiferi sono soprattutto le precipitazioni meteoriche, il fiume, i versanti laterali e in secondo luogo le sorgenti di terrazzo presenti in destra idrografica.
Diversi aspetti geomorfologici della Conoide del F. Marecchia condizionano anche quelli idrogeologici.
In particolare, il tratto del fiume che scorre profondamente incassato nella porzione apicale della conoide, drena la falda freatica, anziché essere alimentante come in passato.
In corrispondenza di Corpolò si individua l'apice idrogeologico della conoide, ovvero la zona in cui si assiste al rapido aumento di spessore delle ghiaie amalgamate.
Scendendo verso valle si trova la zona di amalgamazione delle ghiaie, avente uno spessore via via crescente spostandosi da Corpolò (circa 20 m) al lago Incal System (circa 60 m). In tale porzione della conoide vi è un acquifero monostrato di tipo freatico.
Scendendo ulteriormente verso valle la struttura idrogeologica viene a differenziarsi notevolmente, assumendo in sezione una forma simile ad una mano; i depositi più grossolani (ghiaie e sabbie) divengono distinti e separati da quelli più fini e meno permeabili, dando luogo sotto alla prima falda freatica ad una successione verticale di acquiferi in pressione o semiconfinati, secondo lo schema idrostrutturale brevemente descritto qui di seguito (vedi le due sezioni riportate in Figura 4.14 e Figura 4.15, aventi direzione SO-NE).

Figura 4.14 sezione litostratigrafica con direzione SO-NE della Conoide del F. Marecchia (fonte *Piano Regionale di Tutela delle Acque, quadro conoscitivo)*

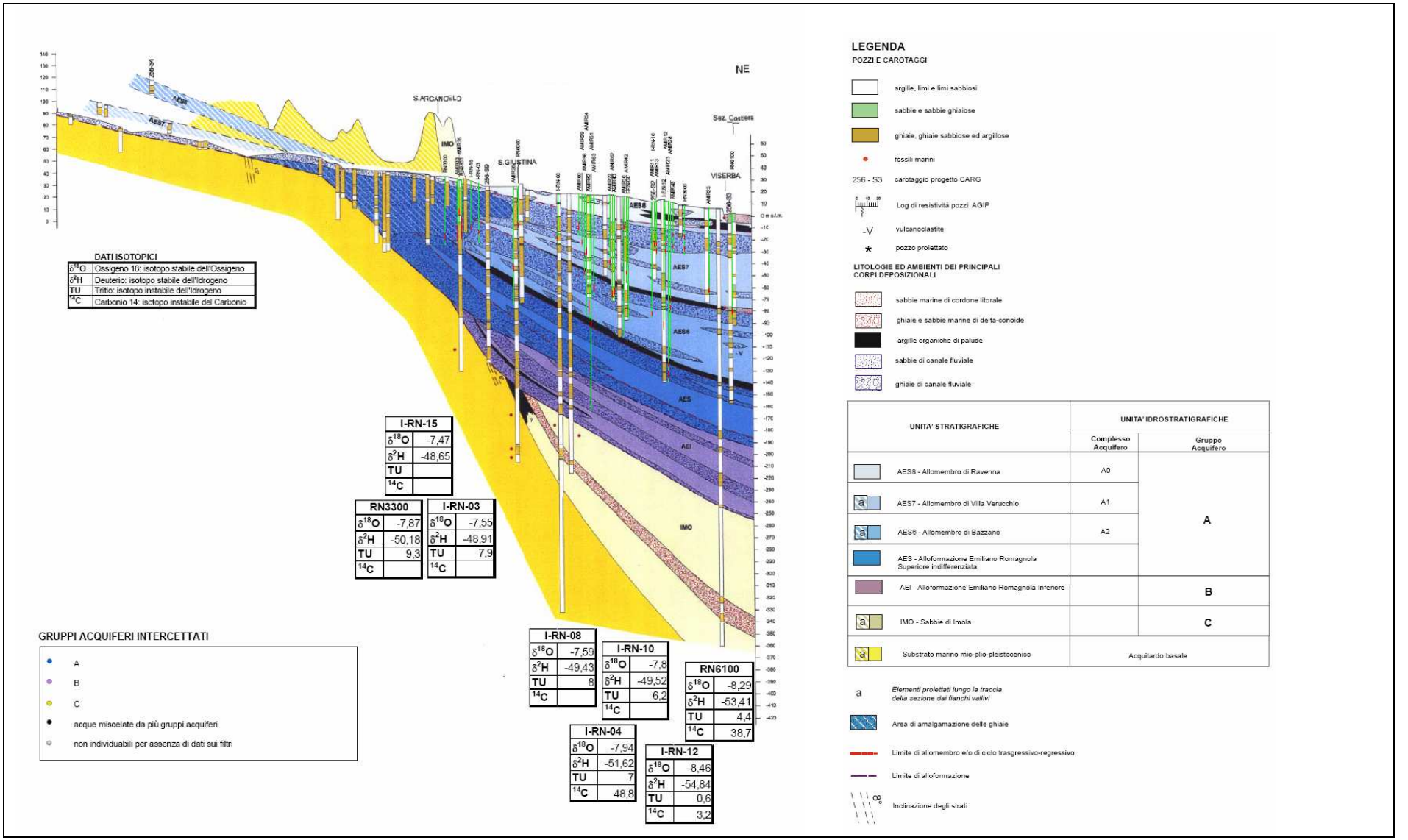
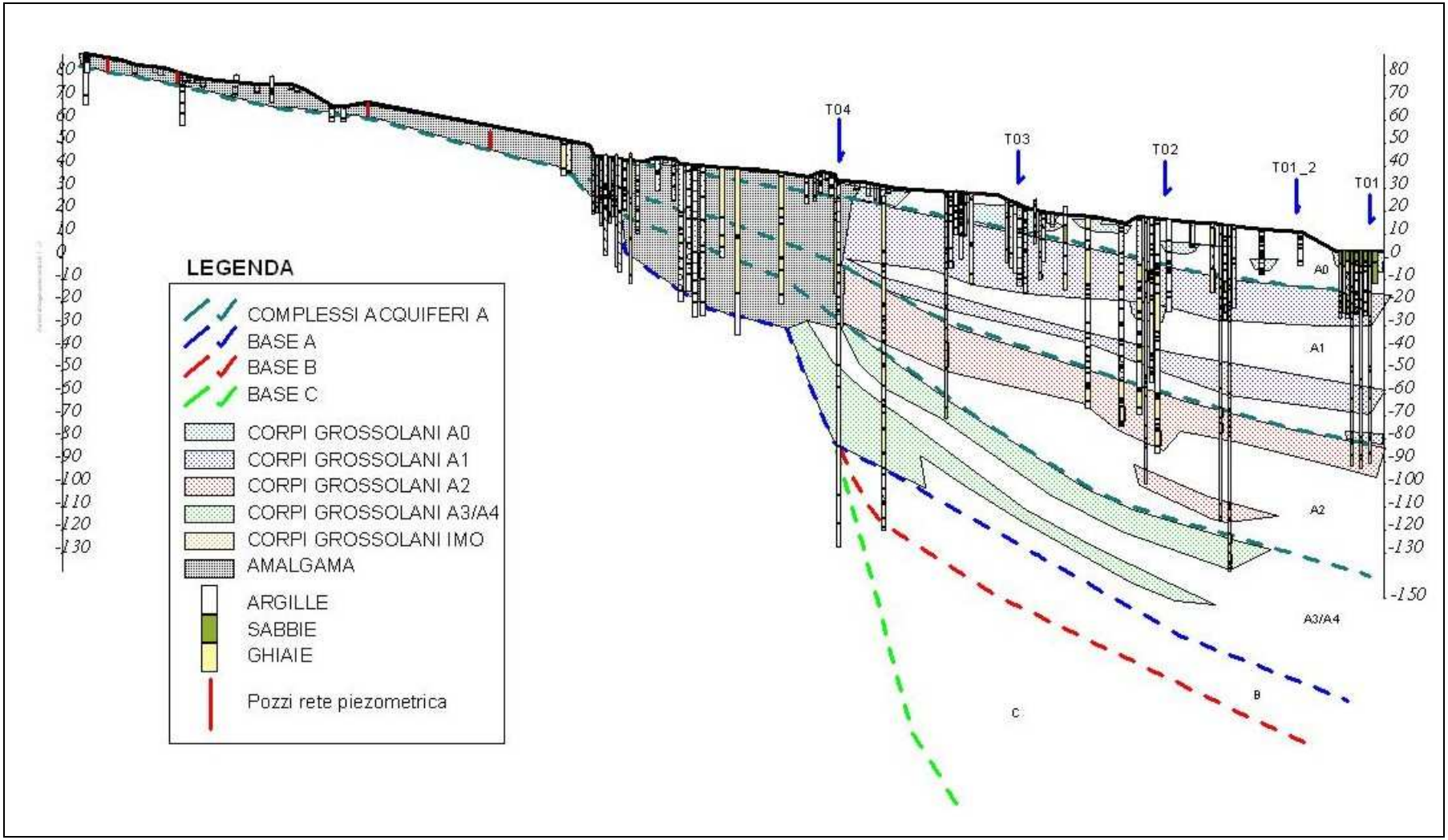


Figura 4.15: sezione idrogeologica con direzione SO-NE della Conoide del F. Marecchia tratta da: Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, novembre 2005. *Studio della Conoide alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*.



Da un punto di vista idrostratigrafico, andando dal piano campagna via via in profondità, la struttura della Conoide del Marecchia si compone di tre Gruppi Acquiferi: A, B e C, i quali costituiscono rispettivamente le Unità stratigrafiche denominate: Alloformazione Emiliana-Romagnola Superiore, (del Pleistocene Medio-Superiore-Olocene), Alloformazione Emiliana-Romagnola Inferiore (del Pleistocene Medio) e Sabbie di Imola (del Pliocene-Pleistocene Medio). Le prime due unità stratigrafiche appartengono al Quaternario Continentale, mentre la terza è del Quaternario Marino.
Il Gruppo Acquifero A è il meglio conosciuto dei tre, grazie alla disponibilità maggiore di dati; è il più spesso e viene suddiviso a sua volta in Complessi Acquiferi che vanno dall'A0 all'A4, che rappresentano rispettivamente il più superficiale e il più profondo.
Al di sotto dei Gruppi Acquiferi sopra descritti, si trova il Substrato argilloso marino (Mio-Pliocene), che costituisce il basamento praticamente impermeabile. Da segnalare che nella porzione apicale della conoide, i vari complessi acquiferi sono indifferenziati (zona di amalgamazione delle ghiaie) e poggiano direttamente sul substrato argilloso.

4.3.5 Inquadramento idrostratigrafico di dettaglio

Per la definizione della struttura idrostratigrafica di dettaglio relativa alle aree di studio, il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (SGSS), prendendo come riferimento tre delle precedenti sezioni geologiche L04, L05 e T04 (vedi Figura 4.16) redatte dallo stesso SGSS nell'ambito del progetto "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", ha realizzato cinque sezioni geologiche (scala orizzontale 1: 5.000 e fattore di esagerazione verticale di 1:25) in corrispondenza dei suddetti bacini di ex cava, individuati per gli studi sulla ricarica artificiale degli acquiferi.

Figura 4.16: tracce delle sezioni geologiche

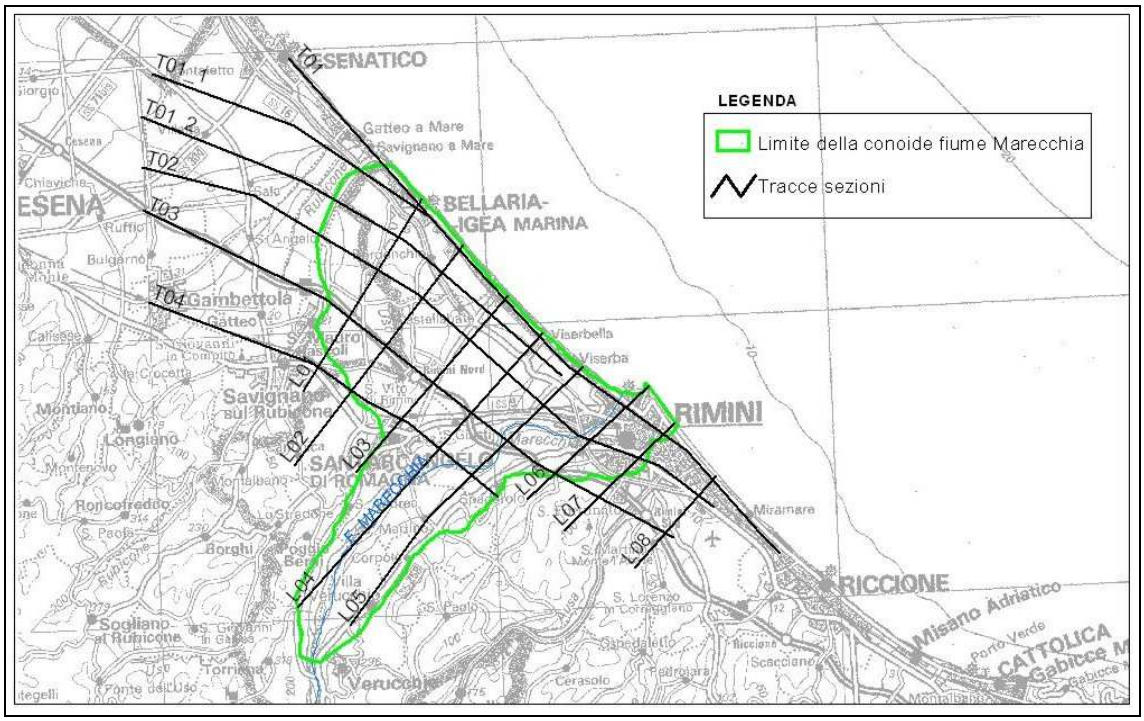


Figura 4.17: tracce delle sezioni geologiche nelle aree di studio

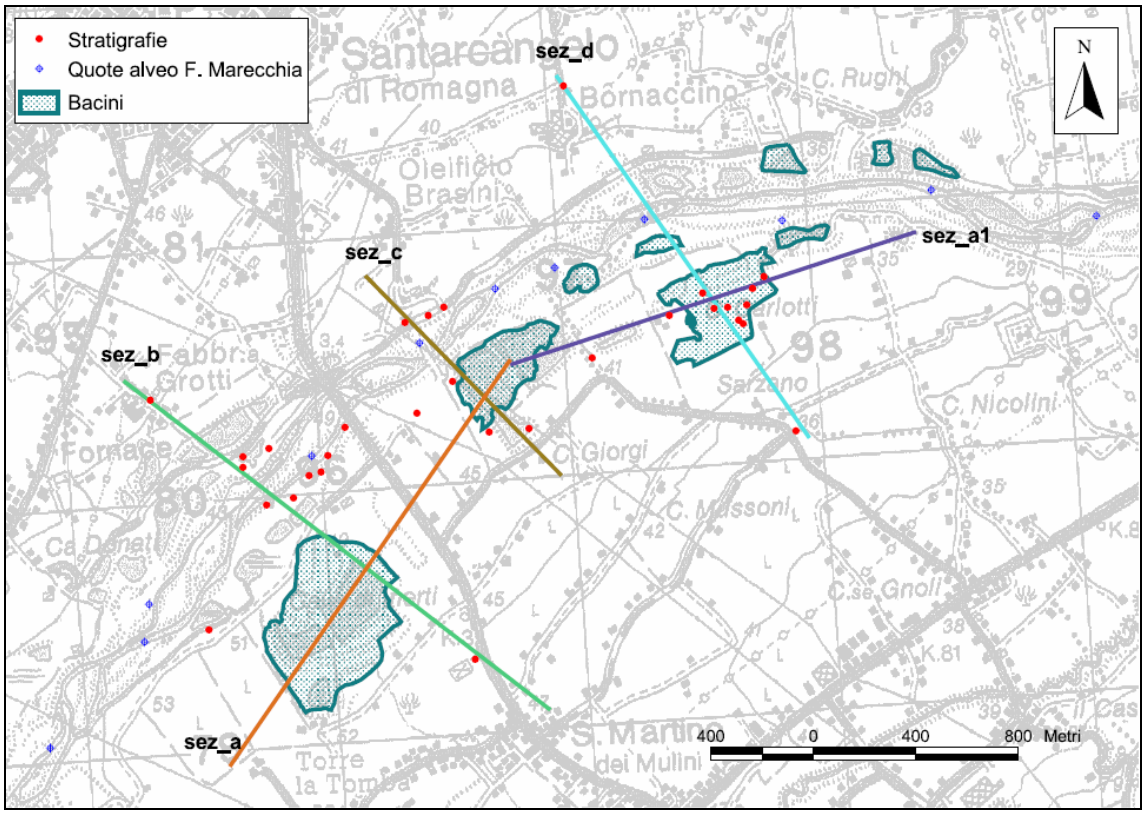


Figura 4.18: sezione idrostratigrafica A parallela al F. Marecchia.

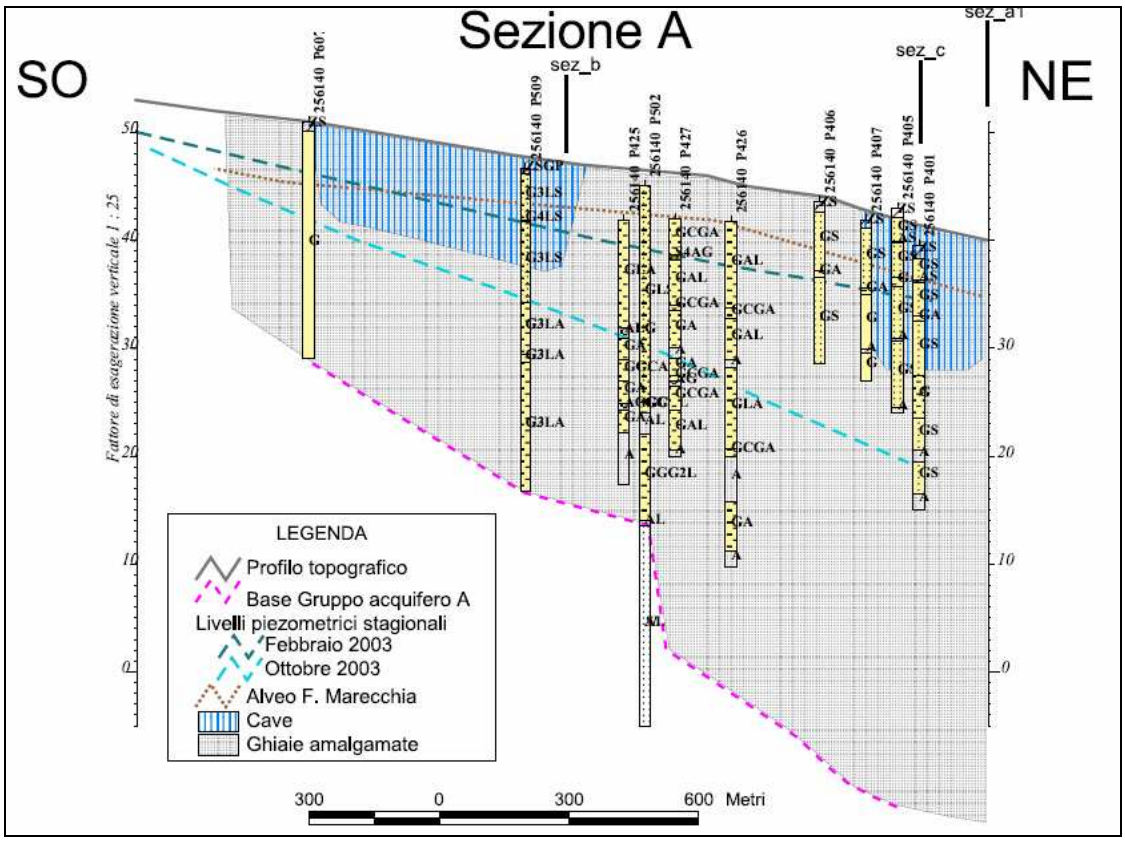
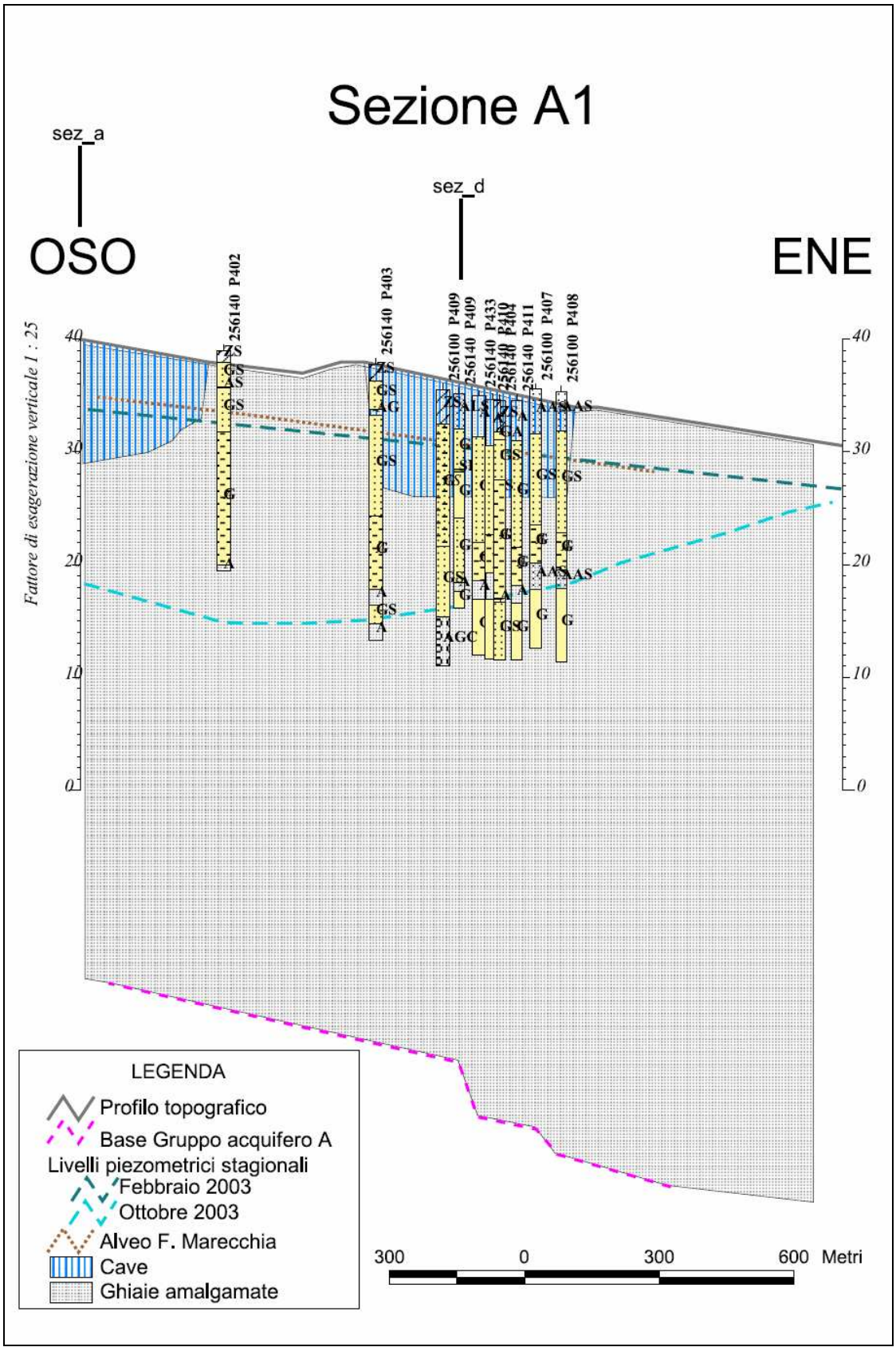


Figura 4.19: sezione idrostratigrafica A1 parallela al F. Marecchia.



Nello specifico, la maglia delle sezioni è così composta (Figura 4.17):

- **Sez_a**: sezione longitudinale di circa 1.9 km, parallela al Fiume Marecchia e con orientazione SO- NE, che attraversa per intero il bacino più a monte (Santarini o CSB) e termina a metà del bacino di mezzo (Adria Scavi o Icar-Instag, Figura 4.18);
- **Sez_a1**: sezione longitudinale di circa 1.7 km, parallela al Fiume Marecchia e con orientazione OSO- ENE, che parte circa a metà del bacino di mezzo ed attraversa il bacino più a valle (Incal-System, Figura 4.19);
- **Sez_b**: sezione trasversale di circa. 2.1 km, posta nella zona più a monte dell'area di studio, orientata NO-SE, che attraversa il corso del Fiume Marecchia ed il bacino Santarini (Figura 4.20);
- **Sez_c**: sezione trasversale di circa 1.1 km, posta a metà dell'area di studio, orientata NO-SE, che attraversa il corso del Fiume Marecchia ed il bacino Adria Scavi (Figura 4.21);
- **Sez_d**: sezione trasversale di circa. 1.7 km, orientata circa NO-SE, che attraversa il corso del Fiume Marecchia ed il bacino Incal-System (Figura 4.22).

Sulle tracce delle sezioni sono state proiettate le stratigrafie, distanti al massimo 500 m dalle sezioni stesse, presenti nella banca dati geognostica del SGSS. Le stratigrafie sono state poi correlate tenendo conto delle circostanti sezioni di riferimento (L04, L05 e T04) e con opportune verifiche sulle stratigrafie originali, al fine di segnalare le superfici tempo che individuano con buona approssimazione le basi dei complessi acquiferi A0, A1 ed A2 e di tracciare la base del Gruppo acquifero A.

Figura 4.20: sezione idrostratigrafica B trasversale al F. Marecchia.

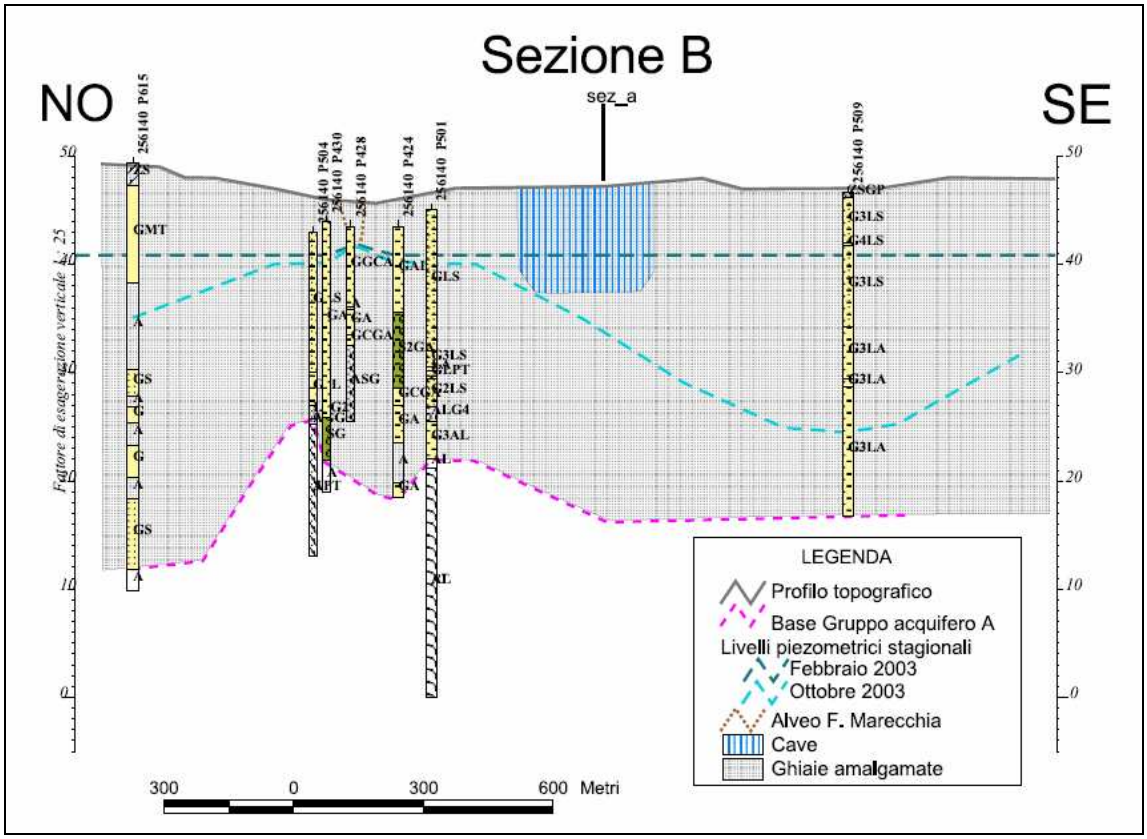


Figura 4.21 sezione idrostratigrafica C trasversale al F. Marecchia.

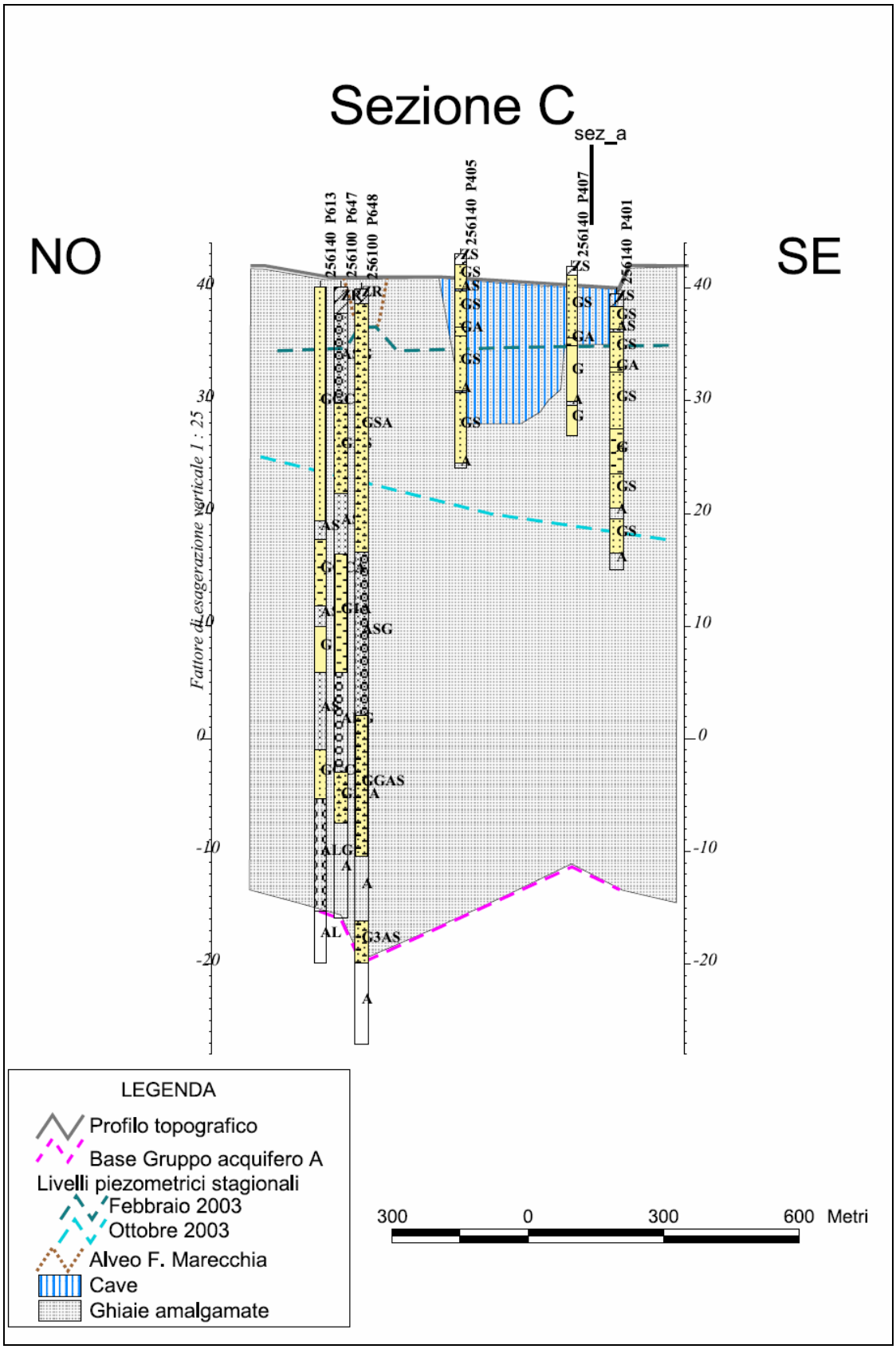
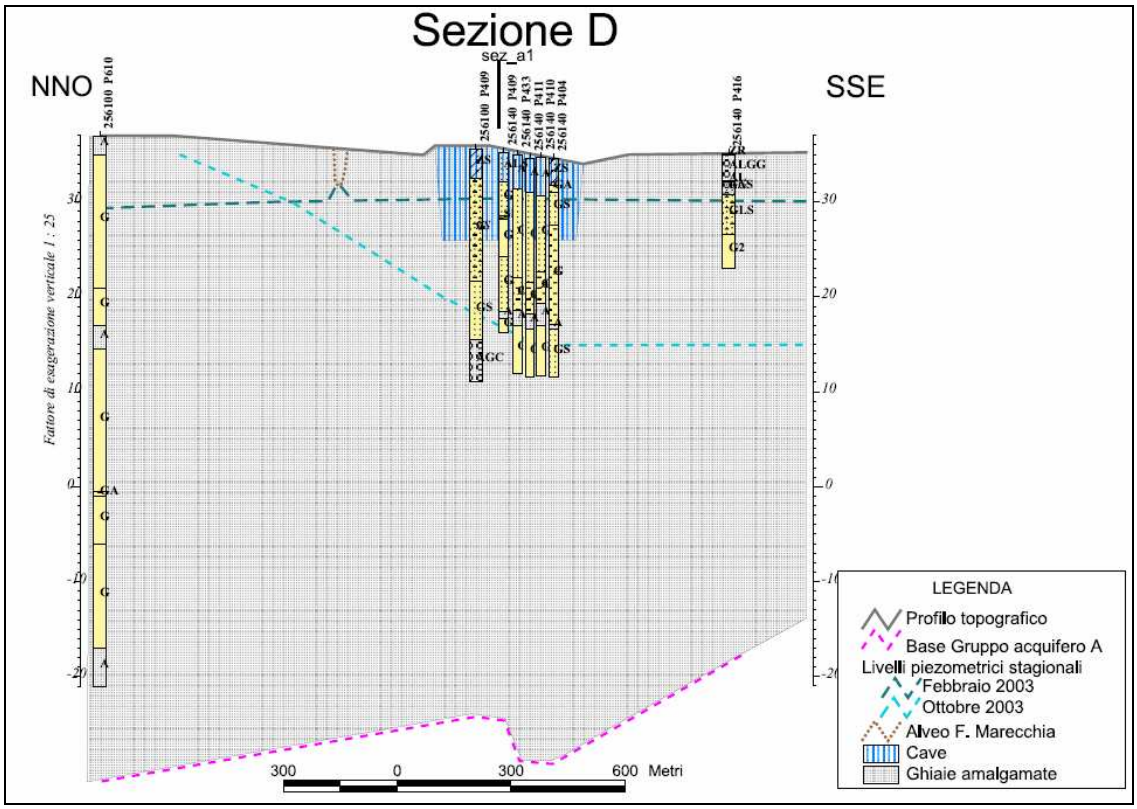


Figura 4.22: sezione idrostratigrafica D trasversale al F. Marecchia.

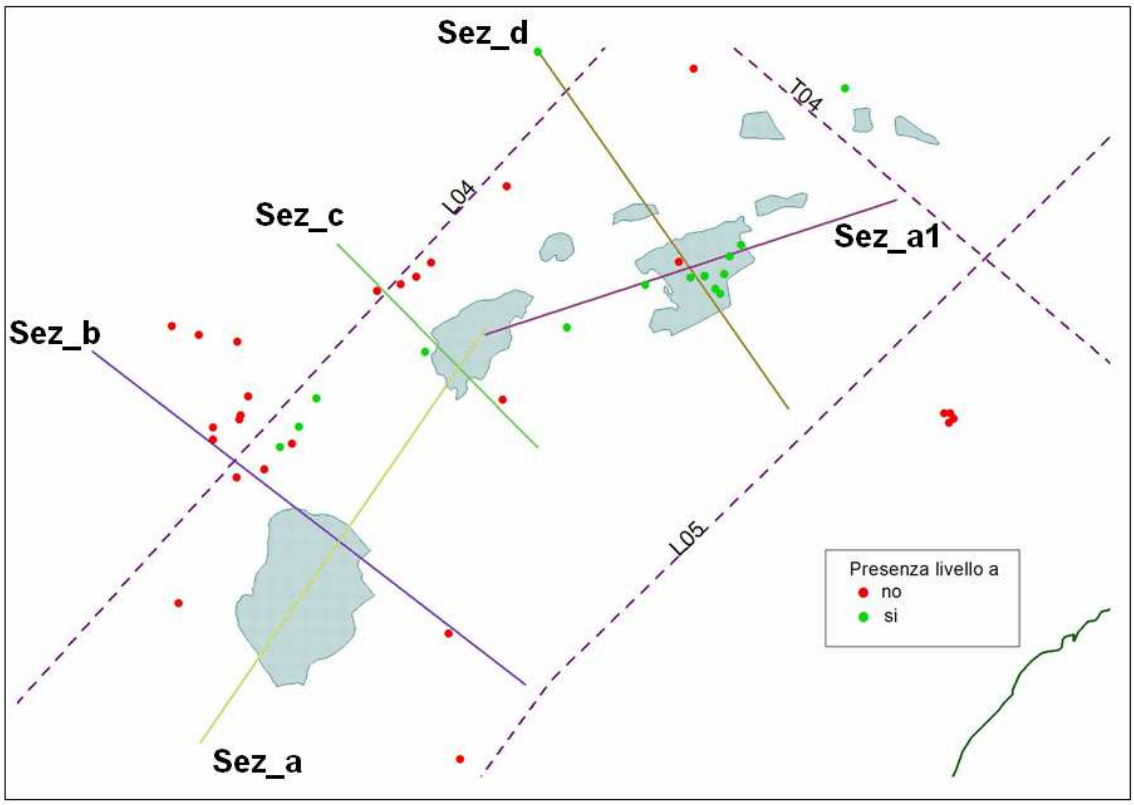


La linea del profilo superficiale è stata ricostruita lungo le tracce di sezione sulla base delle quote riportate sulla CTR, confrontate con le carte topografiche fornite dalla Provincia di Rimini.
Su ciascuna sezione sono stati inoltre riportati:

- la zona di amalgamazione delle ghiaie;
- il profilo dell'alveo del F. Marecchia, considerando, per le due sezioni longitudinali, le proiezioni delle quote di fondo desunte dalla CTR e, per le sezioni trasversali, le quote nei punti di intersezione con le rispettive tracce delle sezioni;
- la sezione dei bacini di ex-cava, riportando le quote delle isobate per i laghi Adria Scavi e Incal System. Per il lago Santarini è stata stimata una profondità media dello scavo di 8.5 m, considerando la superficie del lago (c.a. 28 ha);
- le piezometrie stagionali di massima e di minima (rispettivamente di febbraio e di ottobre) ottenute dall'interpolazione dei dati dell'anno 2003 . Per l'interpolazione di tali piezometrie non sono state considerate le relative quote idrometriche del F. Marecchia;
- la proiezione dei punti della rete di monitoraggio della piezometria vicini alle sezioni.

Dall'osservazione delle sezioni così realizzate, emerge che tutta l'area in esame si trova nella zona di amalgamazione delle ghiaie, attribuibile all'Acquifero A (gli Acquiferi B e C, non interessano le aree di studio essendo più profondi). L'acquifero è quindi considerabile come "monostrato", a conferma di quanto già indicato nelle sezioni predisposte in precedenza (L04, L05 e T04). In questa zona la conoide passa da valori di spessore di circa 10 m, tipici delle porzioni intravallive, fino a 50-60 m. In questo settore il substrato è qui composto da argille marine di età plio-pleistocenica, che costituiscono l'acquitardo basale della conoide.
In alcuni punti, in particolare in corrispondenza del bacino Incal System (vedi Figura 4.23) è stato individuato un livello fine ("livello a") con spessore medio di 1-2 m per il quale, però si è accertata, anche sulle sezioni di riferimento, una persistenza areale modesta. Si ritiene, quindi che tale livello non sia considerabile, dal punto di vista idrogeologico, come acquitardo se non a scala strettamente locale.

Figura 4.23: Distribuzione delle stratigrafie disponibili, che mostrano la presenza o assenza del "livello a" più fine



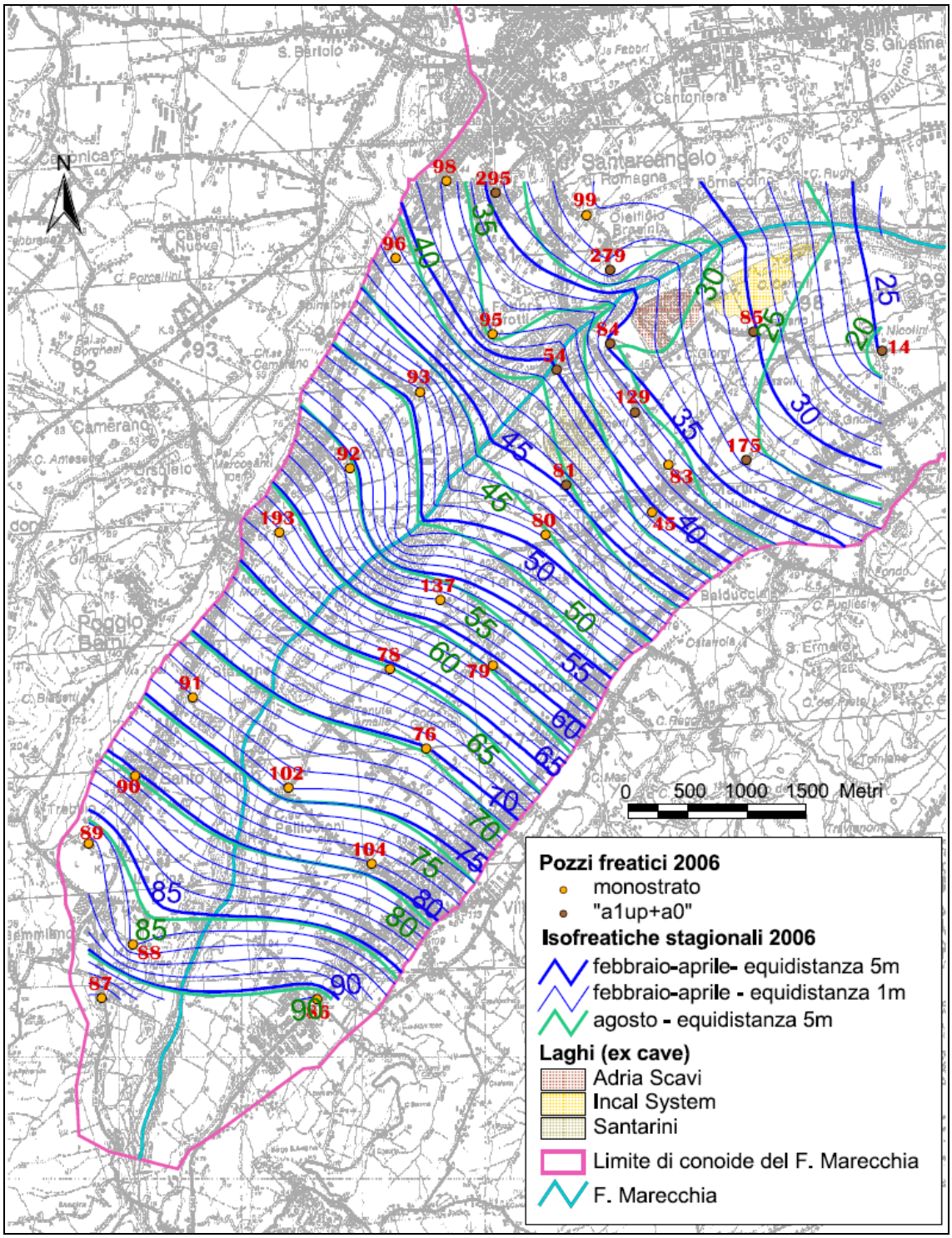
4.3.6 Caratterizzazione quali-quantitativa delle acque sotterranee

4.3.6.1 Elaborazioni piezometriche

Nell'ambito del presente progetto, risulta sicuramente molto importante poter disporre di una buona conoscenza dei livelli piezometrici degli acquiferi della Conoide del F. Marecchia.
Come già detto in precedenza, i tre bacini di ex cava sono ubicati nella porzione di conoide, in corrispondenza della quale si trovano le ghiaie amalgamate, a cui corrisponde un acquifero monostrato di tipo freatico. Per tale ragione, sono stati analizzati con particolare attenzione i dati disponibili relativi alla falda freatica.
In particolare, si è ritenuto di fondamentale importanza elaborare delle carte freatiche stagionali riferite a un periodo recente e con disponibilità di dati abbondanti (2006), che mettessero in evidenza le massime escursioni stagionali dei livelli di falda.
Tali carte freatiche stagionali (Figura 4.24) derivano dall'interpolazione dei livelli freatici della falda misurati nei 31 pozzi disponibili della rete provinciale di Rimini, ubicati nella porzione apicale e centro-apicale della conoide.
Per l'elaborazione delle due carte freatiche sono stati quindi scelti i pozzi che non intercettano falde confinate, ovvero 22 pozzi relativi all'acquifero monostrato e 10 indicati come "A1up+A0", i quali sono rispettivamente ubicati nella porzione apicale e in quella centro-apicale della conoide.
Si precisa che i pozzi classificati come "A1up+A0", si trovano in corrispondenza dei massimi spessori delle ghiaie amalgamate, quindi sono stati messi in continuità con quelli del monostrato, in quanto captano la stessa falda freatica.
Le due carte freatiche sono state realizzate con lo scopo di individuare le massime escursioni stagionali della falda superficiale per il 2006, per cui sono stati scelti due periodi: febbraio-

aprile e agosto, i quali rappresentano rispettivamente il massimo e il minimo stagionale della falda freatica.

Figura 4.24: Carta delle isofreatiche stagionali 2006 per la porzione apicale e centro-apicale della Conoide del F. Marecchia.



La scelta dei due periodi è stata effettuata sulla base dei seguenti criteri:

- l'abbondanza delle misure mensili dei livelli di falda disponibili
- l'individuazione dei mesi con il maggior numero di massimi e minimi livelli di falda misurati.

I mesi con il maggior numero dei dati dei livelli di falda più elevati del 2006 sono: febbraio, aprile e secondariamente maggio, per cui la carta freatica che rappresenta l'alto stagionale è stata elaborata considerando per ciascun pozzo le medie delle misure effettuate nei mesi di febbraio e aprile.
Per la carta freatica che rappresenta invece il basso stagionale, sono stati utilizzati i dati del mese di agosto, escludendo quelli di ottobre, poiché sebbene entrambi i mesi risultano completi di dati, le misure freatimetriche di ottobre mostrano già nella maggior parte dei pozzi rialzi dei livelli di falda rispetto ai minimi estivi.
Si precisa che nel tratto che a partire da Corpolò va verso valle, nell'elaborazione delle due carte freatiche si è tenuto conto anche dei livelli idrometrici del F. Marecchia, attribuendo a questo le quote di fondo alveo per il periodo estivo, e le quote di fondo alveo aumentate di 0.5 m per il periodo di febbraio-aprile. Nella porzione apicale a monte di Corpolò non sono stati invece considerati i livelli idrometrici del fiume, in quanto questo scorre profondamente incassato, incidendo il "bedrock", ovvero substrato marino plio-pleistocenico, per cui il fiume riceve acqua dai terrazzi laterali, ma la falda freatica non si trova in continuità con il fiume, per cui le relative isofreatiche in prossimità del fiume andrebbero rappresentate tratteggiate.
Entrambe le carte mostrano che il F. Marecchia drena la falda nella porzione apicale. Questo, per la scelte operative descritte pocanzi, diventa evidente soprattutto da Corpolò fino ad arrivare all'incirca in corrispondenza del bordo più a monte del lago Santarini, dove le isofreatiche risultano convesse verso valle. Nel tratto più a valle, invece fino al limite delle carte in esame, il fiume diventa alimentante, in quanto si trova a scorrere sul dosso morfologico formato dai depositi del fiume stesso e le isofreatiche diventano convesse verso monte.
Le linee di flusso della falda vanno da monte verso valle con direzione d'insieme SO-NE, mentre nelle porzioni più vicine al fiume convergono verso di esso o divergono da questo, secondo quanto sopra detto.
I gradienti medi della falda sono dell'ordine dell' 1% nella porzione apicale della conoide fino all'incirca al lago Santarini, mentre poco più a valle diminuiscono fino circa allo 0.5-0.6%.
Dalle curve di Figura 4.24, si può vedere che le variazioni dei livelli di falda riscontrate nei due periodi del 2006 sono minime nella porzione apicale di conoide, all'incirca fino 500 m più a valle di S. Andrea e Corpolò in prossimità del F. Marecchia, fino ad una distanza da esso di circa 1 km, mentre oltre tale distanza, in destra idrografica le differenze crescono da monte a valle passando da 0.5 a 4 m.
Spostandosi poi più a valle nell'area dei tre laghi di ex cava, le variazioni stagionali dei livelli di falda divengono più accentuate e già in prossimità del F. Marecchia, si riscontrano nei due periodi differenze freatiche di circa 1 m. Inoltre, si può osservare che in corrispondenza del fiume, le isofreatiche di agosto sono convesse verso monte, come in febbraio-aprile, ma si restringono notevolmente avvicinandosi al fiume, indice quindi di un gradiente estivo più elevato diretto dal fiume verso la falda, ovvero indicatore di una falda estiva più depressa.
Nell'area in esame, in destra idrografica spostandosi via via dal fiume verso il bordo orientale della conoide si assiste ad aumenti delle variazioni dei livelli di falda che passano da 1 m a 5-6 m a Est del lago Santarini, raggiungendo i 7 m ad Est dei laghi Adria Scavi e Incal System.
Sempre nell'area in esame, ma in sinistra idrografica, a SO del lago Adria Scavi, le differenze stagionali dei livelli di falda sono più contenute (massimo 3-4 m) e si può osservare una differenza nel comportamento delle isofreatiche appena descritto per la zona in destra idrografica. Infatti, partendo da S. Andrea e spostandosi verso valle parallelamente al F. Marecchia e ad una distanza da questo di circa 700-800 m, le isofreatiche dei due periodi stagionali risentono della presenza del Canale Mulini Viserba: da S. Andrea fino circa alla località Fornace si vede dalle linee di flusso divergenti che il canale è alimentante, mentre poco più a valle diventa drenante. Tale fenomeno è spiccatamente evidente nel periodo di agosto, nell'area a NNO del lago Santarini, dove si registrano variazioni freatiche di 3.5 m rispetto a febbraio-aprile.
Volendo dare uno sguardo d'insieme alle due carte freatiche stagionali, si può notare che la falda presenta gradienti diretti dal fiume verso i bordi della conoide più elevati in destra che in sinistra idrografica, il che significa che la falda si trova ad essere maggiormente depressa in destra idrografica, specialmente nel periodo estivo.

Per maggiore completezza le elaborazioni piezometriche realizzate ad hoc per questo studio e relative all'anno 2006, vengono messe a confronto qui di seguito con le carte freatiche del 2001 relative al periodo di maggio (alto stagionale, Figura 4.25) e di settembre-ottobre (basso stagionale, Figura 4.26), realizzate nell'ambito del progetto: "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".
Tali carte sono state elaborate utilizzando un maggior numero di misure di livelli di falda, per cui le isofreatiche risultano più ondulate, in quanto rispecchiano più nel dettaglio anche gli assi di drenaggio e gli spartiacque di carattere locale.
Il confronto fra la carta di febbraio-aprile 2006 con quella di maggio 2001 e il paragone fra quella di agosto 2006 con l'altra di settembre-ottobre 2001, mostra una buona sovrapposizione delle isofreatiche nei rispettivi periodi degli alti e dei bassi stagionali, anche se si osserva per il 2001 una maggiore escursione stagionale della falda. Infatti nel confronto fra gli alti stagionali si riscontrano livelli medi della falda più alti mediamente di poco meno di 1 m nel maggio 2001 rispetto al febbraio-aprile 2006. Invece, nell'area di studio dei tre bacini di ex cava, in destra idrografica, nel settembre-ottobre 2001 si osservano livelli medi della falda più bassi rispetto ad agosto 2006 di 1-3 m.

Figura 4.25: confronto delle isofreatiche del 2001 e del 2006 relative agli alti stagionali per la porzione apicale e centro- apicale della Conoide del F. Marecchia.

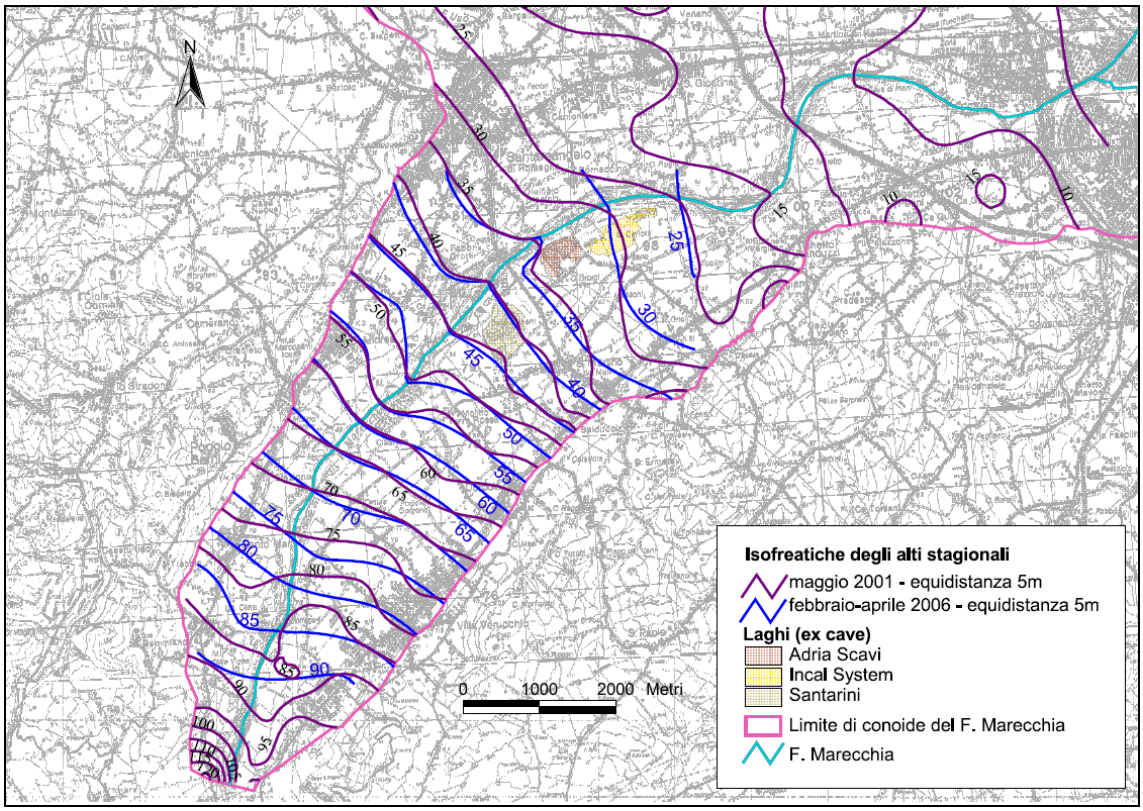
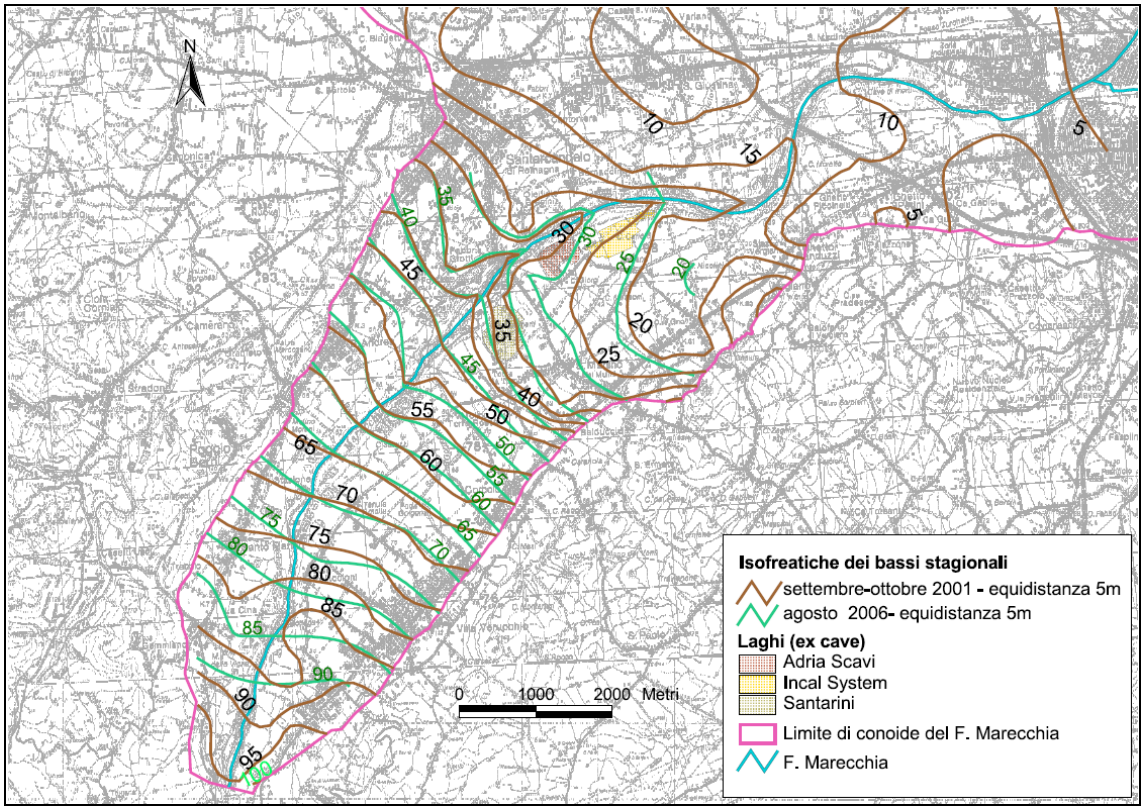


Figura 4.26: confronto delle isofreatiche del 2001 e del 2006 relative ai bassi stagionali per la porzione apicale e centro- apicale della Conoide del F. Marecchia.



4.3.6.2 Stato di qualità delle acque sotterranee: i nitrati

Il progetto [3] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, luglio 2006. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.) riporta, a supporto dell'implementazione del modello di trasporto di nitrati all'interno della conoide del Fiume Marecchia, una attenta analisi dei dati disponibili (recenti e passati) al fine di inquadrare la problematica dai nitrati all'interno della conoide riminese ed i cui risultati sono richiamati in Tabella 4.3 in funzione della suddivisione della conoide nelle porzioni apicale e distale.

La Figura 4.27 rappresenta invece la situazione attuale e deriva dallo stralcio incentrato sulla conoide del F. Marecchia della mappa regionale delle concentrazioni medie dei nitrati relative all'anno 2006 per le acque sotterranee (tratta da "Arpa Emilia-Romagna - *Annuario regionale dei dati ambientali edizione 2007*"[10]). La mappa deriva dal *kriging* fra tutte le misure disponibili relative ai pozzi della Rete regionale di controllo delle acque sotterranee, i quali sono stati riportati suddivisi a seconda dei complessi acquiferi captati (A0+A1, A1, A2 e A4).

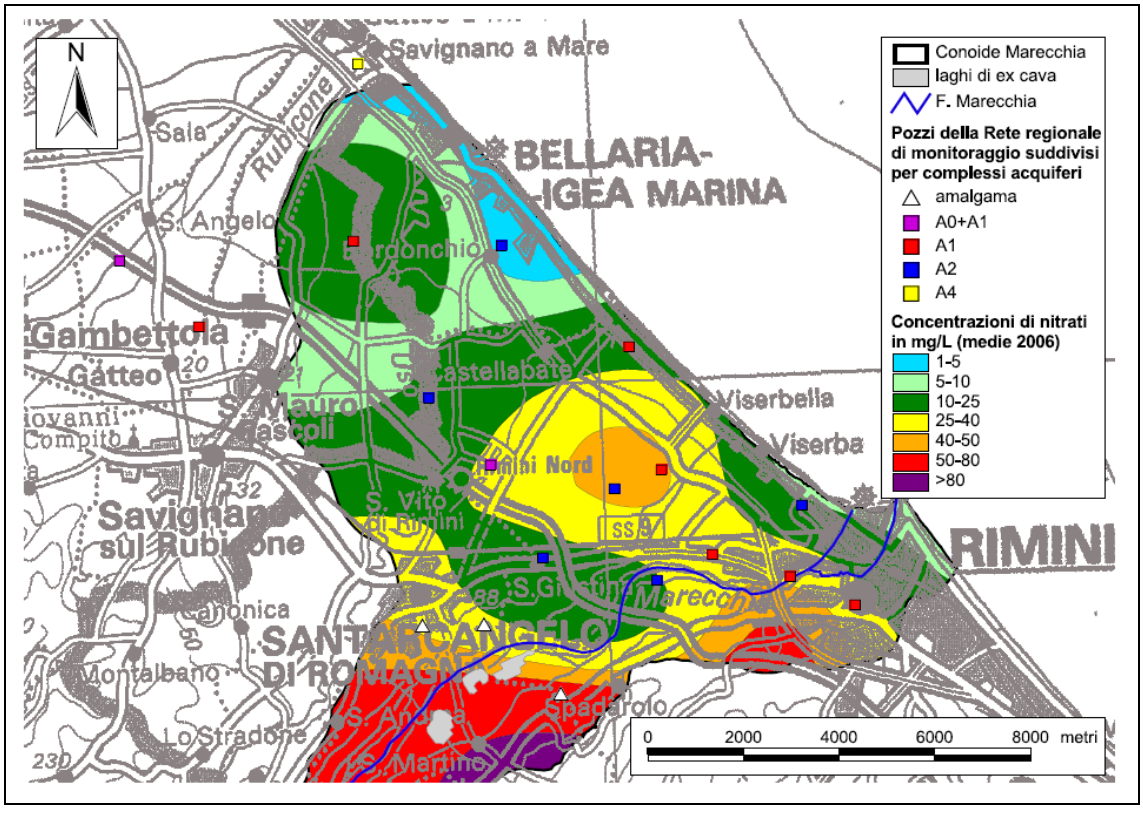
Dalla mappa si può vedere che la porzione apicale della conoide, caratterizzata da un punto di vista idrogeologico dalle ghiaie amalgamate, che costituiscono un acquifero freatico di tipo monostrato, è quella più critica per l'inquinamento da nitrati. Il valore massimo di 96 mg/L si registra, infatti all'incirca 1 km a SE del lago Incal System. Spostandosi più verso valle, in particolar modo verso NO, a partire dalla porzione centrale della conoide, che corrisponde alla zona in cui si verifica la progressiva compartimentazione dei complessi acquiferi, si assiste ad un miglioramento qualitativo delle acque sotterranee, con valori di concentrazione dei nitrati che rimangono per lo più sotto i limiti di legge di 50 mg/L.

Si osserva inoltre che il miglioramento risulta maggiore sostandosi in profondità, ovvero dal Complesso Acquifero A0-A1 verso l'A2. Infatti, le concentrazioni medie dei nitrati misurate in corrispondenza dei pozzi che captano acque in A0+A1, A1 e A2 sono pari rispettivamente a: 41, 33 e 4 mg/L.

Tabella 4.3: analisi delle concentrazioni di nitrati nella conoide del Marecchia a partire da 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	80.3	37	25	67.6	106.7	25.3
	Porzione DISTALE conoide Marecchia	1.3	186	45.4	25	8	32.0	86.7	26
	Torriana	21	37	29	2	0	0.0	-	29
	Verrucchio	20	229	107.1	12	10	83.3	123.6	24.4
	Poggio Berni	24	120	82	4	3	75.0	101.3	24
	Santarcangelo	4.2	174	60.8	14	8	57.1	90.1	21.6
	Rimini apice	10	128	76.2	6	4	66.7	101.8	25
	Rimini distale	1.3	186	46.8	21	6	28.6	98.2	26.2
	Rimini	1.3	186	53.3	27	10	37.0	99.6	26.1
	Bellaria	42	53	48.6	3	2	66.7	51.9	42
2001-03	Porzione DISTALE conoide Marecchia	0.1	158	27.7	85	17	20.0	77.6	15.2
2006	Porzione APICALE conoide Marecchia	2.2	105	50	12	6	50	85.4	14.6

Figura 4.27: mappa delle concentrazioni medie di nitrati relative al 2006 per la conoide del F. Marecchia.

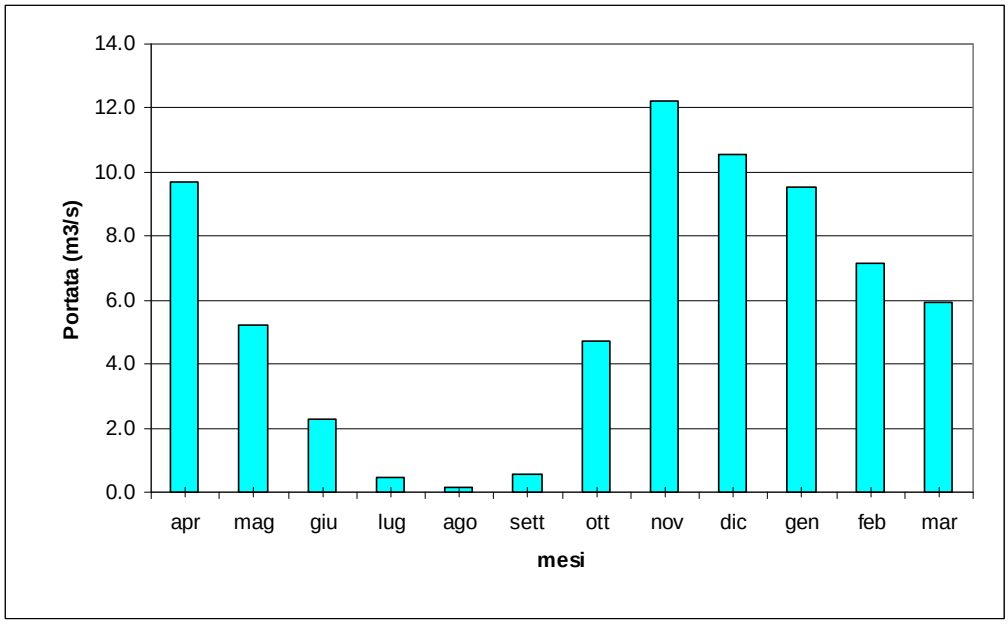


4.3.7 Caratterizzazione quali-quantitativa delle acque superficiali

4.3.7.1 Aspetti quantitativi

La Figura 4.28 riporta la stima delle portate transitanti nell'alveo del fiume Marecchia in prossimità della stazione di chiusura del Bacino Montano. Tali portate derivano dalle ricostruzioni afflussi-deflussi realizzate per il Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia-Romagna e sono relative al decennio 1991-2001. Al netto del Deflusso Minimo Vitale idrologico (che per il fiume Marecchia a Ponte Verucchio il Piano di Tutela delle Acque stima pari a 0.54 m3/s) tali valori evidenziano i mesi dell'anno (da ottobre a maggio) in cui mediamente risulta disponibile un quantitativo di acqua utilizzabile per l'alimentazione del laghetto per il possibile intervento di ricarica artificiale.

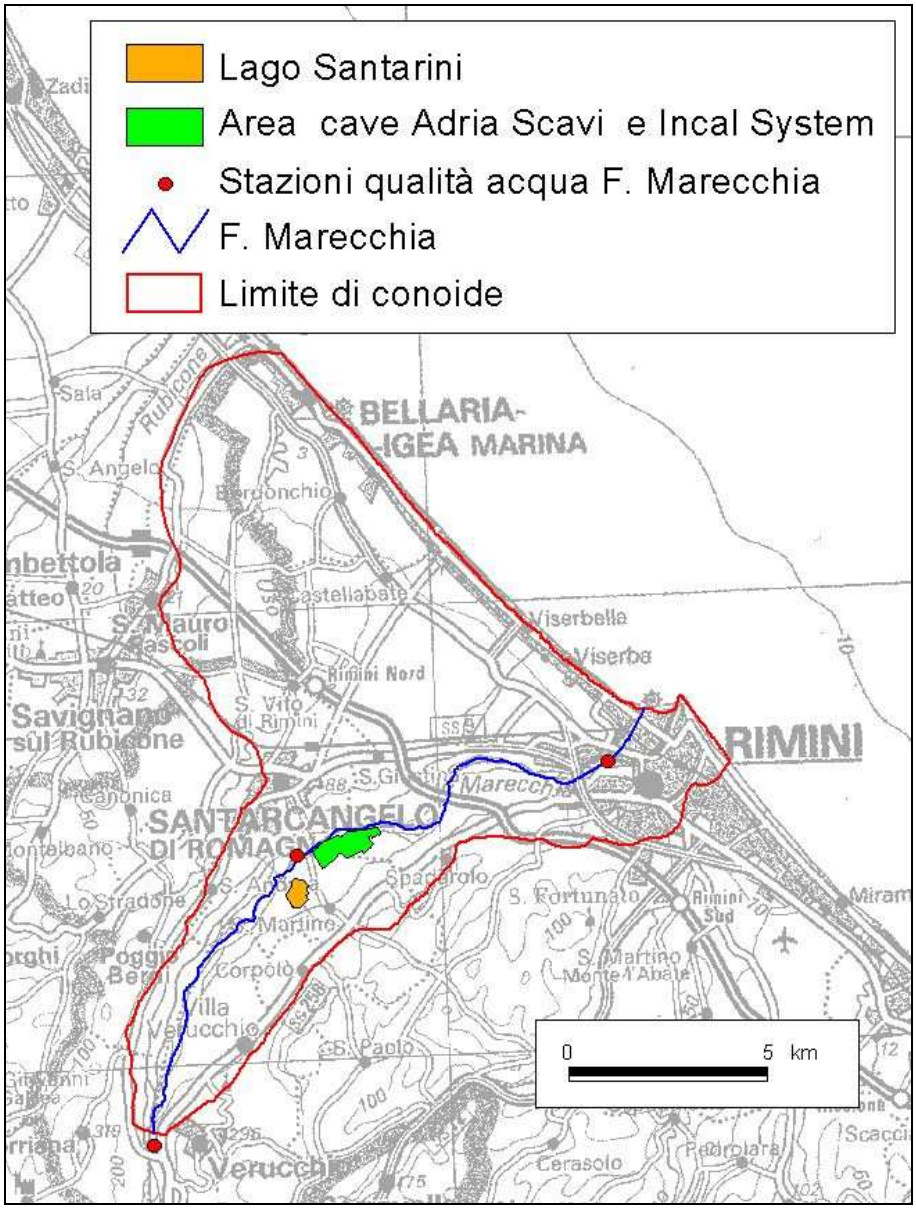
Figura 4.28: ricostruzioni afflussi-deflussi per il periodo 1991-2001



4.3.7.2 Aspetti qualitativi

All'interno della Conoide del F. Marecchia ricadono tre stazioni di misura appartenenti alla Rete regionale di monitoraggio dello stato ambientale delle acque superficiali. La stazione "19000200" si trova poco più a monte del limite apicale della conoide, in corrispondenza del ponte di Verrucchio ed è di tipo AS; la "19000300" si trova presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia), nella porzione centro-apicale della conoide ed è di tipo B; la "19000600" è ubicata a NO di Rimini, a monte della cascata di Via Tonale ed è di tipo AS.
Di seguito (Tabella 4.4) vengono riportate le tabelle con gli andamenti annuali dal 2000 al 2006 di: LIM (Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori), IBE (Indice Biotico Esteso), SECA (stato ecologico) e SACA (stato ambientale), i cui dati sono tratti da [5] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2006. *La qualità dei corsi d'acqua della Regione Emilia-Romagna*. A cura di D. Tonna.), dal suo aggiornamento per i dati 2006 e da [10] (Arpa Emilia-Romagna - *annuario regionale dei dati ambientali edizione 2006).*
Da un primo sguardo si osserva, come è logico aspettarsi, un graduale peggioramento della qualità spostandosi da monte verso valle.

Figura 4.29: ubicazione delle tre stazioni di misura per il monitoraggio qualitativo delle acque superficiali del F. Marecchia all'interno della conoide dell'omonimo fiume.



Nel corso del periodo di osservazione compreso fra il 2000 e il 2006, il LIM delle tre stazioni è stazionario su valori che corrispondono rispettivamente al livello 2 (colore verde) per le due stazioni più a monte, e al livello 3 (colore giallo) per la stazione presso Rimini mentre IBE e SECA mostrano nel complesso andamenti abbastanza stazionari compresi tra la classe 2 e la classe 3. In particolare in corrispondenza della stazione "19000200" si registrano oscillazioni a cavallo fra le classi 2 e 3 (quest'ultima in colore giallo), mentre per le stazioni "19000300" e "19000600" si osserva una situazione stazionaria pari alla classe 3, ad eccezione del 2003, anno caratterizzato dalla classe 4 (colore arancio).
Il SACA è disponibile, come probabile conseguenza della carenza di acqua verificatasi durante l'estate di tali anni, per le stazioni di tipo AS: presso la "19000200" si registra uno stato variabile fra il buono e il sufficiente, mentre presso la "19000600" si ha la sufficienza eccetto che nel 2003, in cui è scadente.
Ai fini del presente progetto sulla ricarica artificiale nelle zone di ex cava, viene analizzata la stazione di misura presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia), ovvero posta nei dintorni delle ex cave. Il motivo di tale scelta sta nel fatto che l'acqua attinta dal F. Marecchia dovrebbe sì essere derivata da un'opera di presa già esistente presso Ponte Verrucchio (circa 10

km più a monte), ma arriverebbe nei bacini di ex cava attraverso un canale in terra, anch'esso già esistente, per cui sembra ragionevole che la qualità delle acque veicolate dal canale venga ad assumere le medesime caratteristiche di quelle riscontrabili nel fiume presso la suddetta stazione di misura.

Tabella 4.4: andamenti di L.I.M., I.B.E., S.E.C.A. e S.A.C.A., calcolati negli anni 2000-2006 presso le tre stazioni di misura per il monitoraggio qualitativo delle acque superficiali del F. Marecchia, all'interno della conoide dell'omonimo fiume. Note: i colori di riempimento delle celle indicano il livello o la classe (verde = 2; giallo = 3; arancione = 4)

			L.I.M.						
Stazione	**Codice**	**Tipo**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Ponte Verucchio	19000200	AS	330	370	320	350	350	350	370
P.te S.P. 49 via Traversa Marecchia	19000300	B	325	330	400	330	350	360	370
A monte cascata Via Tonale	19000600	AS	140	160	135	140	150	225	215
			I.B.E.						
Stazione	**Codice**	**Tipo**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Ponte Verucchio	19000200	AS	7	8	8	7	6	7-8	8
P.te S.P. 49 via Traversa Marecchia	19000300	B	7	7	7	5-6	6-7	7	7
A monte cascata via Tonale	19000600	AS	-	7	7	4-5	6	6	6-5
			S.E.C.A.						
Stazione	**Codice**	**Tipo**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Ponte Verucchio	19000200	AS	C 3	C 2	C 2	C 3	C 3	C 3	C 2
P.te S.P. 49 via Traversa Marecchia	19000300	B	C 3	C 3	C 3	C 4	C 3	C 3	C 3
A monte cascata via Tonale	19000600	AS	-	C 3	C 3	C 4	C 3	C 3	C 3
			S.A.C.A.						
Stazione	**Codice**	**Tipo**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
Ponte Verucchio	19000200	AS	-	BUONO	BUONO	SUFF	SUFF	SUFF	BUONO
P.te S.P. 49 via Traversa Marecchia	19000300	B	-	-	-	-	-	-	-
A monte cascata via Tonale	19000600	AS	-	SUFF	SUFF	SCAD	SUFF	SUFF	SUFF

Per quanto riguarda la stazione di misura "19000200", qui di seguito vengono analizzate le serie storiche comprese fra il 2000 e il 2006, con le mediane annue dei valori di concentrazione dei parametri macrodescrittori (Figura 4.30). A questi vengono assegnati i livelli di inquinamento precedentemente descritti nella Tabella 4.4.

Il parametro "valore assoluto di (100-OD%)" rappresenta la differenza in valore assoluto fra 100 e la percentuale di saturazione dell'ossigeno disciolto. Tale parametro mostra un trend sinusoidale con valori che, per quattro anni su sette sono compresi fra lo 0.5 e il 6.5 % e corrispondono quindi al livello migliore (1), e per gli altri tre anni variano dal 13 al 19 %, ovvero sono associati al livello 2.

Il BOD_5 presenta valori stazionari pari a 1.0 mg/L di O_2, a cui corrisponde il livello migliore (1).

Il COD mostra un trend sinusoidale con valori che per tre anni su sette sono compresi fra 8 e 10 mg/L, corrispondenti al livello 2, mentre per i restanti quattro anni variano fra 12 e 14.5 mg/L, ovvero ricadono nel livello 3.

L'azoto ammoniacale (N-NH4) presenta valori sempre inferiori a 0.03 mg/L, ovvero appartenenti al livello migliore 1. Il trend appare inoltre in miglioramento dal 2000-01 al 2002-06, anni in cui sono stati misurati valori inferiori ai limiti di rilevabilità della strumentazione.

Figura 4.30: andamenti delle mediane annue delle serie storiche 2000-2006 dell'ossigeno disciolto (100-OD%) per la stazione di misura"19000300" ,ubicata presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia)

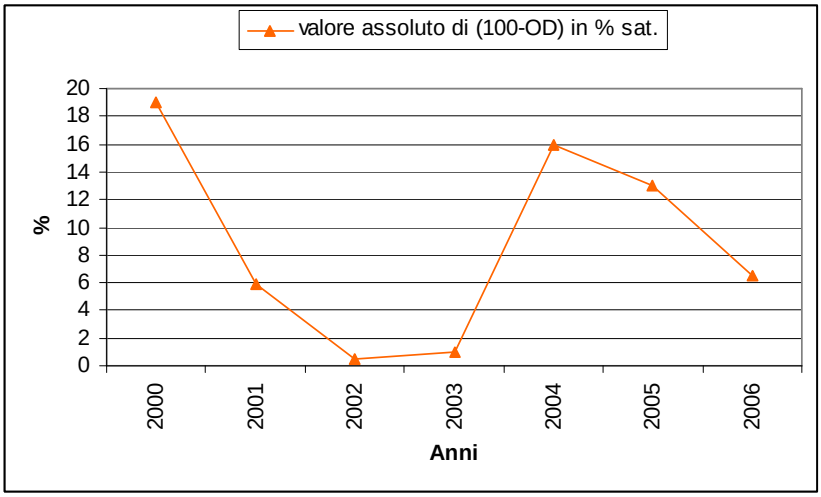


Figura 4.31: andamenti delle mediane annue delle serie storiche 2000-2006 del BOD5 per la stazione di misura"19000300" ,ubicata presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia)

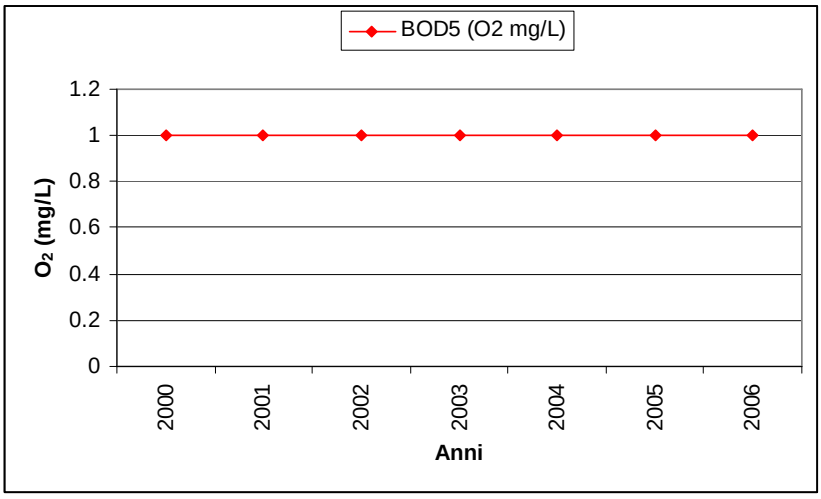


Figura 4.32: andamenti delle mediane annue delle serie storiche 2000-2006 del COD per la stazione di misura"19000300" ,ubicata presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia)

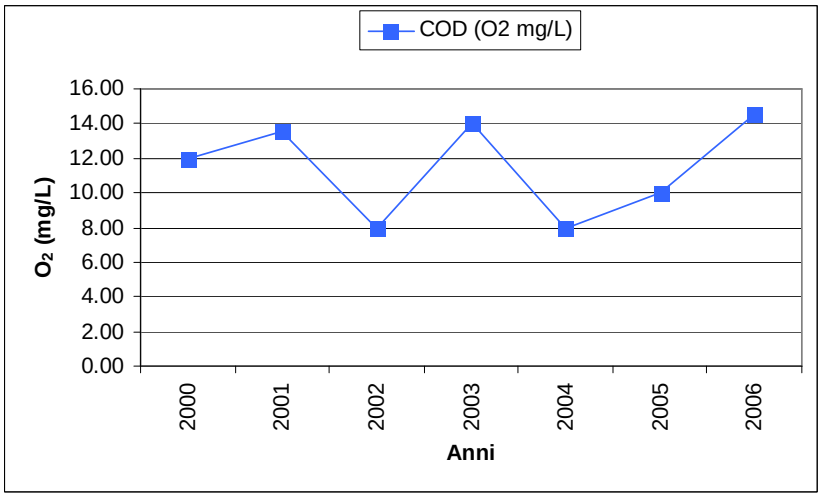


Figura 4.33: andamenti delle mediane annue delle serie storiche 2000-2006 dell'azoto ammoniacale per la stazione di misura"19000300" ,ubicata presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia)

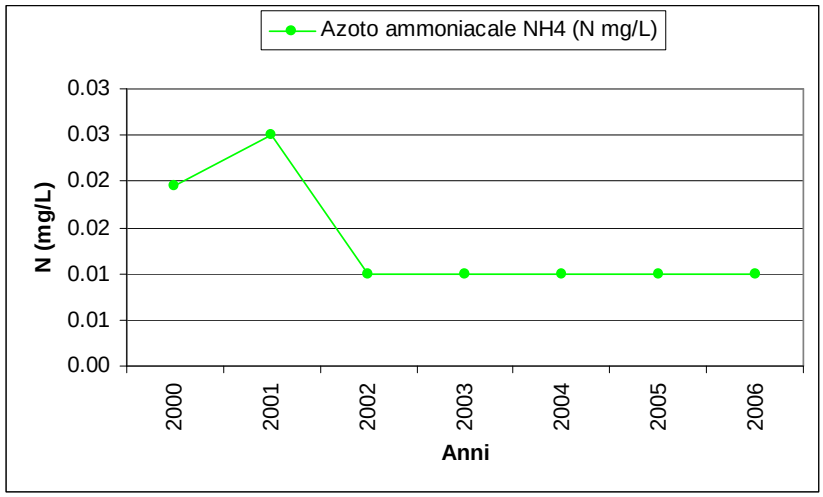


Figura 4.34: andamenti delle mediane annue delle serie storiche 2000-2006 dell'azoto nitrico per la stazione di misura"19000300" ,ubicata presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia)

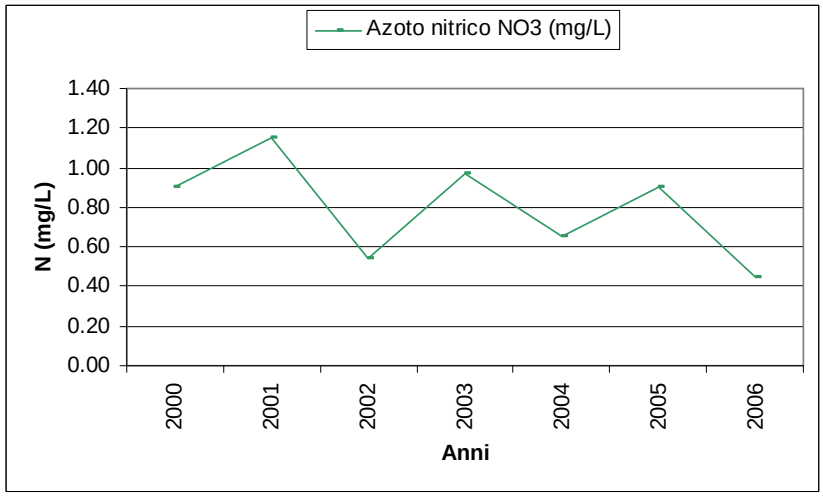


Figura 4.35: andamenti delle mediane annue delle serie storiche 2000-2006 del Fosforo totale per la stazione di misura"19000300" ,ubicata presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia)

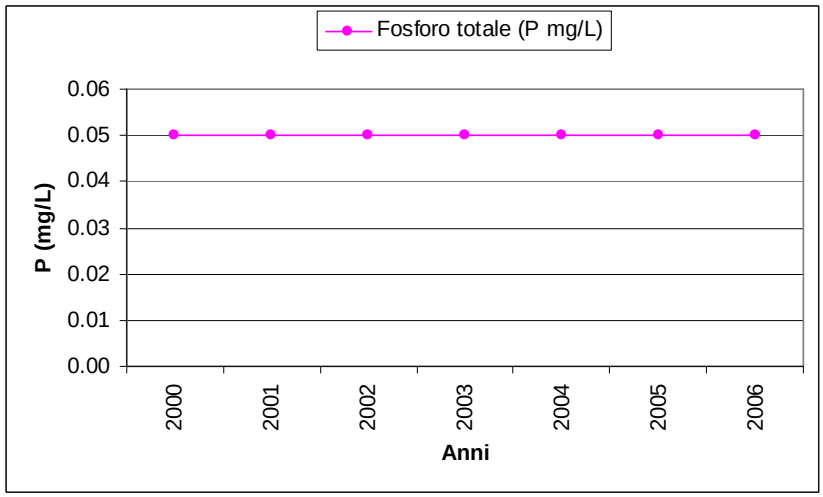
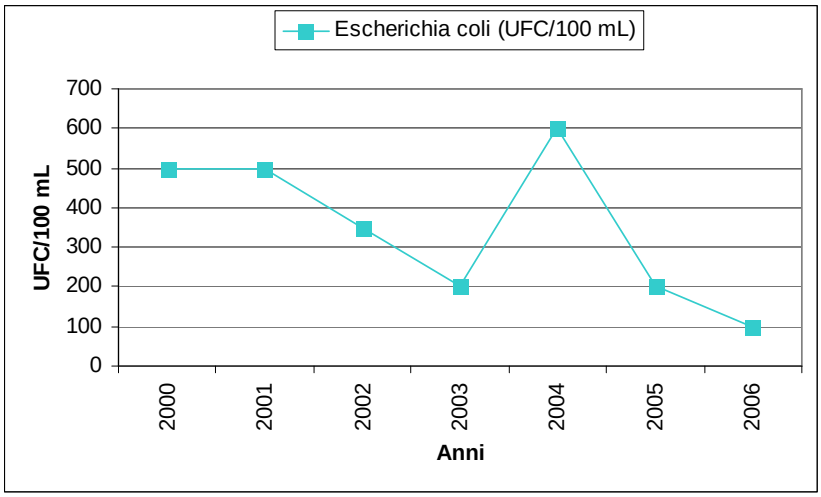


Figura 4.36: andamenti delle mediane annue delle serie storiche 2000-2006 del Escherichia coli per la stazione di misura“19000300” ,ubicata presso il ponte della S.P. 49 (Traversante Marecchia)



L’azoto nitrico (N-NO3) presenta un trend sinusoidale che rimane nell’ambito del livello 2 con valori compresi fra 0.45 e 1.15 mg/L.
Il fosforo totale presenta valori sempre inferiori ai limiti di rilevabilità della strumentazione, quindi associati al livello migliore 1.
L’E*scherichia coli* mostra un andamento in complessivo miglioramento con valori compresi fra 100 e 600 UFC/100 mL, a cui viene associato il livello 2.

4.3.7.2.1 La nuova stazione di misura

Per monitorare la qualità delle acque superficiali del F. Marecchia prima della sua immissione nei laghi Adria Scavi ed Incal System, la Provincia di Rimini e la Sezione Provinciale di ARPA di Rimini hanno individuato un nuovo punto di controllo delle acque superficiali, ubicato nel canale di derivazione (Figura 4.37, Figura 4.38) in destra Marecchia gestito dal Consorzio di Bonifica della Provincia di Rimini, immediatamente a monte della sua entrata nel lago, dove sono monitorati alcuni parametri chimici e microbiologici.
La stazione è denominata “CAN CON Canale Consorzio”, con codice “19000301”, è situata a monte della paratia in Via Savina (Figura 4.39, Figura 4.40) e, i parametri analizzati sono:

- Ossigeno Disciolto (% sat);
- COD (mg/l %);
- BOD5 (mg/l %);
- Azoto ammoniacale (mg/l N);
- Azoto nitrico (mg/l N);
- Fosforo totale (mg/l P);
- Escherichia coli (U.F.C. 100/ml),

con frequenza di controllo bimensile.

Figura 4.37 Canale di derivazione in destra Marecchia all'altezza del lago Santarini

Di seguito si allegano in forma tabellare (Tabella 4.5) i risultati delle analisi ad oggi disponibili.

Tabella 4.5 Risultati delle analisi chimiche e microbiologiche nella stazione 19000301

Data prelievo	Ossigeno Disciolto (% sat)	COD (mg/l %);	BOD5 (mg/l %);	Azoto ammoniacale (mg/l N)	Azoto nitrico (mg/l N)	Fosforo totale (mg/l P)	Escherichia coli (U.F.C. 100/ml)
23/01/2008	105	9	4	0.02	1.1	0.05	500

Figura 4.38 Canale di derivazione in destra Marecchia all’altezza del lago Adria Scavi

Figura 4.39 Canale di derivazione prima della paratia

Figura 4.40 Ubicazione della stazione di controllo “19000301”

4.3.8 Analisi dei rapporti falda-fiume

L'attuale progetto ha come fine la ricarica artificiale della falda freatica, attraverso i laghi di ex cava in esame, per cui risulta fondamentale effettuare alcune valutazioni sui rapporti esistenti fra il F. Marecchia, la falda freatica e i laghi di ex cava.
In particolare, si è posto il problema se esiste la possibilità o meno che l'acqua ricaricata nei laghi ritorni poi nel F. Marecchia lateralmente ai laghi stessi o venga intercettata poco più a valle nell'ansa del fiume che si trova circa 700 m a NO della località Ghetto Randuzzi.
A tal fine (vedi Figura 4.41) sono state confrontate nell'area di studio le isofreatiche degli alti stagionali degli anni 2006 e 2001, descritte precedentemente, e le quote di fondo alveo del F. Marecchia. Tali quote sono state tratte da due fonti: da alcune sezioni topografiche trasversali al F. Marecchia, realizzate nel 1994 nell'ambito del PAI dell'Autorità di Bacino del Conca-Marecchia, e da altre inserite nel recente "Progetto di riassetto territoriale delle aree periurbane della bassa Valmarecchia al fine di definire il recupero ambientale delle cave Incal System e Adria Scavi nel Fiume Marecchia".
Partendo dalla valutazione sulla possibilità o meno che l'acqua di ricarica artificiale immessa nei laghi ritorni lateralmente verso il fiume, in Tabella 4.6 si riporta lo specchietto relativo della situazione di alto stagionale, riassuntivo dei rapporti esistenti fra la falda freatica, il F. Marecchia e i laghi di ex cava.
Sono stati analizzati i livelli di falda dei due periodi di maggio 2001 e febbraio-aprile 2006, in quanto rappresentano la situazione di alto stagionale, ovvero quella più critica per quanto riguarda il problema in esame.
Dall'analisi si può vedere che, nell'area di studio, il periodo di maggio 2001 presenta livelli di falda mediamente superiori di 0.5 m rispetto a quelli di febbraio-aprile 2006.
Inoltre risulta che il F. Marecchia nell'area dei tre laghi alimenta la falda (isofreatiche convesse verso monte), anche se i livelli freatici sono di non molto inferiori rispetto alle quote del fondo alveo del fiume, quindi questo significa che nei periodi di alto stagionale la quantità di acqua che potrebbe essere immessa nei laghi come ricarica artificiale sarebbe molto contenuta e corrispondente a livelli idrometrici aggiuntivi rispetto a quelli dei periodi, con valori massimi pari a 0.5 m nei laghi Santarini e Incal System, e fino a 1 m nel lago Adria Scavi (punto 10 di Tabella 4.6).
Per quanto riguarda la seconda valutazione, la zona critica risulta ubicata in corrispondenza di un'ansa del F. Marecchia circa 1.5 km ad ONO della porzione centrale del lago Incal System.
Dalla carta di Figura 4.41, si può vedere che in tale area la direzione di flusso della falda freatica è perpendicolare alle isofreatiche e diretta dal lago Incal System verso ONO. Inoltre il fiume alimenta la falda, ma quest'ultima presenta livelli freatici di poco inferiori rispetto alle quote di fondo alveo del fiume, perciò nel periodo di alto stagionale, una ricarica artificiale della falda attraverso immissione di acqua nel lago Incal System rischia di non essere efficace, in quanto parte dell'acqua immessa potrebbe essere intercettata dal fiume in corrispondenza dell'ansa sopra menzionata.
Confrontando, però le carte delle isofreatiche stagionali del 2001 e del 2006 si vede che le escursioni stagionali non sono trascurabili, soprattutto nel 2001. Si può vedere, infatti (Tabella 4.6), che nei periodi dei bassi stagionali la falda freatica raggiunge quote anche inferiori alle quote medie del fondo dei laghi, o al massimo quote idrometriche all'interno dei laghi Adria Scavi e Incal System comunque solamente dell'ordine del metro.
Occorre precisare che il lago Santarini presenta un fondo impermeabilizzato, quindi è scollegato idrogeologicamente dalla falda (o collegato solo in alcuni periodi dell'anno), e attualmente è utilizzato come bacino di stoccaggio di acqua di possibile utilizzo per fini irrigui. Per questi motivi non presenta quindi i requisiti per un intervento di ricarica artificiale diretta, ma potrebbe essere usato come bacino di stoccaggio di acqua con funzione di decantazione dei solidi sospesi.

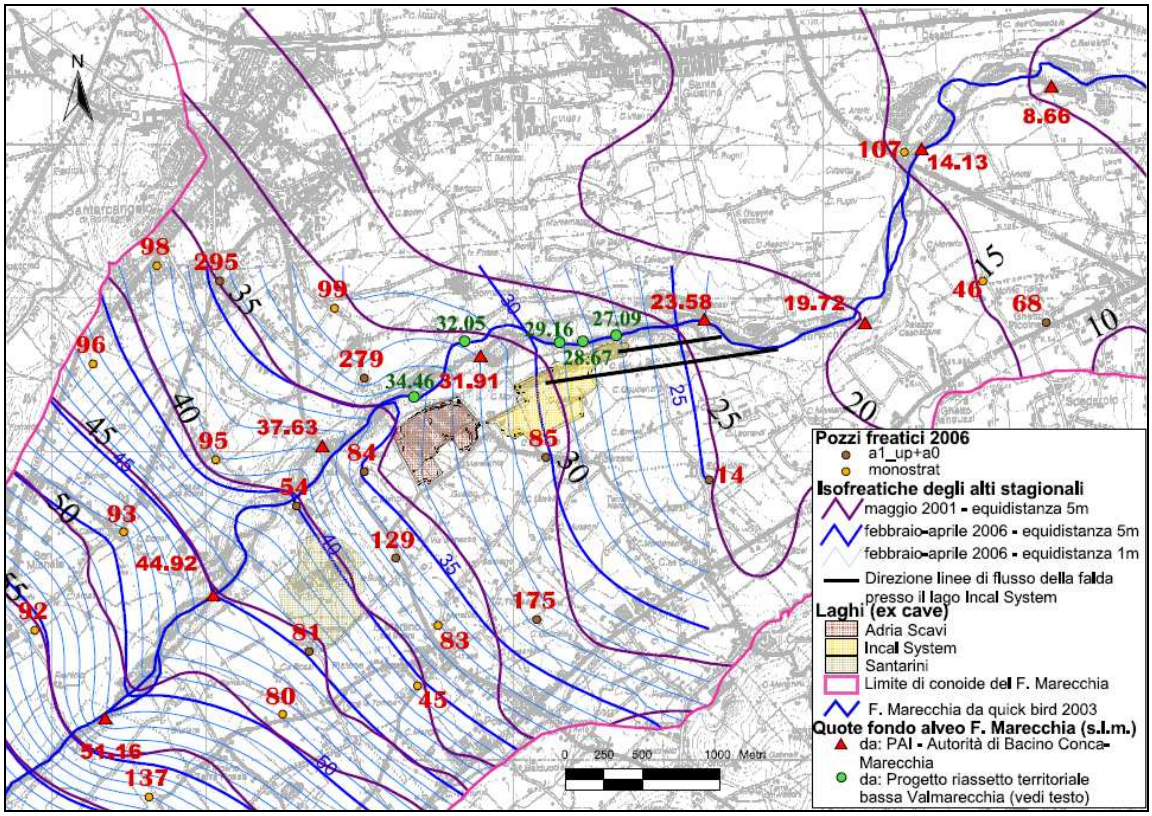
Tabella 4.6: specchietto riassuntivo dei rapporti esistenti fra la falda freatica, il F. Marecchia e i laghi di ex cava oggetto di possibili interventi di ricarica artificiale, nei periodi degli alti e bassi stagionali per gli anni 2001 e 2006. (*)Note: per il lago Incal System i valori indicati fra parentesi si riferiscono al laghetto di valle, mentre gli altri corrispondono alla porzione più ampia di monte.

	LAGHI		
CONFRONTO **QUOTE FALDA-FIUME-LAGHI**	**Santarini**	**Adria Scavi**	**Incal System (*)**
1) Quota del fondo alveo del F. Marecchia (m s.l.m.) in corrispondenza del lago	42	34.5	30 (28.5)
2) Quota media del fondo lago (m s.l.m.)	40	29.5	26 (22)
3) Quota media del p.c. (m s.l.m.)	48.5	41.4	36 (34.2)
4) Profondità media del lago rispetto al piano campagna (m) (calcolato 3)-2))	8.5	11.9	10 (12)
5) Quota idrometrica media come limite massimo teorico dentro il lago (m)	7	9	7.9 (12)
6) Quota della falda freatica (m s.l.m.) rispettivamente in maggio 2001 e in febbraio-aprile 2006	42-41.5	33.8-33.5	30-29.5 (28.5)
7) Soggiacenza della falda freatica (m) rispetto al p.c. rispettivamente in maggio 2001 e in febbraio-aprile 2006 (calcolato 3)-6))	6.5-7	7.6-7.9	6-6.5 (5.7)
8) Quota idrometrica (m) dentro il lago rispettivamente in maggio 2001 e in febbraio-aprile 2006 (calcolato 6)-2))	2-1.5	4.3-4	4-3.5 (6.5)
9) Quota idrometrica limite media dentro il lago (m), oltre la quale questo va ad alimentare il fiume (calcolato 1)-2))	2	5	4 (6.5)
10) Quota idrometrica (m) ancora disponibile nelle situazioni di alto stagionale di cui ai punti 6) e 8) prima di raggiungere il limite di cui al punto 9)	0-0.5	0.7-1	0-0.5 (0)
11) Quota media della falda freatica (m s.l.m.) rispettivamente in settembre-ottobre 2001 e in agosto 2006	32.5-37.5	28.5-31	25-27 (24-26)
12) Soggiacenza della falda freatica (m) rispetto al p.c. rispettivamente in settembre-ottobre 2001 e in agosto 2006 (calcolato 3)-11))	16-13.5	12.9-10.4	11-9 (10.2-8.2)
13) Quota idrometrica media (m) dentro il lago (+) o soggiacenza media della falda rispetto al fondo medio del lago (-), rispettivamente in settembre-ottobre 2001 e in agosto 2006 (calcolato 11)-2))	-7.5_-2.5	-1_+1.5	-1_+1 (+2_+4)
14) Quota idrometrica (m) ancora disponibile nelle situazioni di basso stagionale di cui ai punti 11) e 13) prima di raggiungere il limite di cui al punto 9)	2	5-3.5	4-3 (4.5-2.5)
15) Escursione stagionale della falda freatica rispettivamente negli anni 2001 e 2006 (calcolato 6)-11))	9.5-4	5.3-2.5	5-2.5 (4.5-2.5)

Quanto detto risulta utile ad indirizzare le modalità di gestione del possibile intervento di ricarica artificiale all'interno dei laghi.
Il periodo dell'anno di basso stagionale, ovvero quello estivo e di inizio autunno, risulta quindi il più appropriato, in quanto è possibile invasare maggiori volumi di acqua. Infatti, da uno sguardo alla Tabella 4.6, si può vedere che nei mesi dei bassi stagionali, nei laghi risultano sicuramente ancora invasabili quantitativi di acqua che corrispondono a livelli idrometrici medi aggiuntivi rispetto a quelli registrati nei periodi, pari a 2 m per il lago Santarini, 5-3.5 m per l'Adria Scavi, 4-3 m per l'Incal System. Tali livelli idrometrici andrebbero in equilibrio con la falda freatica nei periodi degli alti stagionali, ma considerando che nei mesi dei bassi stagionali,

i livelli di falda sono inferiori almeno di 2.5 m, nei laghi sembra ragionevole poter ipotizzare di invasare volumi d'acqua corrispondenti a livelli idrometrici superiori rispetto a quelli indicati pocanzi.

Figura 4.41: carta con le isofreatiche della falda di maggio 2001 e di febbraio-aprile 2006, corrispondenti ai periodi di alto stagionale.



Occorre infatti tenere presente che nei periodi dei bassi stagionali, se si immette acqua nei laghi fino a raggiungere livelli idrometrici più elevati rispetto a quelli delle quote di fondo alveo del fiume (ma anche semplicemente a quelli di falda), dal momento che l'intorno del lago si trova in una situazione iniziale di non saturazione, nello stesso intorno si viene a creare un gradiente idraulico piezometrico più elevato rispetto alla originaria situazione della falda, ovvero la tavola d'acqua del lago tende inizialmente a raccordarsi alla falda vicino al lago stesso, senza quindi che l'eccesso dell'acqua immessa rischi di ritornare nel fiume.

4.4 VERIFICA DI FATTIBILITÀ DELL' UTILIZZO DELL'AREA DI STUDIO PER LA RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE

4.4.1 Valutazione quantitativa delle possibilità di ricarica artificiale ad opera dei laghetti

4.4.1.1 Caratteristiche generali

La verifica di dettaglio è stata condotta sull'area Incal System; questa è stata ritenuta più rappresentativa a causa della maggiore vicinanza ai pozzi Hera, che in definitiva costituiscono il recapito potenziale dell'acqua immessa.
La verifica è stata realizzata con un modello numerico agli elementi finiti ([23], Voss C. I., Provost A. M., (2003). *SUTRA, Water-Resources Investigations Report 02-4231*, , Reston,

Virginia, U.S.Department of the Interior, U.S. Geological Survey, pp. 333, http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/sutra.html) con il quale è possibile simulare il flusso dell'acqua nel mezzo non saturo in condizioni disomogenee ed anisotropiche. Il software utilizzato per il lavoro è SutraWin, che interfaccia completamente Sutra3d in ambiente Windows.

Figura 4.42: area di lavoro in pianta (in rosso è rappresentata l'area Incal)

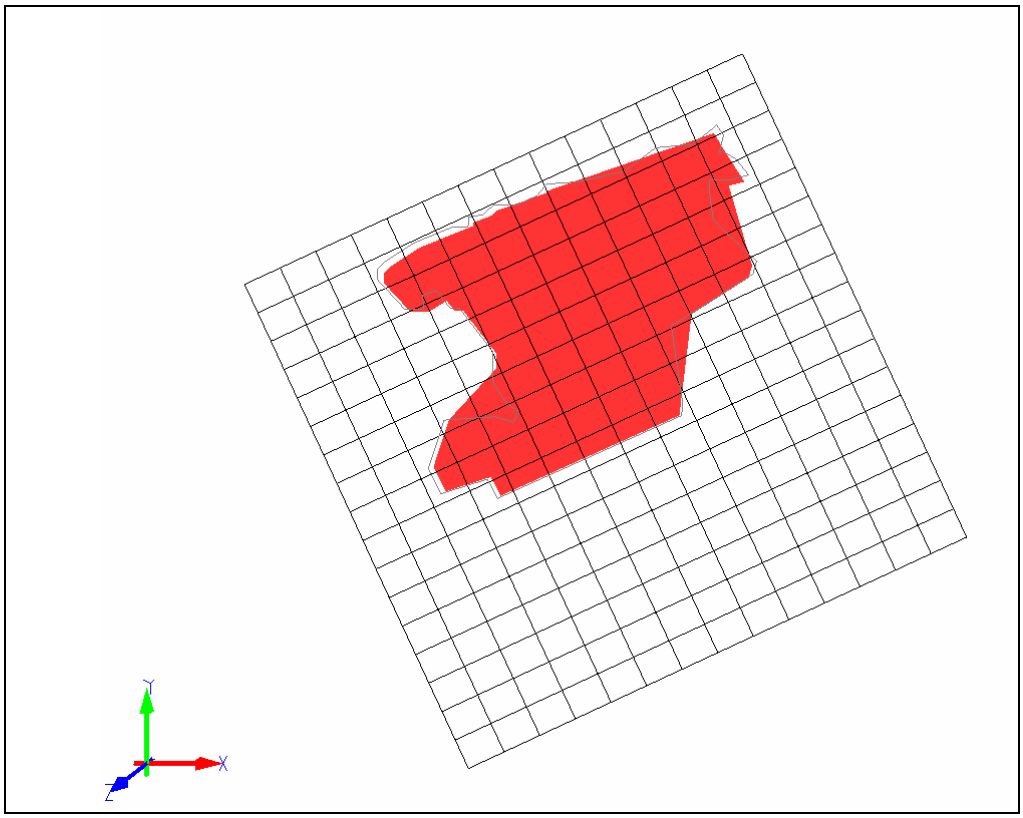


Figura 4.43: morfologia dell'area di lavoro (quote in metri sul livello del mare)

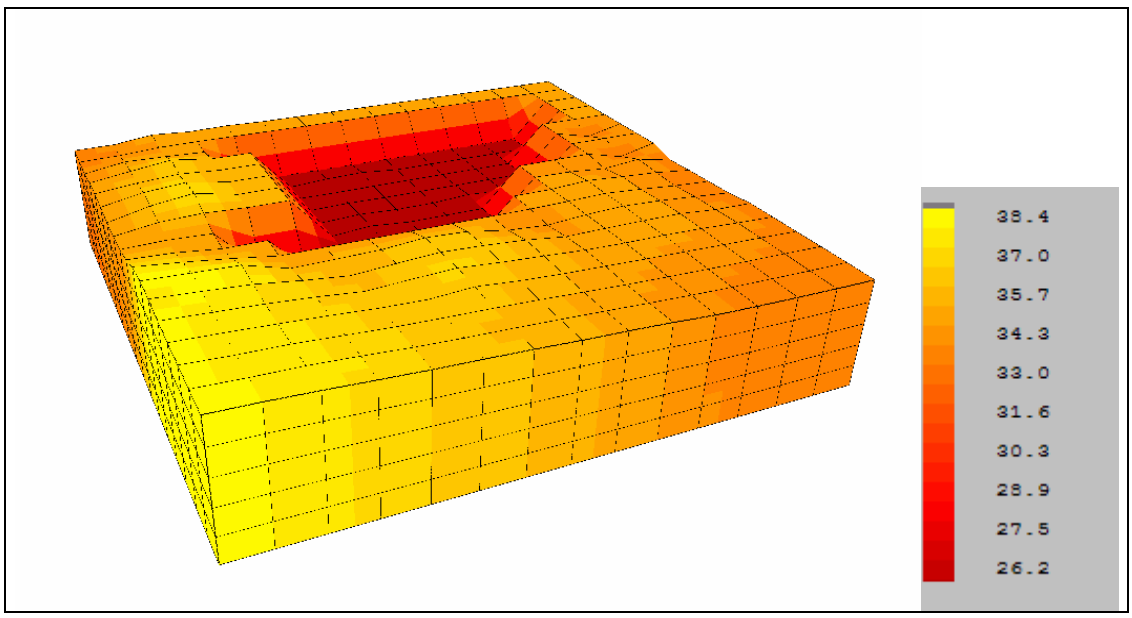
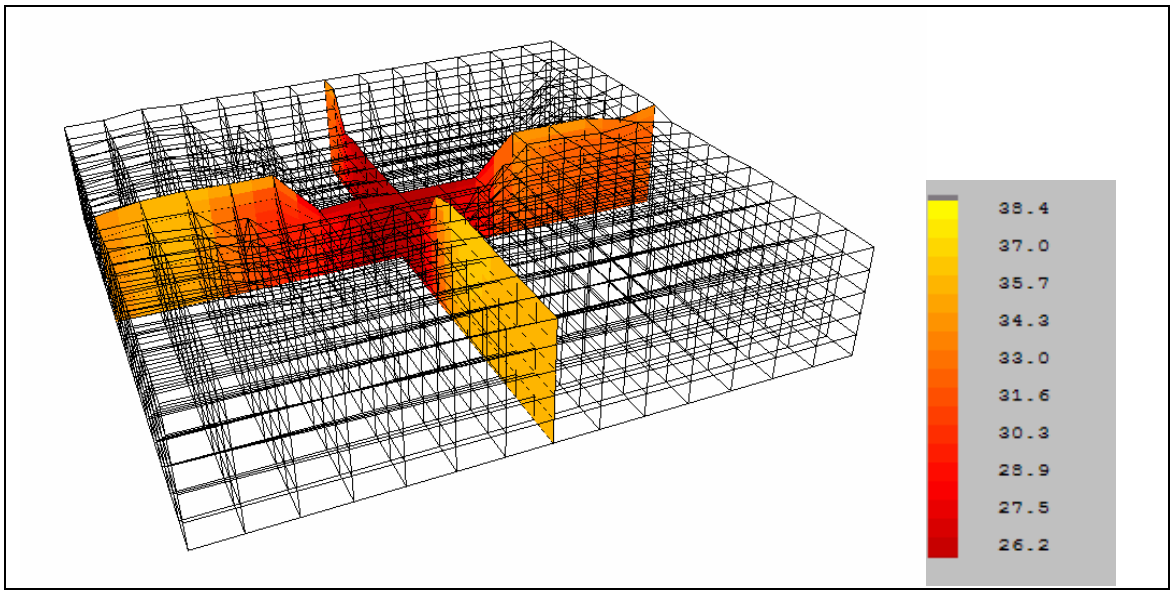


Figura 4.44: vista in sezione della griglia e della morfologia dell'area (quote in m s.l.m.)



Per realizzare la simulazione è stato identificato un tratto di acquifero adiacente al Marecchia, in destra idraulica, con limiti abbastanza ampi da contenere il perimetro dell'area di cava (Figura 4.42, Figura 4.43 e Figura 4.44). Questo dominio è stato discretizzato in elementi con lato 40 x 50 m e superficie pari a 2000 m^2. Lo spessore è stato invece discretizzato con 6 elementi, aventi altezza pari a 4 metri circa.

4.4.1.2 Organizzazione della simulazione

Lo scopo della simulazione è quello di stimare il flusso in ingresso/uscita dalle due interfacce sature corrispondenti al fondo del lago e al tetto della falda. In realtà, una valutazione effettivamente completa del problema dovrebbe prevedere anche la simulazione del flusso laterale, quello cioè che attraversa la parte del bacino di cava nell'ipotesi che vi sia un tirante d'acqua superiore a zero. Infatti, il flusso avviene:

a) attraverso il fondo dell'area, e in questo caso è regolato dal grado di saturazione, che è massimo (Sw=1), e in condizioni di gradiente unitario;
b) attraverso le pareti del bacino, e in questo caso il gradiente varia da condizioni minime di saturazione alla quota che corrisponde alla superficie dell'acqua libera, che nel caso specifico qui corrispondono a circa Sw=0.3, fino al massimo (Sw=1) alla quota del fondo del bacino.

Visti i risultati ottenuti con la simulazione delle condizioni di cui al punto a) che precede, è sembrato del tutto inutile affrontare anche il secondo aspetto: infatti, si è trovato che, a causa della permeabilità elevata e dell'ampiezza della superficie coinvolta, il bacino è in grado di cedere alla falda un flusso d'acqua molto superiore a quello effettivamente disponibile.
Di conseguenza, le condizioni generali adottate per effettuare l'applicazione sono:

a) condizioni di carico idraulico imposto in corrispondenza del fondo dell'area di cava;
b) condizioni di carico idraulico imposto in corrispondenza del layer più basso del modello e quindi al tetto saturo della falda;
c) condizioni di flusso nullo sulle facce verticali laterali del modello.

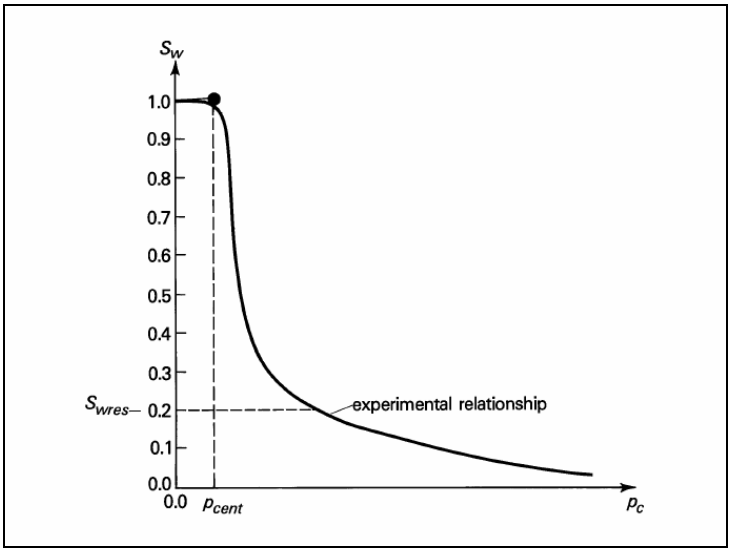
Le condizioni a) e b) sono in realtà un tramite per imporre indirettamente il grado di saturazione adatto allo scopo del modello: infatti, il fondo dell'area di cava viene ipotizzato in condizioni di saturazione massima costante nel tempo (S_w = 1), il che consente di porre a base del calcolo la presenza continua del flusso d'acqua.
La stessa situazione è applicata all'ultimo layer in basso per vincolare il modello alla presenza del tetto della falda per tutta la durata della simulazione.

In entrambi i casi, la condizione di carico imposto non è rigida, ma flessibile (condizione di Cauchy, detta anche del terzo tipo); la flessibilità, che si ottiene mediante l'uso del termine di conduttanza, corrisponde alla possibilità di variare il flusso sulla base della soluzione di carico idraulico di volta in volta ottenuto secondo l'espressione:

$$Q = c\ (Hb - Hc)$$

in cui Q è il flusso nella cella in cui la condizione è imposta, c è la conduttanza, Hb è il carico di bordo imposto e Hc è il carico calcolato.
Questa maggiore flessibilità, particolarmente utile in un caso del genere, va pagata con la necessità di dover stimare un termine in più che è appunto la conduttanza.
Un altro aspetto significativo è la dinamica con cui carico idraulico (ovvero pressione) e saturazione vengono legati assieme; nel caso specifico è stata adottata la curva standard di Van Genuchten (Figura 4.45), che è probabilmente la più diffusa in idrogeologia. Non sono state effettuate verifiche specifiche sulla maggiore o minore adeguatezza di questa curva al contesto del Marecchia, sia ovviamente per la mancanza di riferimenti sperimentali, sia e soprattutto perché la definizione della relazione pressione-saturazione incide in modo significativo sulle modalità (soprattutto sull'evoluzione nel tempo) con cui il sistema raggiunge l'equilibrio, ma non sull'entità dell'equilibrio in sé, con ciò intendendo l'entità dei flussi in ingresso/uscita. Si tratta quindi di una approssimazione del tutto accettabile in questo contesto.

Figura 4.45: Relazione di Van Genuchten tra pressione e saturazione (da Voss & Provost, 2003)

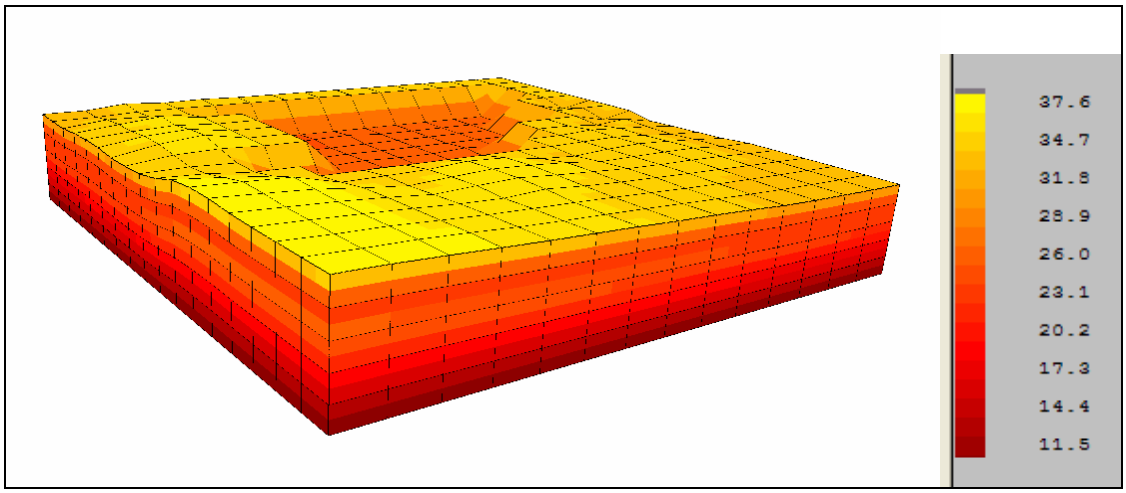


Quanto sopra descritto non esaurisce ancora completamente lo schema di funzionamento del modello. Per ottenere in pratica le condizioni di principio sopra descritte, il settaggio del modello è stato realizzato con modalità diverse per quello che riguarda il carico imposto (e quindi la saturazione imposta) e per quello che riguarda la condizione iniziale. Si ricorda a questo proposito che la condizione iniziale è una vera e propria condizione al bordo, salvo che viene definita nel tempo e nello spazio piuttosto che nel solo spazio.
In entrambi i casi (carico imposto e condizione iniziale, Figura 4.46) il valore effettivo del carico è stato definito in due modi, considerando le parti del dominio che devono essere inizializzate rispettivamente a saturazione massima e minima. Nel primo caso è stato assegnato un valore significativamente maggiore della geodetica del nodo della cella corrispondente, nell'altro caso, invece, è stato applicato un valore significativamente inferiore. In questo modo (e la correttezza dell'impostazione è stata verificata con alcune simulazioni di prova) nel primo caso si ottengono soluzioni con Sw=1, nel secondo soluzioni con Sw = 0,3 – 0,4, che è il limite inferiore della curva di Van Genuchten nel caso specifico.
Nelle celle in cui non vi è il carico idraulico specificato, la condizione iniziale corrisponde ad una saturazione Sw=0,3 circa.

Altre questioni fondamentali riguardano le variabili di controllo del flusso, che sono state assegnate coerentemente con i risultati ottenuti con la calibrazione del modello generale della conoide del Marecchia:

- permeabilità verticale: 10^{-3} m/s
- porosità: 0,3
- coefficiente di immagazzinamento: 10^{-5}

Figura 4.46: carico idraulico iniziale e al bordo (m s.l.m.)



4.4.1.3 Condizioni di calcolo e scenari

Altri aspetti fondamentali per configurare il problema riguardano le modalità di calcolo e gli scenari fisici di interesse da applicare per la ricerca degli equilibri desiderati.
Le modalità di calcolo più opportune sono del tipo in regime transitorio e non iterativo, ed entrambe fanno riferimento ad una delle caratteristiche fondamentali del flusso nel mezzo non saturo, che è la relazione di non linearità tra saturazione e pressione.
Per questo motivo, infatti, è in genere più opportuno ottenere l'assestamento numerico attraverso un numero elevato di passi piccoli nel tempo, eseguendo ciascuno di questi passi con una sola iterazione nella fase che si riferisce appunto alla parte non lineare della soluzione (l'inversione della matrice dei coefficienti avviene secondo modalità iterative del tipo consueto).
Nello specifico, sono state eseguite molte centinaia di passi di durata pari ad 1 ora (1000 cicli, per l'esattezza, pari a circa 200 giorni), al termine dei quali l'equilibrio appare raggiunto in termini ragionevoli.
Per quello che riguarda gli scenari, invece, si è convenuto di adottare due ipotesi:

a) falda in condizioni di magra, con la quota d'acqua attestata attorno a 10 m s.l.m. Lo spessore insaturo dell'acquifero è di circa una decina di metri. Le condizioni di carico imposto sono mostrate in Figura 4.46.
b) falda in condizioni di morbida, con quota a 22 m s.l.m. circa. Lo spessore dell'insaturo è di circa 4 m s.l.m..

4.4.1.4 Discussione dei risultati

Come anticipato, il risultato delle simulazioni consiste in una stima del flusso in ingresso/uscita attraverso le due interfacce sature, l'una posta sul fondo del bacino, l'altra in corrispondenza del tetto della falda.
Con riferimento al primo scenario (spessore di insaturo pari a 10 m) e all'equilibrio dei 200 giorni, le immagini che seguono riportano schematicamente:

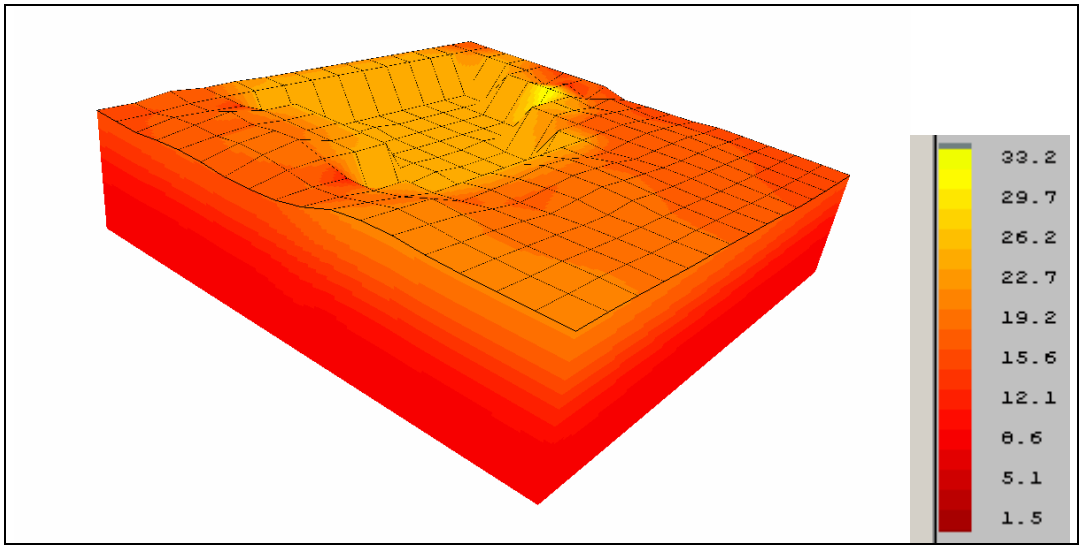
1) l'assetto del carico idraulico nella condizione di quasi-equilibrio raggiunta, da cui si vede che vengono rispettate le condizioni previste nelle due porzioni a carico imposto, mentre nelle altre il modello calcola il valore corrispondente a tale quasi-equilibrio (Figura 4.47);

2) l'assetto della saturazione, alle medesime condizioni (Figura 4.48);
3) la dimensione del flusso corrispondente (in unità di kg_m/secondo) alle due interfacce (Figura 4.49 e Figura 4.50);
4) la direzione e l'intensità del flusso in forma vettoriale (Figura 4.51).

Le altre due immagini che seguono documentano invece l'evoluzione di alcune variabili di controllo del modello in posizioni diverse del dominio di calcolo:

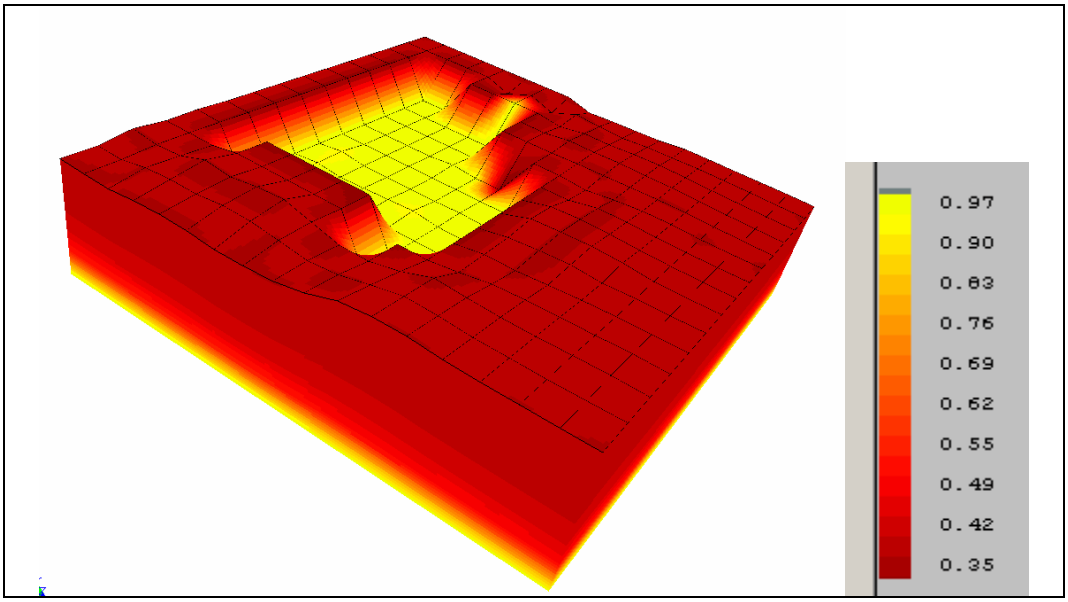
a) carico idraulico in corrispondenza di una cella nella parte superiore del dominio e a lato del bacino di cava, quindi in corrispondenza della superficie del suolo. Si nota che l'equilibrio tende ad una quota inferiore rispetto a quella ipotizzata nel corso della definizione del modello (Figura 4.52);
b) come in a) per la saturazione (Figura 4.53);

Figura 4.47: carico idraulico (m s.l.m.)



Per quello che riguarda la questione fondamentale, la stima degli ingressi e delle uscite è rispettivamente di 58.000 kg_m/s in ingresso e di 67.000 kg_m/s in uscita, quindi con un contributo al flusso in uscita pari a 9.000 kg_m/s a carico dell'acqua immagazzinata nell'ammasso al momento dell'inizio del calcolo. In condizioni di un effettivo teorico equilibrio, si può dunque considerare che vi siano in ingresso/uscita circa 60 m^3/s.

Figura 4.48: grado di saturazione



La difficoltà a fornire un bilancio “chiuso”, cioè a pareggio tra ingessi e uscite dipende da diversi fattori, che contribuiscono in modo diverso a generare le incertezze del modello:

a) la condizione iniziale è del tutto teorica, vista l’impossibilità di fare riferimento a condizioni sperimentali di qualsiasi genere;
b) come conseguenza del punto precedente, il modello tende a cedere acqua (evidentemente il grado di saturazione assegnato nel blocco di roccia considerato non saturo è eccessivo), come del resto è bel evidente dalla tendenza che appare nelle immagini di Figura 4.47 (carico idraulico) e Figura 4.48 (saturazione);
c) il comportamento della falda vera a propria, alla base del dominio, è anch’esso del tutto teorico per quello che riguarda gli scambi laterali, che non sono stati simulati ad hoc. La simulazione in regime transitorio mostra la presenza di un certo deflusso, a significare che, nelle condizioni adottate, la falda non riceve abbastanza afflusso laterale e quindi è soggetta a deprimersi più di quanto non sia in realtà.

Figura 4.49: flusso in ingresso nella parte superiore (valori in kg_m/s)

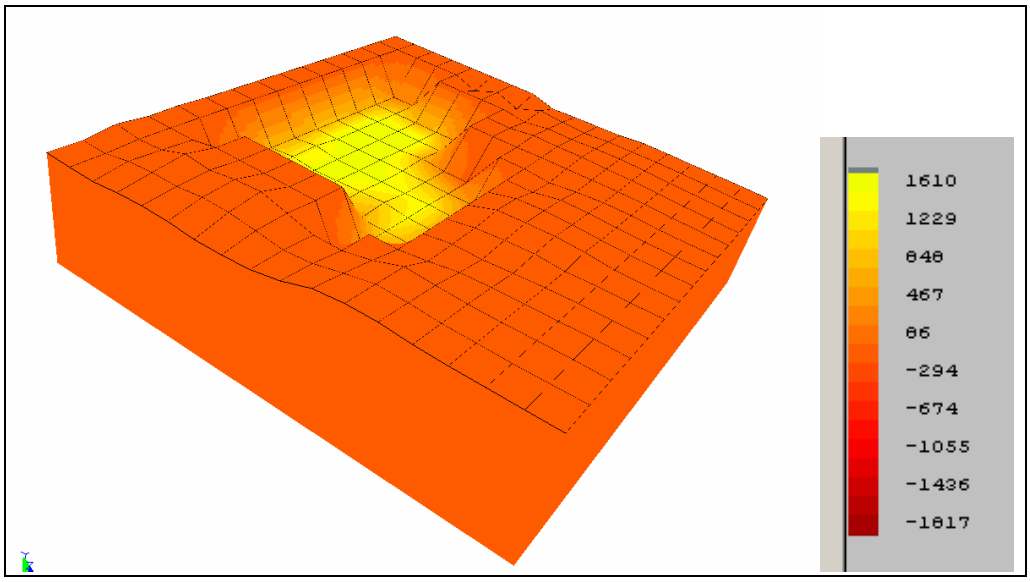


Figura 4.50: flusso in uscita nella parte inferiore (valori in kg_m/s)

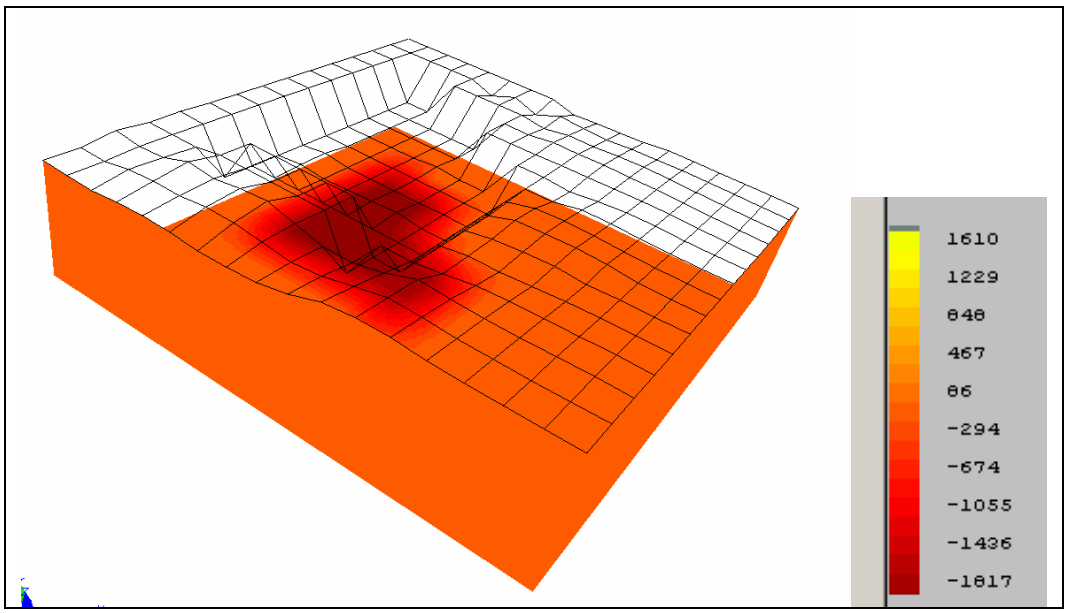


Figura 4.51: vettori velocità di flusso nella parte alta del bacino

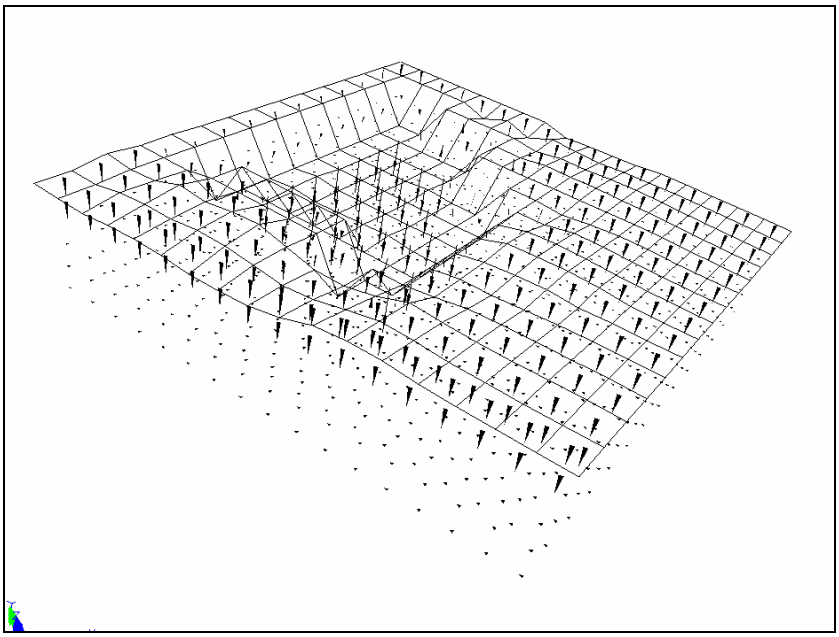


Figura 4.52: evoluzione del carico idraulico a lato del bacino, in alto

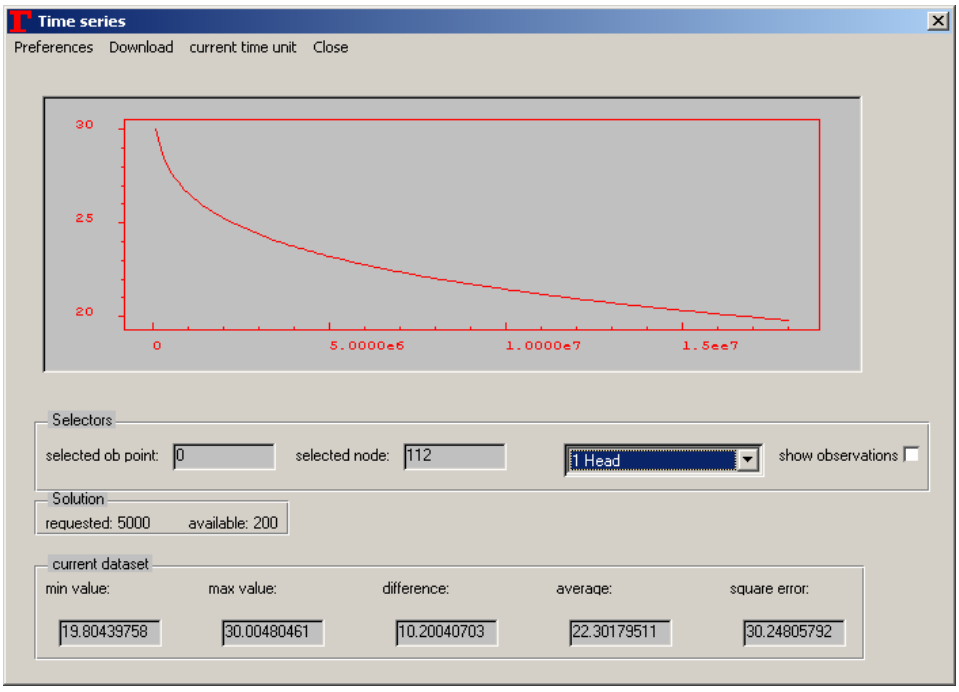
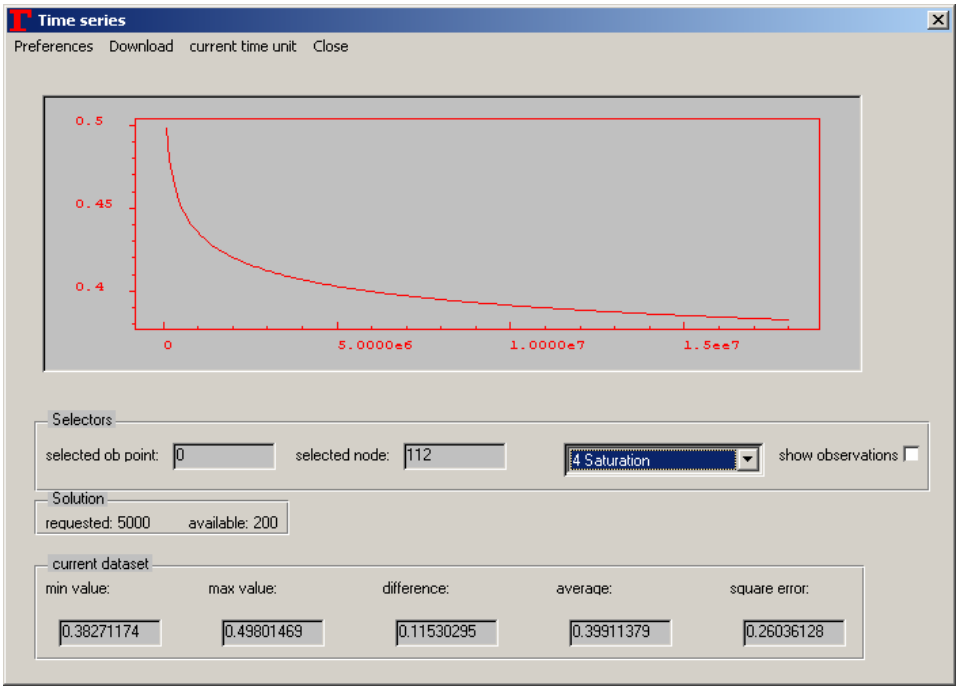


Figura 4.53: evoluzione della saturazione a lato del bacino, in alto



4.4.2 Valutazione degli effetti della ricarica artificiale sulla dinamica di flusso della conoide

I volumi di infiltrazione calcolati in base a quanto descritto nel precedente paragrafo sono stati inseriti all'interno del modello numerico di simulazione del flusso delle acque sotterranee della conoide del fiume Marecchia al fine di valutare gli effetti sulla dinamica idrica sotterranea dell'intera conoide. In particolare, date le superfici disponibili e quanto emerso al paragrafo precedente, si è considerata l'ipotesi di infiltrazione di 1 m^3/s pari all'intera disponibilità derivabile dal Fiume Marecchia per il periodo compreso tra il mese di ottobre ed il mese di maggio.
Nel dettaglio sono stati realizzati i seguenti scenari:

- **Caso 0**: è il caso base in assenza di laghetto di ricarica artificiale;
- **Caso 1**: la portata di infiltrazione è stata distribuita sulle celle appartenenti ai laghetti Adria Scavi (AS) ed Incal System (IS) per il periodo da ottobre a maggio per due anni consecutivi (2007 e 2008);

I risultati in uscita dal modello per il caso in presenza della ricarica artificiale sui due laghetti sono stati quindi raffrontati con la situazione base in assenza di intervento di ricarica artificiale.
L'analisi è stata condotta sia attraverso l'analisi dei carichi idraulici individuando le zone e quantificando i recuperi in queste dei livelli di falda per tutta la conoide, sia attraverso l'analisi del bilancio idrogeologico individuando quindi su quali termini ed in che misura il surplus di ricarica va maggiormente ad incidere.

4.4.2.1 Analisi dei carichi idraulici

Il modello numerico permette di restituire l'andamento del carico idraulico nel tempo in qualsiasi posizione del dominio di calcolo. Risulta quindi possibile confrontare i carichi idraulici tra le due simulazioni effettuate con e senza l'intervento di ricarica artificiale.
La Figura 4.54 riporta l'andamento del carico idraulico nella situazione in assenza di ricarica artificiale (in rosso) a confronto con l'andamento nella stessa posizione dello spazio ottenuto dall'inserimento nel modello dell'intervento di ricarica artificiale (in blu). Fino al momento in cui non si attiva l'intervento di ricarica artificiale le due curve coincidono poi si separano e la

successiva Figura 4.55 rappresenta la differenza tra le due situazioni e quindi il "recupero piezometrico" espresso in metri di carico idraulico per quella posizione.

Figura 4.54: confronto tra il carico idraulico in una posizione nello spazio

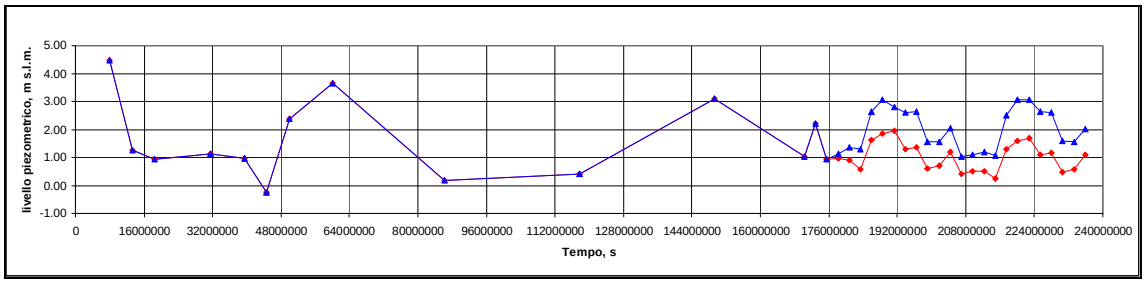
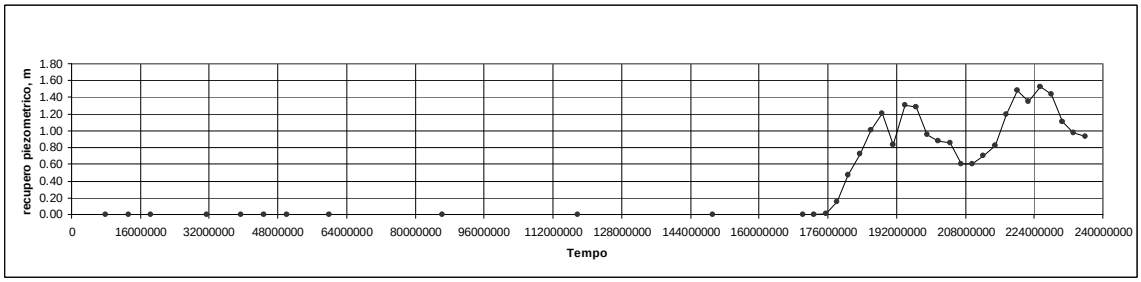


Figura 4.55: variazione del carico idraulico (recupero piezometrico) in una posizione nello spazio



Risulta evidente che tale elaborazione può essere indirizzata in particolari posizioni della conoide ritenute maggiormente significative o dove si ritiene maggiormente opportuno valutare l'incidenza dell'intervento proposto. Si è ritenuto quindi di effettuare tale valutazione direttamente sui pozzi ad uso acquedottistico presenti all'interno della conoide del Marecchia e così nelle figure da Figura 4.57 a Figura 4.70 viene proposta l'analisi della precedente Figura 4.55 per i pozzi ed i campi pozzi di Hera Rimini la cui ubicazione è rappresentata in Figura 4.56 e le cui caratteristiche costruttive sono riassunte in Tabella 4.7.

Tabella 4.7: elenco dei pozzi Hera Rimini sui quali sono stati valutati i recuperi piezometrici

Pozzo	**Comune**	**Località**	**PC m s.l.m.**	**Prof. m**	**Filtri da m**	**Filtri a m**
Pozzo 1	Rimini	Parco XXV Aprile	6	29	25	28
Pozzo 3	Rimini	Parco XXV Aprile	2	28	22	25
Pozzo 4	Rimini	Parco XXV Aprile	3	27	22	25
Pozzo 50	Rimini	Parco XXV Aprile	2	78	73	76
Pozzo 64	Rimini	Parco XXV Aprile	4	78	69	75
Pozzo 65	Rimini	Parco XXV Aprile	6	71	60	69
Pozzo 25	Rimini	via Aldo Celli (Viserba)	7	74	69	72
Pozzo 27	Rimini	via Apollonia	2	24	21	24
Pozzo 47	Rimini	via Bagli	7	60	49	56
Pozzo 21	Rimini	via Circonv. Occidentale	5	30	27	30
Pozzo 36	Rimini	via Danimarca (Baseball)	8	69	61	64
Pozzo 37	Rimini	via Danimarca (Baseball)	8	110	61	105
Pozzo 6	Rimini	via Danimarca (Baseball)	8	32	26	29
Pozzo 51	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	18	119	107	113
Pozzo 52	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	18	105	89	101
Pozzo 53	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	17	48	43	47
Pozzo 54	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	18	54	45	51
Pozzo 55	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	17	35	29	32
Pozzo 56	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	17	69	50	68

Pozzo	Comune	Località	PC m s.l.m.	Prof. m	Filtri da m	Filtri a m
Pozzo 57	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	18	53	43	45
Pozzo 58	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	18	33	24	29
Pozzo 59	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	18	44	39	42
Pozzo 60	Rimini	via dei Mulini (Polveriera)	18	34	24	30
Pozzo 44	Rimini	via delle Cascine	17	102	94	100
Pozzo 10	Rimini	via Emilia (Celle)	13	43	35	39
Pozzo 13	Rimini	via Emilia (Celle)	11	46	35	45
Pozzo 40	Rimini	via Emilia (Celle)	12	110	103	108
Pozzo 68	Rimini	via Emilia (Celle)	13	50	35	44
Pozzo 69	Rimini	via Emilia (Celle)	13	53	37	43
Pozzo 9	Rimini	via Emilia (Celle)	12	46	36	43
Pozzo 22	Rimini	via Emilia (S.Martino in R.)	18	62	55	60
Pozzo 32	Rimini	via Linaro	32	51	40	43
Pozzo 63	Rimini	via Longiano	18	85	76	82
Pozzo 62	Rimini	via Maiano	16	90	81	87
Pozzo 23	Rimini	via Manfroni	14	152	137	150
Pozzo 28	Rimini	via Manfroni	14	97	82	91
Pozzo 48	Rimini	via Manfroni	14	42	26	39
Pozzo 8	Rimini	via Nuova Circonval.	13	41	34	38
Pozzo 30	Rimini	via Orsoleto	17	37	24	27
Pozzo 42	Rimini	via Orsoleto	17	69	63	66
Pozzo 45	Rimini	via Orsoleto	19	101	91	97
Pozzo 14	Rimini	via Portogallo	12	37	29	34
Pozzo 15	Rimini	via Portogallo (EX AMIA)	11	36	31	34
Pozzo 19	Rimini	via Rossa (Fiat Sartini)	6	75	64	72
Pozzo 20	Rimini	via Rossa (Fiat Sartini)	6	28	22	25
Pozzo 16	Rimini	via Sassonia	11	73	57	62
Pozzo 39	Rimini	via Sassonia	11	49	33	37
Pozzo 7	Rimini	via Sassonia	11	40	32	36
Pozzo 18	Rimini	via Spagna	9	42	34	40
Pozzo 5	Rimini	via Tonale	7	31	25	28
Pozzo 35	Rimini	via Valdazze (Sarzana)	34	38	25	31
Pozzo 26	Rimini	via Vecchia Emilia	28	78	66	72
Pozzo 38	Rimini	via XXV Marzo (Rivabella)	2	50	43	45
Pozzo 49	Rimini	via XXV Marzo (Rivabella)	2	90	82	85
Bornaccino	Santarcangelo	Bornaccino	36	58		
Ceccarino	Santarcangelo	Ceccarino	39	74		

Figura 4.56: ubicazione dei pozzi sui quali sui quali sono stati valutati i recuperi piezometrici dovuti all'intervento di ricarica artificiale

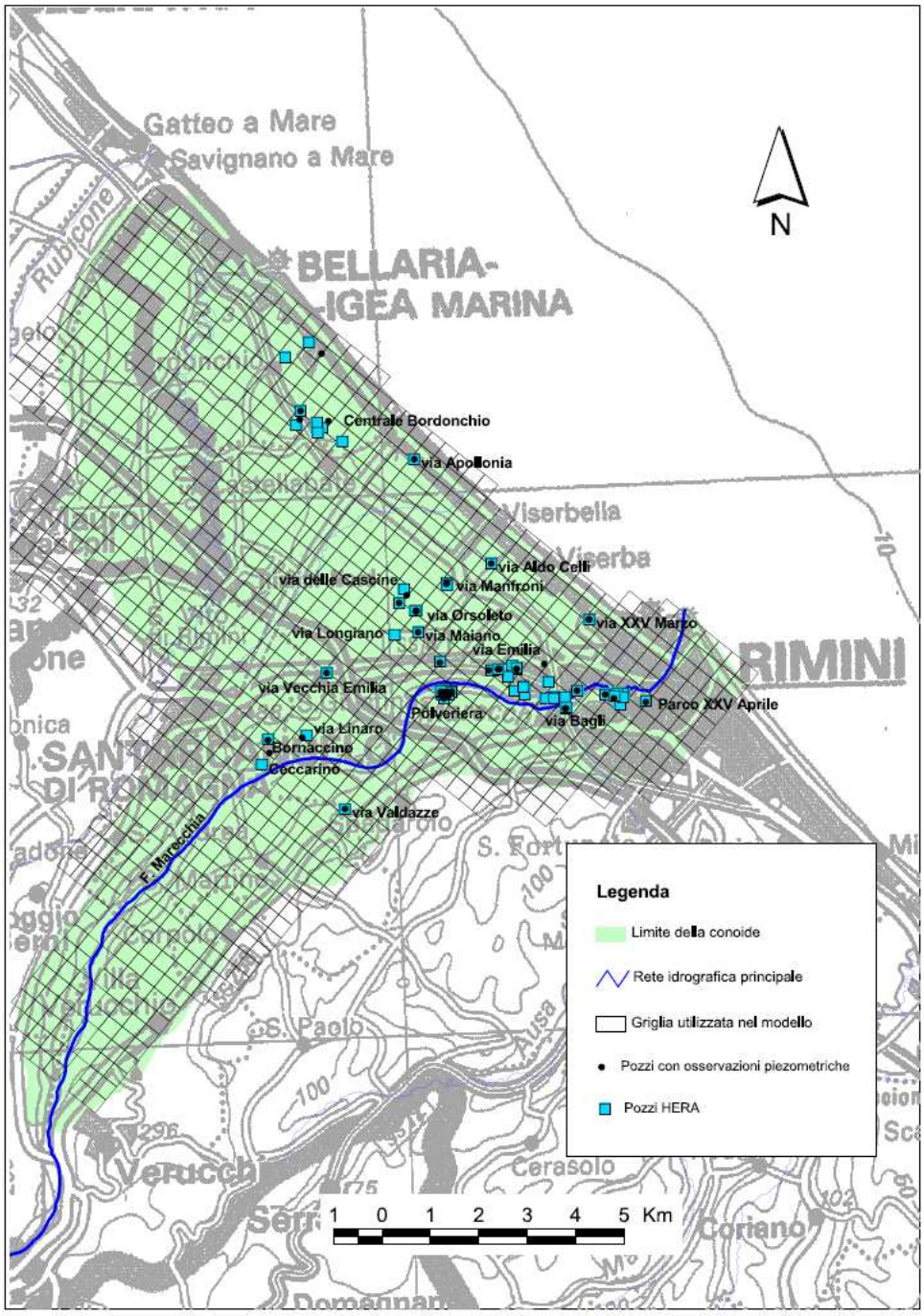


Figura 4.57: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di Parco XXV aprile

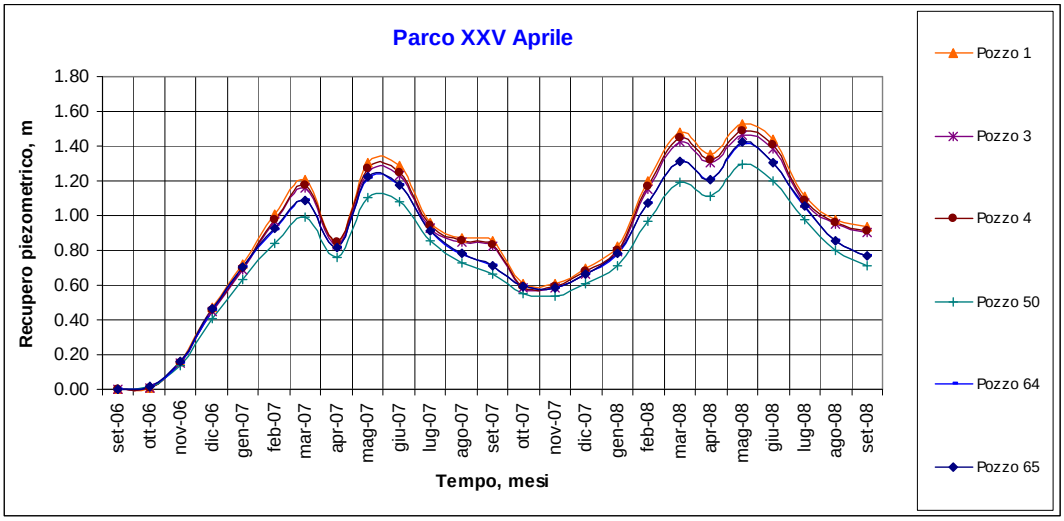


Figura 4.58: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Danimarca

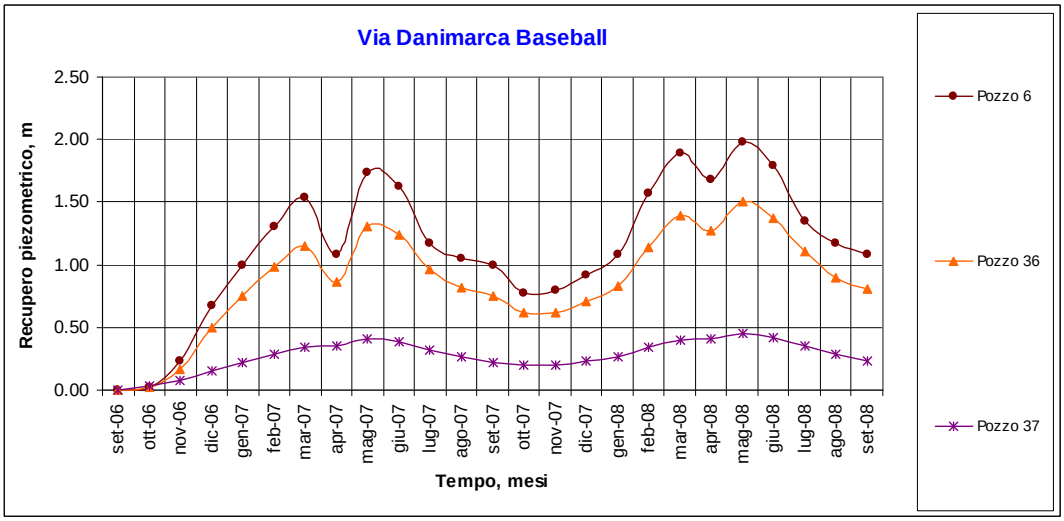


Figura 4.59: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via dei Mulini (Polveriera)

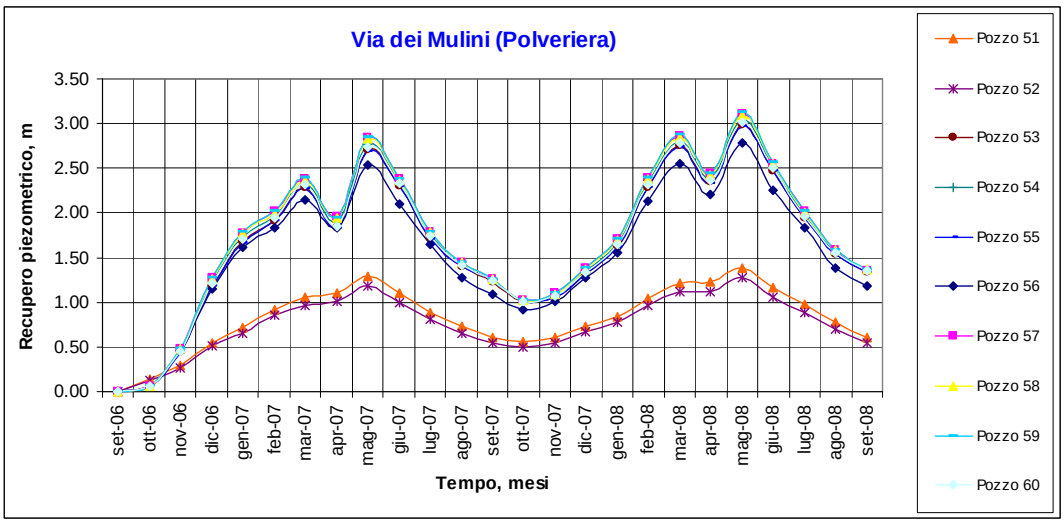


Figura 4.60: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Emilia (Celle)

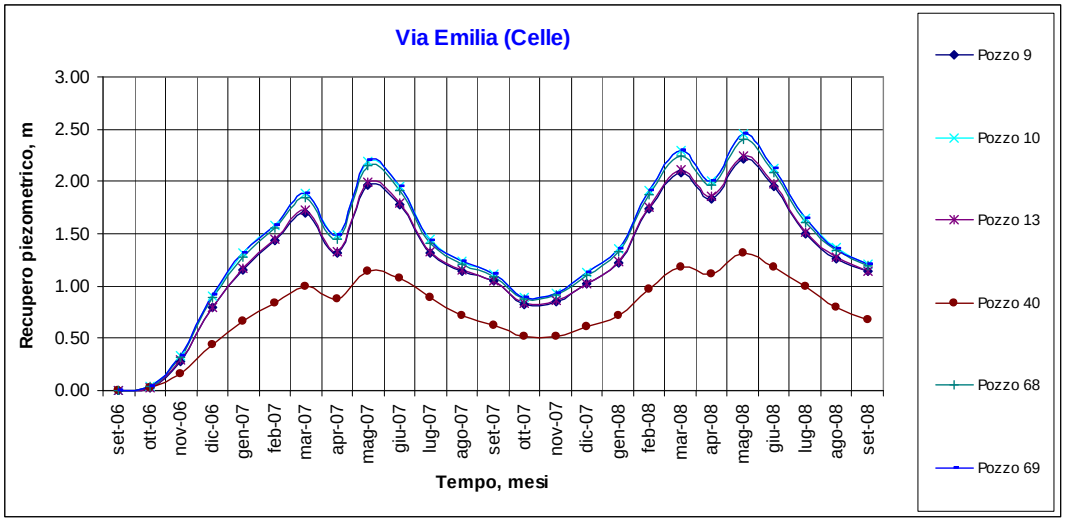


Figura 4.61: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Manfroni

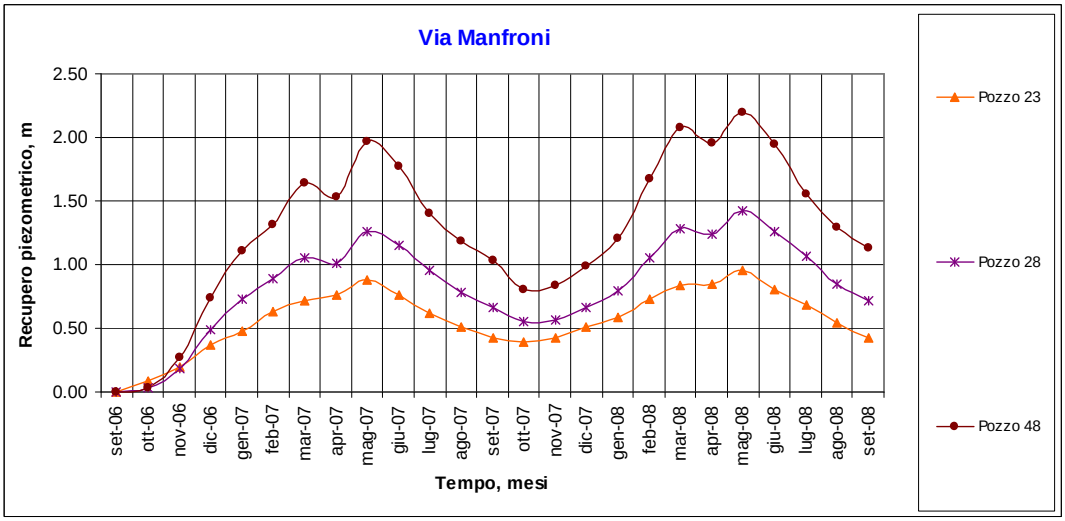


Figura 4.62: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Orsoleto

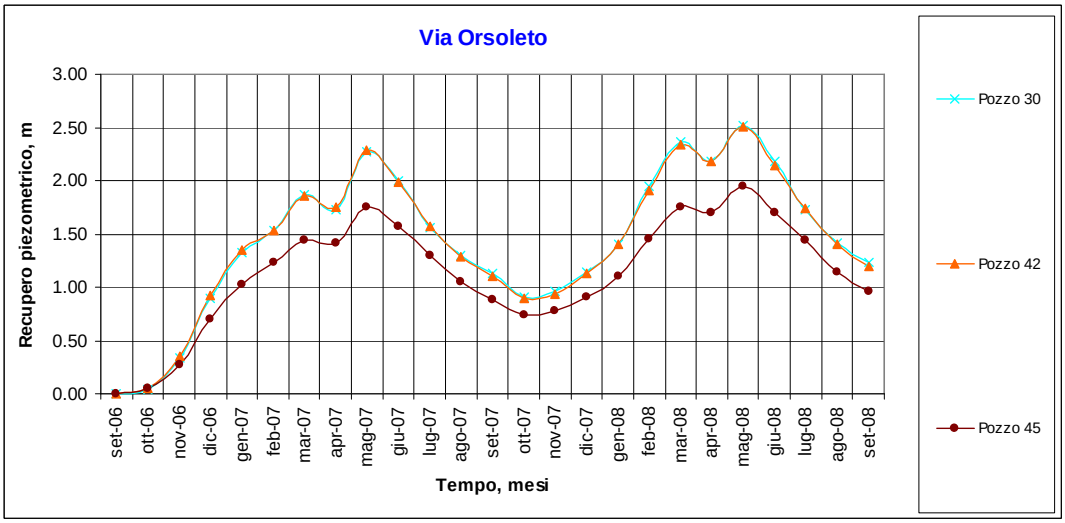


Figura 4.63: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Portogallo

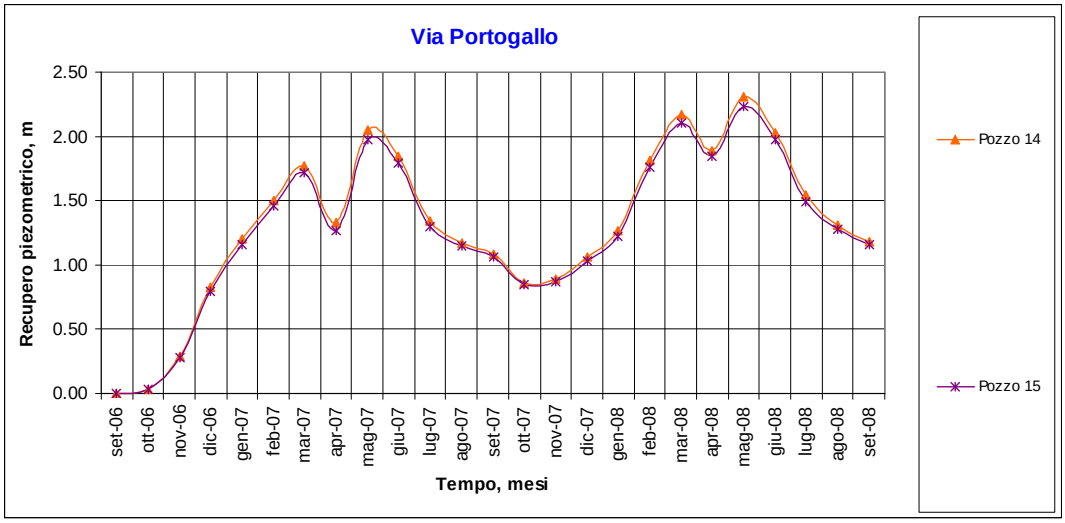


Figura 4.64: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Rossa (Fiat Sartini)

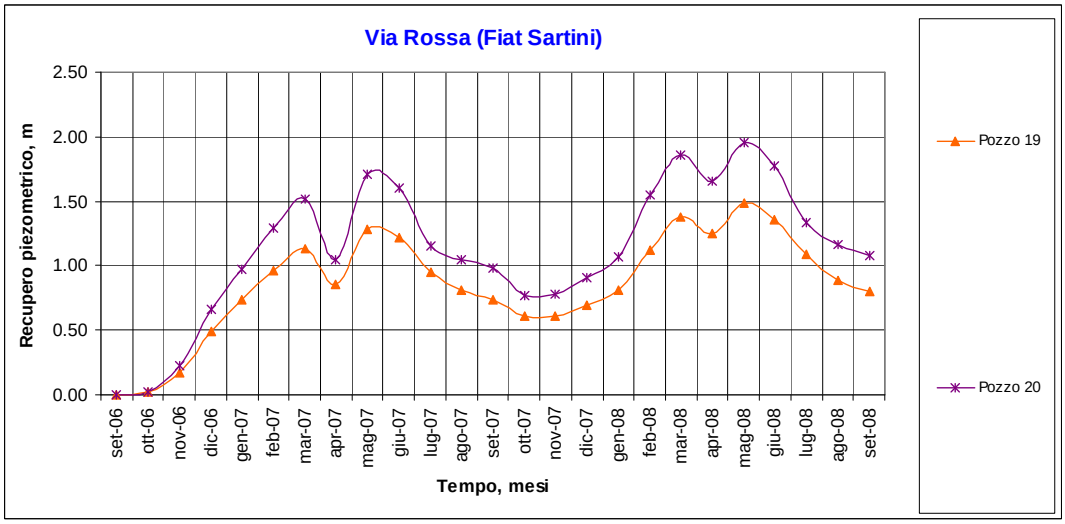


Figura 4.65: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Sassonia

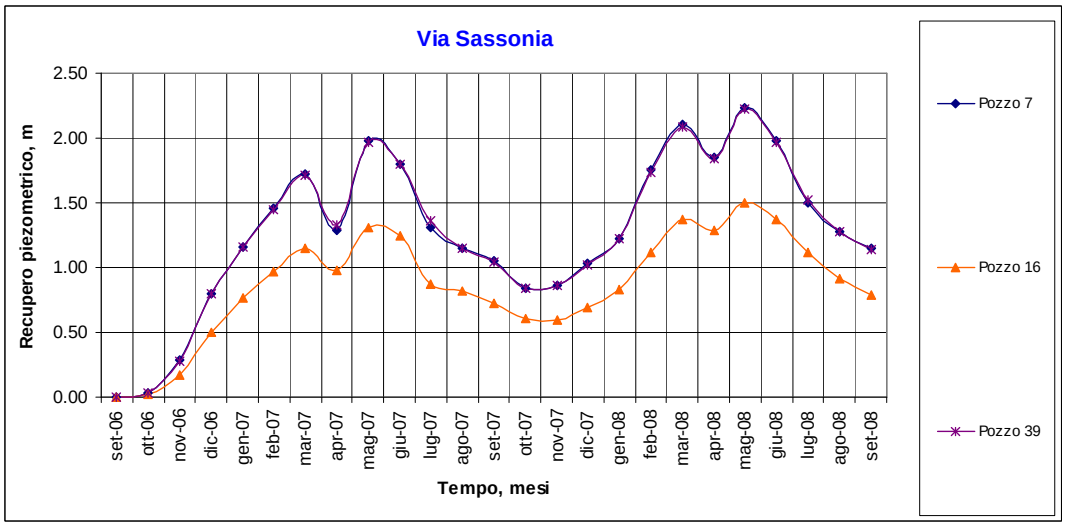


Figura 4.66: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via XXV marzo (Rivabella)

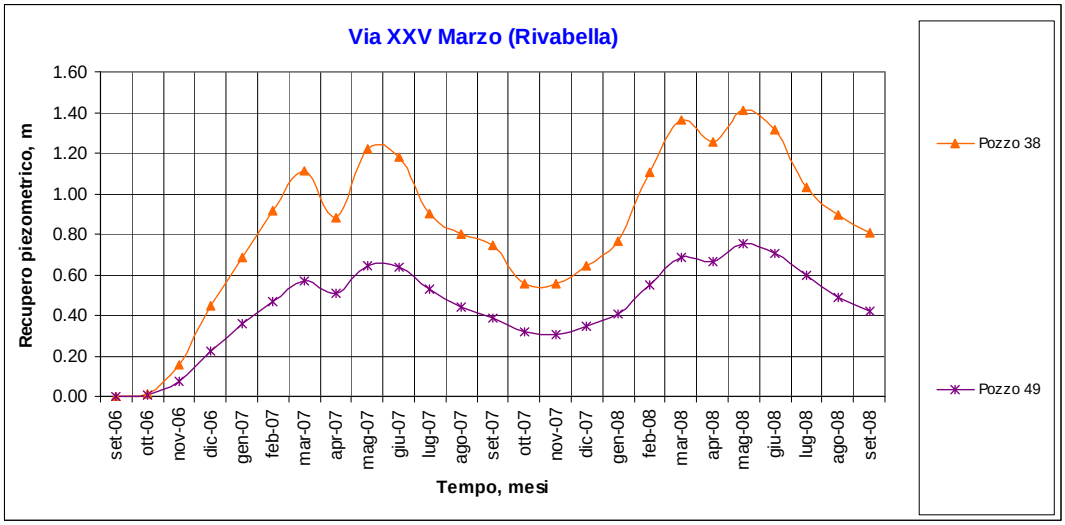


Figura 4.67: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di via Celli e via Apollonia

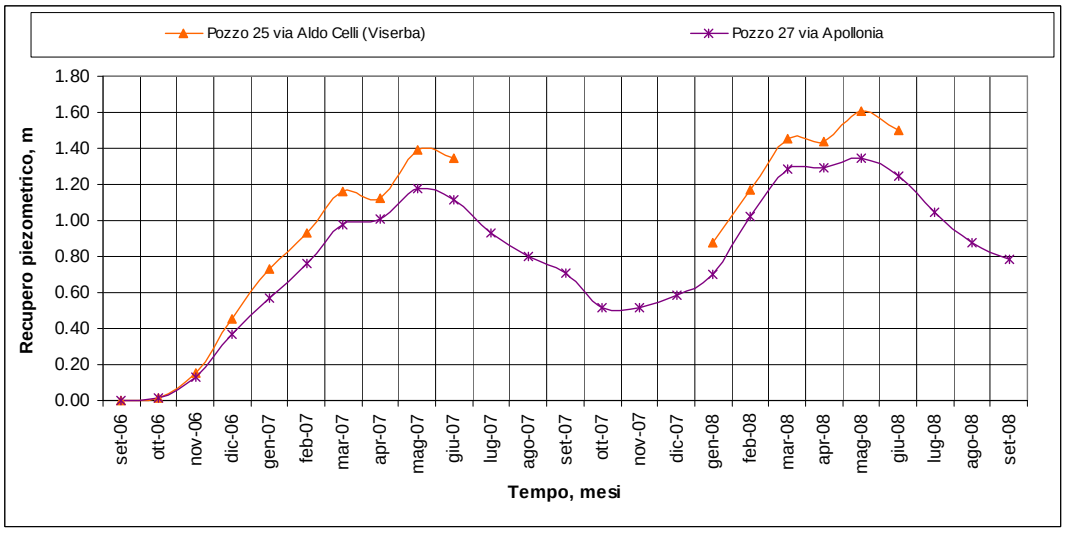


Figura 4.68: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera di Santarcangelo e Rimini monte

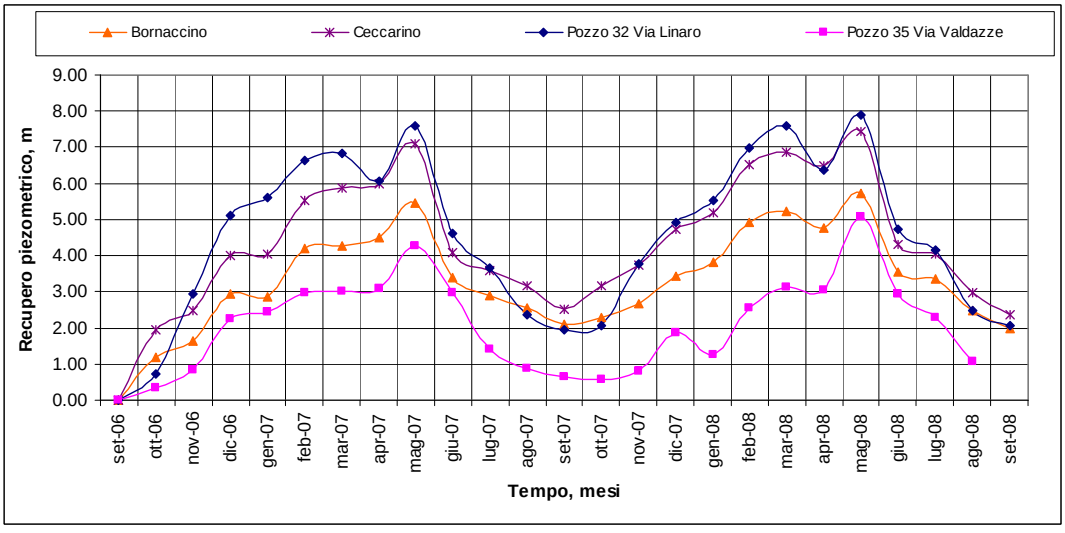


Figura 4.69: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera in Comune di Rimini

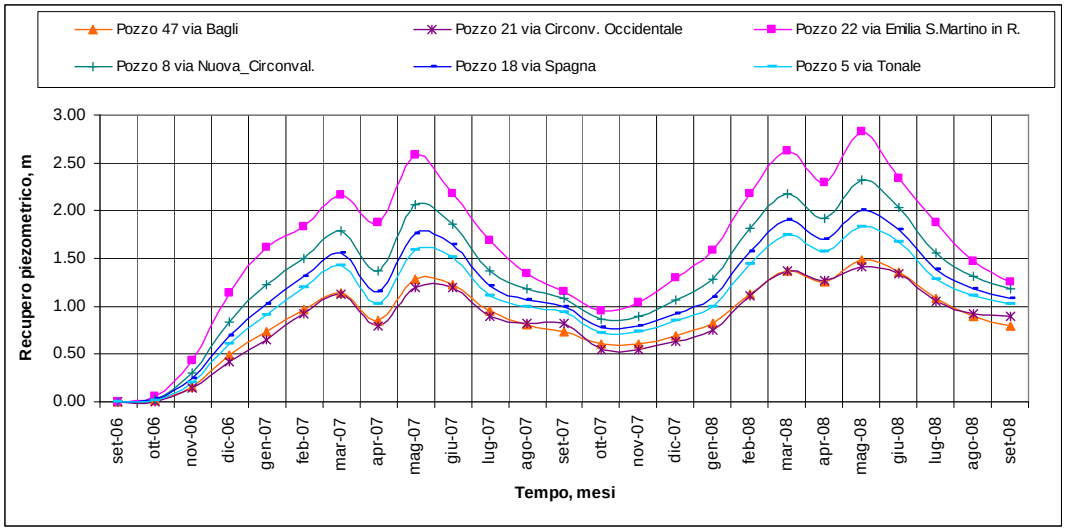
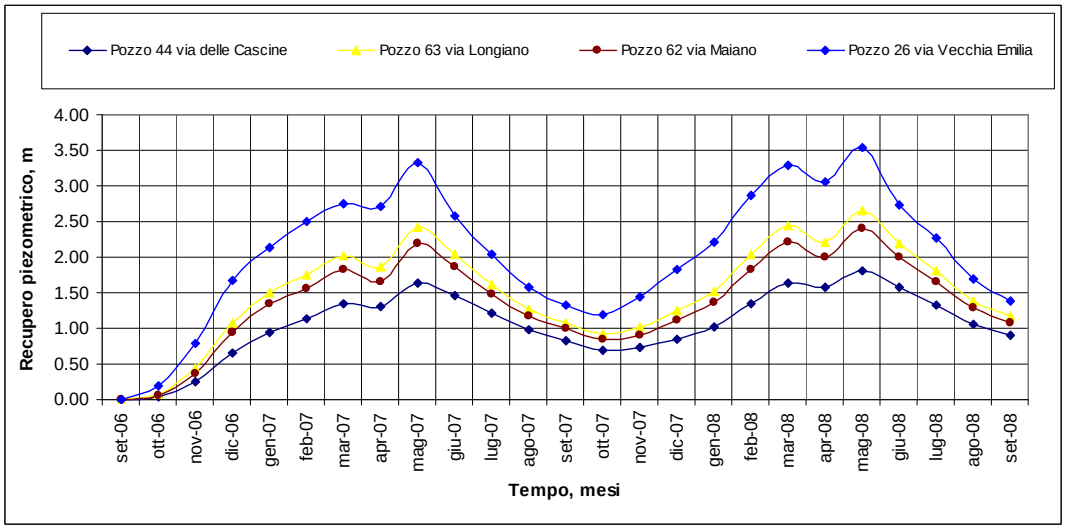


Figura 4.70: recuperi piezometrici attesi sui pozzi Hera in Comune di Rimini



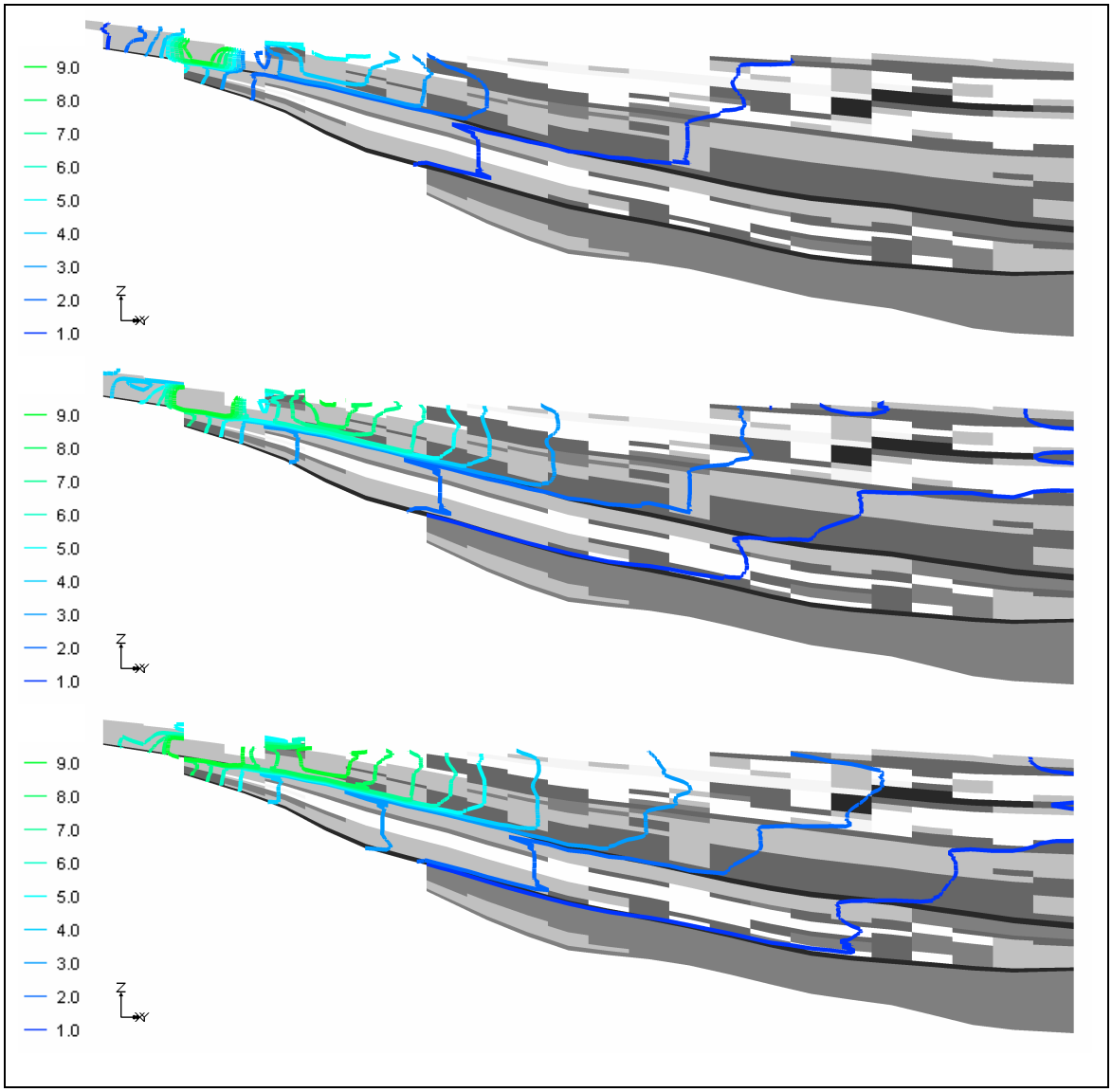
In linea generale l'analisi degli andamenti riportati nelle precedenti figure permette di sottolineare i seguenti elementi:

- nei due anni in cui si suppone presente l'intervento di ricarica artificiale della falda un segnale di recupero del livello piezometrico dell'acquifero, seppure di intensità variabile da caso a caso, è riscontrabile in tutti i pozzi analizzati;
- i recuperi piezometrici sui pozzi hanno valori variabili da poche decine di centimetri a qualche metro con valori massimi di circa 7-8 m nelle situazioni maggiormente favorevoli;
- la posizione e quindi la distanza del pozzo dal laghetto di ricarica artificiale e la sua profondità incidono sia sull'intensità del recupero piezometrico rilevato sia sulla modulazione dello stesso nel tempo in risposta alla variabilità temporale della ricarica artificiale che non è supposta presente tutto l'anno;
- i recuperi piezometrici più contenuti (50-100 cm) sono rilevati nei seguenti pozzi: pozzo 37 di via Danimarca (Figura 4.58), pozzo 23 di via Manfroni (Figura 4.61) e pozzo 49 di via XXV marzo (Rivabella, Figura 4.66); questi pozzi oltre ad essere lontani dalla zona di alimentazione dei laghetti hanno anche i filtri posizionati a profondità superiori ad 80 m. Dalle stesse figure è possibile effettuare il confronto con pozzi adiacenti che, caratterizzati da profondità minori, mostrano un maggiore recupero piezometrico rispetto ai primi.

- i recuperi piezometrici più consistenti si hanno invece nei pozzi più a monte situati in Comune di Santarcangelo e nella parte alta del Comune di Rimini (Figura 4.68); tra questi quello di via Linaro è quello che risulta in posizione più favorevole con recuperi piezometrici massimi di 7-8 m in corrispondenza delle fasi terminali di entrambi i periodi di ricarica artificiale ipotizzati.

Una rappresentazione di insieme dell'informazione appena presentata a livello puntuale può essere realizzata attraverso la mappatura dei "recuperi piezometrici" su alcuni tagli della conoide effettuati lungo sezioni longitudinali. Considerando la sezione di riferimento (J29) posta in asse rispetto alla zona di ricarica artificiale degli acquiferi imposta al modello numerico, la Figura 4.71 riporta la mappatura dei recuperi piezometrici con passo pari ad 1 m per tre diversi consecutivi istanti di tempo. Si nota quindi che la linea blu posta più a valle (che rappresenta in tutte le figure il recupero piezometrico pari ad 1 m) nel tempo si sposta sempre più verso valle.

Figura 4.71: recuperi piezometrici (m) sezione J29, istanti T27 (novembre 07), T30 (febbraio 08) e T33 (maggio 08)



Le successive figure (Figura 4.72, Figura 4.73 e Figura 4.74) mostrano per i medesimi tre istanti di tempo la mappatura della variazione piezometrica indotta dall'intervento di ricarica artificiale della falda in tre sezioni parallele alla procedente e poste le prime due in direzione NO, quindi a

sinistra della precedente, a 1750 m (J24) e 3500 m (J19) di distanza, e la terza (J31) a 1750 m di distanza in direzione SE e quindi a destra. Le figure mostrano sia una certa simmetria delle variazioni di carico piezometrico rispetto all'asse centrale dove avviene la ricarica sia la progressiva diminuzione degli effetti in funzione della distanza da questo.

Figura 4.72: recuperi piezometrici (m) sezione J24, istanti T27 (novembre 07), T30 (febbraio 08) e T33 (maggio 08)

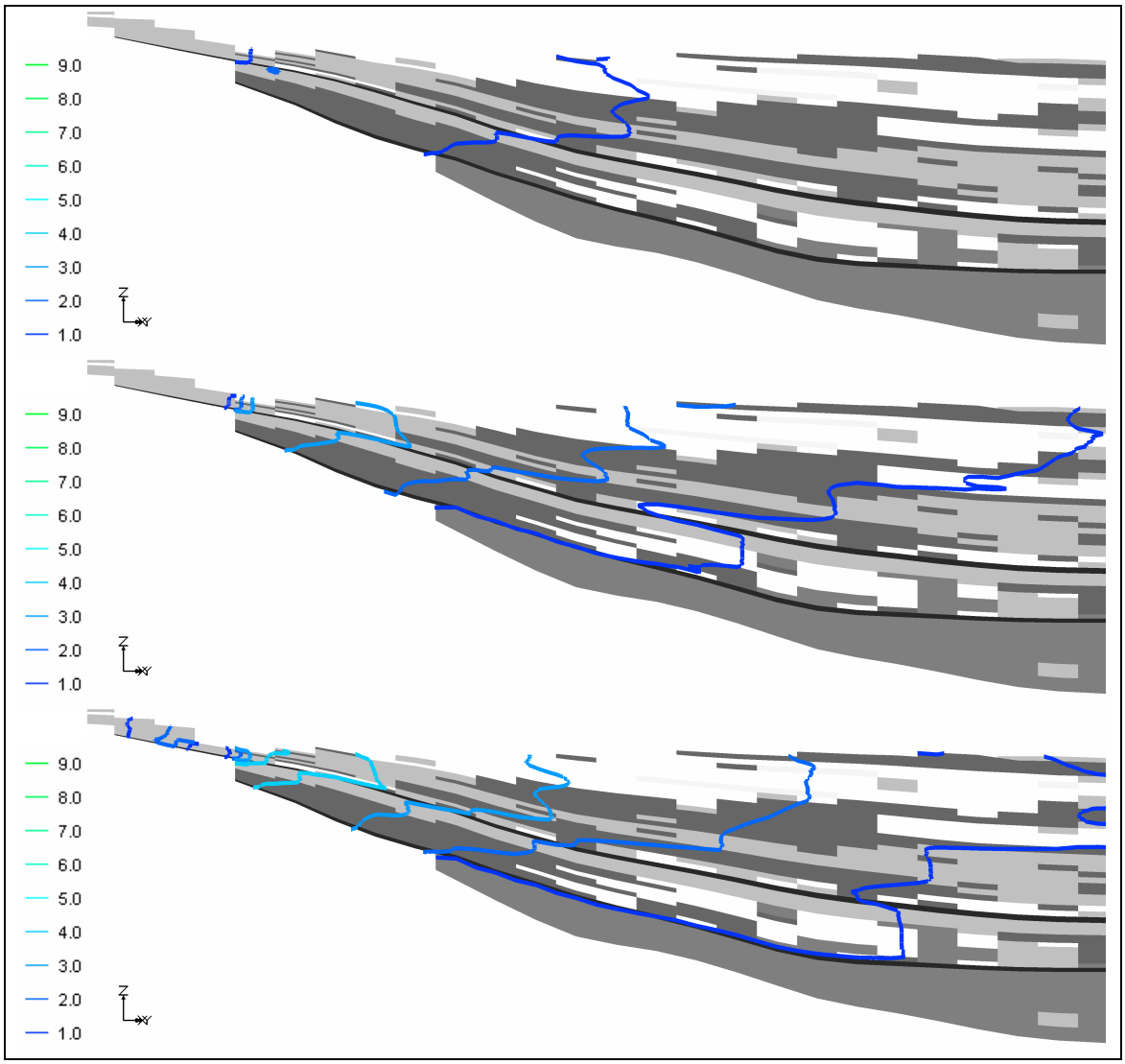


Figura 4.73: recuperi piezometrici (m) sezione J19, istanti T27 (novembre 07), T30 (febbraio 08) e T33 (maggio 08)

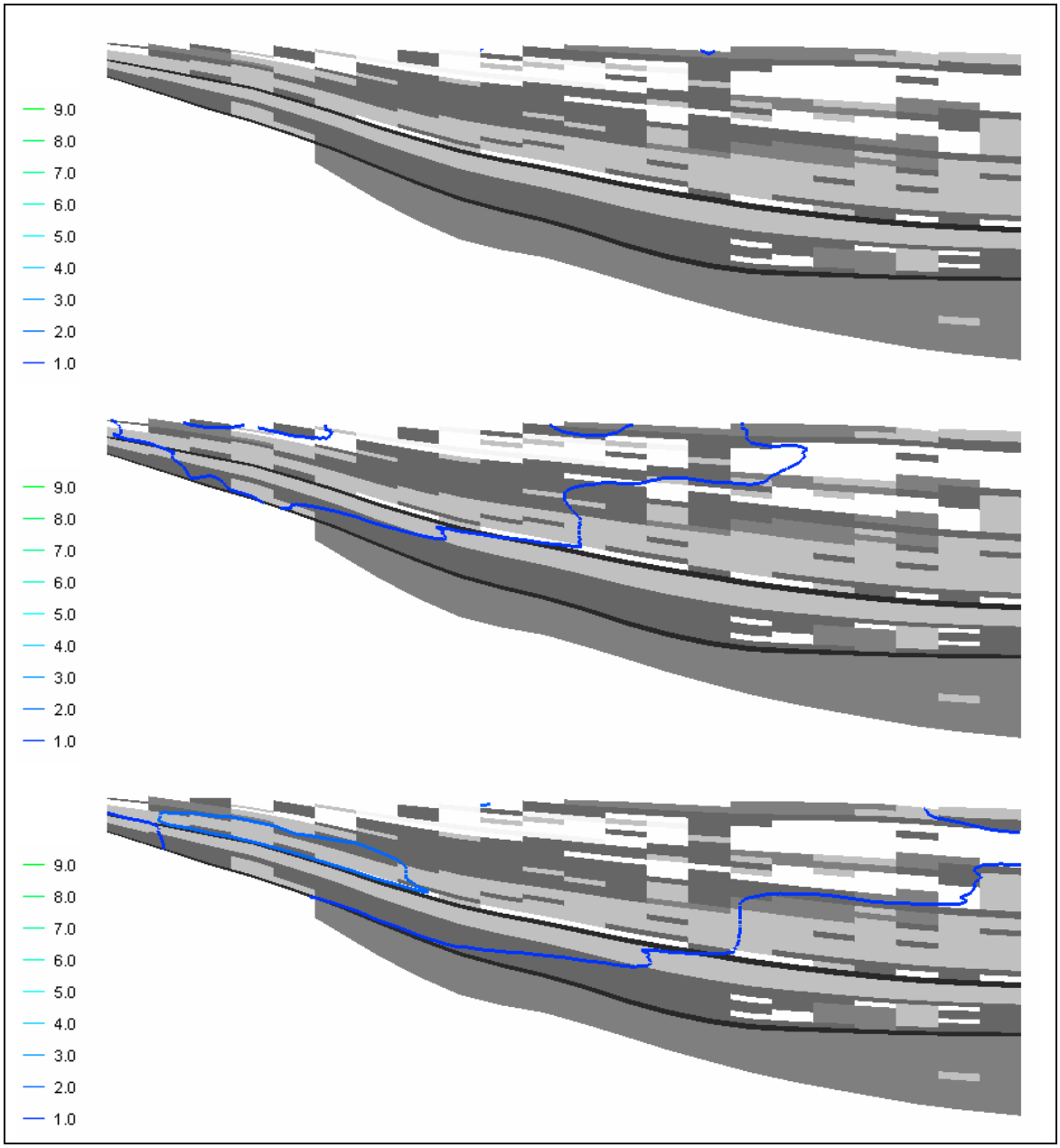
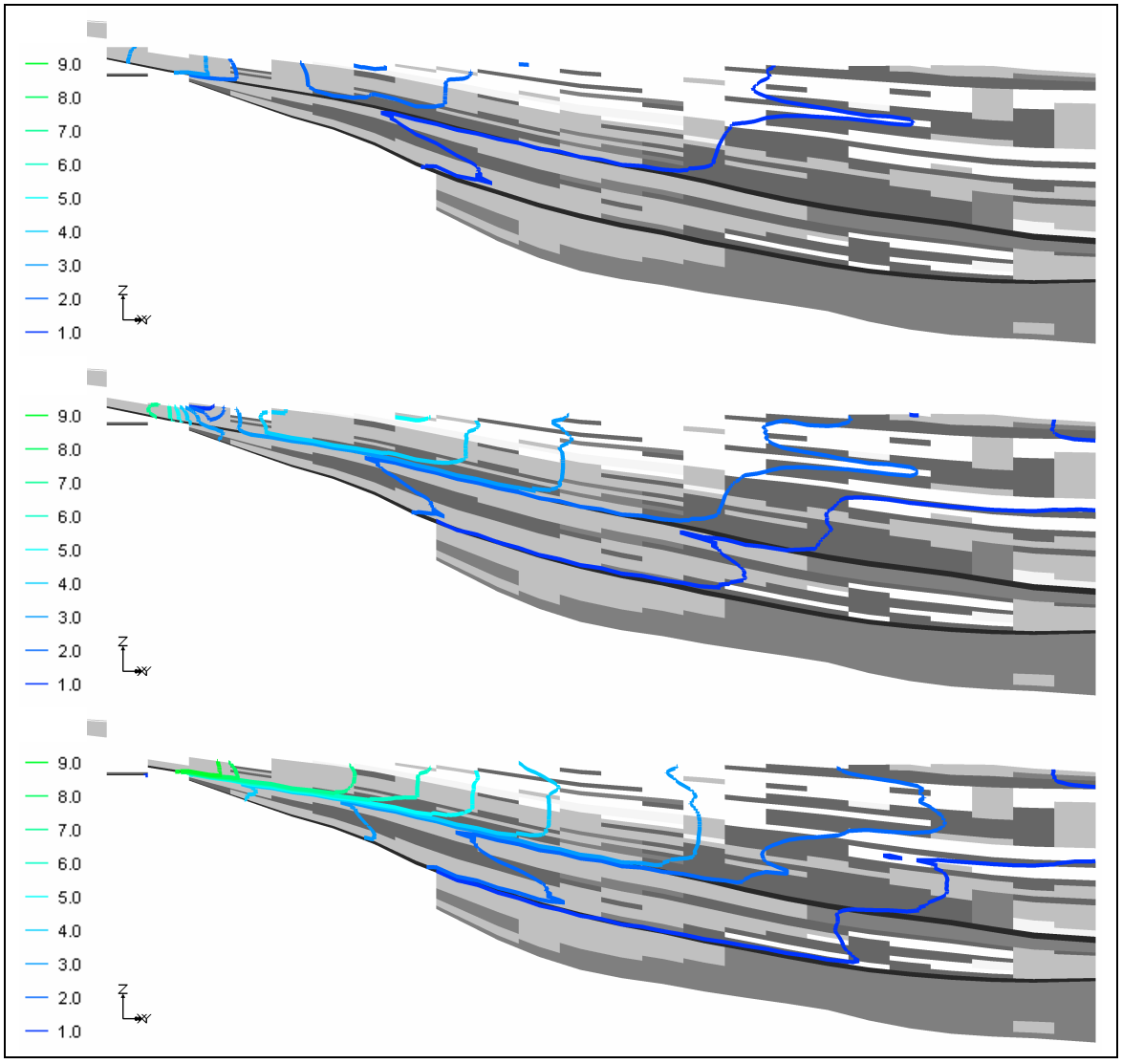


Figura 4.74: recuperi piezometrici (m) sezione J31, istanti T27 (novembre 07), T30 (febbraio 08) e T33 (maggio 08)



Al fine di rappresentare in senso areale l'effetto del possibile intervento di ricarica artificiale è stata calcolata la differenza, nel tempo, dei livelli della falda freatica calcolata dal modello numerico rispettivamente nei casi simulati in presenza ed in assenza di ricarica artificiale. La Figura 4.75 e la Figura 4.76 mostrano, rispettivamente per i due cicli di ricarica simulati (il primo ed il secondo anno), la distribuzione nello spazio e nel tempo della linea corrispondente al guadagno di 1 metro di livello indotto dalla ricarica artificiale operata in corrispondenza dei laghetti.

Figura 4.75: recuperi (di 1 metro) del livello della falda freatica nel tempo durante il primo ciclo (primo anno) di ricarica artificiale della falda

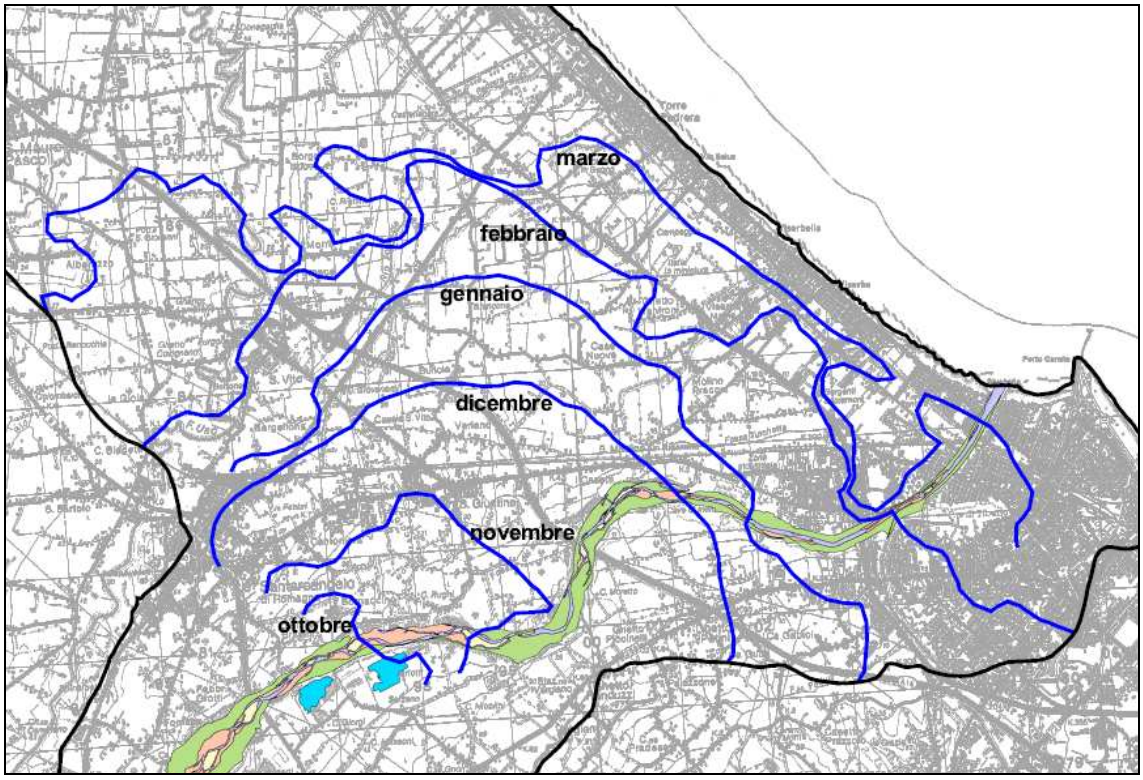
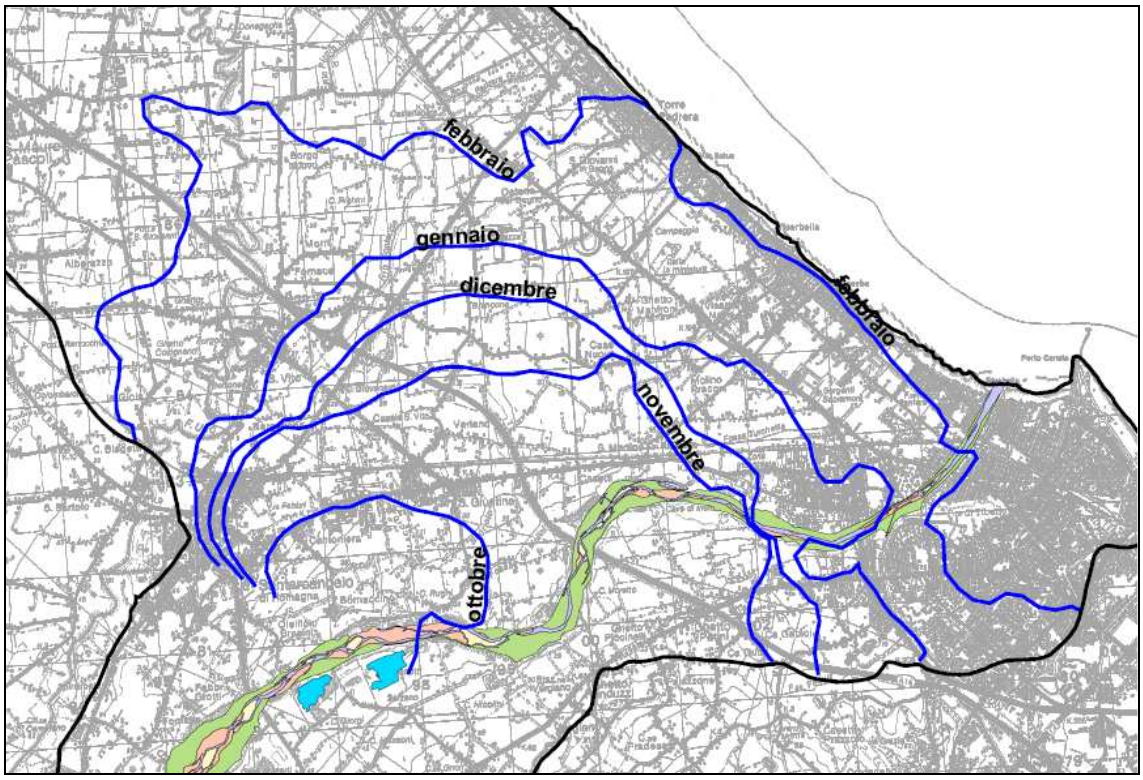


Figura 4.76: recuperi (di 1 metro) del livello della falda freatica nel tempo durante il primo secondo ciclo (secondo anno) di ricarica artificiale della falda



4.4.2.2 Analisi del bilancio idrogeologico

Per meglio comprendere l'analisi del bilancio idrogeologico come chiave di valutazione comparata delle simulazioni effettuate, occorre premettere alcuni elementi riguardanti la composizione del bilancio idrogeologico il uscita da Modflow ed il significato fisico dei diversi termini. La Tabella 4.8 riporta il bilancio idrogeologico dell'intera conoide del Marecchia per gli otto istanti temporali che a scansione stagionale sono stati utilizzati per la calibrazione del modello realizzato in "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"*.
I termini in ingresso corrispondono a:

- limiti a carico imposto (*Ghb in*): rappresentano gli ingressi dai bordi del sistema dove sono impostate le condizioni al contorno;
- ricarica (*Recharge in*): rappresenta gli ingressi di acqua dovuti alla pioggia ed al fiume;
- immagazzinamento (*Storage in*): rappresenta la variazione dell'immagazzinamento (positiva) di acqua all'interno della conoide ed in questo caso corrisponde ad un volume/portata di acqua che viene sottratta al sistema a compensare ad esempio i prelievi in uscita.

I termini in uscita corrispondono invece a:

- limiti a carico imposto (*Ghb out*): rappresentano le uscite dai bordi del sistema dove sono impostate le condizioni al contorno;
- prelievi: rappresentano le uscite dal sistema dovute agli emungimenti;
- immagazzinamento (*Storage out*): rappresenta la variazione dell'immagazzinamento (negativa) di acqua all'interno della conoide ed in questo caso corrisponde ad un volume/portata di acqua che effettivamente si immagazzina nel sistema (ad esempio per una maggiore possibilità di ricarica) e sarà quindi disponibile nel periodo successivo.

Tabella 4.8: bilancio idrogeologico della conoide (m^3/s)

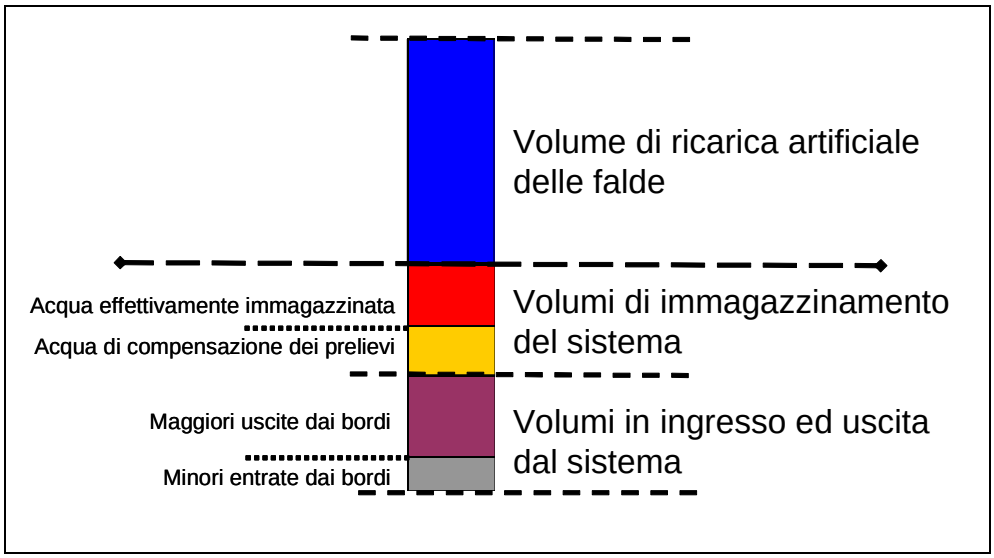
				T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
IN/OUT	fb_zona	Zona	voce bilancio	7900000	13200000	18500000	31500000	39400000	44700000	50000000	60000000
IN:	Flow Budget '	**All Zones**	Limiti a carico imposto	0.10	0.22	0.10	0.15	0.08	0.17	0.10	0.07
IN:	Flow Budget '	**All Zones**	Ricarica	2.30	0.18	0.42	1.21	1.19	0.80	4.53	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

L'analisi del bilancio idrogeologico nell'analisi comparata della situazione in assenza (caso 0) ed in presenza di un sistema di ricarica artificiale della falda (caso 1), può essere schematizzata nel modo seguente (Figura 4.77):

- la differenza tra i termini del bilancio idrogeologico corrispondente alla ricarica rappresenta l'effettivo surplus di acqua dovuto all'intervento di ricarica artificiale (in colore blu);
- tale surplus di ricarica, a parità di prelievo, può essere bilanciato da:
    1. un effettivo immagazzinamento di acqua nel sistema (in rosso, una parte dell'acqua proveniente dalla ricarica del laghetto rimane immagazzinata all'interno dell'acquifero sotterraneo);
    2. una diminuzione del consumo di acqua dall'immagazzinamento del sistema (in arancione, una parte dell'acqua proveniente dalla ricarica del laghetto compensa parte dei prelievi che prima erano a scapito dell'immagazzinamento del sistema stesso);
    3. un minor ingresso di acqua dai bordi del sistema (in grigio, parte dell'acqua proveniente dalla ricarica del laghetto compensa parte dell'acqua che prima veniva richiamata dai bordi del sistema);

4. una maggiore uscita di acqua dai bordi del sistema (in viola, parte dell'acqua proveniente dalla ricarica del laghetto defluisce senza essere intercettata dai sistemi di captazione e provoca una maggiore uscita a valle verso il mare).

Figura 4.77: analisi del bilancio idrogeologico



Tale sistema di lettura dei dati permette di analizzare la Figura 4.78 che rappresenta le differenze dei bilanci idrogeologici tra il caso 1, in presenza, ed il caso 0, in assenza di intervento di ricarica artificiale, relativamente al biennio 2007-2008 in cui si è supposto di attivare tale intervento. Risulta evidente che i termini del bilancio risultano identici nel periodo precedente e vengono quindi esclusi dall'analisi e non rappresentati in figura. La Figura 4.78 evidenzia su quali termini del bilancio idrogeologico dell'intera conoide l'intervento di ricarica artificiale, e quindi la maggiore disponibilità di acqua nel periodo concesso da ottobre a maggio, va ad incidere: gli immagazzinamenti in ingresso ed uscita (*storage in* e *out*) ed i contributi laterali (*Ghb*).
Il significato fisico ed in termini di bilancio dell'analisi viene di seguito sintetizzato:

- nei periodi dell'anno in cui avviene la ricarica artificiale (ottobre-maggio) l'immagazzinamento in uscita (lo *storage out)* rappresenta (con segno negativo) il maggiore immagazzinamento di acqua nel sistema dovuto proprio alla ricarica artificiale e quindi la quota parte di questa che viene trattenuta all'interno del sistema (mediamente pari a circa 0.6 m^3/s per i due periodi). L'andamento nel tempo dimostra una maggiore capacità di immagazzinamento nella parte iniziale di ciascuno dei due periodi analizzati che poi diminuisce a favore di una maggiore uscita dai bordi. La successiva Figura 4.79 riporta la ripartizione dell'acqua immagazzinata all'interno dei diversi complessi acquiferi che suddividono l'intera conoide ed evidenzia il ruolo preponderante svolto in questo caso dal complesso acquifero A1;
- nei periodi dell'anno in cui avviene la ricarica artificiale (ottobre-maggio) l'immagazzinamento in ingresso (lo *storage in*) rappresenta (con segno negativo) il volume di acqua di ricarica artificiale che ha compensato altre voci in uscita e che in assenza di ricarica artificiale andavano ad incidere sull'immagazzinamento di acqua del sistema. Anche in questo caso il ruolo principale è svolto dal complesso acquifero A1 (Figura 4.80);
- nei periodi dell'anno in cui avviene la ricarica artificiale (ottobre-maggio) il contributo in uscita dai bordi (il *ghb out*) rappresenta (con segno negativo) il termine del bilancio corrispondente all'acqua di ricarica artificiale che viene persa dal sistema attraverso l'uscita dai bordi. Nel caso in esame è costituito per la maggior parte dalla uscita in direzione nord-est verso il mare (mediamente pari a circa 0.3 m^3/s per i due periodi). La Figura 4.81 riporta la suddivisione in profondità di queste uscite che sono per lo più a

carico del complesso acquifero A1 ed in misura minore attribuibili ai rimanenti complessi acquiferi del gruppo acquifero A.

Figura 4.78: analisi del bilancio idrogeologico, caso 1 (con ricarica artificiale) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)

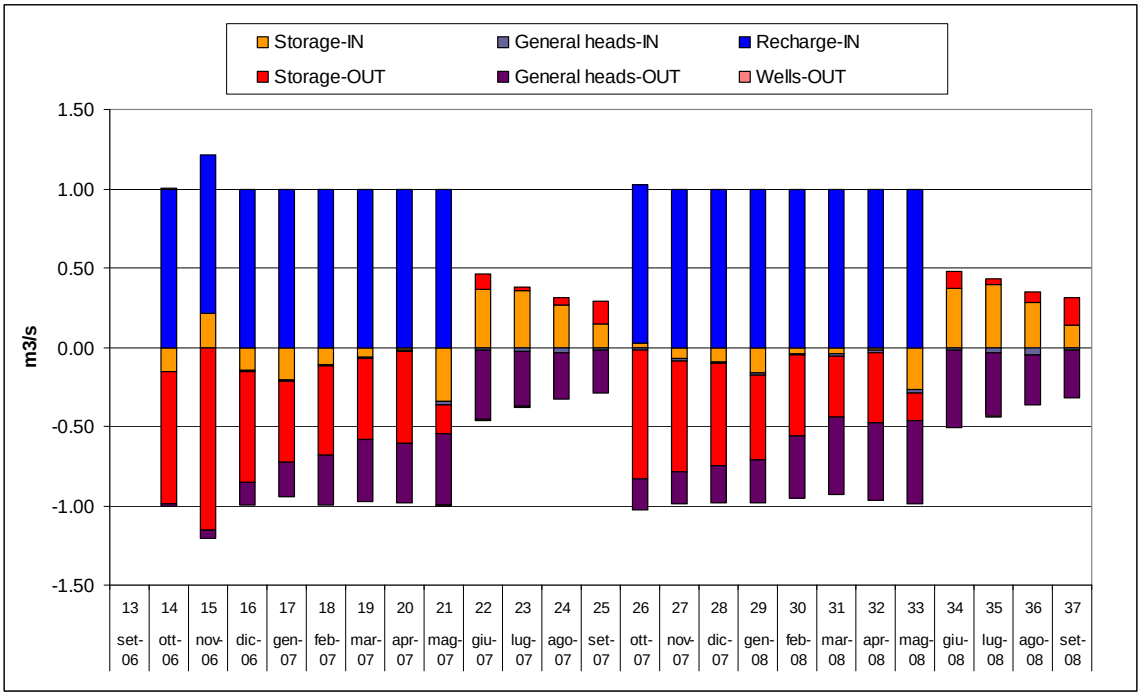


Figura 4.79: analisi del bilancio idrogeologico, ripartizione dell'acqua di ricarica artificiale immagazzinata nel sistema all'interno dei diversi complessi/gruppi acquiferi (termine *storage out*)

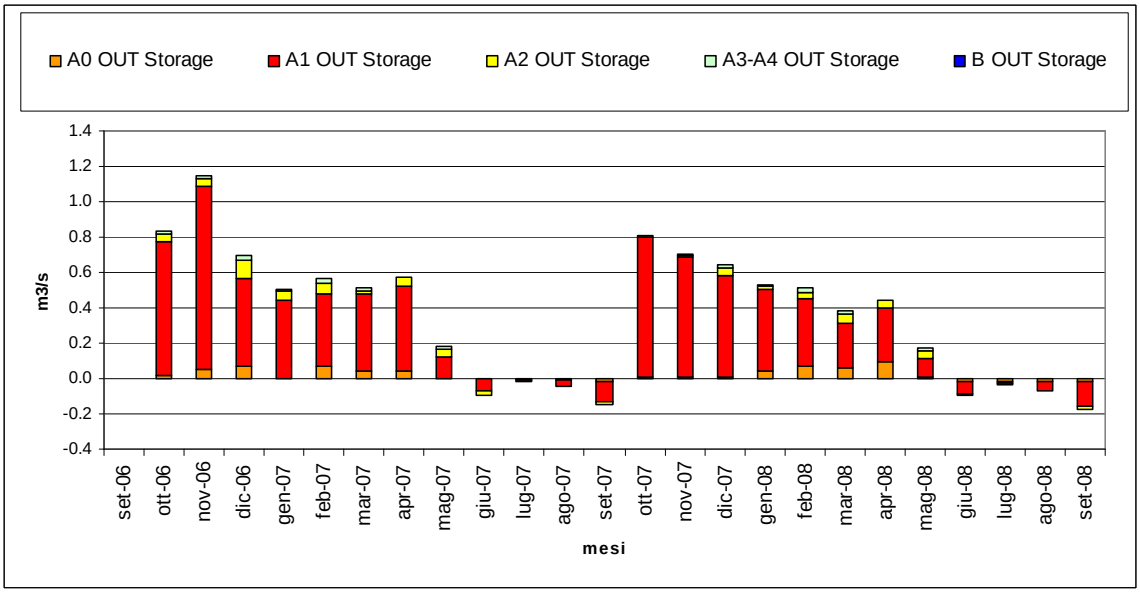


Figura 4.80: analisi del bilancio idrogeologico, termine *Storage in* ripartito tra i diversi complessi/gruppi acquiferi

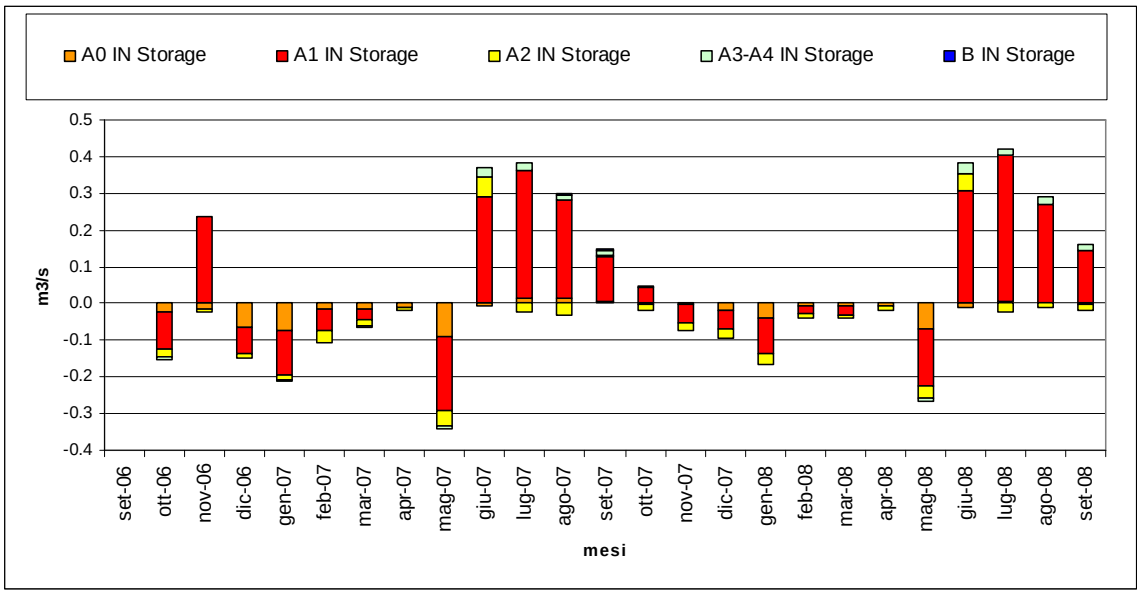
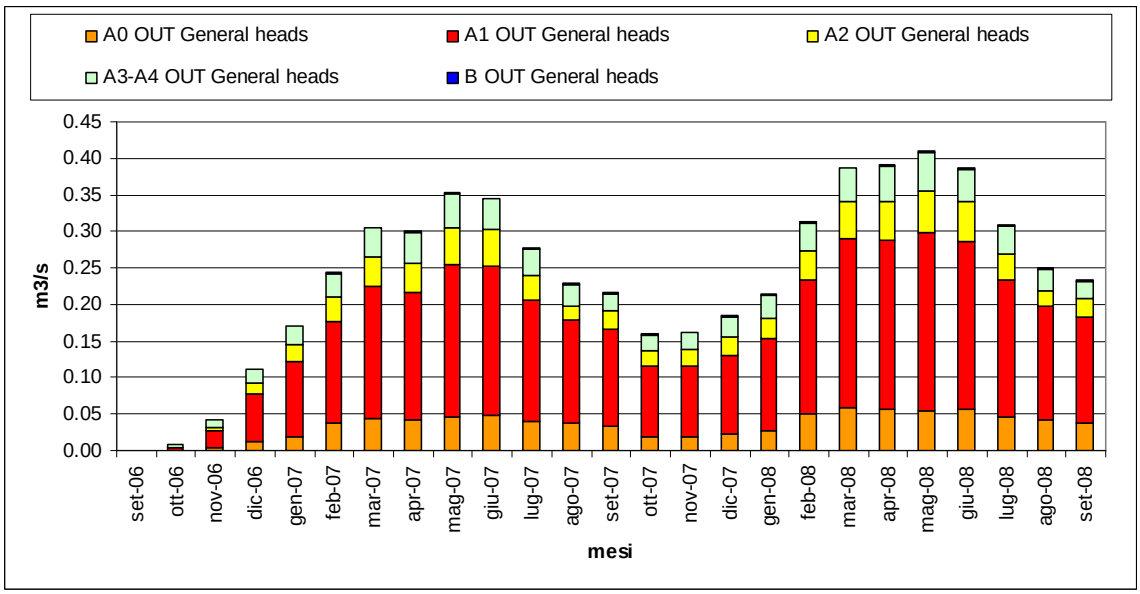


Figura 4.81: analisi del bilancio idrogeologico, ripartizione dell'acqua di ricarica artificiale in uscita dal sistema (verso mare) all'interno dei diversi complessi/gruppi acquiferi (termine *Ghb out*)



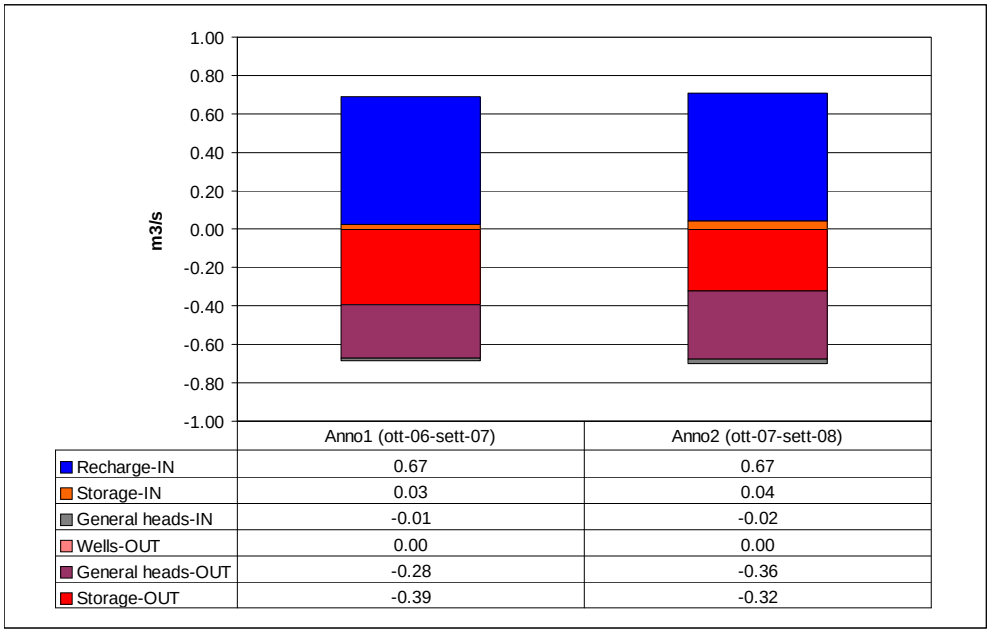
- nei quattro mesi all'anno in cui non viene effettuata la ricarica artificiale delle falde si rileva il persistere di una situazione di maggiore deflusso di acqua in uscita dai bordi del sistema (in direzione nord-est verso il mare) il che equivale ad una ulteriore perdita di parte dell'acqua immagazzinata nei periodi di ricarica precedenti. Tale perdita però diminuisce nel tempo fino al sopraggiungere del nuovo periodo di ricarica artificiale.

A livello di sintesi e per una valutazione complessiva dell'intervento di ricarica artificiale proposto la successiva Figura 4.82 riporta l'analisi del bilancio precedentemente vista nella sua articolazione mensile (Figura 4.78), aggregata su base annuale e quindi considerando nel suo insieme l'intero arco temporale comprensivo del periodo di ricarica e di non ricarica. Mediamente nei due anni più del 50% dell'acqua di ricarica artificiale viene utilizzata/immagazzinata nella conoide, la restante parte defluisce verso valle in uscita dal sistema.

La Figura 4.83 e la Figura 4.84 mostrano infine l'impatto sulla dinamica di flusso generale dell'intera conoide dovuto all'intervento di ricarica artificiale delle falde che comporta una

maggiorazione dei termini di scambio tra i complessi acquiferi più superficiali verso quelli più profondi.

Figura 4.82: analisi del bilancio idrogeologico su base annuale, caso 1 (con ricarica artificiale) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)



	Anno1 (ott-06-sett-07)	Anno2 (ott-07-sett-08)
Recharge-IN	0.67	0.67
Storage-IN	0.03	0.04
General heads-IN	-0.01	-0.02
Wells-OUT	0.00	0.00
General heads-OUT	-0.28	-0.36
Storage-OUT	-0.39	-0.32

Figura 4.83: analisi del bilancio idrogeologico, complesso acquifero A1, portata di scambio verso il complesso acquifero A2

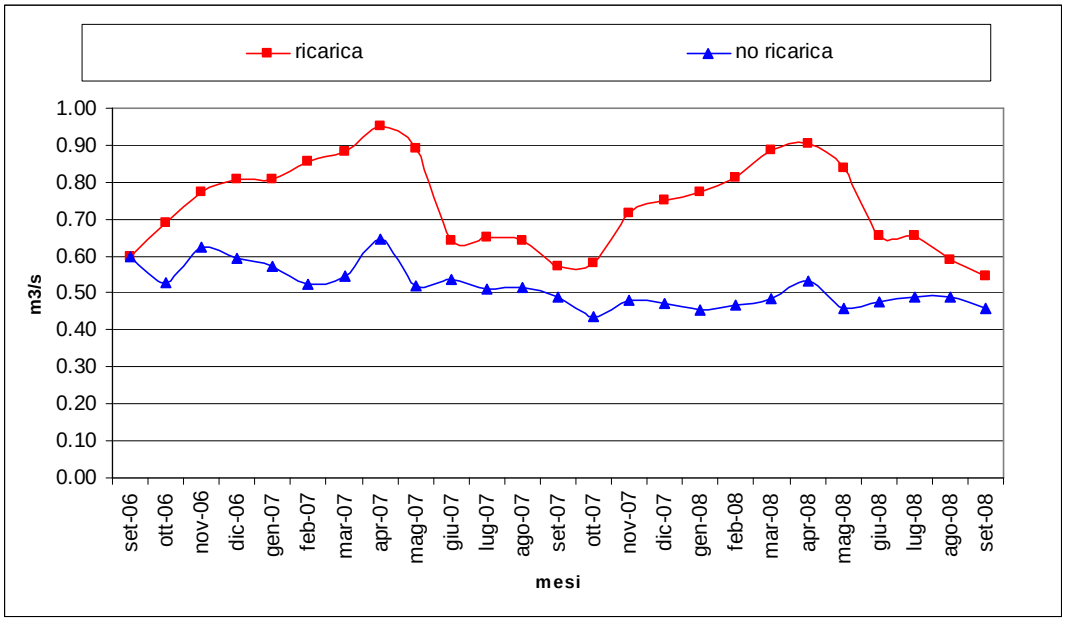
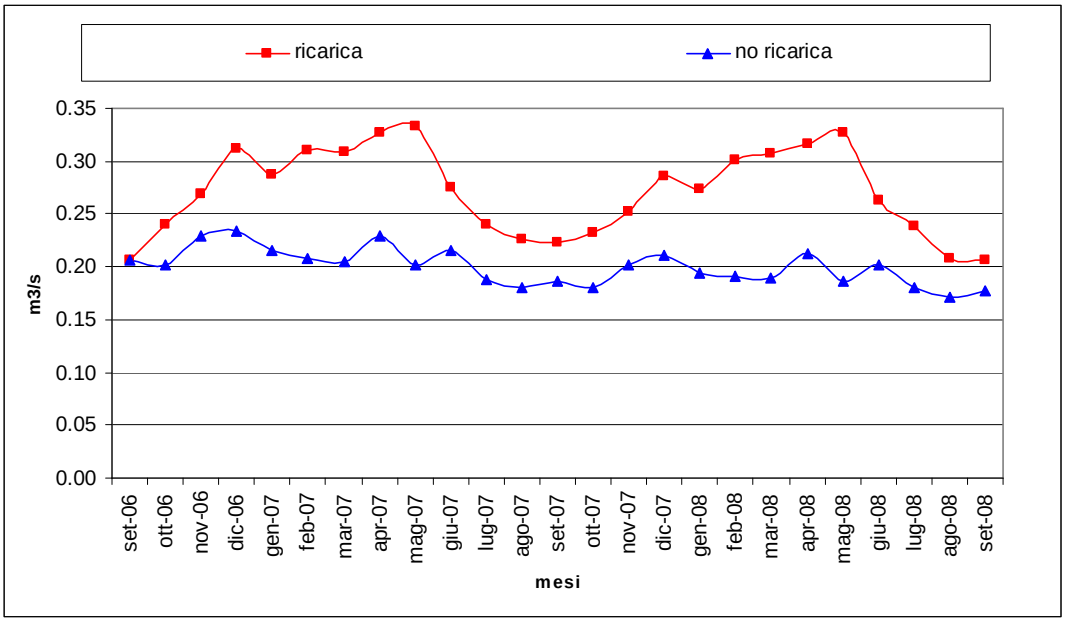


Figura 4.84: analisi del bilancio idrogeologico, complesso acquifero A2, portata di scambio verso il complesso acquifero A3-A4



5. AREA DI STUDIO N° 2: CONOIDE DEL FIUME RENO

5.1 PREMESSA

Relativamente alla seconda area oggetto del presente studio, quella situata all'interno della conoide alluvionale del Fiume Reno, non è stato possibile procedere rispetto all'opportunità di utilizzo di una ex cava situata in prossimità dell'aeroporto così come prospettato in fase di definizione del presente progetto. Si è dovuto quindi procedere ad una nuova individuazione di situazioni alternative per la realizzazione dell'intervento e ad una successiva fase di analisi e valutazione.
La caratterizzazione territoriale ed ambientale della possibili aree di studio richiama in questo caso i principali elementi descrittivi delle proposte individuate in riferimento anche al contesto idrogeologico della conoide. Ciò al fine di individuare eventuali criticità che potrebbero escludere talune aree dallo studio già in questa fase preliminare (paragrafo 5.2). Contemporaneamente, attraverso il supporto della modellistica matematica è stato portato avanti un confronto sulla efficacia delle varie proposte in rapporto alla dinamica di flusso dell'intera conoide (paragrafo 5.7).

5.2 DESCRIZIONE DELLE POSSIBILI AREE DI STUDIO

Attraverso il contributo del Gruppo di Lavoro ed in particolare del Comune di Bologna sono state sottoposte all'attenzione le cinque zone di possibile intervento di ricarica artificiale che vengono discusse in questo paragrafo. Di seguito viene riportato in Figura 5.1 uno stralcio del quadrante in scala 1: 50.000 relativo alle aree in esame e in Figura 5.2 la sezione geologica L9 prodotta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, nell'ambito dello Studio sulla conoide alluvionale del Fiume Reno ([2]).

Figura 5.1: stralcio del quadrante in scala 1: 50.000 relativo alle aree oggetto delle proposte per interventi di ricarica artificiale da effettuare nella Conoide del F. Reno.

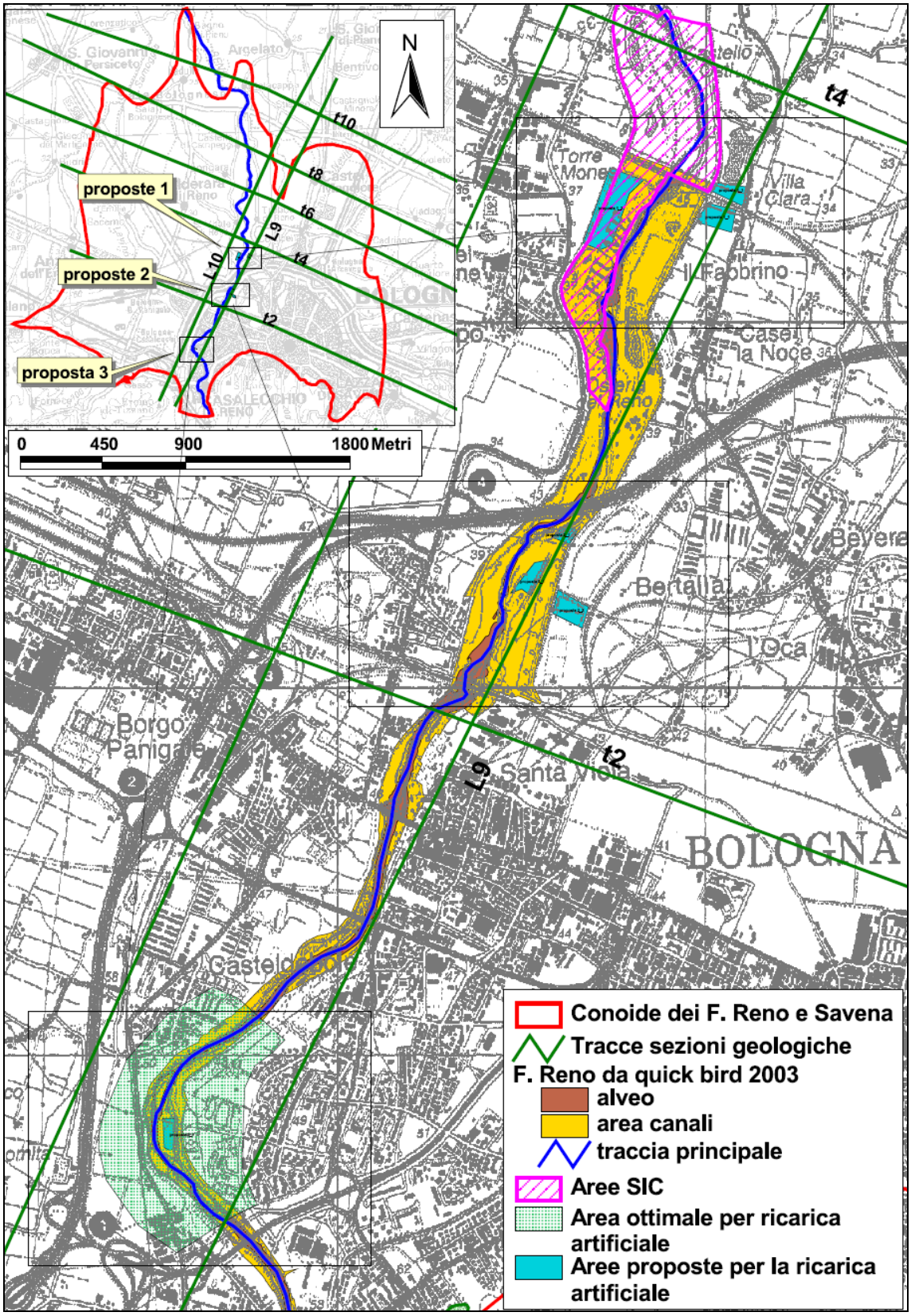
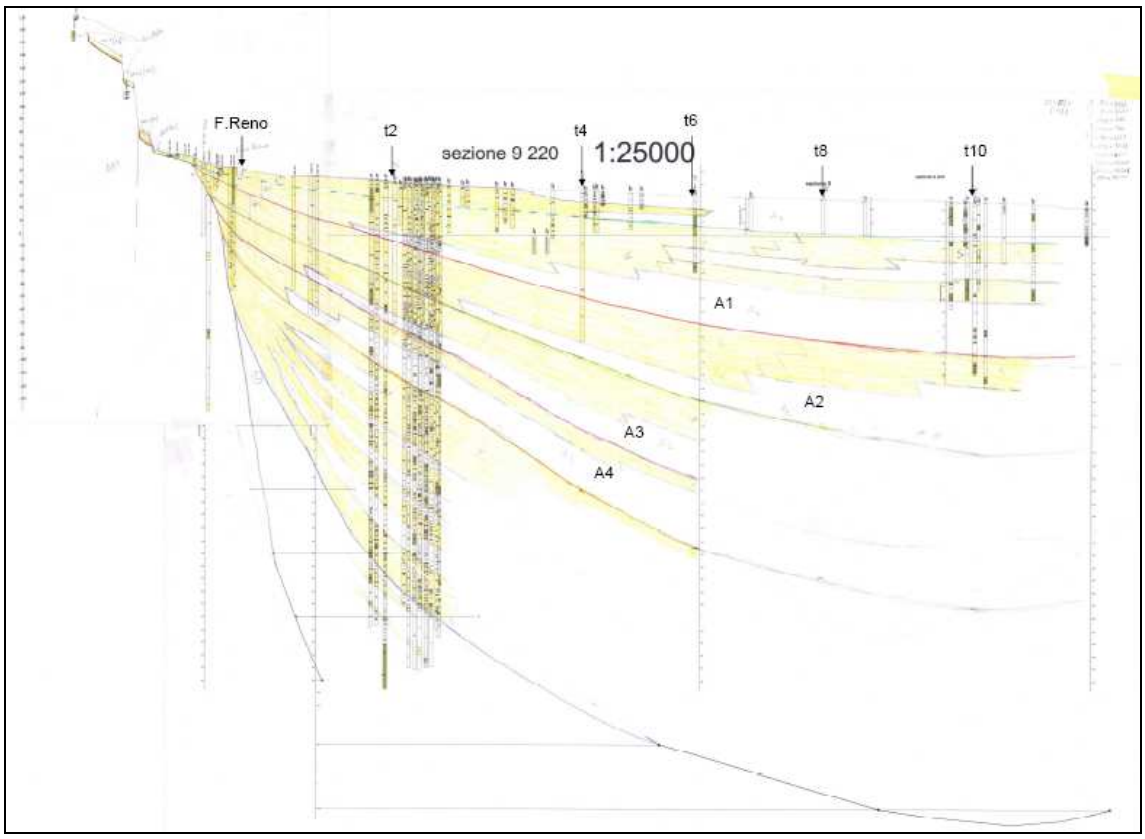


Figura 5.2: sezione geologica ("Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, Autorità di Bacino del Reno, dicembre 2005. *Studio della conoide alluvionale del Fiume Reno per la realizzazione di un modello idrogeologico per la gestione sostenibile delle risorse idriche).*



Le proposte oggetto di valutazione per possibili interventi di ricarica artificiale vengono descritte nei prossimi paragrafi.

5.2.1 Proposte 1 (ponte FS Zanardi e Lippo di Calderara di Reno)

La Proposta 1.1 consiste di due aree private, quindi non golenali, ubicate in destra idrografica nella porzione centrale della conoide del F. Reno, distanti da questo dai 150 ai 250 m.
Le due aree sono separate dal tratto di ferrovia posto in corrispondenza del Ponte F.S. Zanardi: quella più a valle si trova presso la località Villa Clara e ha un estensione di circa 1.5 ha, mentre quella più a monte è ubicata presso la località Il Fabbrino e possiede un'estensione di poco più di 2 ha. Attualmente tali aree sono utilizzate per coltivazioni a seminativo (Figura 5.3).
Dalla sezione geologica L9 (Figura 5.2) si può vedere che le aree delle proposte 1 ricadono circa 500 m a monte della traccia della sezione geologica t4, dove gli acquiferi si trovano ad essere differenziati gli uni dagli altri. In tale zona si riscontra uno spessore dell'insaturo meno pronunciato rispetto a quello registrato nella porzione apicale della conoide, in quanto si rileva la presenza di una falda sospesa che poggia su un livello meno permeabile ubicato in corrispondenza della base dell'A1.
Il principale vantaggio di utilizzo di queste due aree per interventi di ricarica artificiale della falda acquifera consiste nella relativa facilità di adduzione di volumi d'acqua, in quanto il Canale Ghisiliera è ubicato solamente a distanze comprese fra i 70 e i 120 m ad Est delle zone in esame.
Gli svantaggi sono invece rappresentati dal fatto che la zona è attraversata da due gasdotti e inoltre l'area più settentrionale è attigua al sito SIC denominato "Golena San Vitale e Golena del Lippo" riconosciuto dalla Deliberazione Giunta Regionale E.R. n. 167/06 (Figura 5.4).

Figura 5.3: foto aeree per le proposte 1 per interventi di ricarica artificiale della falda.

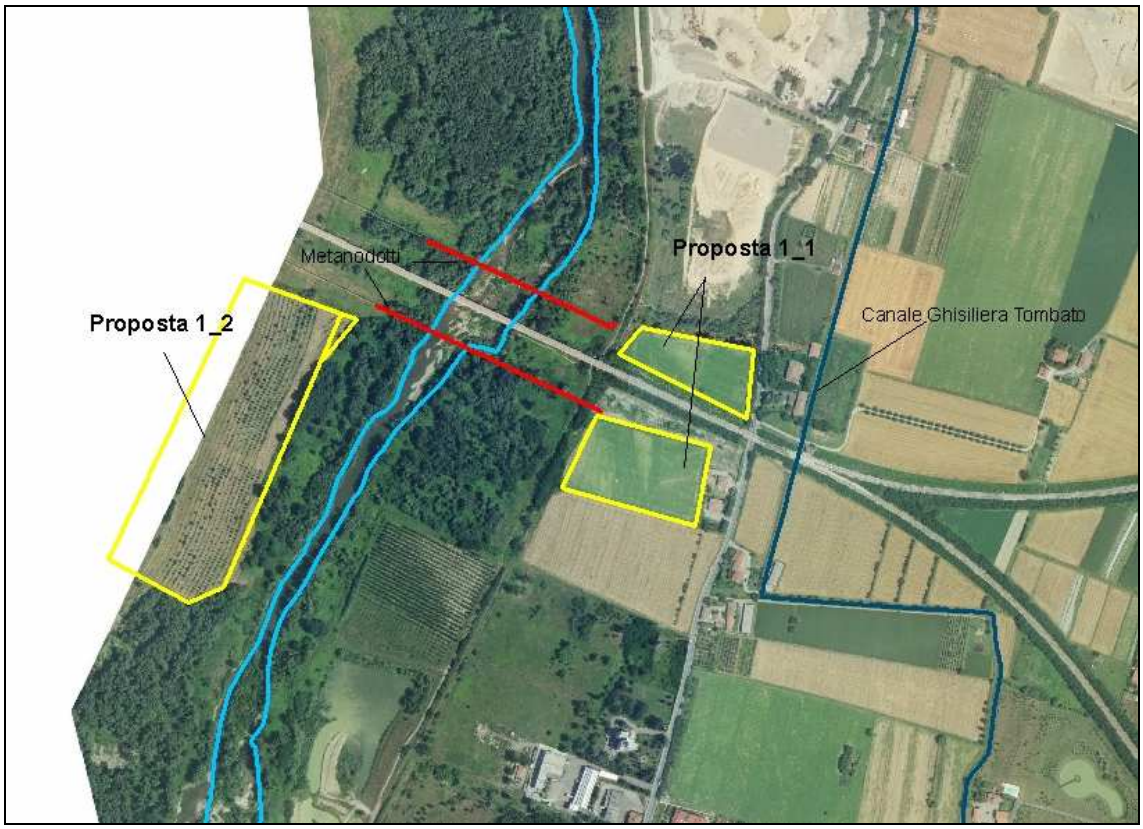


Figura 5.4: stralcio di C.T.R in scala 1: 5.000 per le proposte 1.

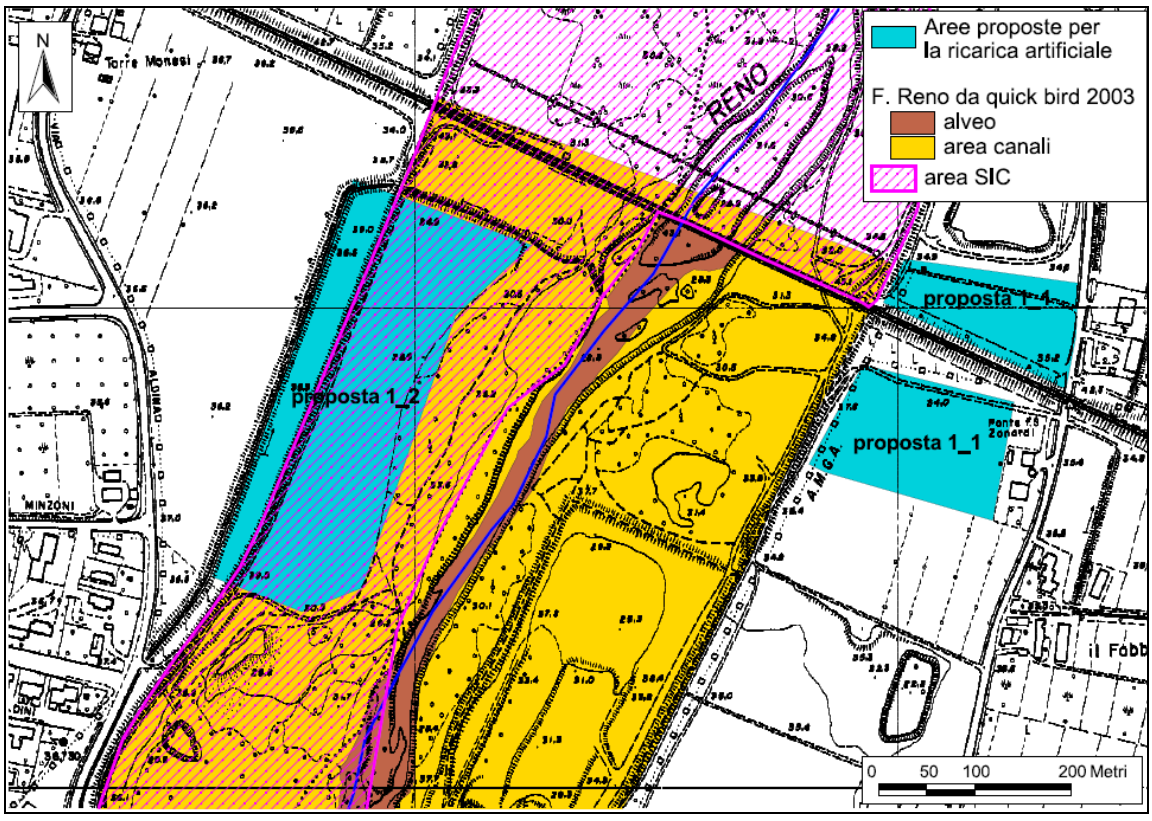


Figura 5.5 :foto scattate da Arpa-IA in un sopraluogo effettuato nel luglio 2007 relative alle proposte 1.1 viste da Via Zanardi: a sinistra l'area a monte del Ponte F.S. Zanardi; a destra quella più a valle.

Figura 5.6: foto scattata da Arpa-IA in un sopraluogo effettuato nel luglio 2007 relative alla proposta 1.2: si osservano i filari degli alberi piantati nel 1998 dalla Provincia di Bologna.

La Proposta 1.2 è situata invece in sinistra idrografica nella porzione centrale della conoide del F. Reno, fra le località Lippo e Torre Mones (Figura 5.3). Tale area di circa 6.5 ha di estensione è stata scartata ai fini del progetto, in quanto ubicata all'interno del SIC già citato nella descrizione della proposta 1.1, su cui l'Amministrazione provinciale di Bologna, grazie ai finanziamenti messi a disposizione dalla L.R. n° 30 del 4 settembre 1981, nel 1998 ha effettuato un intervento di rivalorizzazione naturalistica, che è consistito in un rimboschimento di 1400 piante autoctone della Pianura Padana, al fine di aumentare la rete ecologica provinciale (Figura 5.4).

5.2.2 Proposte 2 (zona Tiro a Segno)

La Proposta 2.1 è costituita da due zone che ricadono in aree golenali, quindi demaniali, in destra idrografica del F. Reno nella porzione centro-apicale della sua conoide (Figura 5.7).
Le due aree sono ubicate poco più a monte della tangenziale di Bologna e presentano un'estensione pari a 1.6 ha per quella più a monte e 0.7 ha per l'altra più a valle (Figura 5.8).
Attualmente tali zone sono utilizzate come parchi, mantenuti fruibili da interventi di giardinaggio, in cui l'area più piccola presenta un maggior numero di piante ad alto fusto, mentre quella maggiore è costituita per lo più da un prato (Figura 5.9).

Figura 5.7: foto aeree per le proposte 2 per interventi di ricarica artificiale della falda., zona Tiro a Segno.

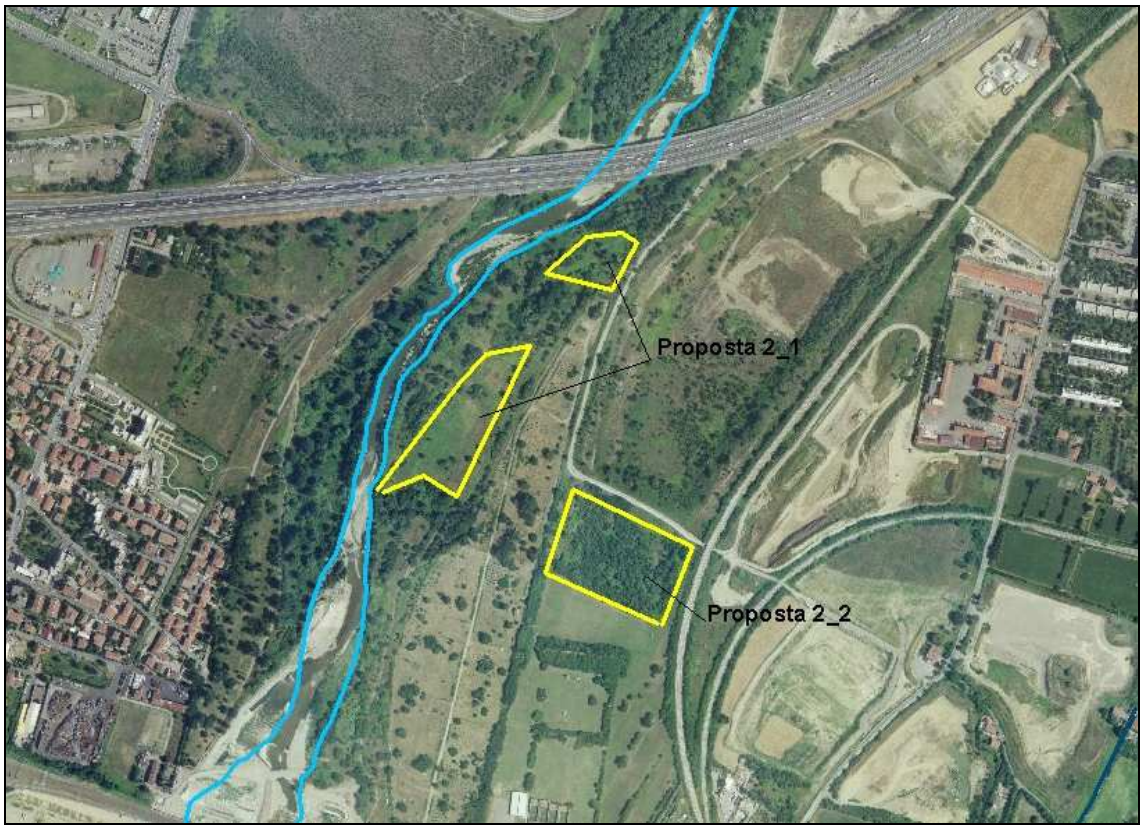
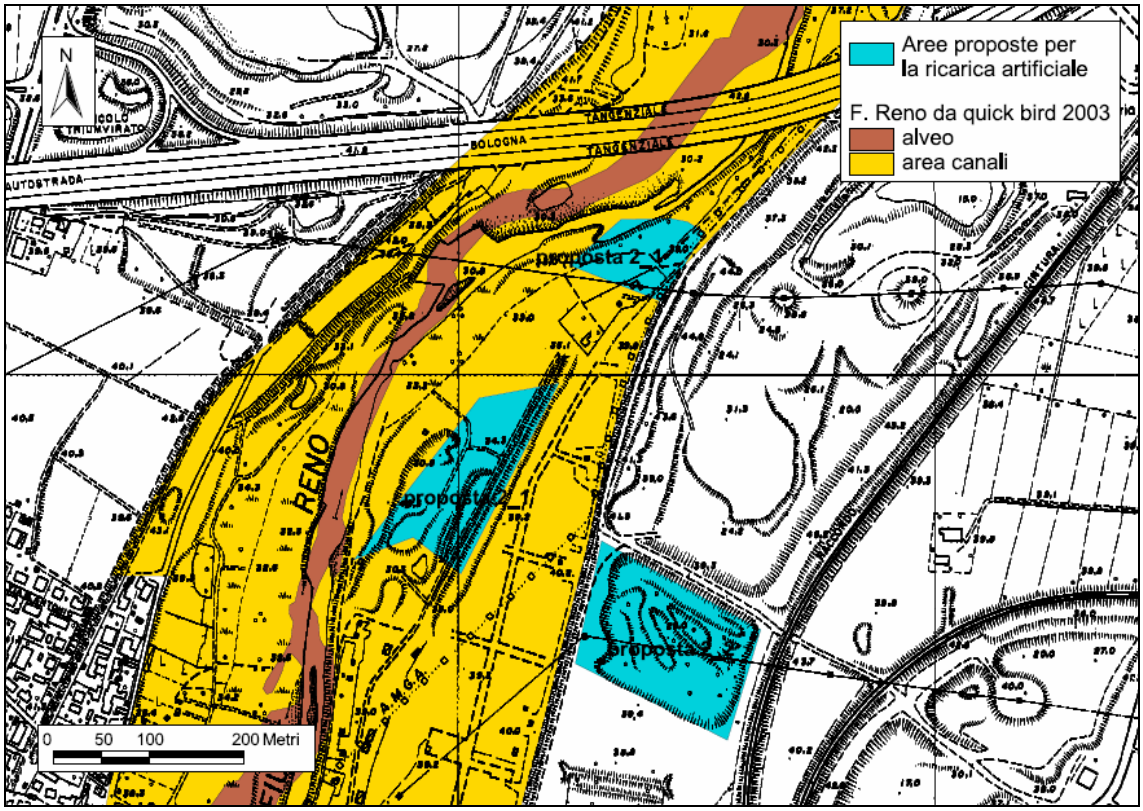


Figura 5.8: stralcio di C.T.R in scala 1: 5.000 per le proposte 2.



Si segnala la presenza del campo pozzi acquedottistico del Tiro a Segno, ubicato a ESE rispetto all'area di maggiore estensione.

Gli interventi possibili al loro interno si configurano come risistemazioni della morfologia d'alveo al fine di aumentare la superficie del contorno bagnato e quindi incrementare la ricarica di subalveo laminando le piene.

Figura 5.9: foto scattate da Arpa-IA in un sopraluogo effettuato nel luglio 2007 relative alle proposte 2.1: a sinistra l'area più piccola di valle, vista da NE; a destra quella più grande di monte, vista da SO.

La Proposta 2.2 coincide con la ex cava del Tiro a Segno, dismessa nel 1958 e sarà probabilmente acquistata dal Comune di Bologna.
Tale ex cava è ubicata nella porzione centro-distale della conoide del F. Reno, in destra idrografica al di fuori di aree golenali, a circa 250 m dal fiume, circa 500 m a Sud della tangenziale di Bologna e adiacente a ESE con il campo pozzi acquedottistico del Tiro a Segno (Figura 5.7). La cava è ricoperta da vegetazione ad alto fusto (Figura 5.10). Avendo un'estensione pari a 2.3 ha ed una profondità utile di 10 m, consentirebbe di invasare una quantità di acqua di circa 230.000 m^3.

Figura 5.10: foto scattata da Arpa-IA in un sopraluogo effettuato nel luglio 2007 relativa alla proposta 2.2: ex cava Tiro a Segno.

Dalla sezione geologica L9 (Figura 5.2) si può vedere che le aree delle proposte 2.1 e 2.2 ricadono ad una distanza compresa fra circa 800 e 1100 m a valle della traccia della sezione geologica t2, ovvero a valle del ponte della ferrovia nel quartiere di Bologna Santa Viola, dove gli acquiferi iniziano già ad essere differenziati gli uni dagli altri. In tale zona si riscontra uno spessore dell'insaturo meno pronunciato rispetto a quello registrato nella porzione apicale della conoide, in quanto si rileva la presenza di una falda sospesa che poggia su un livello meno permeabile ubicato in corrispondenza della base dell'A1.

5.2.3 Proposte 3 (area golenale Croce di Casalecchio)

La proposta 3.1 è quella ubicata più a Sud, ovvero è quella che si trova nella porzione apicale della Conoide del F. Reno fra Casalecchio di Reno e Casteldebole, subito ad Ovest degli impianti sportivi (Figura 5.11). Si tratta di un'area golenale, quindi demaniale, ubicata in destra idrografica, la quale presenta un' estensione di circa 1 ha e si trova ad essere sopraelevata mediamente all'incirca di 3 m rispetto all'adiacente alveo del fiume.
Risulta essere idonea per interventi di risistemazione d'alveo al fine di incrementare la ricarica di subalveo laminando le piene.
Tale area presenta in superficie litologie prevalentemente medio-grossolane costituite da sabbie fini debolmente limose e ghiaiose con presenza di ciottoli e frammenti di laterizi (Figura 5.13, foto a2). Da un sopraluogo effettuato in luglio 2007, il terreno presenta inoltre solchi regolari distanziati fra loro di circa 30 cm, probabilmente prodotti da un macchinario rastrellante per operazioni di decespugliatura (Figura 5.13, foto a1).
La vegetazione che ricopre la zona in esame è costituita prevalentemente da arbusti e rovi, mentre in corrispondenza della porzione settentrionale, cresce un canneto; nelle immediate vicinanze dell'alveo del fiume vi è una fascia di qualche metro di ampiezza ricoperta da alberi ad alto fusto.
Questa proposta rispetto alle altre sembra essere la migliore, in quanto risulta in posizione ottimale rispetto alle possibilità di ricarica della conoide.

Figura 5.11: foto aeree per la proposta 3.1 per interventi di ricarica artificiale della falda, area golenale ubicata fra Croce di Casalecchio e Casteldebole.

Figura 5.12: stralcio di C.T.R in scala 1: 5.000 per la proposta 3.1.

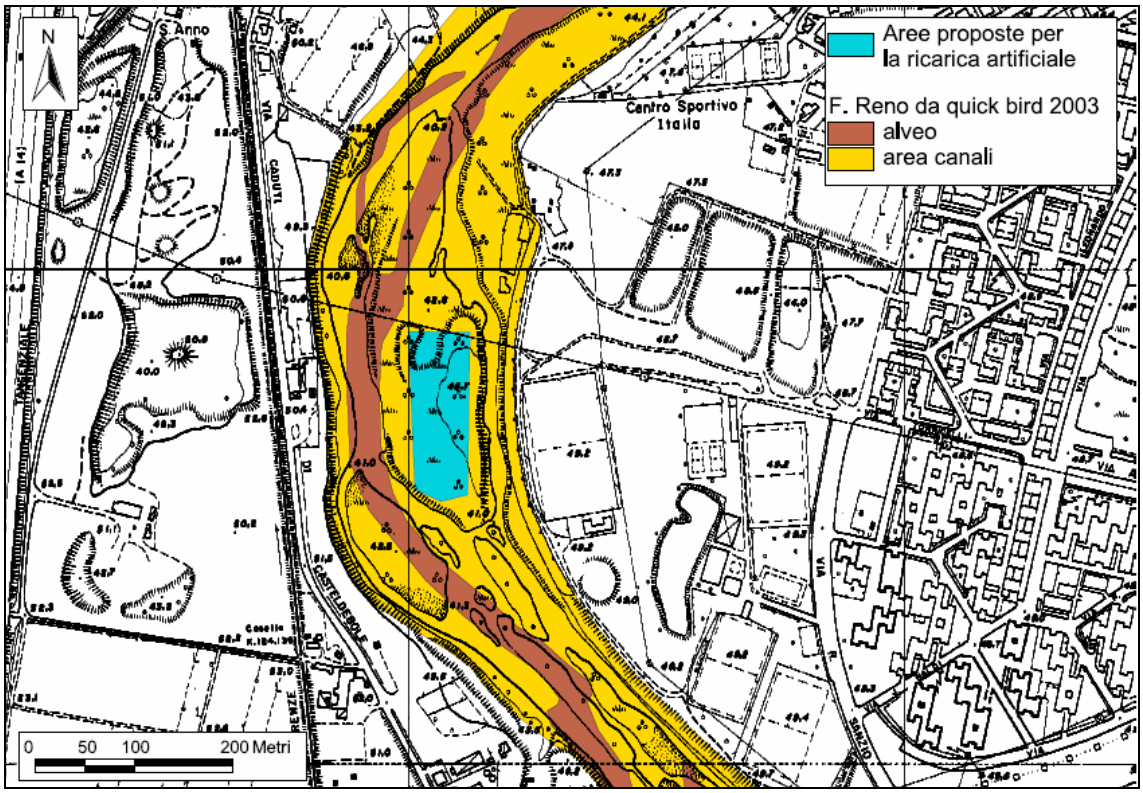
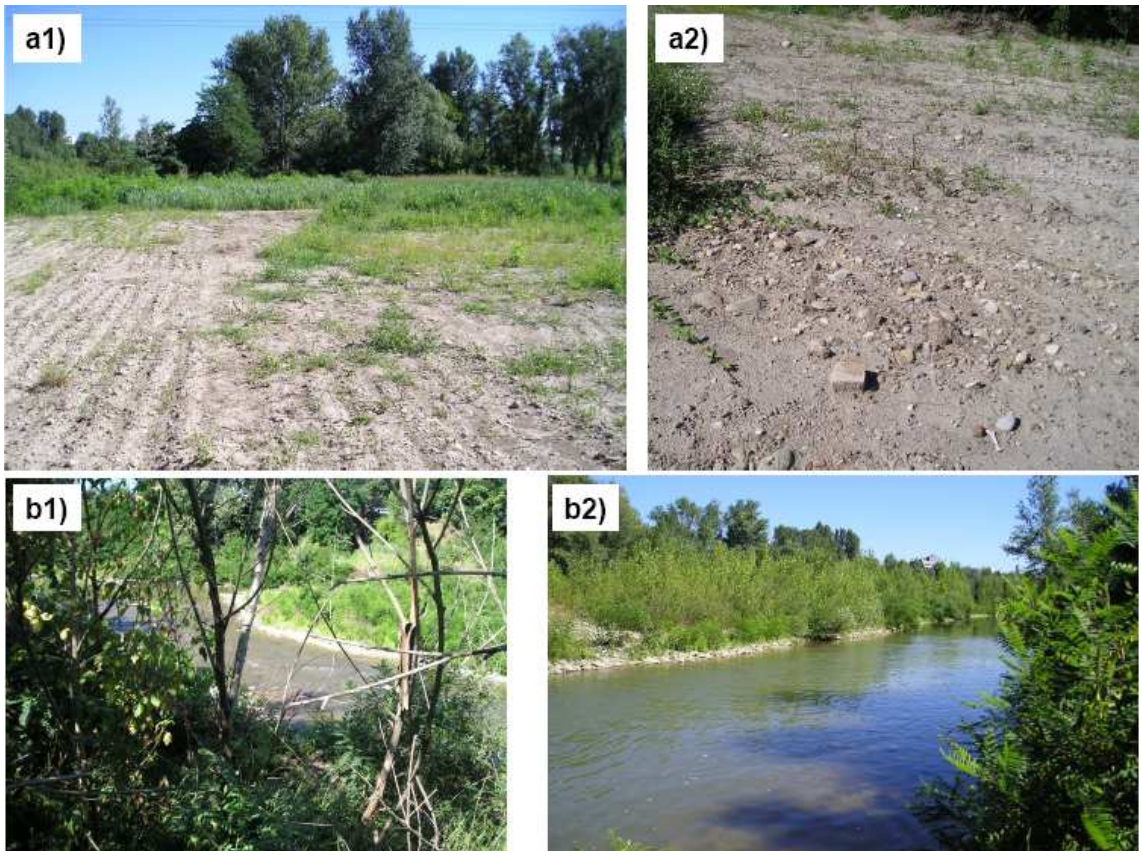


Figura 5.13: foto scattate da Arpa-IA in un sopraluogo effettuato nel luglio 2007 relative alla proposta 3.1: a1) porzione dell'area golenale vista verso Nord; a2) particolare della superficie del terreno; b1) tratto dell'adiacente F. Reno visto verso Sud; b2) tratto dell'adiacente F. Reno visto verso Nord.



Ciò trova riscontro nella sezione geologica L9 (Figura 5.2). Infatti in tale sezione geologica, la cui traccia è ubicata circa 500 m a Est della zona in esame, si osserva che in corrispondenza dell'area golenale il sottosuolo è costituito dal massimo spessore delle cosiddette ghiaie amalgamate, in cui non vi è distinzione fra i diversi acquiferi e si trova un unico acquifero monostrato di tipo freatico.
Nella porzione di conoide in esame, la falda presenta una situazione di criticità. Infatti dalle misure piezometriche effettuate sui piezometri TAV e nel campo pozzi Tiro a Segno, si riscontra una falda sensibilmente depressa, ovvero uno spessore di insaturo consistente pari a circa 58 m.

5.2.3.1 Variante operativa della proposta 3: intervento diretto sull'alveo del Fiume

Nel corso della riunione del gruppo di lavoro relativo alla zona di studio per la ricarica artificiale della conoide del Fiume Reno, a seguito dell'analisi dei dati disponibili circa l'effettiva potenzialità di ricarica del Fiume Reno nei confronti degli acquiferi sottostanti che conferma l'ipotesi di alimentazione decisamente scarsa, è stata introdotta una nuova ipotesi per lo studio che riguarda la possibilità di risistemazione dell'alveo fluviale (in un tratto in zona di alimentazione) al fine di ripristinare la naturale capacità di alimentazione del fiume. Per questa ipotesi di risistemazione dell'alveo è stato raccolto un interesse particolare tale da iniziare a verificare i termini di fattibilità da parte dell'Autorità di Bacino e dal Servizio Tecnico di Bacino per una possibile sperimentazione da avviare successivamente.
Tale nuova ipotesi è da collocarsi nella zona ottimale dal punto di vista delle possibili interconnessioni falda-fiume, e quindi nella zona già individuata per la proposta 3 (Croce di Casalecchio). A questa può quindi essere assimilata sia per quel che riguarda le valutazioni quantitative sulle possibilità di ricarica, sia per i possibili effetti indotti sulla dinamica complessiva del flusso dell'intera conoide del Reno.
Si è invece ritenuto opportuno di integrare lo studio con alcune analisi chimiche sui sedimenti del Fiume che si andrebbero in tal modo a movimentare in modo da poter poi procedere alla sperimentazione con le dovute cautele del caso. Tale attività sperimentale di campionamento è descritta nel successivo paragrafo 5.5.

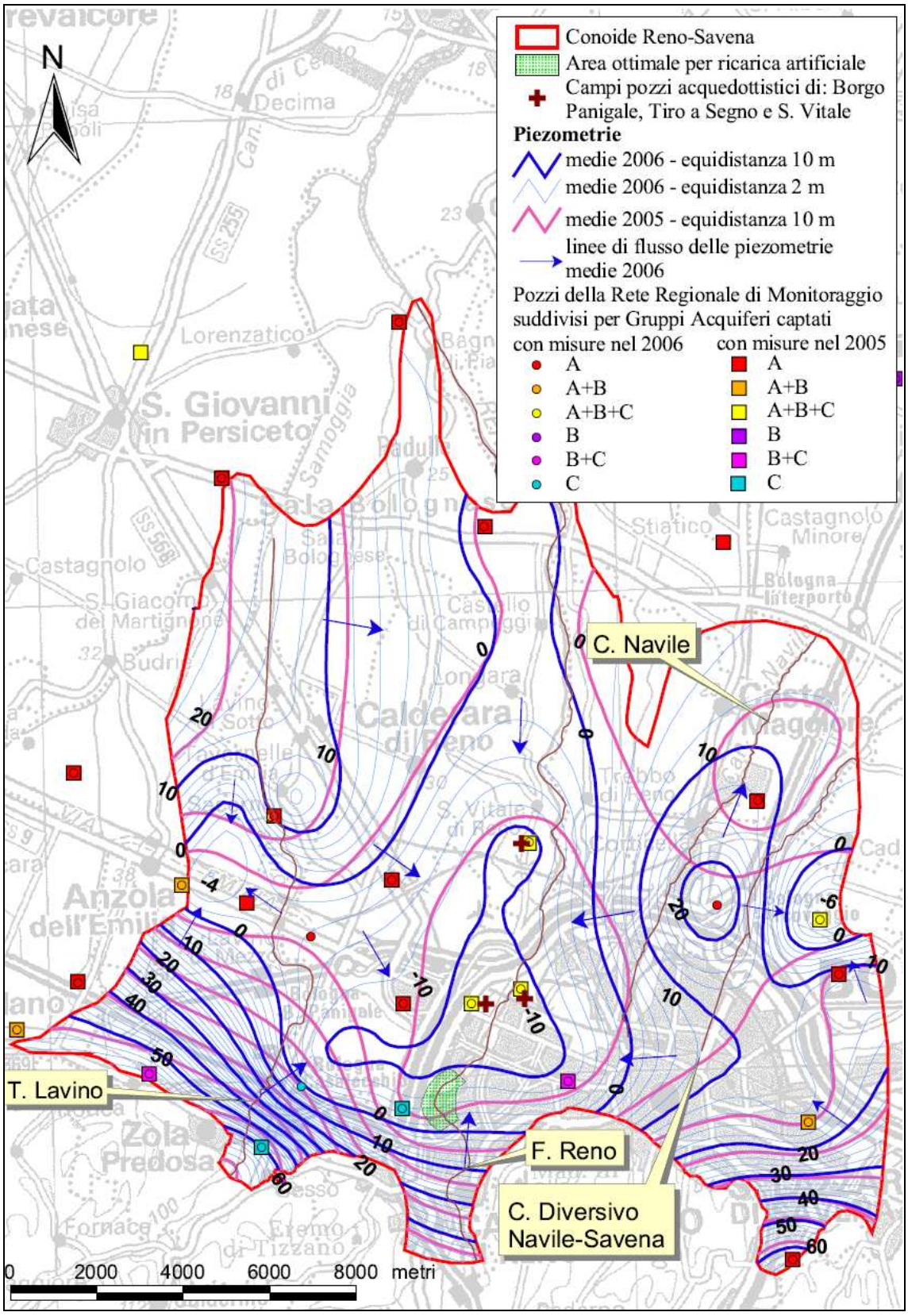
5.3 PRINCIPALI ELEMENTI DI CARATTERIZZAZIONE QUALI QUANTITATIVA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

5.3.1 Aspetti quantitativi

La carta di Figura 5.14 rappresenta un'elaborazione delle piezometrie medie della conoide del Reno-Savena per i due anni 2005 e 2006. La carta è stata ottenuta attraverso l'interpolazione (o kriging) dei dati rilevati dalla Rete Regionale di Monitoraggio delle Acque sotterranee su tutti i punti di misura disponibili, suddivisi nella carta per Gruppi Acquiferi captati (A, B e C) e per anno di disponibilità di misure (2005 o 2006). Si precisa che le isopiezometriche così ottenute descrivono una realtà media dell'intero sistema acquifero e che in termini rigorosi, ma non possibili per l'intera conoide con i dati disponibili, avrebbe dovuto essere dettagliata maggiormente nella terza dimensione, tenendo separati i punti di monitoraggio che da un punto di vista fisico rappresentano (pozzi multifiltro) complessi e/o gruppi acquiferi diversi, o più d'uno di questi. L'elaborazione condotta opportunamente integrata con le conoscenze di tipo idrogeologico ed idrostratigrafico della conoide permette comunque di condurre una analisi di caratterizzazione quantitativa come di seguito descritto.
Nella carta sono riportate le isopieze medie relative al 2006, con equidistanze sia di 10 m, sia di 2 m, e per confronto anche le isopieze medie riferite al 2005 con equidistanze di 10 m. Da un punto di vista idrogeologico (si veda la sezione geologica L9 di Figura 5.2) la porzione apicale della conoide è caratterizzata da un acquifero freatico di tipo monostrato, che arriva all'incirca poco più a monte della SS. 9 Via Emilia. I pozzi ubicati in questa porzione della conoide, anche se con filtri attribuiti a gruppi acquiferi diversi, captano quindi acque appartenenti alla

medesima falda freatica, per cui le interpolazioni fra i dati disponibili assumono un significato fisicamente corretto.
A valle della Via Emilia, spostandosi verso le porzioni centrale e distale della conoide si assiste alla progressiva compartimentazione degli acquiferi, che acquistano via via caratteristiche di semiconfinamento e confinamento. In queste due porzioni della conoide l'interpolazione dei dati piezometrici attribuibili a diversi gruppi e complessi acquiferi o a più di uno di questi comporta quindi la perdita almeno parziale della realtà fisica, anche se è vero che acquiferi effettivamente confinati, ovvero che non interferiscono in alcun modo con gli altri, non sono sempre esistenti.
Ciò che risulta più evidente dai *kriging* delle due piezometrie relative al 2005 e al 2006 è una significativa depressione piezometrica nella porzione centrale della conoide.
Tale depressione appare più marcata nel 2005 con valori pari a -10 m s.l.m. nella zona compresa fra: l'area ottimale per la ricarica artificiale (a Sud), S. Vitale di Reno (a Nord), Borgo Panigale (a Ovest) e la zona della Beverara (a Est).
La depressione diventa più contenuta nel 2006 e si può vedere che la zona con valori piezometrici pari a -10 m s.l.m. si restringe soprattutto nella porzione orientale anche di circa 2 km. Nella carta si osserva che la depressione piezometrica appena descritta ricade proprio in corrispondenza dei tre campi pozzi acquedottistici di Bologna (Borgo Panigale, Tiro a Segno e S. Vitale). Come si può ben vedere dalle linee di flusso della falda, i prelievi dei pozzi richiamano acqua da ogni direzione e sono responsabili delle elevate soggiacenze: circa 52-55 m rispetto al piano campagna presso i campi pozzi del Tiro a Segno e di Borgo Panigale e circa 43 m a S. Vitale.
I gradienti piezometrici della zona, dell'ordine di grandezza dello 0.5-1 %, sono decrescenti man mano che ci si avvicina ai campi pozzi provenendo da ogni direzione, eccetto che da Nord, dove si osserva invece un andamento opposto. Tale comportamento è dovuto al fatto che i prelievi d'acqua sono molto consistenti, per cui avvicinandosi ai campi pozzi dal margine pedecollinare, o da Ovest, o da Est, si raggiunge un equilibrio dinamico della falda che risulta caratterizzato da livelli piezometrici che rimangono depressi sui massimi valori non solo nel più immediato intorno dei campi pozzi, ma anche a distanze di 1-2 km, per poi raccordarsi, seguendo gradienti maggiori, ai livelli piezometrici che avrebbe la falda in condizioni di assenza di prelievi. Spostandosi, invece dal bordo settentrionale della conoide verso il campo pozzi di S. Vitale, i gradienti piezometrici via via aumentano, passando da valori molto bassi pari allo 0.03 %, compresi fra Malacappa e Longara, a valori dello 0.3 % compresi fra Longara e S. Vitale di Reno. La porzione apicale della conoide presenta linee di flusso della falda rivolte da monte verso valle con gradienti piezometrici abbastanza regolari con valori dell'ordine di grandezza dell'1-3 %.
Le isopieze della porzione centrale della conoide mostrano alcune differenze fra il 2005 e il 2006, le quali sono però condizionate dai due diversi set dei dati disponibili. Nel 2006, infatti sono stati considerati i dati di tre pozzi in più: il BOF6-00, ubicato presso la località Villa Balzani, 700 m ad Est del T. Lavino, il BOE9-00, ubicato in località La Pioppa, 850 m ad Est del T. Lavino e il BOE5-00, ubicato presso la località Casa Buia, 1300 m a Est del Canale Navile e 600 m a Ovest del Canale Diversivo Navile-Savena. In particolare quest'ultimo pozzo è profondo solo 27 m e il relativo livello piezometrico di 29.2 m s.l.m., elevato rispetto alle zone circostanti, risente sicuramente del sistema dei due Canali Navile e Diversivo Navile-Savena, ovvero la piezometria media del 2006 per questa porzione centro-orientale della conoide è da riferirsi al sistema idrogeologico più superficiale. Alla luce di questo, la isopieza "20 m s.l.m.", che risulta chiusa intorno al pozzo BOE5-00 per mancanza di dati numerosi nel *kriging*, dovrebbe invece raccordarsi alla isopieza "20 m s.l.m." posta più a monte, divenendo quindi soltanto una.

Figura 5.14: carta delle piezometrie medie relative agli anni 2005 e 2006 per la conoide del Reno-Savena



La isopieze del 2005 relative alla porzione centro orientale della conoide sopra descritta mostrano, invece la situazione idrogeologica più profonda, in cui si osservano gli effetti dei prelievi dei campi pozzi acquedottistici che richiamando acqua da Ovest generando una depressione piezometrica anche nella zona in esame con valori piezometrici fra -10 e 0 m s.l.m..

Nella porzione apicale occidentale della conoide, in corrispondenza del pozzo BOF6-00, le isopieze del 2006, a differenza di quelle del 2005, appaiono convesse verso valle, poiché influenzate dal valore del livello piezometrico di 7.54 m s.l.m. dello stesso pozzo.
Spostandosi più verso valle nella porzione centro occidentale della conoide, si può notare un leggero alto piezometrico (circa -2 m s.l.m.) in corrispondenza di Lavino di Mezzo, probabilmente per l'effetto disperdente del T. Lavino.

5.3.2 Aspetti qualitativi: analisi dei composti organo alogenati

Le analisi chimiche effettuate da una a due volte all'anno sui campioni delle acque sotterranee prelevati dai pozzi della Rete Regionale di Monitoraggio delle Acque Sotterranee mostrano la presenza di composti organoalogenati in alcuni pozzi nelle conoidi del Reno e del Savena.
In particolare i valori delle concentrazioni maggiori di composti organoalogenati totali si riscontrano: per la porzione della conoide del Reno, in corrispondenza dei pozzi acquedottistici del Tiro a Segno BO30-00 e BO30-01, mentre per la porzione della conoide del Savena nel pozzo BO50-00 (Figura 5.15).
Considerando che il limite massimo di concentrazione di organoalogenati totali ammesso per le acque sotterranee dal D.lgs 152/06 (allegato 1, tab. 21 "parametri addizionali") è pari a 10 μg/L, il pozzo più critico è sicuramente il BO30-00.
Per tale pozzo sono disponibili misure comprese fra il 1987 e il 2003 e le concentrazioni misurate di organoalogenati totali variano da un minimo di 0 μg/L ad un massimo di 86.6 μg/L, con media pari a 39.5 μg/L. L'andamento riscontrabile nel grafico di Figura 5.16 appare spiccatamente sinusoidale con tendenza al miglioramento a partire dal 1996, con valori che passano dai 37.8 μg/L ai 18.6 μg/L del 2003.
Per il pozzo BO30-01 sono disponibili misure per il quinquennio 2002-2006 e le concentrazioni misurate di organoalogenati totali variano da un minimo di 8 μg/L ad un massimo di 35.5 μg/L, con media pari a 24.2 μg/L. Il trend complessivo mostra nei cinque anni una tendenza al miglioramento, anche se da dicembre 2005 a novembre 2006 si assiste a un peggioramento con valori che passano da 8 μg/L a 18.3 μg/L (Figura 5.17).
Anche il pozzo BO50-00, per il quale sono disponibili misure comprese fra il 1987 e il 2006, mostra alcuni superamenti dei limiti di legge consentiti per i composti organoalogenati totali. Le concentrazioni misurate variano infatti da un minimo di 2.3 μg/L ad un massimo di 52.7 μg/L, con media di circa 15 μg/L. L'andamento riscontrabile nel grafico di Figura 5.18 appare abbastanza sinusoidale anche se non regolare nel tempo. Si individuano infatti sostanzialmente tre fasi: dal novembre 1988 al giugno 1992 si assiste ad un incremento delle concentrazioni di organoalogenati totali che passano circa da 3 a 20 μg/L; poi si registra un miglioramento nel periodo successivo fino a luglio 2001 che si presenta abbastanza stabile con valori entro i limiti di legge, variabili fra circa 6 e 9 μg/L; infine nel periodo più recente fra il 2003 e il 2006 si verifica di nuovo un peggioramento con valori compresi circa fra 17 e 53 μg/L.
Per completezza si riportano anche i grafici dei trend disponibili delle concentrazioni di organoalogenati per i pozzi BO20-01 e BO96-00, anche se l'entità dei valori misurati è sicuramente più contenuta (Figura 5.19, Figura 5.20).
Per il pozzo BO20-01 le concentrazioni misurate di organoalogenati totali fra il 1988 e il 2006 variano da un minimo di 1.5 μg/L ad un massimo di 6.2 μg/L, con media pari a 3.3 μg/L. L'andamento riscontrabile nel grafico di Figura 5.19 è abbastanza sinusoidale nel complesso in miglioramento.
Per il pozzo BO96-00 le concentrazioni misurate di organoalogenati totali sono disponibili solo dal 1988 e il 1996 e variano da un minimo di 0 μg/L ad un massimo di 11.6 μg/L. Eccetto due picchi di circa 11 μg/L registrati nel novembre 1989 e 1990, negli altri anni i valori rimangono contenuti intorno mediamente 1.2 μg/L (Figura 5.20).

Figura 5.15: distribuzione puntuale delle concentrazioni di organoalogenati totali nel pozzo BO30-00 (anni 1987-2003), pozzo BO50-00 (anni 1987-2006) e pozzo BO30-01 (anni 2002-2006).

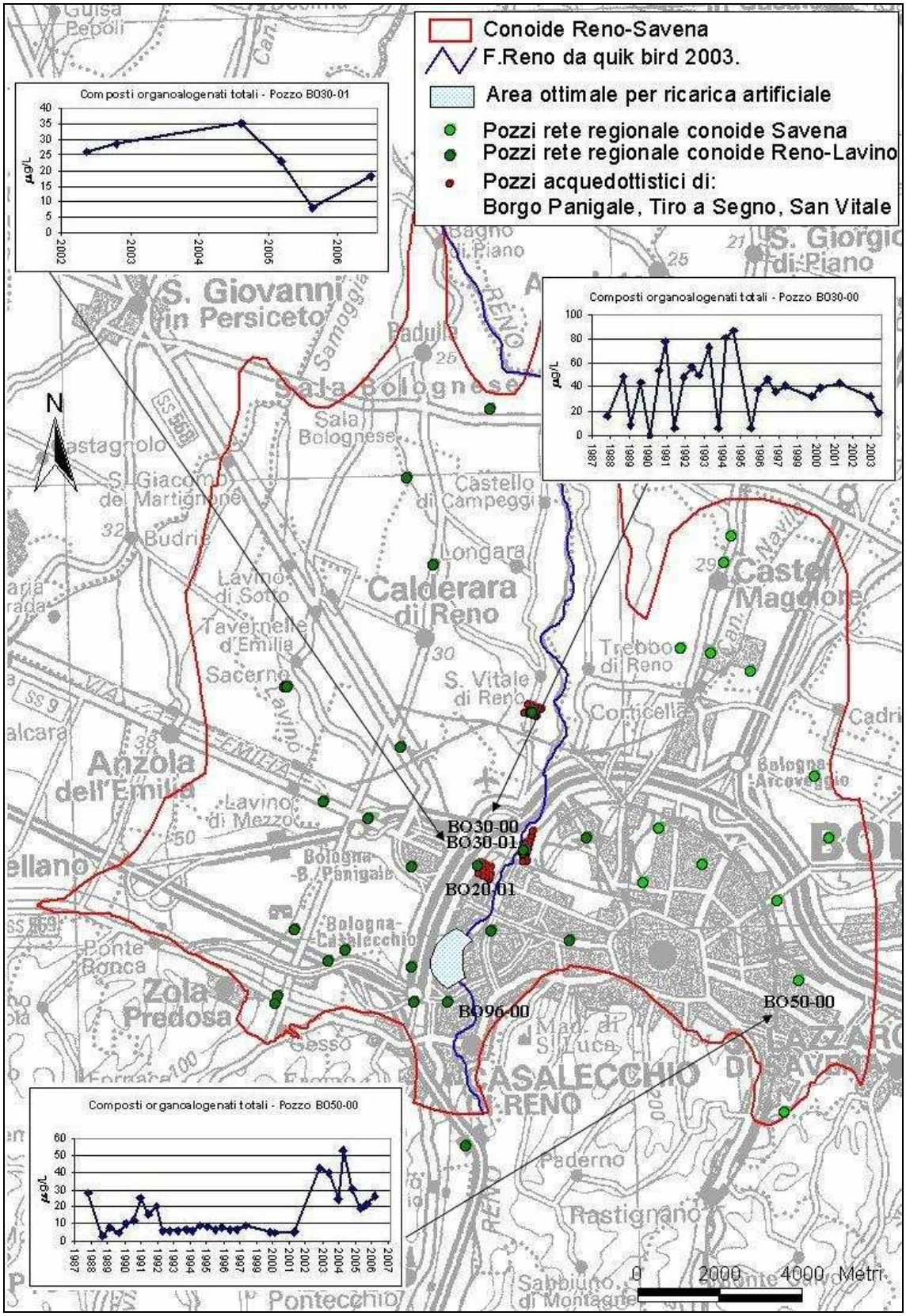


Figura 5.16: distribuzione puntuale dei singoli composti organoalogenati e totali misurati nel pozzo BO30-00 - anni 1987-2003.

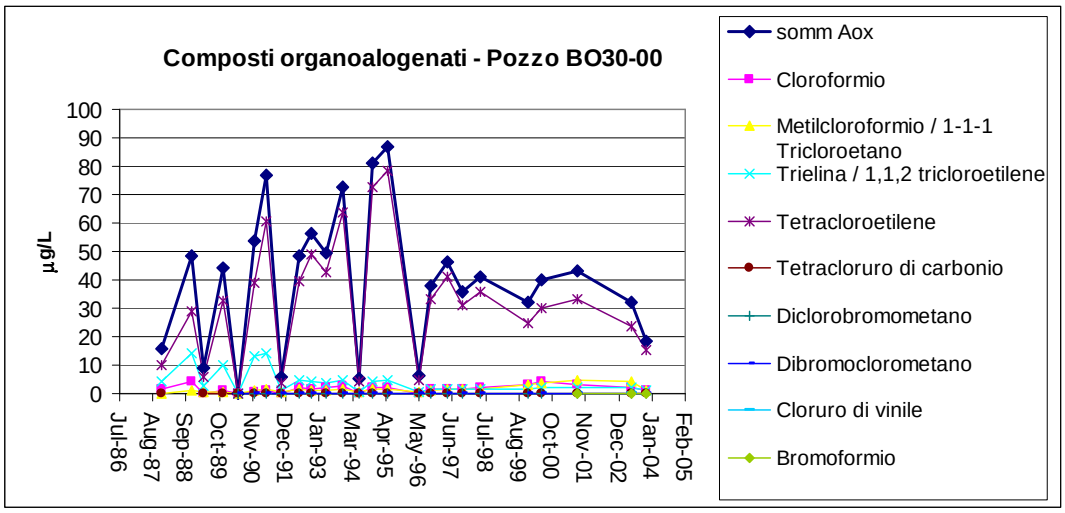


Figura 5.17: distribuzione puntuale dei singoli composti organoalogenati e totali misurati nel pozzo BO30-01- anni 2002-2006.

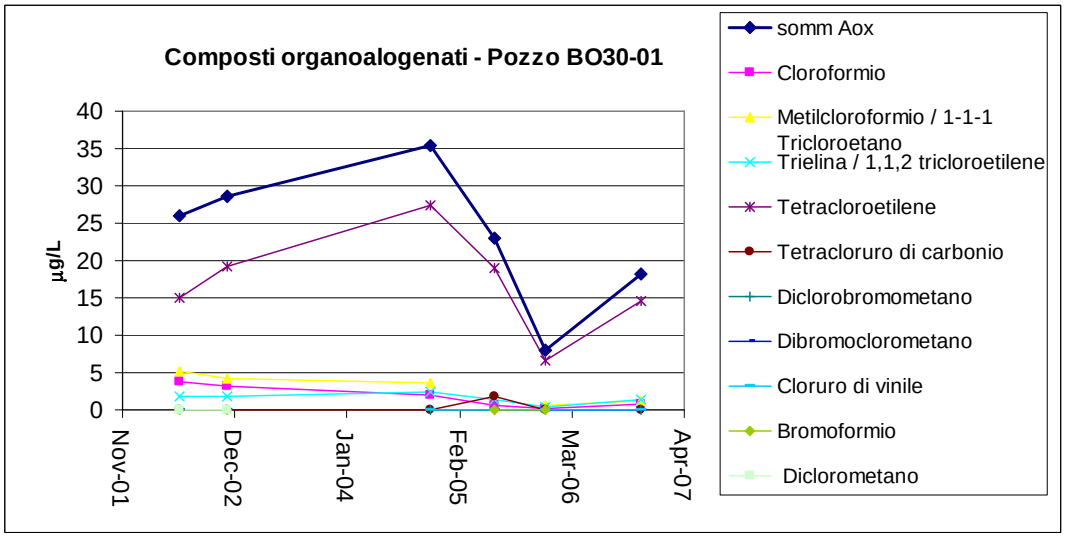


Figura 5.18: distribuzione puntuale dei singoli composti organoalogenati e totali misurati nel pozzo BO50-00 - anni 1987-2006.

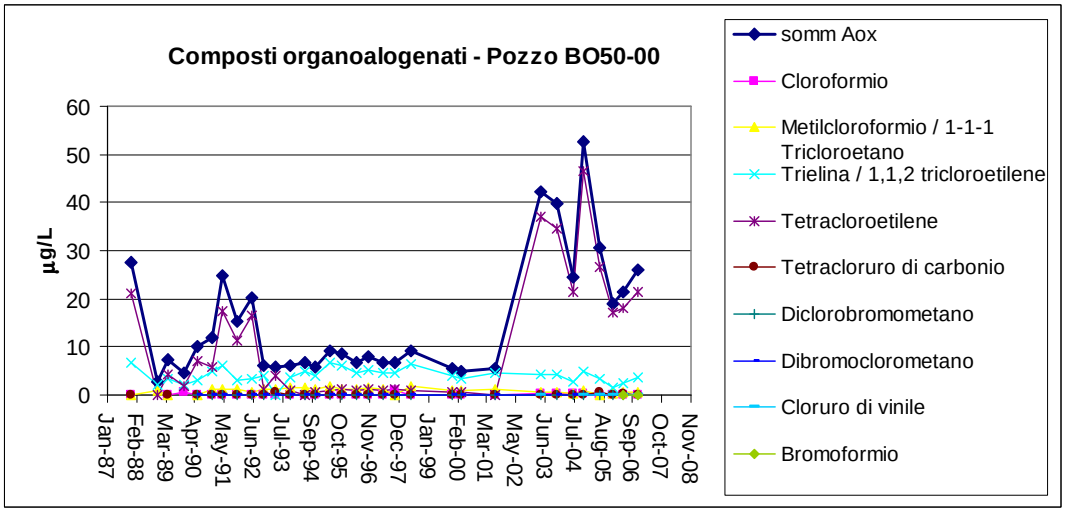


Figura 5.19: distribuzione puntuale dei singoli composti organoalogenati e totali misurati nel pozzo BO20-01 - anni 1988-2006.

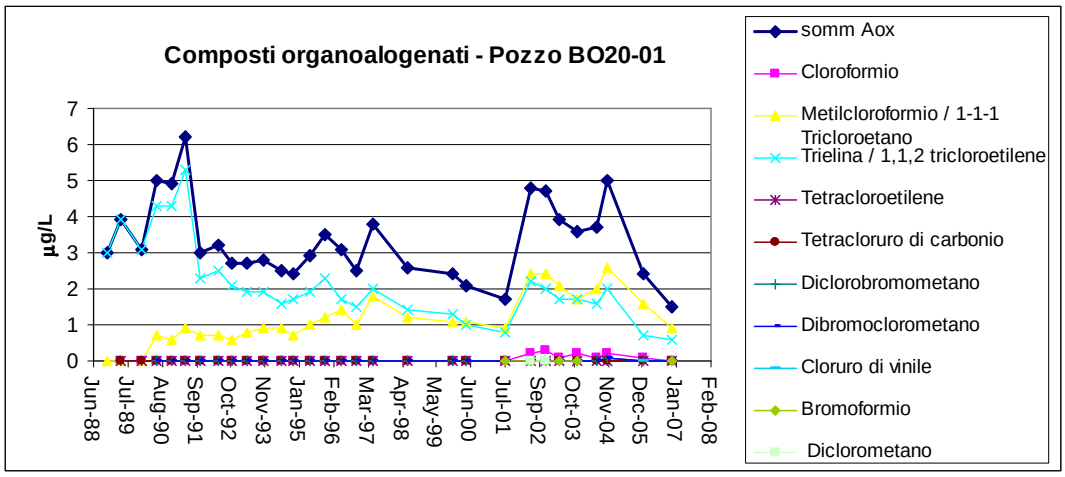
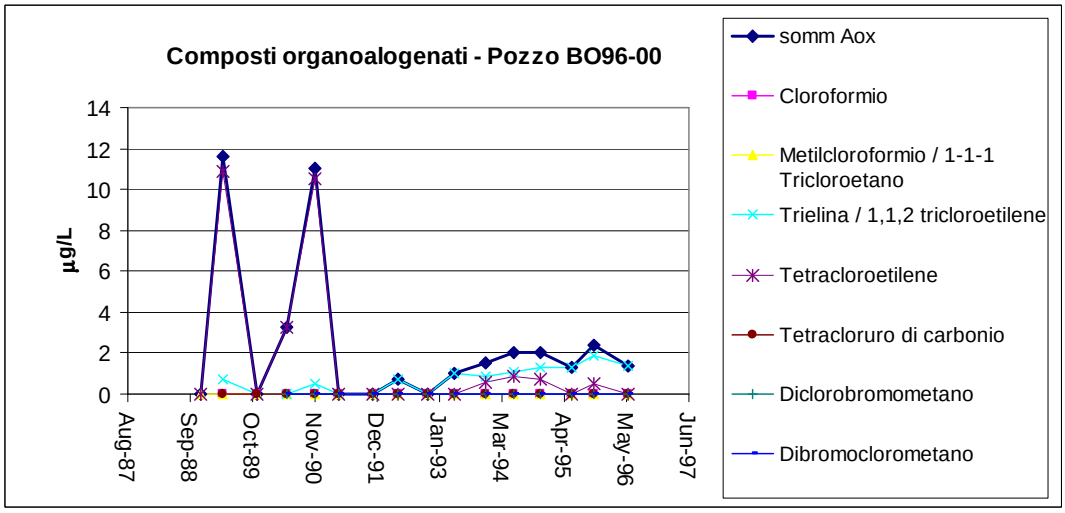


Figura 5.20: distribuzione puntuale dei singoli composti organoalogenati e totali misurati nel pozzo BO96-00 - anni 1988-1996.

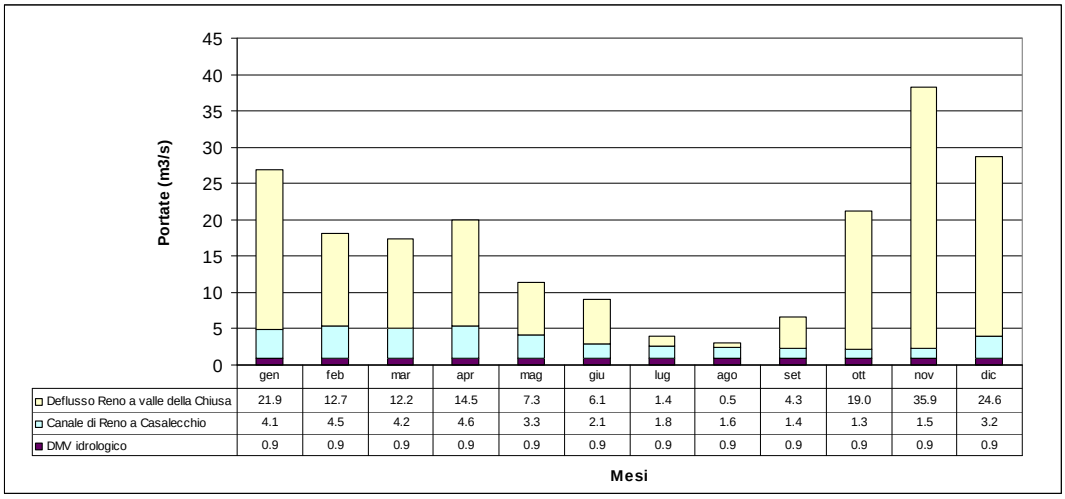


5.4 PRINCIPALI ELEMENTI DI CARATTERIZZAZIONE QUALI QUANTITATIVA DELLE ACQUE SUPERFICIALI

5.4.1 Aspetti quantitativi

La Figura 5.21 mostra l'andamento medio mensile delle portate fluenti in alveo alla Chiusa di Casalecchio (dati Piano di Tutela delle Acque [17], ricostruzioni afflussi-deflussi per il periodo 1991-2001) evidenziando la quota parte disponibile a valle della Chiusa ad essere utilizzata per un possibile intervento di ricarica artificiale. Tale portata deriva dalla portata fluente in alveo al netto delle portate di derivazione del Canale di Reno (annali idrologici parte seconda anni 2000-2006) e di Deflusso Minimo Vitale idrologico. L'analisi mostra il periodo da ottobre a maggio come quello in cui mediamente risulta disponibile un quantitativo di acqua utilizzabile per un possibile intervento di ricarica artificiale della falda.

Figura 5.21: portate fluenti in alveo alla Chiusa di Casalecchio



	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Deflusso Reno a valle della Chiusa	21.9	12.7	12.2	14.5	7.3	6.1	1.4	0.5	4.3	19.0	35.9	24.6
Canale di Reno a Casalecchio	4.1	4.5	4.2	4.6	3.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.3	1.5	3.2
DMV idrologico	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

5.4.2 Aspetti qualitativi

Il punto di controllo delle acque superficiali appartenente alla Rete Ambientale delle acque superficiali della Regione Emilia-Romagna, più rappresentativa per la Conoide del Reno-Savena, è la stazione di misura “06002100”denominata “Casalecchio chiusura bacino montano” di tipo AS, cioè di rilevanza nazionale essendo localizzata in un corpo idrico superficiale significativo. Essa si trova, in corrispondenza dell’apice della conoide (Figura 5.22.).
Di seguito, nella Tabella 5.1 si riportano i risultati della classificazione, ai sensi del D.Lgs. 152/99, per il periodo dal 2000 al 2006 nella stazione di misura “06002100” di: LIM (Livello di Inquinamento dei Macrodescrittori), IBE (Indice Biotico Esteso), SECA (stato ecologico) e SACA (stato ambientale), i cui dati sono tratti da [5] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2006. *La qualità dei corsi d’acqua della Regione Emilia-Romagna*. A cura di D. Tonna.), [6] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2004. *La qualità dei corsi d’acqua della Regione Emilia-Romagna – Biennio 2001-2002 anno 2003*. A cura di A. Fava, S. Franceschini.), [7] (Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2003. *La qualità dei corsi d’acqua della Regione Emilia-Romagna – Report 2000-2002*. A cura di R. Spaggiari, S. Franceschini, M.E. Manzini.) e dal loro aggiornamento per i dati 2006 e da [10] (Arpa Emilia-Romagna - *Annuario regionale dei dati ambientali edizione 2006).*
Nel corso del periodo di osservazione compreso fra il 2000 e il 2006, il LIM della stazione migliora dal 2002 passando dal livello 3 (colore giallo) del 2000-2001 al livello 2 (colore verde); nei restanti anni fino al 2006 rimane pressoché stazionario su valori corrispondenti al livello 2.
IBE e SECA mostrano andamenti abbastanza stazionari e ricadono nell’ambito della classe 3.
Il SACA presenta uno stato di sufficienza.

Figura 5.22 Ubicazione della stazione di misura “06002100” all’interno della conoide del Reno-Savena.

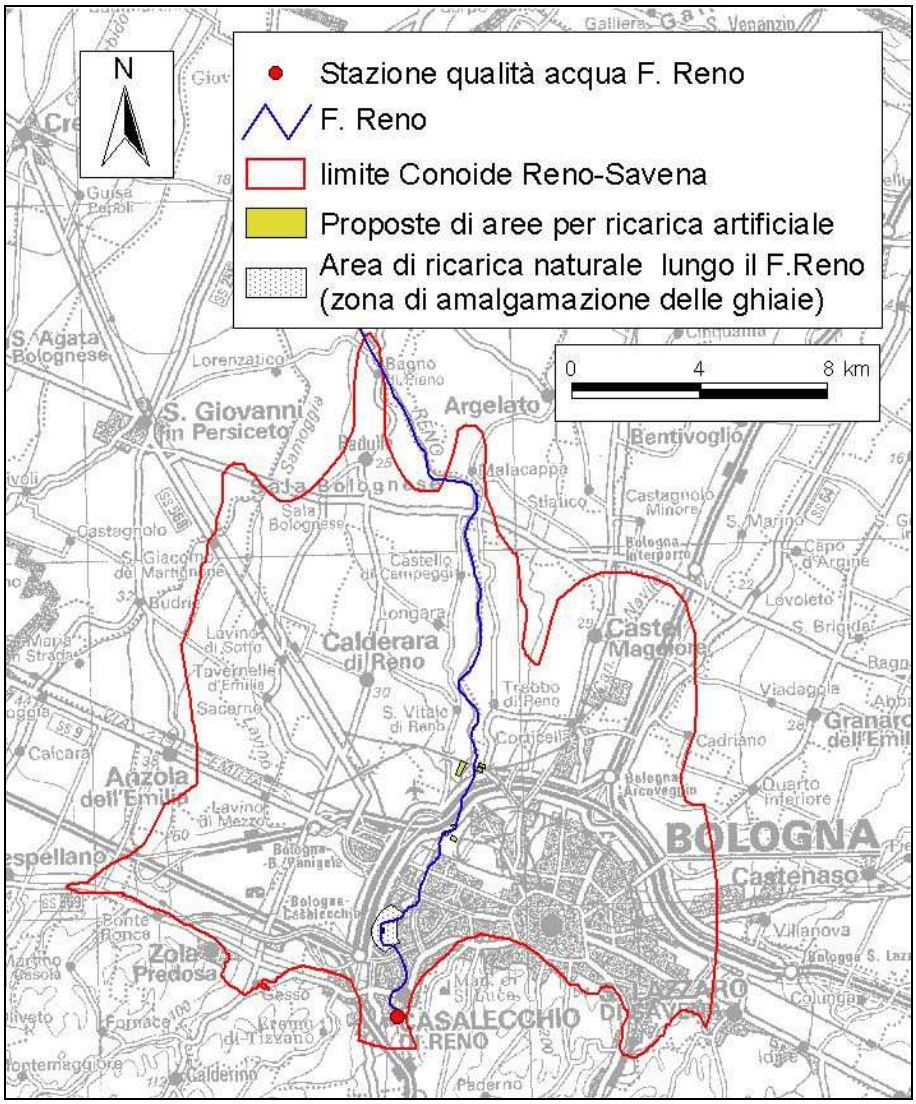
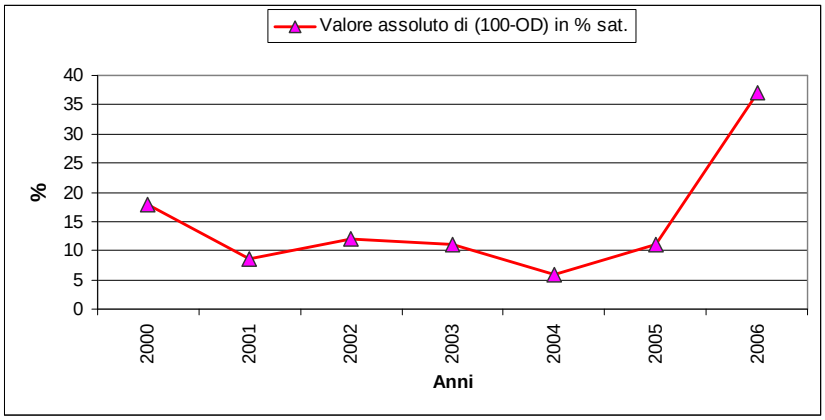


Tabella 5.1 Classificazione di L.I.M., I.B.E., S.E.C.A. e S.A.C.A., per il periodo dal 2000 al 2006 presso la stazione di misura “06002100”. Note: i colori di riempimento delle celle indicano il livello o la classe (verde = 2; giallo = 3).

Corpo idrico	Indicatore/ Indici	Anno 2000	Anno 2001	Anno 2002	Anno 2003	Anno 2004	Anno 2005	Anno 2006
F. Reno	L.I.M.	210	210	260	250	270	260	250
	I.B.E.	6	6-7	7-6	7	7	7-6	7-6
	S.E.C.A.	Classe3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3	Classe 3
	S.A.C.A.	sufficiente	sufficiente	sufficiente	sufficiente	sufficiente	sufficiente	sufficiente

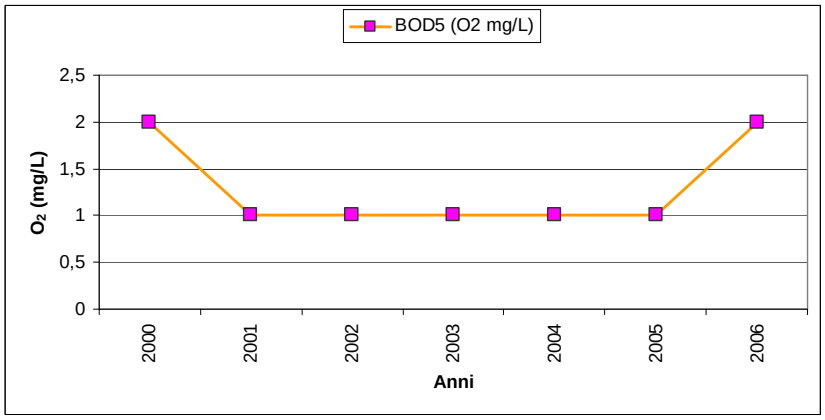
Di seguito viene analizzato il trend delle mediane dei valori di concentrazione dei parametri macrodescrittori (100-OD (%), BOD5, COD, N-NH4, N-NO3, P tot, Escherichia Coli), nel periodo 2000-2006, che servono per determinare: L.I.M., S.E.C.A. e S.A.C.A..
Il “valore assoluto di “100-OD%” rappresenta la differenza in valore assoluto fra 100 e la percentuale di saturazione dell’ossigeno disciolto. Tale parametro mostra dal 2000 al 2005 un trend leggermente sinusoidale con valori compresi fra il 6% e il 18 %, quindi corrispondenti ai livelli 1 e 2. Nel 2006 si registra, invece un brusco peggioramento con un valore del 37%, a cui è associato il livello 4 (Figura 5.23).

Figura 5.23 andamenti delle mediane annue dell'ossigeno disciolto (100-OD%) nel periodo 2000-2006 per la stazione di misura "06002100".



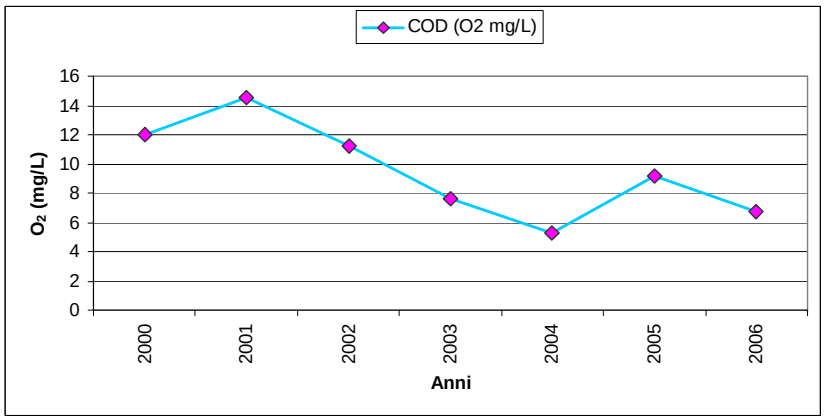
Il BOD_5 presenta valori abbastanza stabili compresi fra 1 e 2 mg/L di O_2, corrispondenti al livello migliore 1 (Figura 5.23).

Figura 5.24 Andamenti delle mediane annue del BOD5 nel periodo 2000-2006 per la stazione di misura "06002100".



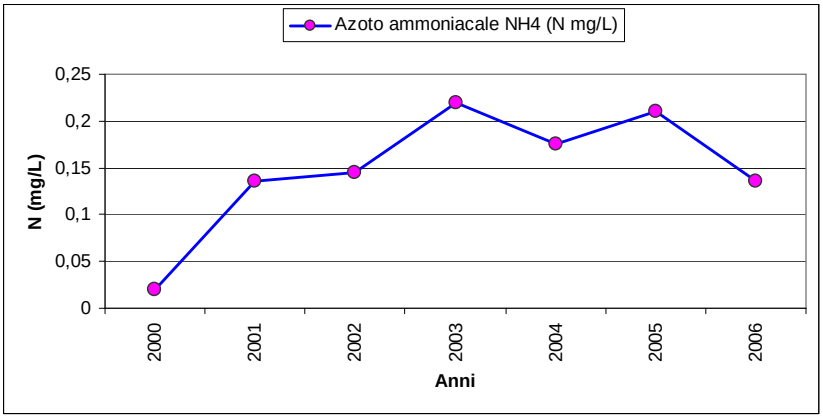
Il COD mostra un trend in miglioramento con valori che nei tre anni 2000-2002 sono compresi fra 11 e 14 mg/L di O_2, corrispondenti al livello 3, poi negli anni successivi 2003-2006 si registrano valori più contenuti compresi circa fra 5 e 9 mg/L di O_2, quindi con passaggio al livello 2. (Figura 5.25).

Figura 5.25 Andamenti delle mediane annue del COD nel periodo 2000-2006 per la stazione di misura "06002100".



L'azoto ammoniacale (N-NH4) presenta nel 2000 un valore di circa 0.02 mg/L, corrispondente al livello migliore 1. Nel periodo compreso fra il 2001 e il 2006 si assiste a un peggioramento fino al livello 3, con valori compresi fra circa 0.13 e 0.22 mg/L (Figura 5.26).

Figura 5.26 Andamenti delle mediane annue dell'azoto ammoniacale (NH4) nel periodo 2000-2006 per la stazione di misura "06002100".



L'azoto nitrico (N-NO3) presenta valori leggermente in aumento dal 2000 al 2005, passando da 0.5 a 1 mg/L, rimanendo però nell'ambito del livello 2; poi nel 2006 si assiste a un netto miglioramento fino a 0.1 mg/L, con passaggio quindi al livello 1 (Figura 5.27).

Figura 5.27 Andamenti delle mediane annue dell'azoto nirico (NO3) nel periodo 2000-2006 per la stazione di misura "06002100".

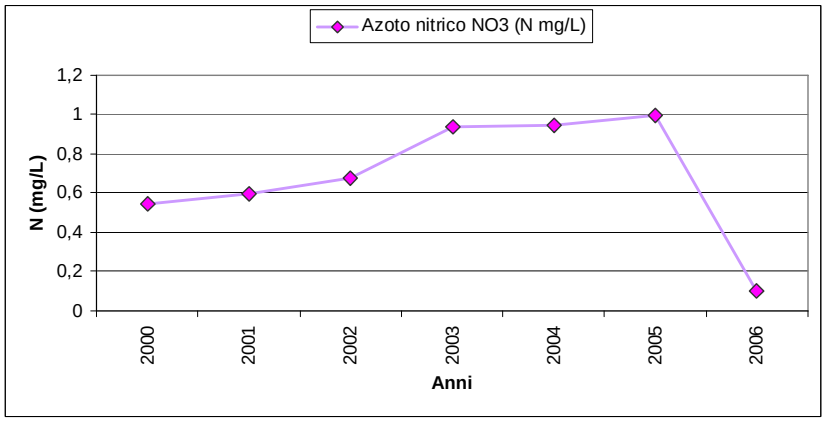
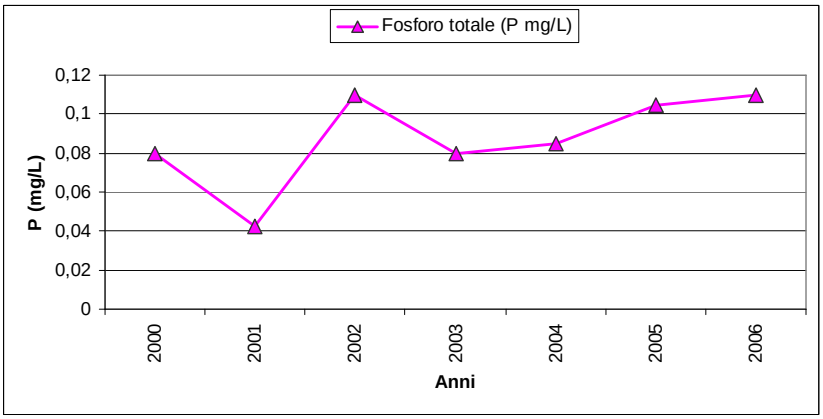
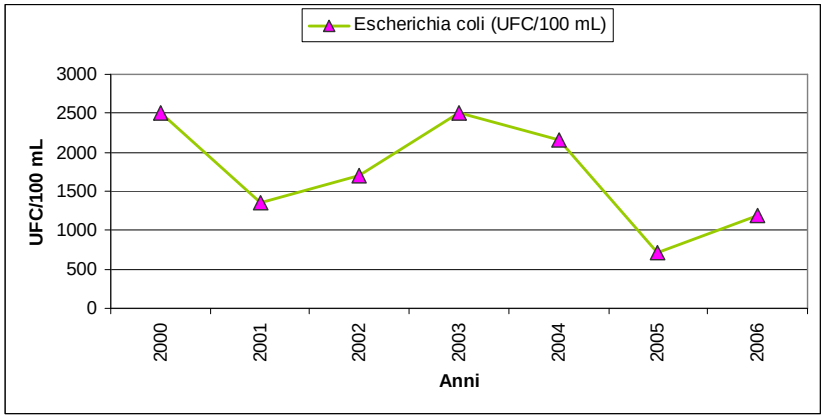


Figura 5.28 Andamenti delle mediane annue del fosforo totale (P) nel periodo 2000-2006 per la stazione di misura "06002100".



Il fosforo totale presenta valori corrispondenti al livello 2 e compresi fra 0.08 e 0.11, ad eccezione del 2001 in cui si registra un valore migliore di 0.04 mg/L, quindi associato al livello 1 (Figura 5.28).
L'E*scherichia coli* mostra un andamento complessivamente in miglioramento nell'ambito del livello 3 con valori che passano da 2500 UFC/100 mL del 2000 a circa 1200 UFC/100 mL nel 2006; nel 2005 si riscontra un valore migliore di circa 700 UFC/100 mL (livello 2) (Figura 5.29).

Figura 5.29 Andamenti delle mediane annue del Escherichia coli nel periodo 2000-2006 per la stazione di misura "06002100".



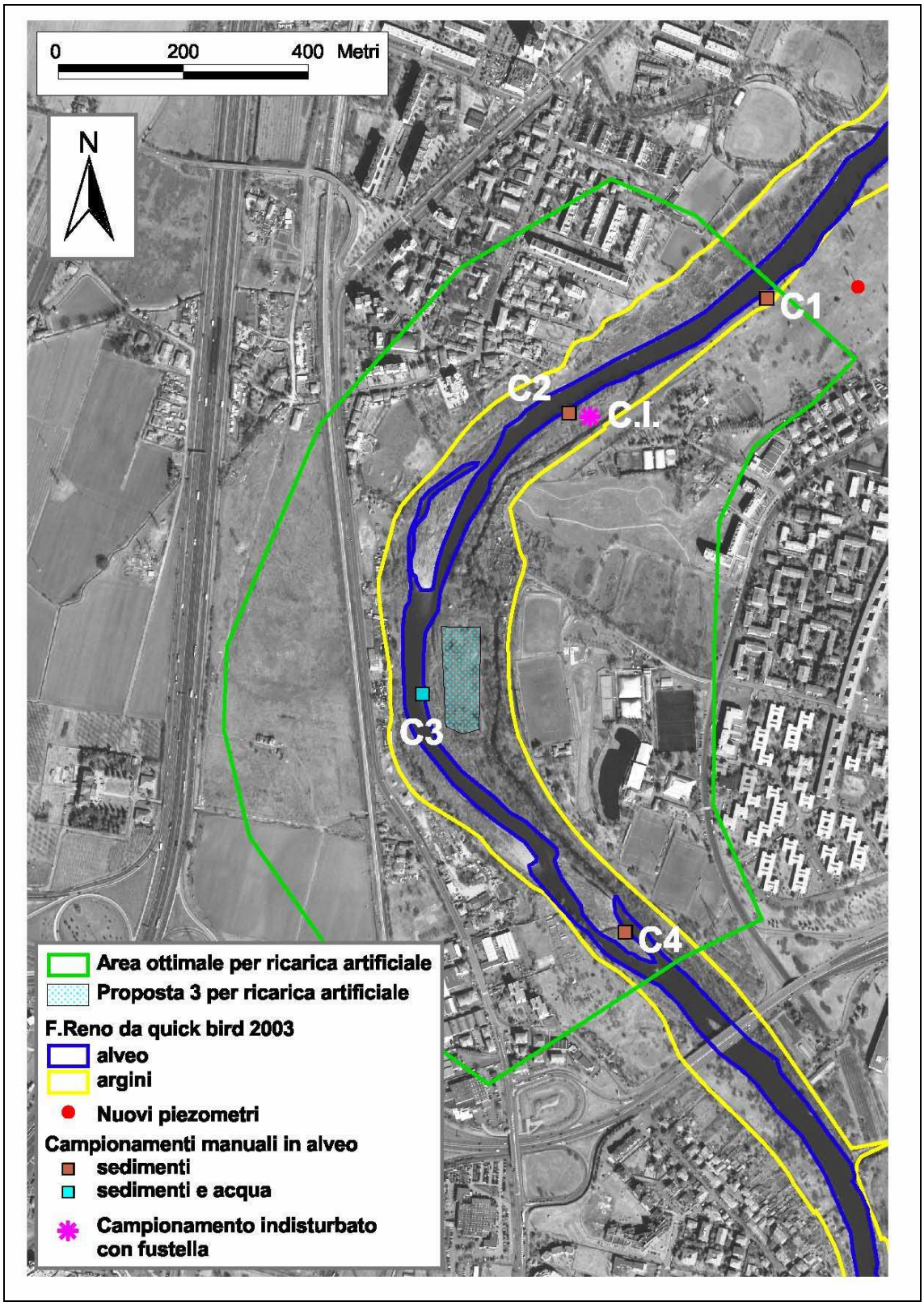
5.5 ATTIVITÀ SPERIMENTALE DI CAMPIONAMENTO

Partendo dalle tre possibili ubicazioni per l'intervento di ricarica artificiale non si è giunti ad una scelta precisa di una di queste, favorendo quindi la valutazione comparata delle diverse proposte che differiscono tra loro per il contesto idrogeologico in cui si collocano.
L'analisi dei dati disponibili circa l'effettiva potenzialità di ricarica del Fiume Reno nei confronti degli acquiferi sottostanti conferma l'ipotesi di alimentazione scarsa, praticamente nulla. E' stata quindi introdotta una nuova ipotesi per lo studio che riguarda la possibilità di risistemazione dell'alveo fluviale (in un tratto in zona di alimentazione) al fine di ripristinare la naturale capacità di alimentazione del fiume.
Pertanto si è pensato di avviare un'attività sperimentale che prevede alcune analisi chimiche (inquinanti inorganici) dei sedimenti del Fiume Reno che si andrebbero a movimentare in alveo, in modo da poter poi procedere con le cautele del caso.
Le indagini sono state effettuate sulla proposta 3 in quanto ubicata in posizione ottimale per la ricarica della falda (Figura 5.30).
La zona oggetto di studio, ubicata nel territorio comunale di Bologna, immediatamente a N del confine con il territorio comunale di Casalecchio di Reno, ricade all'interno della fascia di pianura che si allunga in destra orografica del Fiume Reno tra il cosiddetto "Asse Attrezzato Sud Ovest" a S e il viale P. Togliatti a N.

5.5.1 Area interessata dal campionamento di terreno

La fascia di terreno presa in esame per il campionamento dei sedimenti si sviluppa, come già anticipato, per un tratto di circa 1.200 metri all'interno dell'alveo attivo del Fiume Reno, lungo il piede della scarpata di un ampio terrazzo alluvionale che si estende, in destra orografica, a quote mediamente comprese tra i 49.0 e i 45.0 m s.l.m. Si tratta di un "corpo" sedimentario caratterizzato da una superficie piana, lievemente inclinata verso la pianura e verso l'asta fluviale, che si è potuto individuare morfologicamente con la ripresa di un evento erosivo, cioè con un abbassamento dell'alveo fluviale, a testimonianza del quale resta la scarpata suddetta che, localmente, presenta un'altezza mediamente variabile da 6-7 metri, nella porzione più meridionale, a circa 3-4 metri in quella più settentrionale.

Figura 5.30: ubicazione dei campionamenti dei sedimenti in alveo e del sondaggio geognostico.



Da un punto di vista litologico, i terreni costituenti il terrazzo risultano essere costituiti, come osservabile anche sulle pareti della scarpata, da prevalenti litotipi ghiaiosi e sabbiosi, generalmente poco cerniti, sostenuti da una matrice sabbiosa-pelitica. A tratti e con spessori e geometrie variabili, sia in senso orizzontale che verticale, potrebbero rinvenirsi livelli lenticolari costituiti da sedimenti a tessitura più fine di natura pelitica-argillosa. Superficialmente,

allontanandosi dall'asta fluviale, potrebbero anche essere presenti terreni di copertura costituiti da depositi fluviali più o meno alterati e/o pedogenizzati, di prevalente natura limoso-argillosa e limoso-sabbiosa e, localmente, anche in considerazione della forte antropizzazione del territorio e dell'attività di escavazione condotta in passato, da materiali eterogenei rimaneggiati e/o riportati.
Sulla base di tali evidenze, pur non avendo dati puntuali di riferimento, si può ipotizzare che l'assetto litostratigrafico evidenziato per il corpo del terrazzo possa, nel complesso, ritenersi valido anche per i terreni del primo sottosuolo ricadenti all'interno dell'alveo attivo.

5.5.2 Metodologie di campionamento

Per ricercare l'eventuale presenza di inquinanti inorganici, si è cercato di scegliere, per quanto possibile, zone caratterizzate superficialmente da una più significativa presenza di sedimenti a tessitura fine e medio-fine, a prevalente componente limosa. Pertanto si è proceduto al prelievo di n.4 campioni di terreno rimaneggiato superficiale e di n.1 campione indisturbato tra 0.00 e 0.60 metri di profondità.
In data 6 maggio 2008, in collaborazione con il Servizio Territoriale della Sezione Provinciale ARPA di Bologna, sono stati eseguiti manualmente quattro campionamenti dei sedimenti in alveo in destra idrografica del Fiume Reno (C1, C2, C3 e C4) ed uno di acqua (C3), lungo l'intera zona di ricarica artificiale (Tabella 5.2 e Figura 5.30, Figura 5.31, Figura 5.32, Figura 5.33, Figura 5.34). Negli stessi siti sono stati prelevati altri 4 campioni di terreno rimaneggiati che sono stati sottoposti ad analisi granulometrica completa, mediante setacciatura e sedimentazione (norma CNR-UNI 23 – ASTM D422), condotta presso un laboratorio esterno. Sul campione indisturbato è stata eseguita, oltre all'analisi granulometrica completa, anche una prova di permeabilità a carico variabile (norma ASTM D2434-68).
Il tipo di campionamento adottato è di tipo integrato e consta in una serie di prelievi longitudinali al corso d'acqua, tale da fornire un dato più rappresentativo per la zona di ricarica oggetto di studio.
Importante è ricordare che all'interno dell'area, sono presenti degli scaricatori di rete fognaria.

Tabella 5.2 Localizzazione dei punti di campionamento.

Campione	**Data di prelievo**	**Ubicazione del campionamento dei sedimenti**
C1	6 maggio 2008	Vicino zona dei piezometri della Regione Emilia-Romagna
C2	6 maggio 2008	Barra
C3*	6 maggio 2008	Vicino all'area della proposta 3
C4	6 maggio 2008	Limite a monte della zona di ricarica artificiale
C.I.	19 maggio 2008	Barra

(*) è stato prelevato anche un campione di acqua

I prelievi dei terreni rimaneggiati sono stati eseguiti manualmente con una paletta e raccolti in vasetti, in corrispondenza di barre in evoluzione (C2 e C4) e di piccole anse (C1 e C3), dove, in qualche modo, si sono potuti depositare modesti accumuli di sedimenti fini e medio-fini (da Figura 5.31 a Figura 5.39). Tale operazione è stata resa possibile dal regime di magra in cui si trovava il fiume.

Figura 5.31: ubicazione del campionamento C1.

Figura 5.32: ubicazione del campionamento C2.

Figura 5.33: ubicazione del campionamento C3 (sedimenti e acqua).

Figura 5.34: ubicazione del campionamento C4.

Figura 5.35: prelievo del campione C1.

Figura 5.36: particolare del prelievo C1.

Figura 5.37: prelievo del campione C2.

Figura 5.38: prelievo del campione C3.

Figura 5.39: prelievo del campione C4.

Sono stati prelevati così gli strati più superficiali in quanto sono più attivi dal punto di vista geochimico e biologico. Le analisi di laboratorio per la ricerca di inquinanti inorganici sono state effettuate dal laboratorio della Sezione Provinciale di ARPA Bologna.
I parametri ricercati per ciascun campione di sedimento sono stati:

- CADMIO, CROMO TOTALE, CROMO ESAVALENTE, MERCURIO, NICHEL, PIOMBO, RAME, ZINCO, IPA TOTALI.

I parametri ricercati per il campione di acqua sono stati:

- OSSIGENO DISCIOLTO, FOSFORO TOTALE, AZOTO AMMONIACALE (NH4), AZOTO NITRICO (NO3), NICHEL, CROMO, MERCURIO, PIOMBO.

Il campione di terreno indisturbato, siglato CI-1, è stato prelevato in data 19 maggio 2008 (Tabella 5.2), circa una ventina di metri più a S del punto di prelievo del campione C2, sul margine orientale di una barra in evoluzione, sviluppata in direzione S-N, per circa un centinaio di metri di lunghezza ed una decina di metri di larghezza (Figura 5.30). Il campione è stato prelevato tra 0.00 e 0.60 m, con apposita attrezzatura montata su cingolato Pagani TG63-200kN, utilizzando un campionatore a pareti sottili, tipo “Shelby” (L = 600 mm; Ø = 80 mm), spinto nel terreno a pressione (Figura 5.41).
Un campionamento a maggiori profondità non è stato possibile a causa della presenza di depositi grossolani di natura ghiaiosa e ghiaioso-sabbiosa, così come evidenziato, preliminarmente, da due trivellazioni eseguite con aste elicoidali nello stesso ambito deposizionale. Le due trivellazioni, spinte sino a circa 2.00 metri dal piano campagna, hanno permesso di rilevare puntualmente come, già a 0.60-0.80 metri di profondità, il sottosuolo fosse caratterizzato da depositi a tessitura grossolana di natura ghiaiosa-sabbiosa in scarsa matrice pelitico-sabbiosa; tali terreni, individuati per tutta la profondità investigata, oltre a non essere significativi per gli scopi della ricerca, non sarebbero risultati neanche idonei al campionamento, trovandosi sotto falda e in uno stato di completa incoerenza, privi di qualsiasi forma di cementazione e/o coesione. Per tale motivo, si è proceduto solamente al prelievo di terreno superficiale sopra descritto.

Figura 5.40 Mezzo cingolato Pagani con cui è stato eseguito il campionamento.

Figura 5.41 Prelievo del campione di terreno in fustella tipo Shelby.

5.5.3 Risultati delle analisi

I risultati ottenuti dalle prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati per la composizione granulometrica sono riportati in maniera sintetica nella tabella di seguito riportata (Tabella 5.3).

Tabella 5.3: risultati delle analisi granulometriche

Campione	Denominazione - A.G.I. (*)	Composizione granulometria in % (A.G.I.)				Coefficiente di permeabilità k (cm/sec)
		G	S	L	A	
C1	sabbia con limo	2.03	50.98	44.02	2.98	n.d.
C2	sabbia deb. limosa	1.99	82.55	14.44	1.01	n.d.
C3	sabbia ghiaiosa limosa	16.83	66.59	15.48	1.10	n.d.
C4	limo e sabbia ghiaiosa	22.92	37.62	37.95	1.51	n.d.
CI-1	sabbia limosa	0.96	66.59	29.25	3.20	1.413E-03

G=ghiaia; S=sabbia; L=limo; A=argilla

(*) La convenzione proposta dall'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) consiglia di far precedere dalla preposizione *con*, la denominazione della frazione secondaria se compresa tra il 50% e il 25%, di farla seguire dal prefisso *oso*, se fra il 25% e il 15%, e designare *debolmente oso*, se fra il 15% e il 5%.

Come rilevabile dai dati tabulati i sedimenti campionati risultano essere costituiti da una miscela di prevalenti sabbie e limi con subordinate ghiaie e argille; quest'ultima frazione granulometrica, in particolare, si presenta sempre con percentuali molto basse, comprese tra il 3.2% e l'1.0%. Anche la frazione ghiaiosa è generalmente bassa se si considera che nei campioni C3 e C4 i valori percentuali più alti, rispettivamente 16.8% e 22.9%, sono imputabili, per lo più, alla presenza di pochi ciottoli ma relativamente pesanti. Tra le due frazioni più rappresentate si rileva una certa predominanza della componente sabbiosa che, ad esclusione del campione C4, presenta percentuali sempre superiori al 50%.
La caratterizzazione granulometrica prevalente condiziona il grado di permeabilità dei sedimenti. In tal senso, nell'unico campione testato (CI-1) il valore del coefficiente di permeabilità (k) è risultato pari a $1.413*10^{-3}$ cm/sec; tale valore si accorda pienamente con quelli medi indicati in letteratura, che per le sabbie da fini a molto fini e per i limi risultano mediamente compresi tra 10^{-2} e 10^{-4} cm/sec. Tenendo conto solamente delle risultanze emerse dalle analisi granulometriche condotte, il valore ottenuto, indicante un grado di permeabilità da medio-basso a basso (terreno semi-permeabile), potrebbe essere considerato abbastanza rappresentativo dei sedimenti fini e medio-fini presenti superficialmente. In realtà, l'effettiva rappresentatività del dato acquisito rispetto al reale assetto litologico-tessiturale e, conseguentemente al grado di permeabilità, presente lungo il tratto di alveo oggetto di studio, è da considerare molto più bassa; ciò in relazione al carattere puntuale dei campionamenti ed alla modalità "selettiva" adottata per il prelievo dei terreni.
I certificati relativi alle prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati sono riportati nell'Allegato 3.
Nell'Allegato 4 vengono invece riportati i risultati della analisi chimiche effettuate sui campioni di sedimento (C1-C4) e sul campione di acqua precedentemente descritti. La successiva Tabella 5.4 riporta i valori per i composti rilevati in confronto con i valori delle Tabelle A e B del Decreto 471/1999.

Sui campioni C1 e C3 l'analisi GC/FID ha evidenziato una presenza di Toluene pari a 8.5 e 7.0 mg/kg ss. L'analisi gascromatografica qualitativa con detector massa ha successivamente confermato la presenza di Toluene in tutti e quattro i campioni.

Tabella 5.4: risultati delle analisi sui campioni di sedimento (composti organici)

Parametro	unità di misura	Campione				Tab. A 471/99	Tab. B 471/99
		C1	C2	C3	C4		
piombo	mg/kg ss	10.6	11.0	9.4	12.8	100.0	1000.0
rame	mg/kg ss	18.5	16.8	17.3	19.0	120.0	600.0
cadmio	mg/kg ss	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2	15
nichel	mg/kg ss	28.8	30.2	27.8	30.2	120	500
cromo	mg/kg ss	11.0	11.5	12.0	13.3	150.0	800.0
cromo6	mg/kg ss	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	2.0	15.0
zinco	mg/kg ss	63.0	48.0	51.0	67.8	150.0	1500.0
mercurio	mg/kg ss	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	1.0	5.0
IPA	mg/kg ss	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	10	100
Toluene	mg/kg ss	8.5	tracce	7.0	tracce	0.5	50

5.6 ELEMENTI DI POSSIBILE INTEGRAZIONE CON LO SCHEMA DIRETTORE RENO VIVO

Durante il corso dello lavoro ARPA ha coinvolto i diversi Enti interessati allo studio (Regione Emilia-Romagna Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli e Servizio Tecnico Bacino Reno, Autorità di Bacino del Reno, Provincia di Bologna e Comune di Bologna), con la finalità sia di condividere i principali obiettivi del progetto sia di recepire le eventuali indicazioni o sollecitazioni da parte degli Enti territorialmente competenti. In particolare la Provincia di Bologna ha segnalato che è in corso di definizione, da parte del Centro Italiano di Riqualificazione Fluviale (CIRF), lo "Schema Direttore Fluviale Reno Vivo, Strategia per la riqualificazione fluviale di un tratto del fiume Reno compreso tra l'immissione del Torrente Setta e l'inizio del tratto arginato di pianura".
Lo Schema Direttore si configura come uno strumento di gestione della fascia fluviale del Reno compresa fra l'immissione del T. Setta e l'inizio del tratto arginato di pianura che va ad interessare: l'alveo, le aree golenali e i terrazzi, al fine della riqualificazione del corso d'acqua e del territorio circostante. Tale Schema Direttore dovrà poi essere integrato nei diversi livelli di pianificazione e vuole fornire delle ipotesi di linee di azione definendo le gerarchie delle azioni possibili sui diversi tratti del Reno, in relazione alle diverse caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche, ai diversi aspetti quali-quantitativi tra cui: portate, qualità, DMV, habitat, e alla valutazione economica dei pro e contro.
Al fine di individuare gli eventuali obiettivi comuni e gli elementi di integrazione fra lo Schema Direttore ed il presente studio sulla ricarica artificiale delle falde la Provincia di Bologna ha invitato Arpa IA a partecipare alla 2ª riunione Schema Direttore Progetto "Reno Vivo" che si è tenuta il giorno 05/03/2008.
In tale sede e in quest'ottica Arpa IA ha fornito i seguenti elementi riguardo la possibilità di realizzazione di interventi di ricarica artificiale delle falde sotterranee da poter tenere in considerazione nella redazione e ad integrazione dello Schema Direttore:

- l'area apicale della conoide del Fiume Reno nel tratto fra Casalecchio di Reno e Casteldebole risulta ottimale per effettuare tali tipi di interventi che possono consistere in risistemazioni d'alveo o in bacini in cui immettere acqua. Infatti tale zona è quella di ricarica naturale delle falde, poiché il sottosuolo è costituito dalle cosiddette ghiaie amalgamate a cui corrisponde un acquifero freatico di tipo monostrato;
- si segnala che anche a valle di Casteldebole sono fattibili interventi di ricarica artificiale, anche se da un punto di vista idrogeologico gli acquiferi iniziano a

differenziarsi e perciò gli effetti della ricarica artificiale sono maggiori nell'acquifero più superficiale freatico rispetto agli acquiferi più profondi in pressione.

- si segnala il problema dell'intasamento, da parte dei sedimenti più fini, degli interstizi delle ghiaie del letto fluviale del Reno proprio nel tratto dove il fiume non scorre più sul substrato roccioso, ma sulle ghiaie e dove la conoide inizia ad aprirsi. Questo problema comporta una riduzione della capacità di infiltrazione e quindi della ricarica naturale del fiume verso le falde acquifere. In merito a tale punto eventuali interventi di ricarica artificiale potrebbero quindi anche consistere nella pulizia periodica del letto fluviale al fine di consentire al fiume una rinaturalizzazione della ricarica delle falde acquifere.

5.7 VERIFICA DI FATTIBILITÀ DELLA RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE IN CONOIDE RENO

5.7.1 Valutazione quantitativa delle possibilità di ricarica artificiale lungo il Fiume Reno

5.7.1.1 Organizzazione delle simulazioni

Lo scopo della simulazione è quello di stimare il flusso in ingresso/uscita dalle due interfacce sature corrispondenti al fondo dell'area e al tetto della falda ed dalla interfaccia costituita dai lati nell'ipotesi di un tirante d'acqua significativo all'interno. Il flusso quindi avviene:

a) attraverso il fondo dell'area, e in questo caso è regolato dal grado di saturazione, che è massimo (Sw=1), e in condizioni di gradiente unitario;
b) attraverso i fianchi del bacino, e in questo caso il gradiente varia da condizioni minime di saturazione alla quota che corrisponde alla superficie dell'acqua libera, che nel caso specifico qui corrispondono a circa Sw=0.3), fino al massimo (Sw=1) alla quota del fondo del bacino.

Le condizioni generali adottate per effettuare l'applicazione sono:

a) condizioni di carico idraulico imposto in corrispondenza del fondo dell'area;
b) condizioni di carico idraulico imposto in corrispondenza del layer più basso del modello e quindi al tetto saturo della falda;
c) condizioni di carico idraulico imposto in corrispondenza dei fianchi, con pressione variabile in funzione dell'altezza del tirante d'acqua;
d) condizioni di flusso nullo sulle facce verticali laterali del modello.

Le condizioni a), b) e c) sono in realtà un tramite per imporre indirettamente il grado di saturazione adatto allo scopo del modello: infatti, il fondo viene ipotizzato in condizioni di saturazione massima costante nel tempo ($S_w = 1$), il che consente di porre a base del calcolo la presenza continua del flusso d'acqua. La stessa situazione è applicata all'ultimo layer in basso per vincolare il modello alla presenza del tetto della falda per tutta la durata della simulazione.
In tutti i casi, la condizione di carico imposto non è rigida, ma flessibile (condizione di Cauchy, detta anche del terzo tipo).
Il condizionamento è completato, trattandosi di mezzo non saturo, con la definizione della relazione tra pressione e saturazione mediante la curva standard di Van Genuchten (Figura 4.45)
Le medesime considerazioni sono valide per la condizione iniziale qui adottata (si vedano gli altri casi descritti in questo rapporto per i dettagli).
Altre questioni fondamentali riguardano le variabili di controllo del flusso, che sono state assegnate, in entrambi i casi studiati, coerentemente con i risultati ottenuti con la calibrazione del modello generale del Reno, i quali portano ai seguenti dati di controllo:

- permeabilità verticale: 10^{-5} m/s
- porosità: 0,3
- coefficiente di immagazzinamento: $7*10^{-7}$

5.7.1.2 Proposta 3.1 (area golenale Croce di Casalecchio)

Le simulazioni che seguono sono state effettuate sulla proposta 3.1 (Figura 5.11 e Figura 5.12) che è ubicata in destra idrografica in area golenale, quindi demaniale.
Il dominio di calcolo è stato discretizzato in elementi con lato 14 x 14 m e superficie pari a 196 m^2 (Figura 5.42). Lo spessore è stato invece discretizzato con 6 elementi, ciascuno con altezza pari a 10 metri circa (Figura 5.43 e Figura 5.44).

Figura 5.42: area di lavoro in pianta (in rosso è rappresentata l'area di intervento)

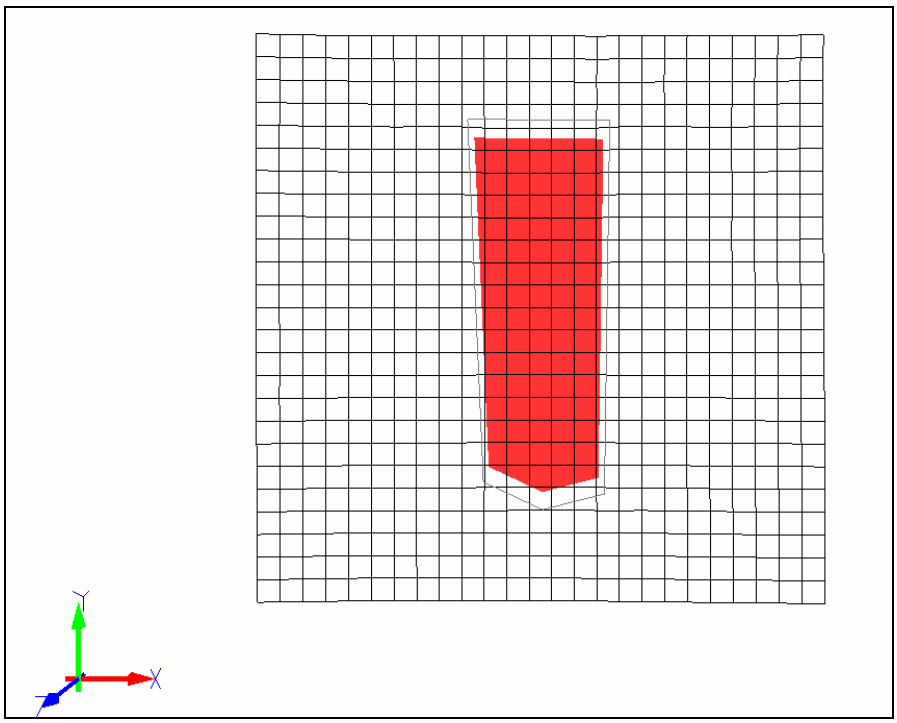


Figura 5.43: morfologia dell'area di lavoro (quote in metri sul livello del mare)

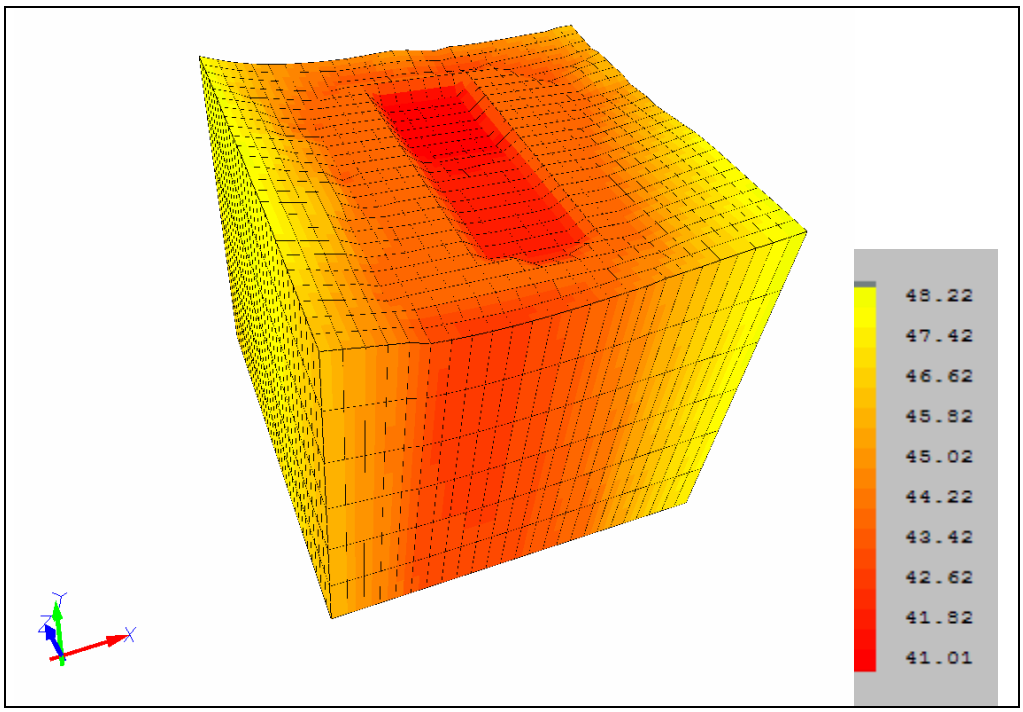


Figura 5.44: vista in sezione della griglia e della morfologia dell'area (quote in m s.l.m.)

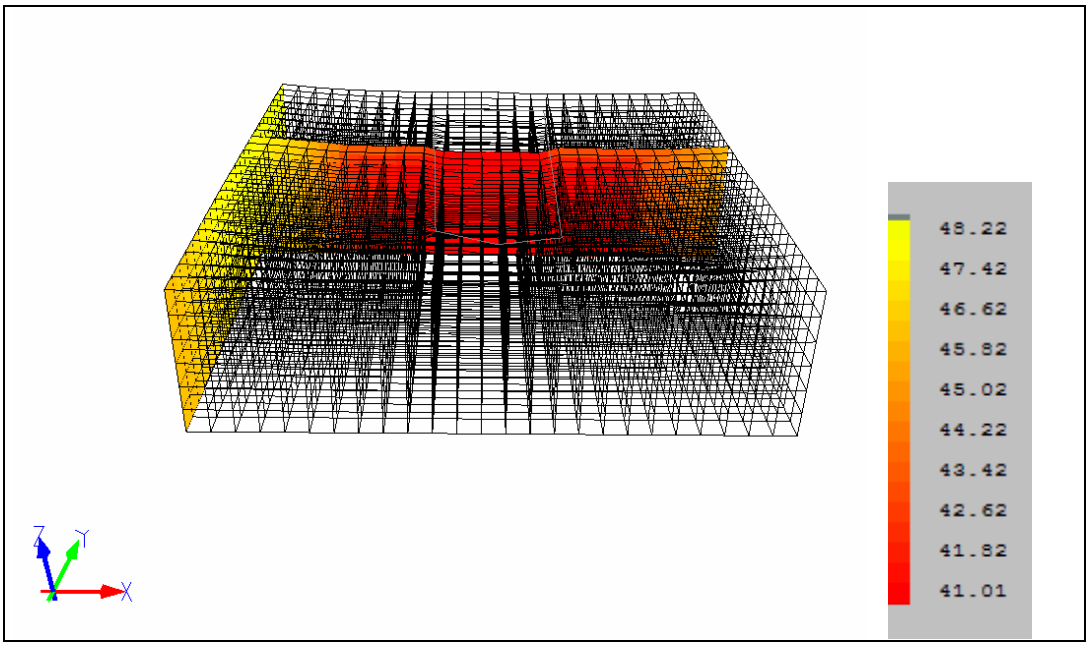
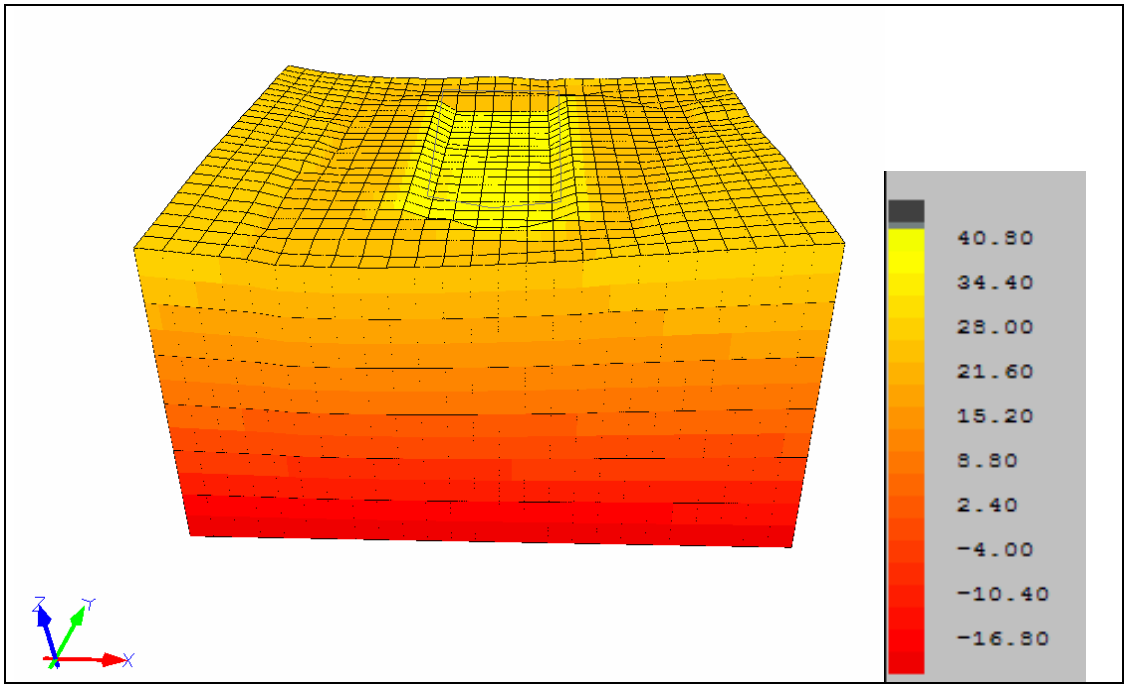


Figura 5.45: carico idraulico iniziale e al bordo (m s.l.m.)



5.7.1.2.1 Condizioni di calcolo e scenari

Le modalità di calcolo qui adottate sono del tipo in regime transitorio con soluzioni di tipo non iterativo, particolarmente adatte nei casi di relazioni di non linearità tra le incognite delle equazioni che descrivono il problema.
Sono state fatte diverse ipotesi sull'altezza degli argini e quindi sul dislivello tra il fondo della cava e l'altezza dell'argine. Il fondo della cava è stato mantenuto in tutte le simulazioni a quota costante. Gli scenari simulati sono stati i seguenti:

Tabella 5.5: quote adottate per la simulazione di scenari

Quota fondo cava (m)	Quota argine (m)	Tirante d'acqua (m)
42	43	1
42	44	2
42	45	3
42	47	5
42	50	8
42	52	10
42	55	13

5.7.1.2.2 Discussione dei risultati

Il risultato delle simulazioni consiste in una stima del flusso in ingresso/uscita attraverso le interfacce sature, l'una posta sul fondo e sui fianchi del bacino, l'altra in corrispondenza del tetto della falda.
Si è trovato che un equilibrio ragionevole si raggiunge circa in 60 giorni; le soluzioni sono contenute nelle immagini che seguono, che riportano schematicamente:

1) l'assetto del carico idraulico (Figura 5.46) nella condizione di quasi-equilibrio raggiunta, in cui si vede che vengono rispettate le condizioni previste nelle due porzioni a carico imposto, mentre nelle altre il modello calcola il valore corrispondente a tale quasi-equilibrio;
2) l'assetto della saturazione, alle medesime condizioni (Figura 5.47);
3) la dimensione del flusso corrispondente (in unità di kg_m/secondo) alle due interfacce (Figura 5.48 e Figura 5.49);
4) la direzione e l'intensità del flusso in forma vettoriale (Figura 5.50).

Nella Tabella 5.6 sono poi riportati i risultati dei bilanci (flusso in entrata e in uscita) delle simulazioni degli senari con tirante d'acqua variabile. Quello che si può osservare è che vi è una relazione abbastanza lineare tra quest'ultimo e il flusso rispettivamente in entrata e in uscita (Figura 5.51). Gli scarti dalla retta sono probabilmente dovuti ad oscillazioni legate alla scarsa precisione della condizione iniziale.

Figura 5.46: carico idraulico (m s.l.m.)

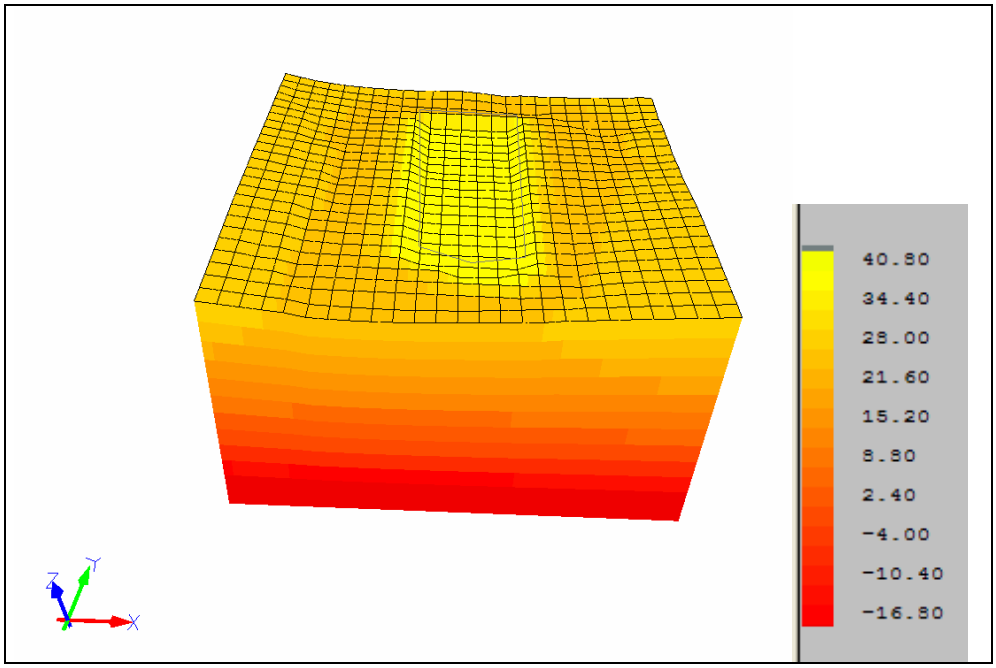


Figura 5.47: grado di saturazione

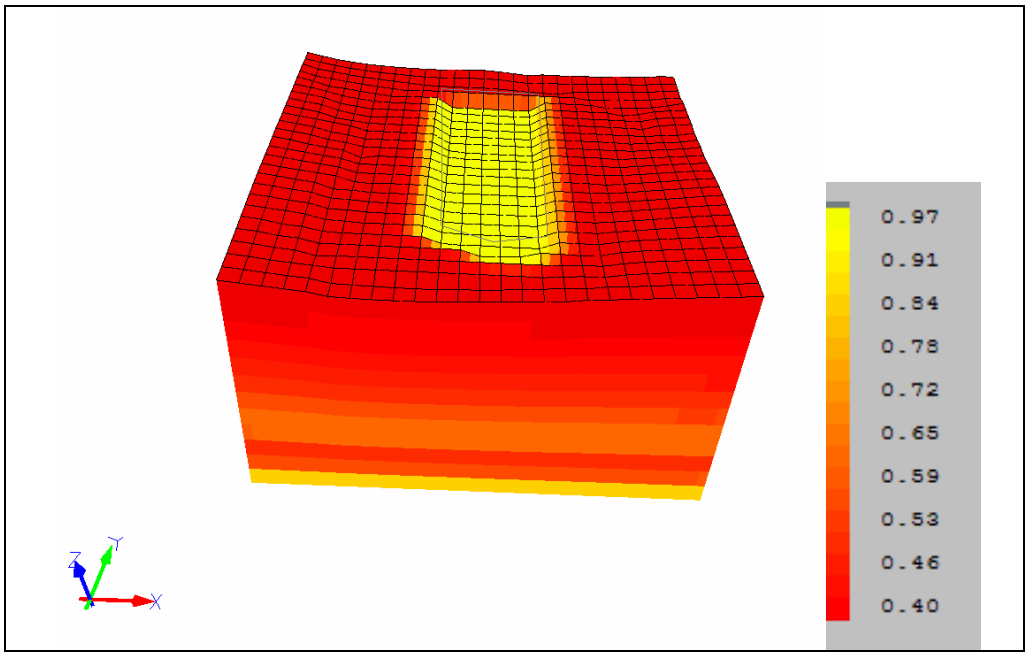


Figura 5.48: flusso in ingresso nella parte superiore (valori in kg_m/s)

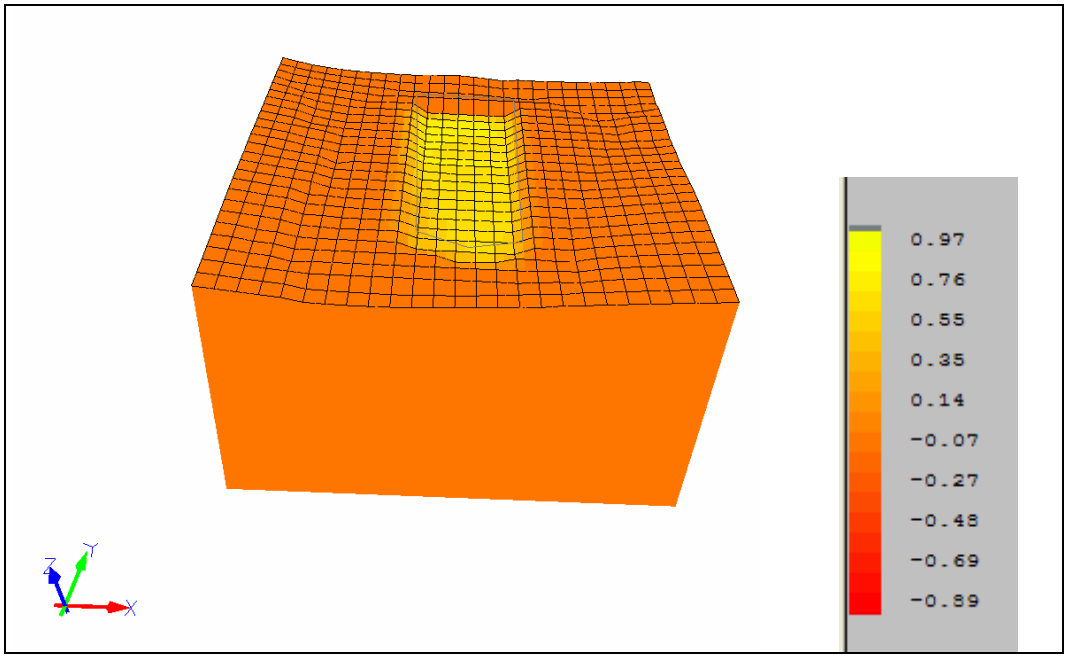


Figura 5.49: flusso in uscita nella parte inferiore (valori in kg_m/s)

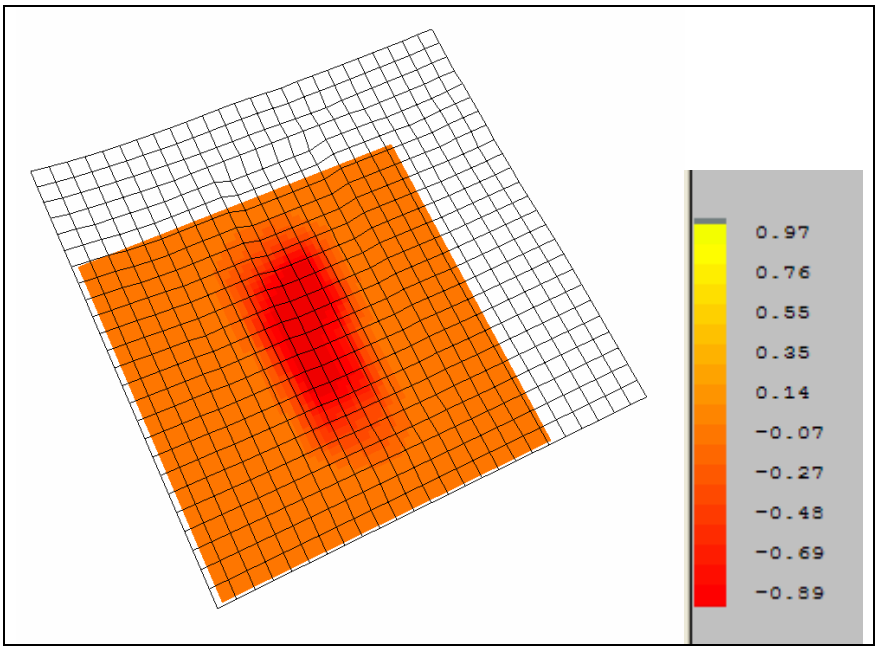
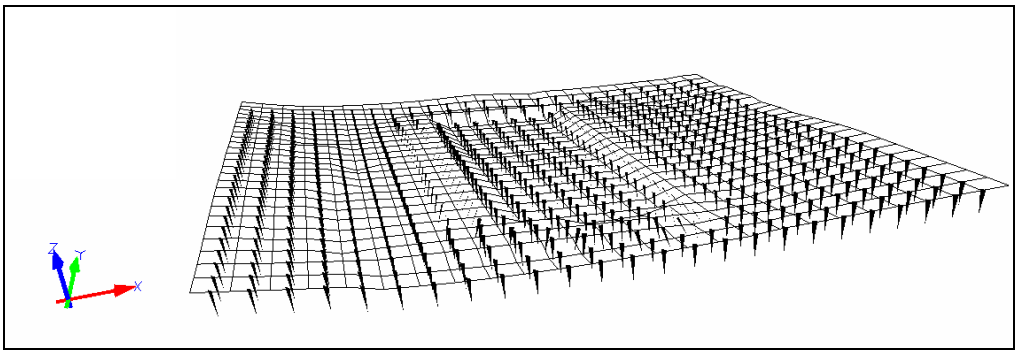


Figura 5.50: vettori velocità di flusso nella parte alta del bacino

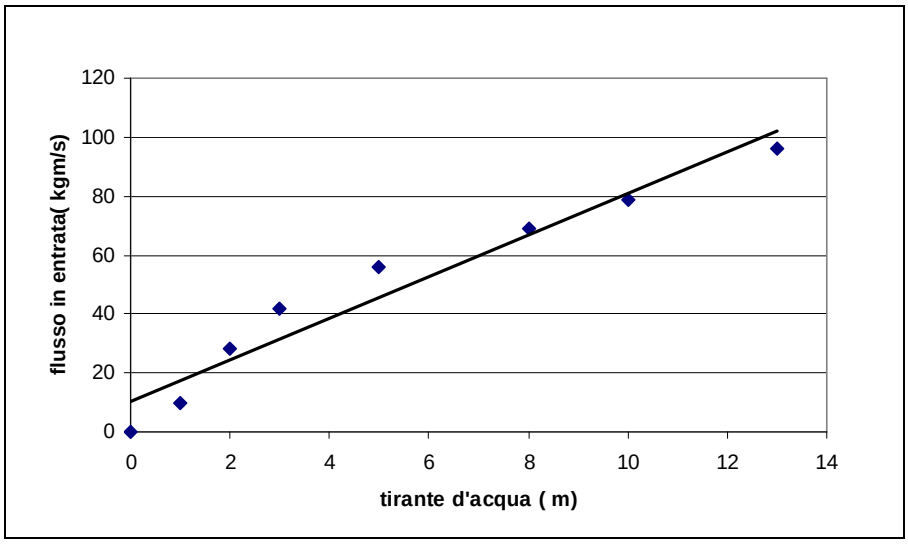


In condizioni di un effettivo teorico equilibrio, si è stimato un flusso in ingresso/uscita di circa 100 kg_m/s per la sezione corrispondente al fondo dell'area; a questo va sommato il contributo relativo ai fianchi del "bacino", che è riportato sempre nella Tabella 5.6.
Questo secondo contributo può essere valutato nell'ordine dei 10-12 $kg_m/s/m$ di altezza d'acqua nell'invaso.

Tabella 5.6: risultati degli scenari

Quota fondo cava (m)	Quota argine (m)	Tirante d'acqua (m)	Flusso laterale (kg_m/s)
42	43	1	10
42	44	2	28
42	45	3	42
42	47	5	56
42	50	8	69
42	52	10	79
42	55	13	96

Figura 5.51: relazione tra il flusso laterale e il tirante d'acqua



5.7.1.3 Proposta 2.2 (Cava Tiro a Segno)

Le simulazioni che seguono sono state effettuate sulla proposta 2.2 (Figura 5.7 e Figura 5.8) che è ubicata in destra idrografica al di fuori dell'area golenale.
Il dominio di calcolo è stato discretizzato in elementi con lato 20 x 20 m e superficie pari a 400 m^2. Lo spessore è stato invece discretizzato con 5 elementi, ciascuno con altezza pari a 10 metri circa.

Figura 5.52: area di lavoro in pianta (in rosso è rappresentata l'area di intervento)

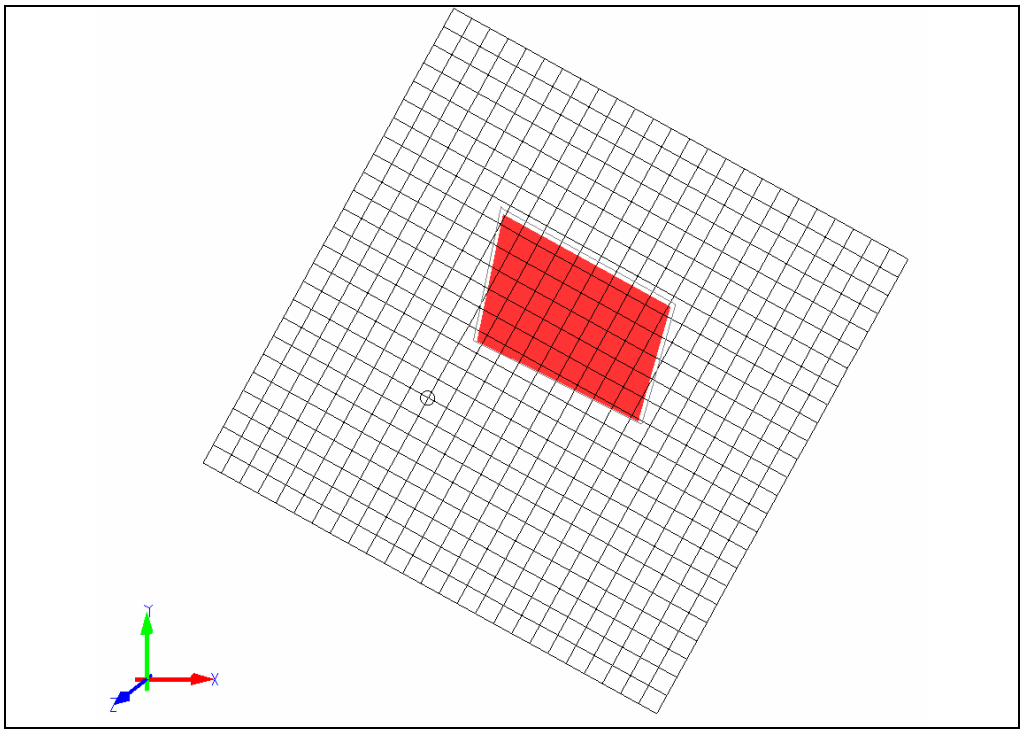


Figura 5.53: morfologia dell'area di lavoro (quote in metri sul livello del mare)

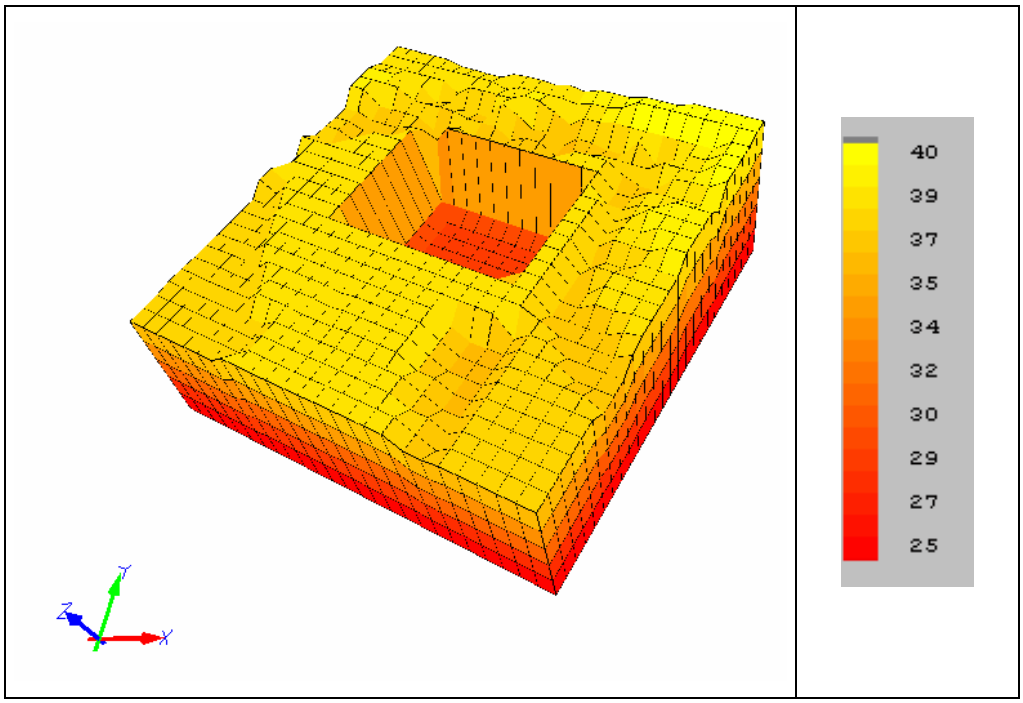


Figura 5.54: vista in sezione della griglia e della morfologia dell'area (quote in m s.l.m.)

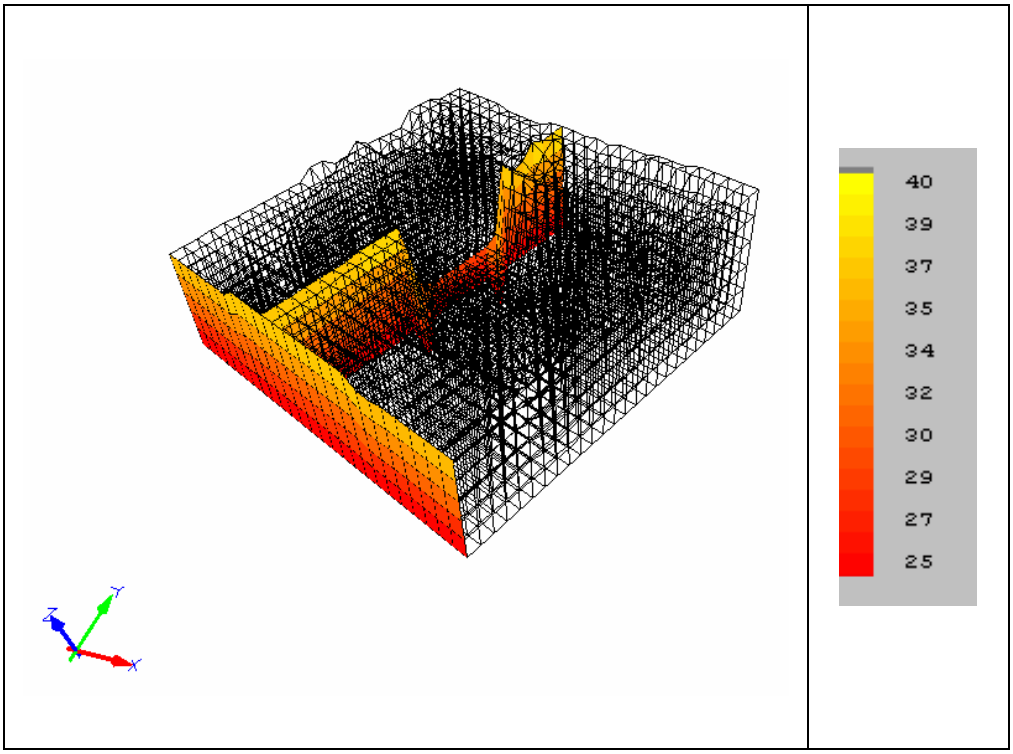
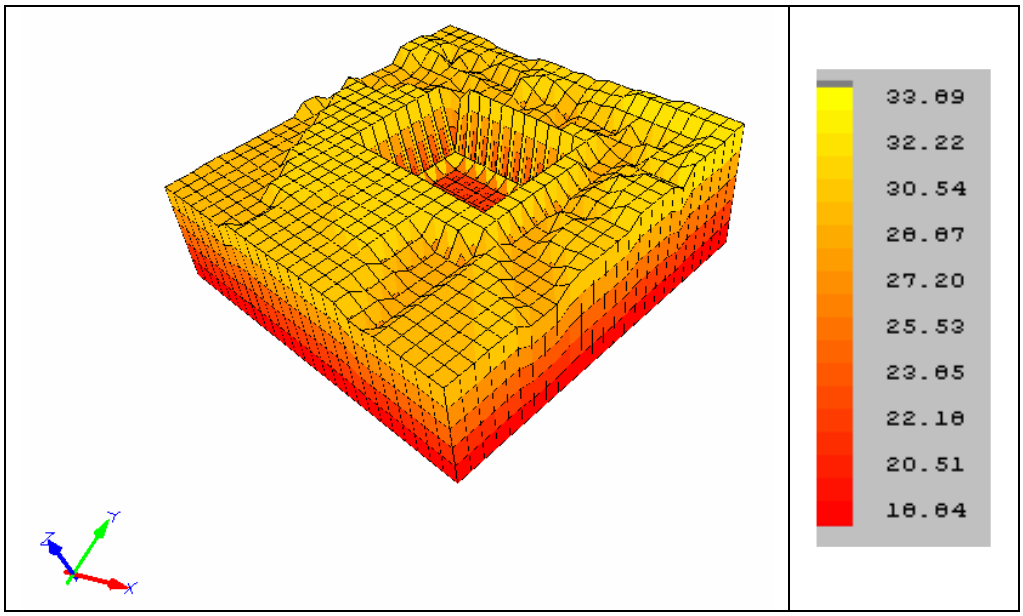


Figura 5.55: carico idraulico iniziale e al bordo (m s.l.m.)



5.7.1.3.1 Condizioni di calcolo e scenari

Le modalità di calcolo qui adottate sono le medesime del caso precedente, ed anche in questo caso sono state fatte diverse ipotesi sull'altezza degli argini e quindi sul dislivello tra il fondo della cava e l'altezza dell'argine. Il fondo della cava è stato mantenuto in tutte le simulazioni a quota costante.
Gli scenari simulati sono stati i seguenti:

Tabella 5.7: quote adottate per la simulazione di scenari

quota fondo cava (m)	quota argine (m)	tirante d'acqua (m)
30	35	5
30	38	8
30	40	10

5.7.1.3.2 Discussione dei risultati

Il risultato delle simulazioni consiste in una stima del flusso in ingresso/uscita attraverso le interfacce sature, l'una posta sul fondo e sui fianchi del bacino, l'altra in corrispondenza del tetto della falda.
Si è trovato che un equilibrio ragionevole si raggiunge circa in 60 giorni; le soluzioni sono contenute nelle immagini che seguono, che riportano schematicamente:

1) l'assetto del carico idraulico nella condizione di quasi-equilibrio raggiunta, in cui si vede che vengono rispettate le condizioni previste nelle due porzioni a carico imposto, mentre nelle altre il modello calcola il valore corrispondente a tale quasi-equilibrio (Figura 5.56);
2) l'assetto della saturazione, alle medesime condizioni (Figura 5.57);
3) la dimensione del flusso corrispondente (in unità di kg_m/secondo) alle due interfacce (Figura 5.58 e Figura 5.59);
4) la direzione e l'intensità del flusso in forma vettoriale (Figura 5.60).

In Tabella 5.8 sono poi riportati i risultati dei bilanci (flusso in entrata e in uscita) delle simulazioni degli senari con tirante d'acqua variabile. Quello che si può osservare è che vi è una

relazione abbastanza lineare tra quest'ultimo e il flusso rispettivamente in entrata e in uscita (Figura 5.61). Gli scarti dalla retta sono probabilmente dovuti ad oscillazioni legate alla scarsa precisione della condizione iniziale.
In condizioni di un effettivo teorico equilibrio, si è stimato un flusso in ingresso/uscita di circa 200 kg_m/s per la sezione corrispondente al fondo dell'area; a questo va sommato il contributo relativo ai fianchi del "bacino", che è riportato sempre nella Tabella 5.8.
Questo secondo contributo può essere valutato nell'ordine dei 15-20 $kg_m/s/m$ di altezza d'acqua nell'invaso.

Figura 5.56: carico idraulico (m s.l.m.)

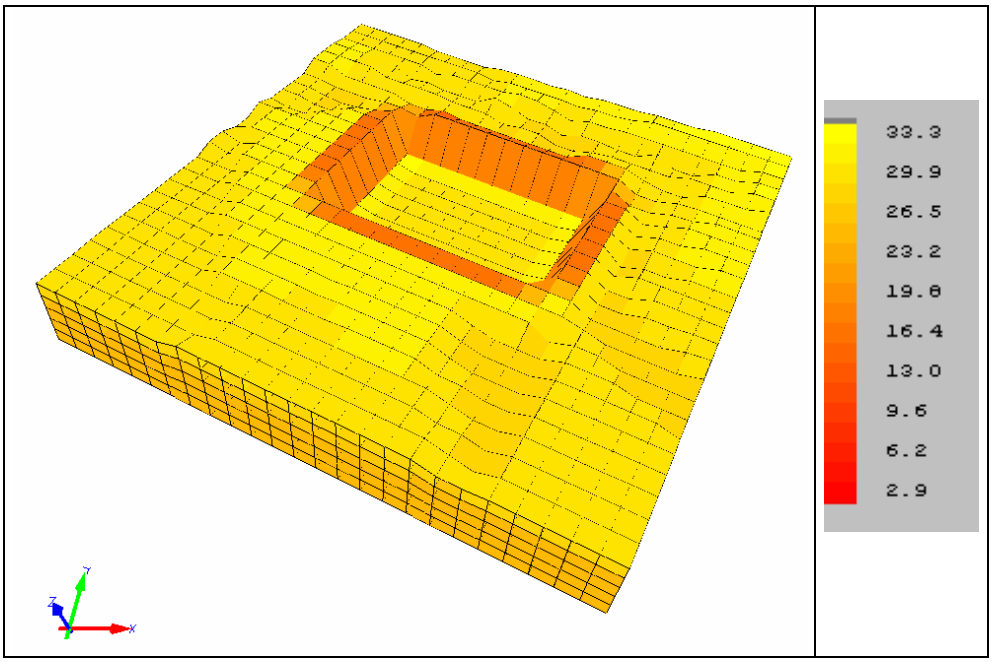


Figura 5.57: grado di saturazione

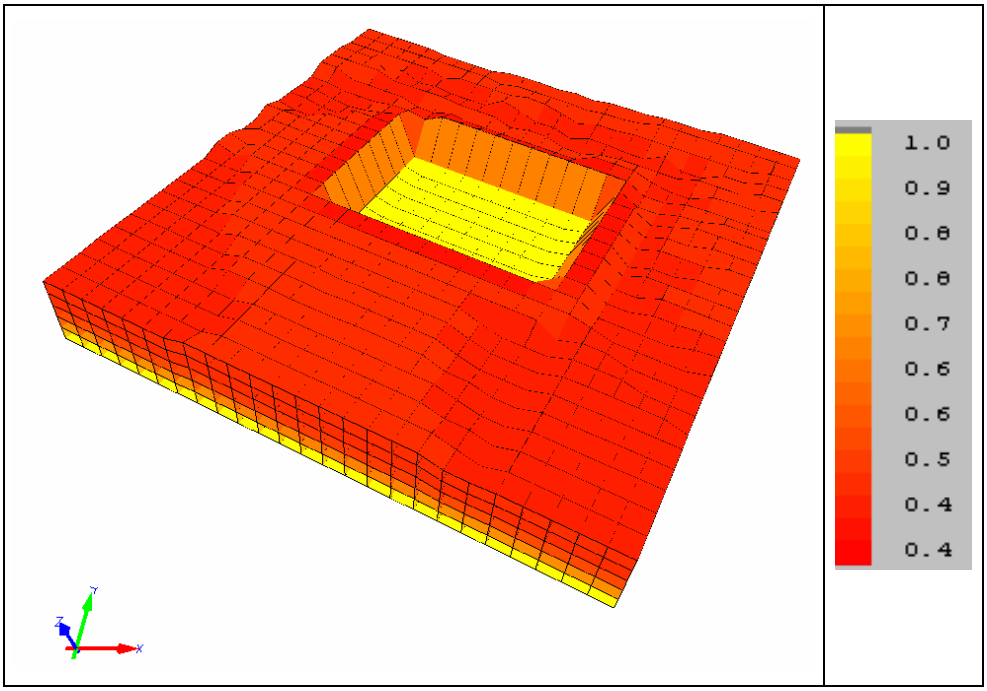


Figura 5.58: flusso in ingresso nella parte superiore (valori in kg_m/s)

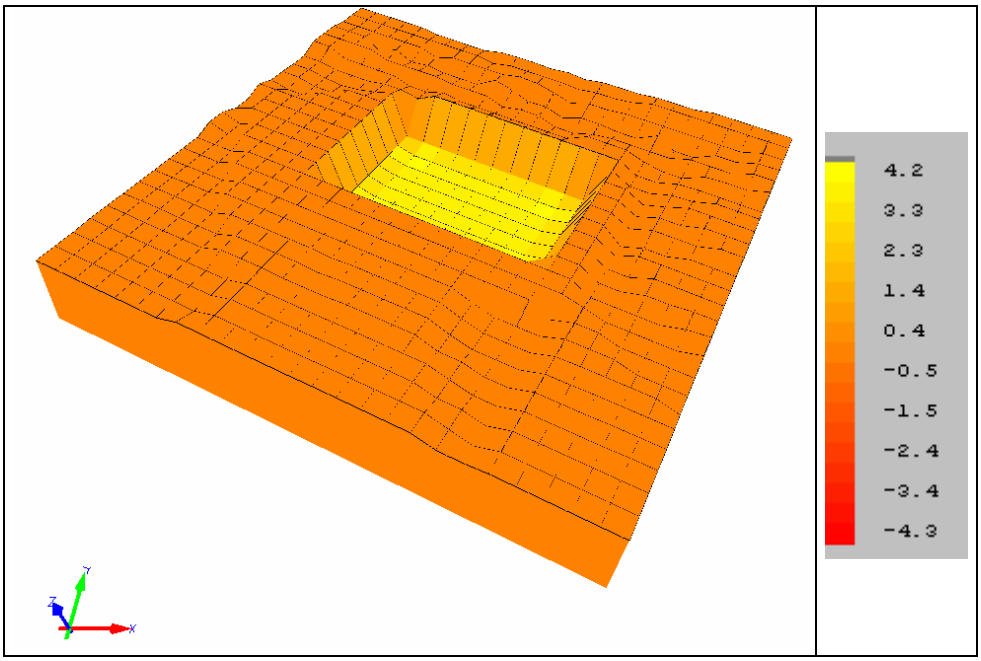


Figura 5.59: flusso in uscita nella parte inferiore (valori in kg_m/s)

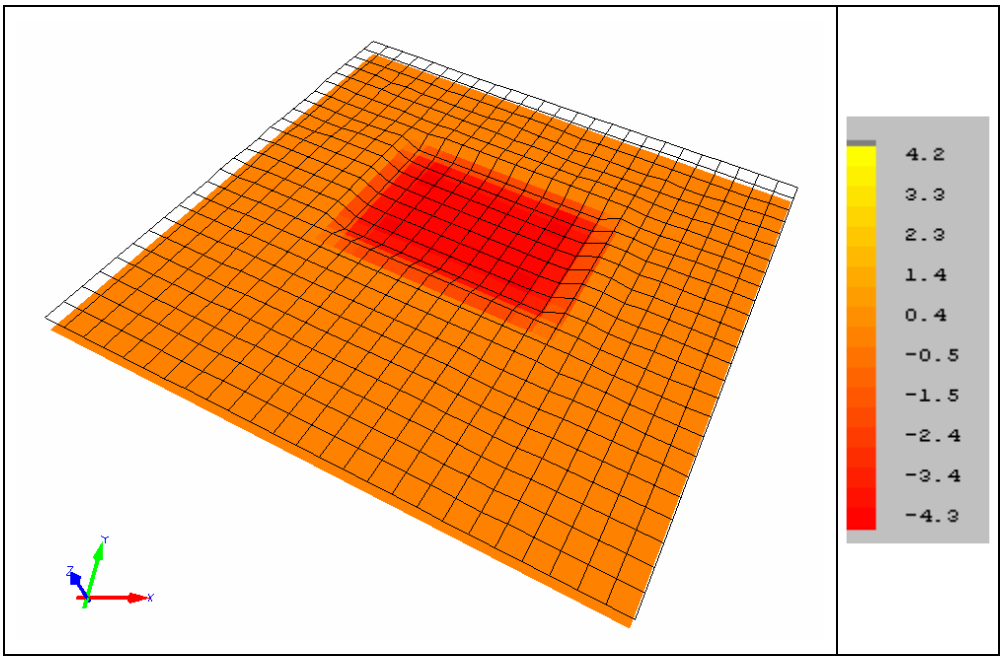


Figura 5.60: vettori velocità di flusso nella parte alta del bacino

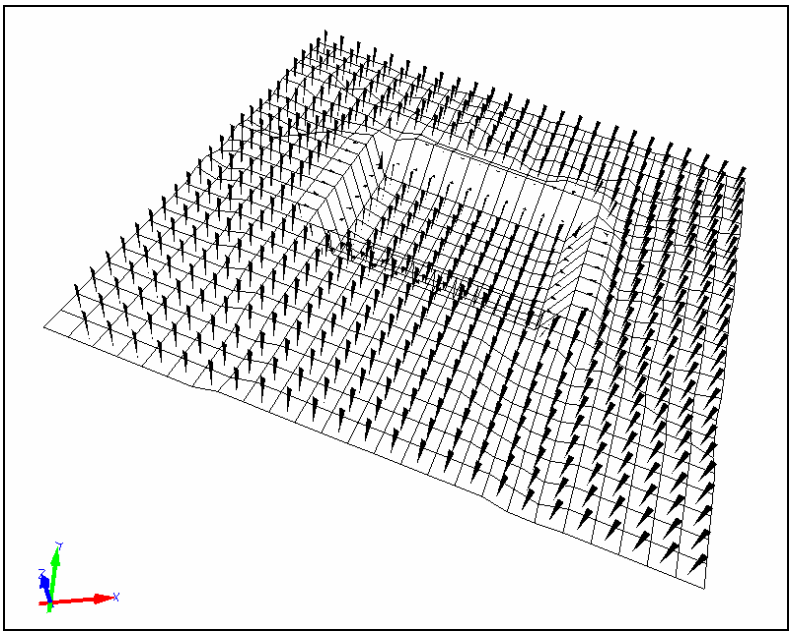
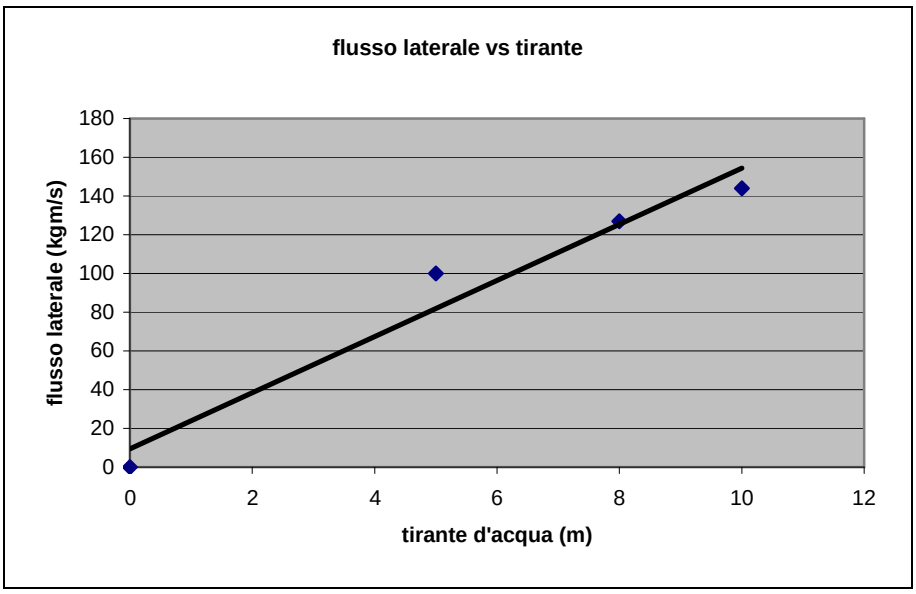


Tabella 5.8: risultati degli scenari

quota fondo cava (m)	quota argine(m)	tirante d'acqua(m)	flusso laterale(kg_m/s)
30	35	5	100
30	38	8	127
30	40	10	144

Figura 5.61: relazione tra il flusso laterale e il tirante d'acqua



5.7.2 Valutazione degli effetti della ricarica artificiale sulla dinamica di flusso della conoide

Al fine di confrontare gli interventi di ricarica artificiale proposti e precedentemente descritti al paragrafo 5.2 sulla base delle risposte ottenibili in termini di dinamica di flusso della conoide, sono state implementate le simulazione numeriche che vengono di seguito descritte:

- in primo luogo si è ipotizzata una portata di infiltrazione (pari a 1m^3/s) da imporre, all'interno del modello di flusso della conoide del Reno, in uguale misura come ricarica artificiale in ciascuna delle tre zone della conoide da sottoporre a valutazione. In tal modo l'analisi dei recuperi piezometrici indotti dalla ricarica sono valutabili e confrontabili all'interno della conoide in funzione della diversa posizione dell'intervento di ricarica artificiale realizzato (casi 1, 2 e 3);
- successivamente, relativamente alla sole proposte 3 e 2, è stato imposto un volume di infiltrazione (pari a 0.12 m^3/s e 0.32 m^3/s) calcolato in base a quanto descritto nel precedente paragrafo 5.7. In tal modo è possibile valutare l'incidenza del valore di portata di ricarica artificiale in ingresso sui recuperi piezometrici della conoide (casi 3b e 2b).

Nel dettaglio sono stati realizzati i seguenti scenari:

- **Caso 0**: è il caso base in assenza di intervento di ricarica artificiale
- **Caso 1**: una portata di infiltrazione pari a 1m^3/s è stata distribuita sulla proposta 1 (Calderara di Reno) per il periodo da ottobre a maggio nei due anni 2005 e 2006;
- **Caso 2**: una portata di infiltrazione pari a 1m^3/s è stata distribuita sulla proposta 2 (zona Tiro a Segno) per il periodo da ottobre a maggio nei due anni 2005 e 2006;
- **Caso 2b**: una portata di infiltrazione pari a 0.32 m^3/s è stata distribuita sulla proposta 2 (zona Tiro a Segno) per il periodo da ottobre a maggio nei due anni 2005 e 2006;
- **Caso 3**: una portata di infiltrazione pari a 1 m^3/s è stata distribuita sulla proposta 3 (zona Croce di Casalecchio) per il periodo da ottobre a maggio nei due anni 2005 e 2006;
- **Caso 3b**: una portata di infiltrazione pari a 0.12 m^3/s è stata distribuita sulla proposta 3 (zona Croce di Casalecchio) per il periodo da ottobre a maggio nei due anni 2005 e 2006;

I risultati in uscita dal modello per i 5 casi sono stati quindi raffrontati con la situazione base in assenza di intervento di ricarica artificiale. L'analisi è stata condotta sia attraverso l'analisi dei carichi idraulici, individuando le zone e quantificando i recuperi in queste dei livelli di falda per tutta la conoide, sia attraverso l'analisi del bilancio idrogeologico individuando quindi su quali termini ed in che misura il surplus di ricarica va maggiormente ad incidere.

5.7.2.1 Analisi dei carichi idraulici

Il modello numerico permette di restituire l'andamento del carico idraulico nel tempo in qualsiasi posizione del dominio di calcolo. Risulta quindi possibile confrontare i carichi idraulici delle simulazioni effettuate (con e senza l'intervento di ricarica artificiale) per tutte e cinque le possibilità di intervento proposte e quindi effettuare una valutazione comparativa dei diversi effetti risultanti.
Facendo riferimento alla stessa metodologia di analisi dei risultati utilizzata al precedente paragrafo 4.4.2.1 per le aree di studio sul Marecchia, si è scelto in questo caso di confrontare i risultati delle simulazioni in termini di recuperi piezometrici sui singoli punti di misura appartenenti alla rete regionale di monitoraggio e che sono stati utilizzati per la implementazione del modello numerico.
Le successive figure rappresentano quindi direttamente la variazione di carico idraulico ottenute in alcuni punti di controllo ritenuti significativi in funzione delle rispettive posizioni in pianta ed in profondità all'interno della conoide.

Figura 5.62: recuperi piezometrici attesi sui pozzi nelle cinque simulazioni di scenario (pozzo superficiale, conoide apicale)

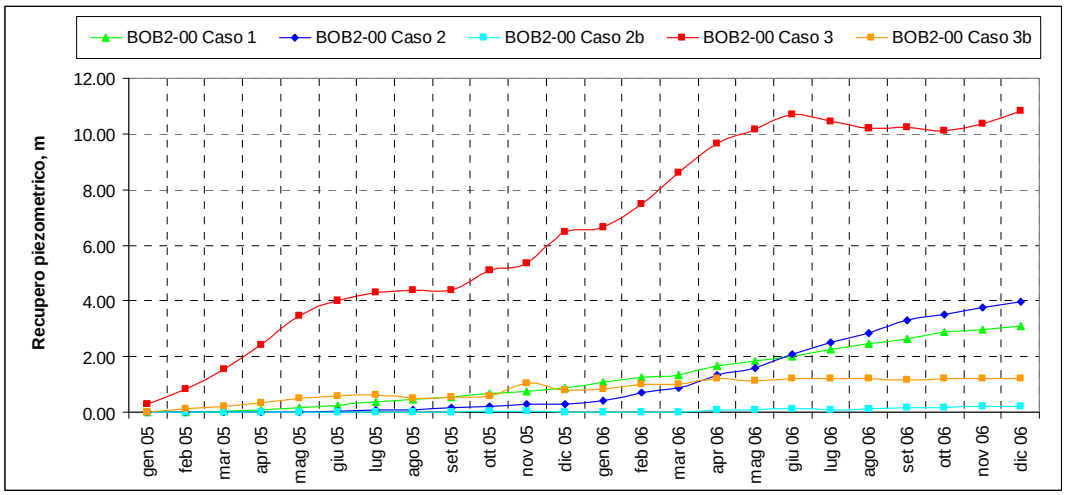


Figura 5.63: recuperi piezometrici attesi sui pozzi nelle cinque simulazioni di scenario (pozzo superficiale, conoide centrale)

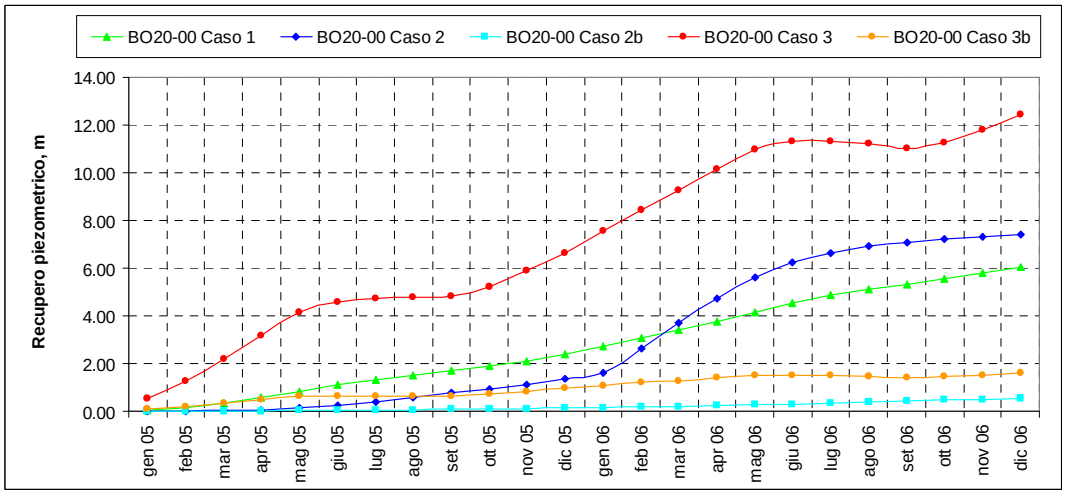


Figura 5.64: recuperi piezometrici attesi sui pozzi nelle cinque simulazioni di scenario (pozzo superficiale, conoide distale)

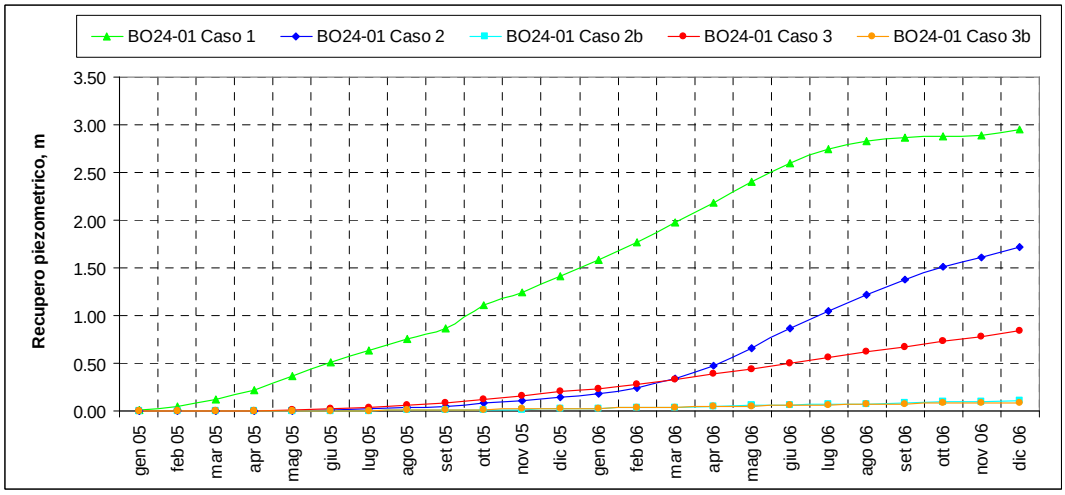


Figura 5.65: recuperi piezometrici attesi sui pozzi nelle cinque simulazioni di scenario (pozzo profondo, conoide centrale)

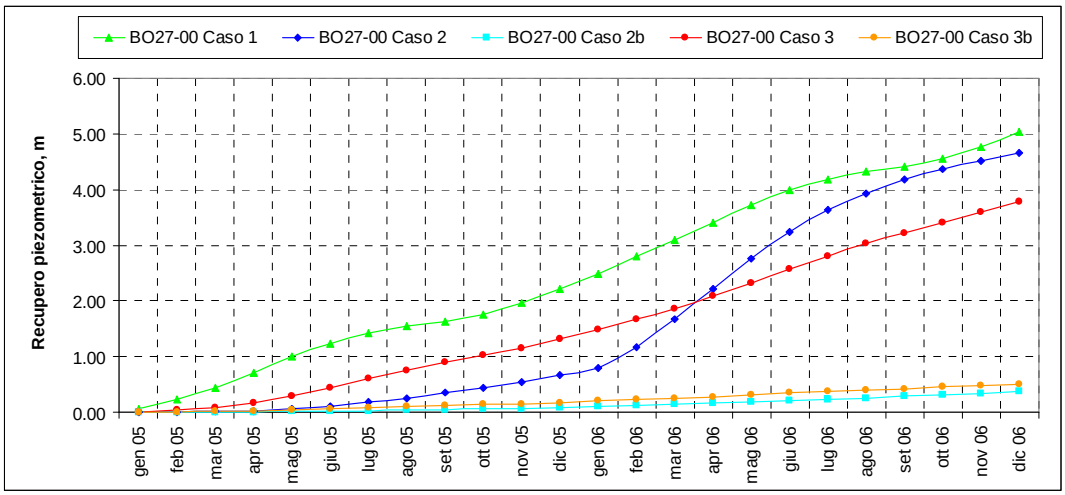
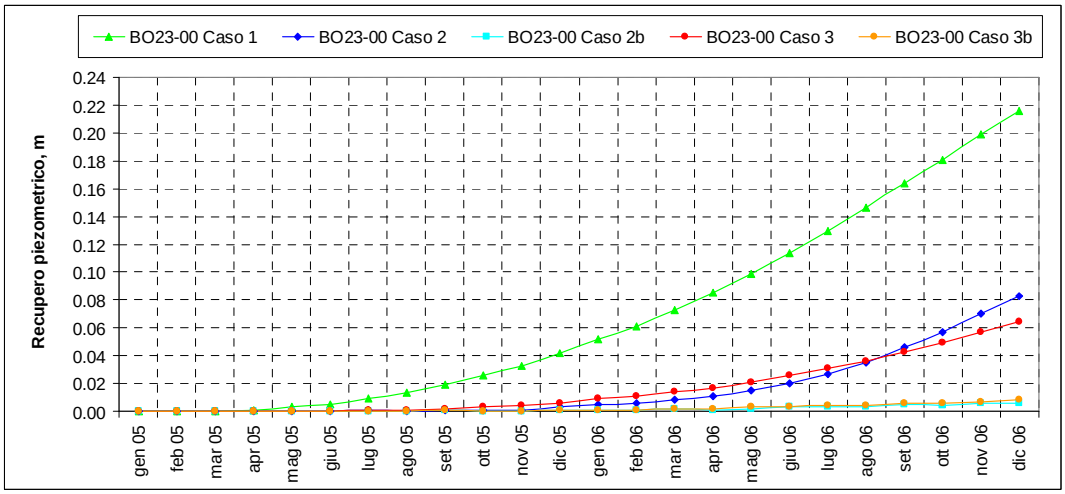


Figura 5.66: recuperi piezometrici attesi sui pozzi nelle cinque simulazioni di scenario (pozzo profondo, conoide distale)



Una rappresentazione di insieme dell'informazione appena presentata a livello puntuale può essere realizzata attraverso la mappatura dei "recuperi piezometrici" su alcuni tagli della conoide effettuati lungo sezioni longitudinali.
Considerando la proposta situata a Calderara di Reno, la Figura 5.67 e le successive figure (Figura 5.68 e Figura 5.69) riportano la mappatura dei recuperi piezometrici (con passo pari ad 1 m per tre diversi consecutivi istanti di tempo) ottenibili rispettivamente per la sezione di riferimento in asse con la ricarica artificiale imposta al modello e per due sezioni parallele distanti 1500 m a destra ed a sinistra rispetto alla sezione centrale.

Figura 5.67: caso 1 (Calderara di Reno), recuperi piezometrici sezione J33, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)

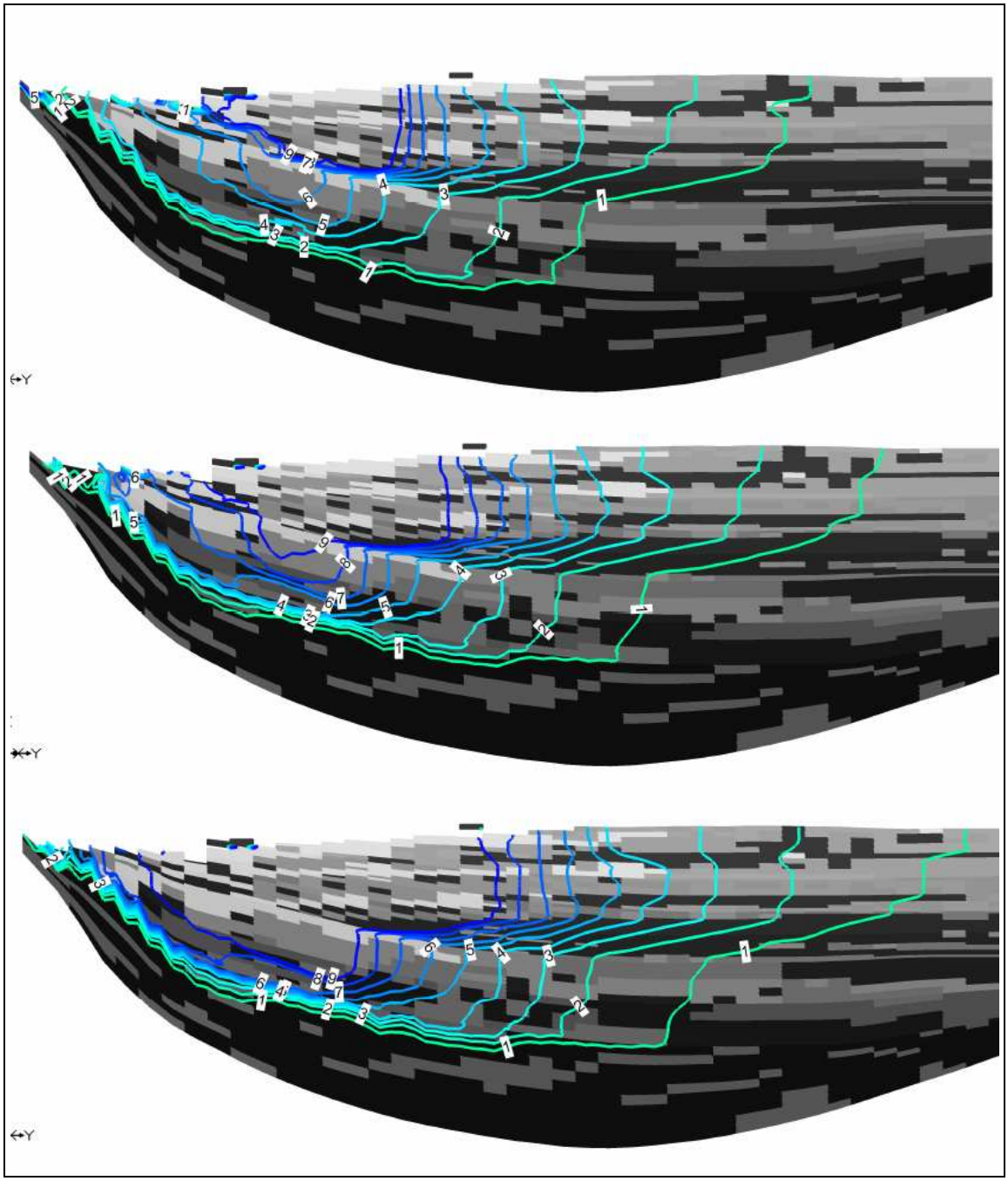


Figura 5.68: caso 1 (Calderara di Reno), recuperi piezometrici sezione J30, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)

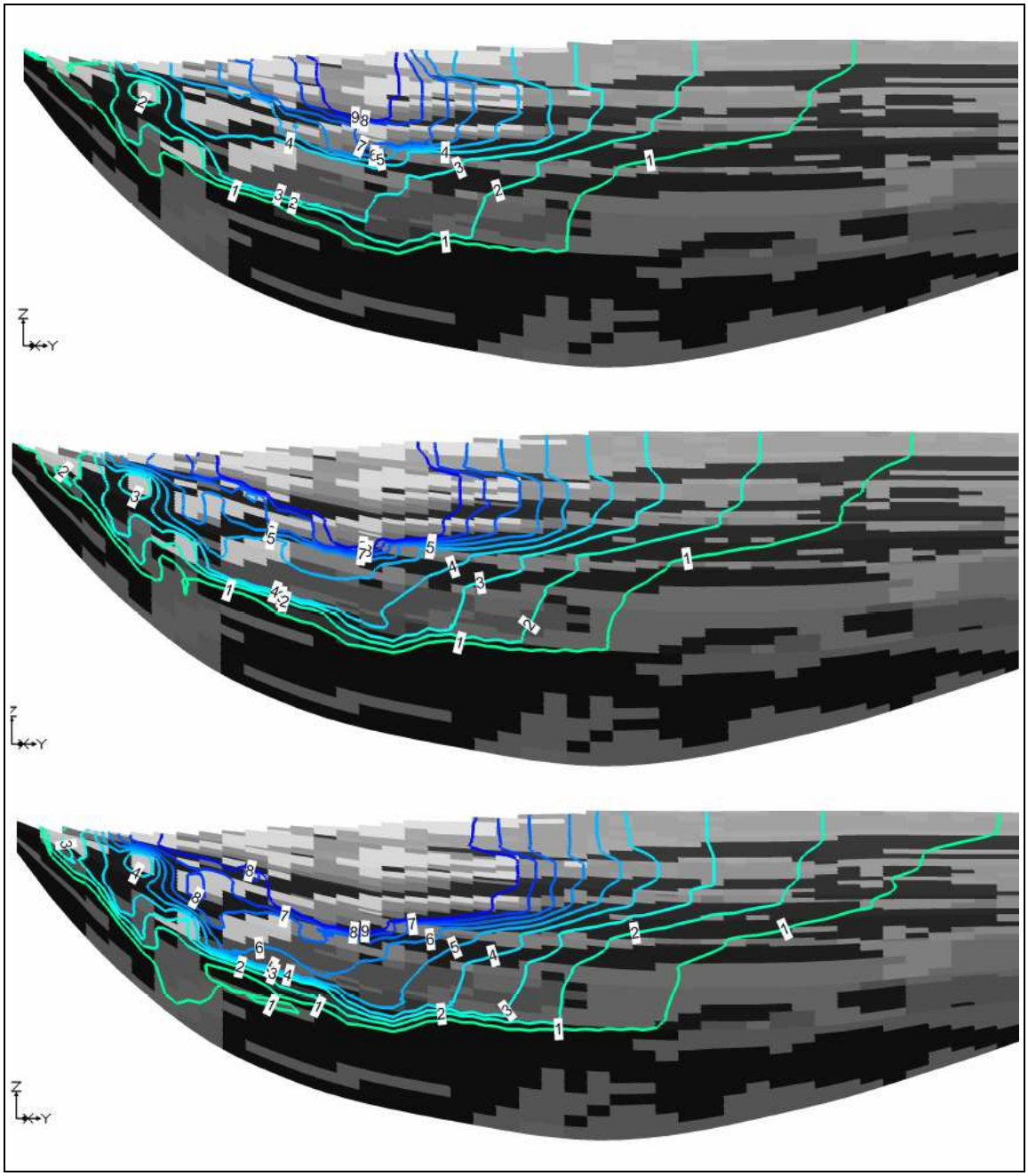
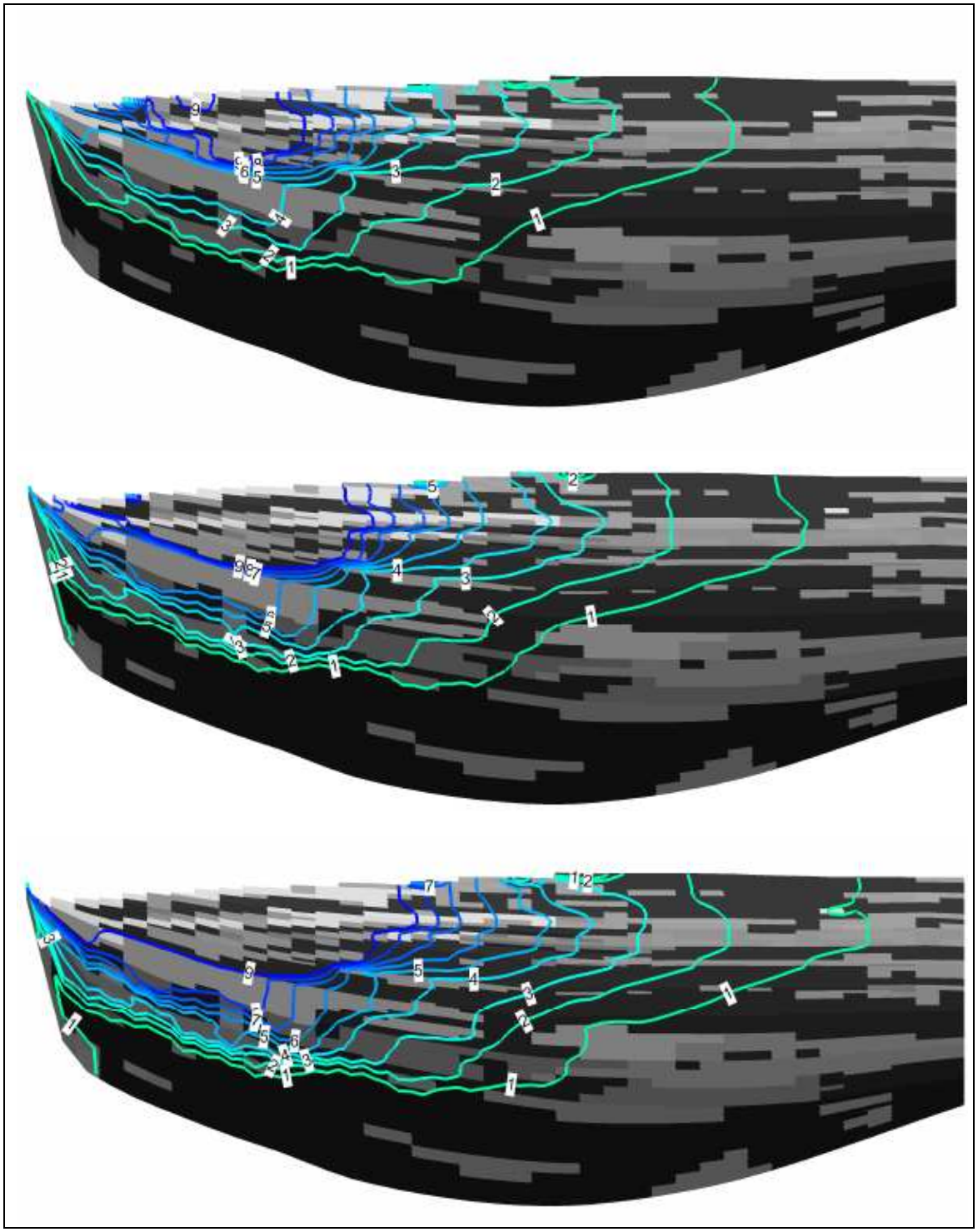


Figura 5.69: caso 1 (Calderara di Reno), recuperi piezometrici sezione J36, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)



Con lo stesso criterio, le successive figure rappresentano gli interventi di ricarica artificiale della proposta 2 (zona Tiro a Segno, Figura 5.70, Figura 5.71 e Figura 5.72) e proposta 3 (zona Croce di Casalecchio, Figura 5.73, Figura 5.74 e Figura 5.75).
In ogni caso si nota che la linea verde posta più a valle (che rappresenta in tutte le figure il recupero piezometrico pari ad 1 m) nel tempo si sposta sempre più verso valle.
Risulta inoltre chiara la possibilità, da parte del caso 3 (Croce di Casalecchio) di poter alimentare, contrariamente agli altri due casi con intervento di ricarica posto più a valle, anche gli acquiferi più profondi.

Le figure mostrano sia una certa simmetria delle variazioni di carico piezometrico rispetto all'asse centrale dove avviene la ricarica sia la progressiva diminuzione degli effetti in funzione della distanza da questo.

Figura 5.70: caso 2 (Zona Tiro a Segno), recuperi piezometrici sezione J33, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)

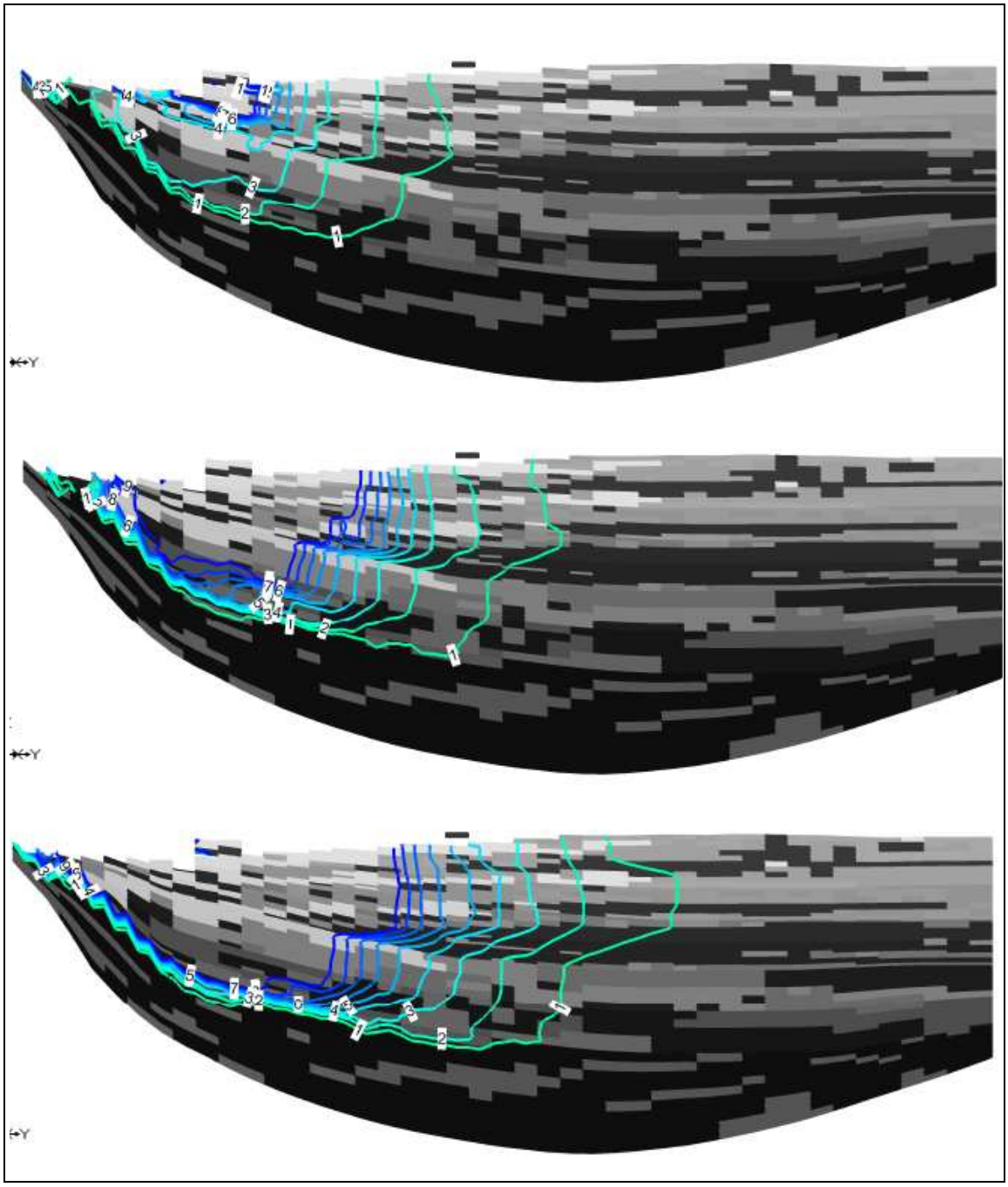


Figura 5.71: caso 2 (Zona Tiro a Segno), recuperi piezometrici sezione J30, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)

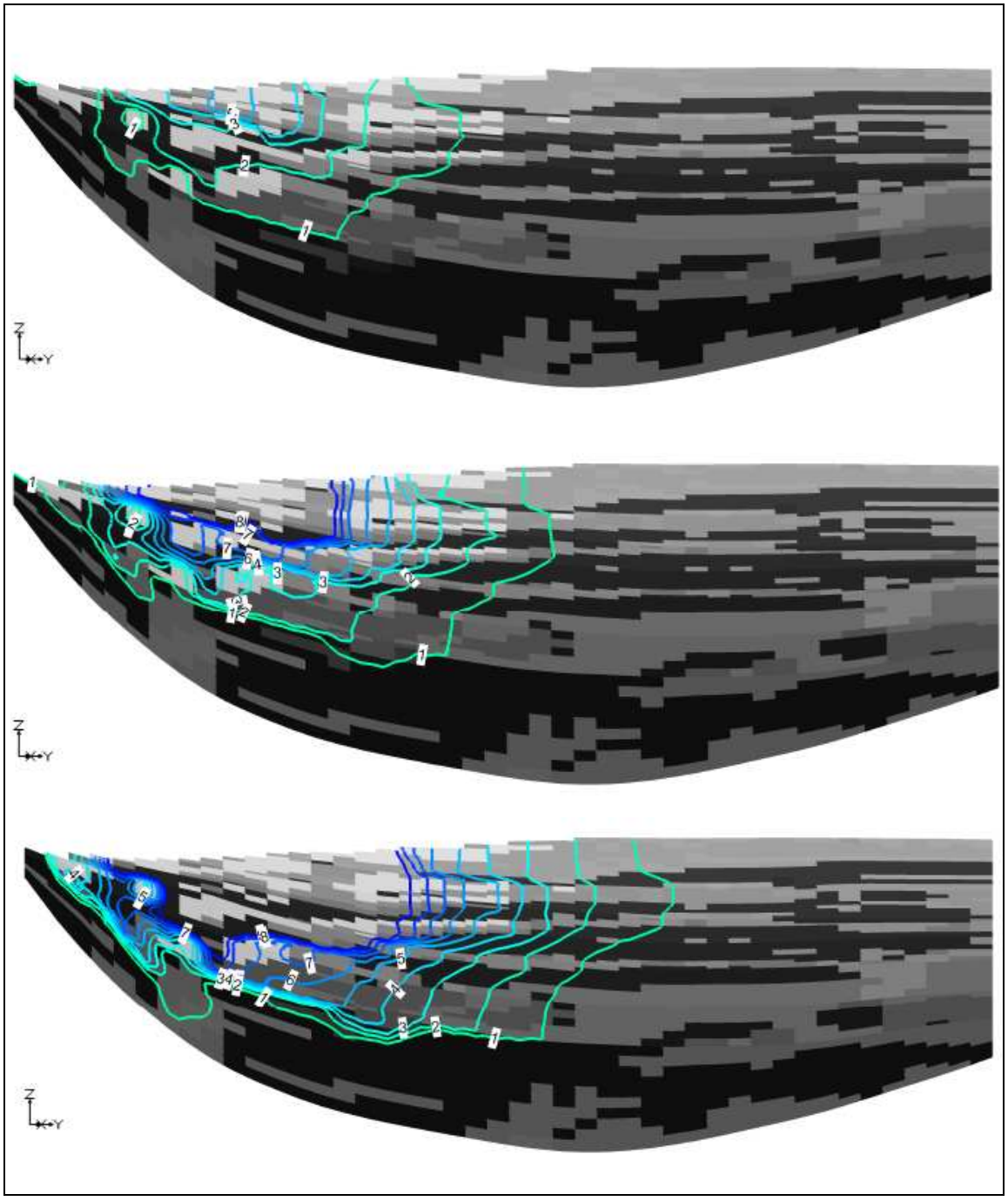


Figura 5.72: caso 2 (Zona Tiro a Segno), recuperi piezometrici sezione J36, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)

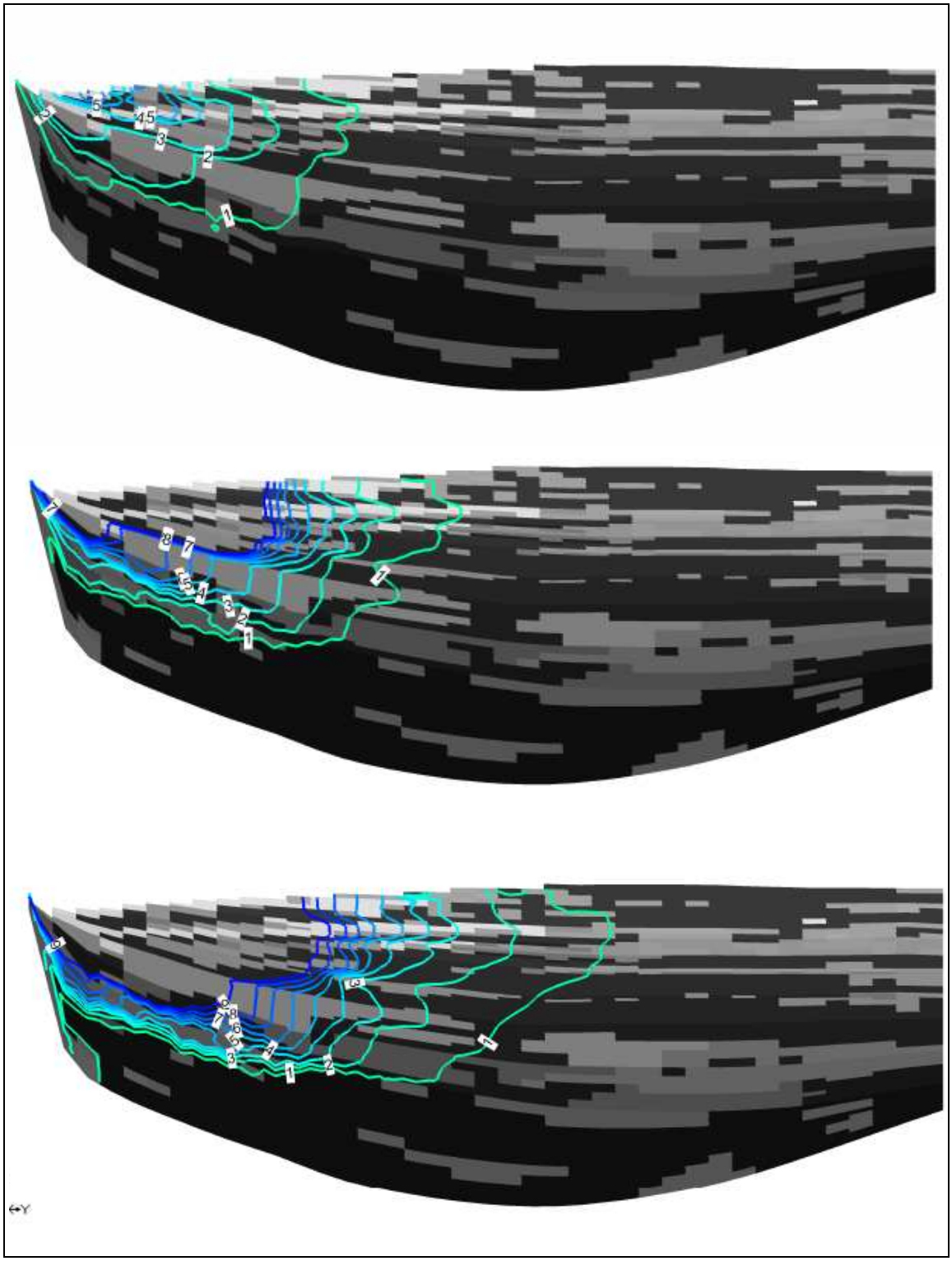


Figura 5.73: caso 3 (Croce di Casalecchio), recuperi piezometrici sezione J31, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)

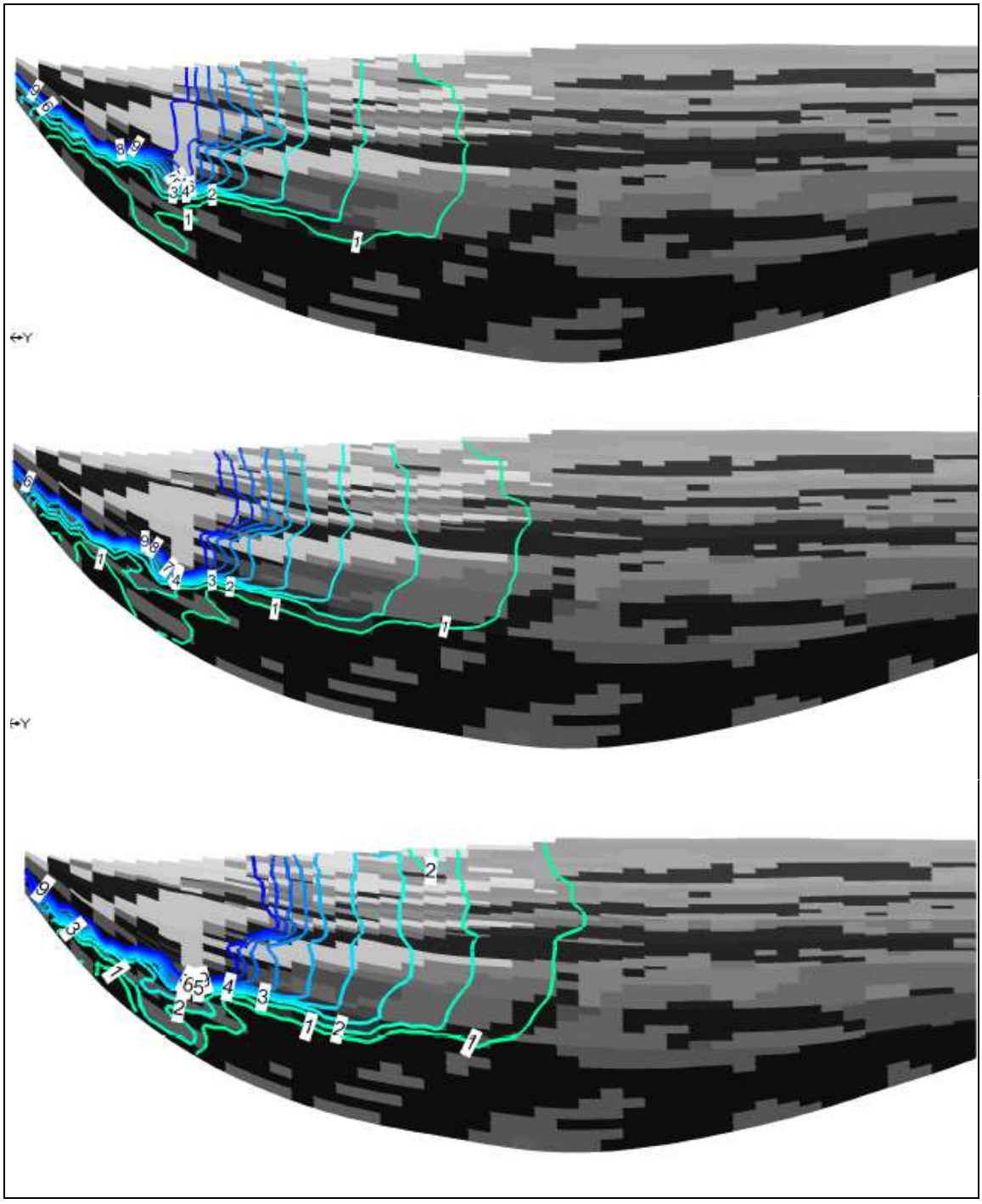


Figura 5.74: caso 3 (Croce di Casalecchio), recuperi piezometrici sezione J28, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)

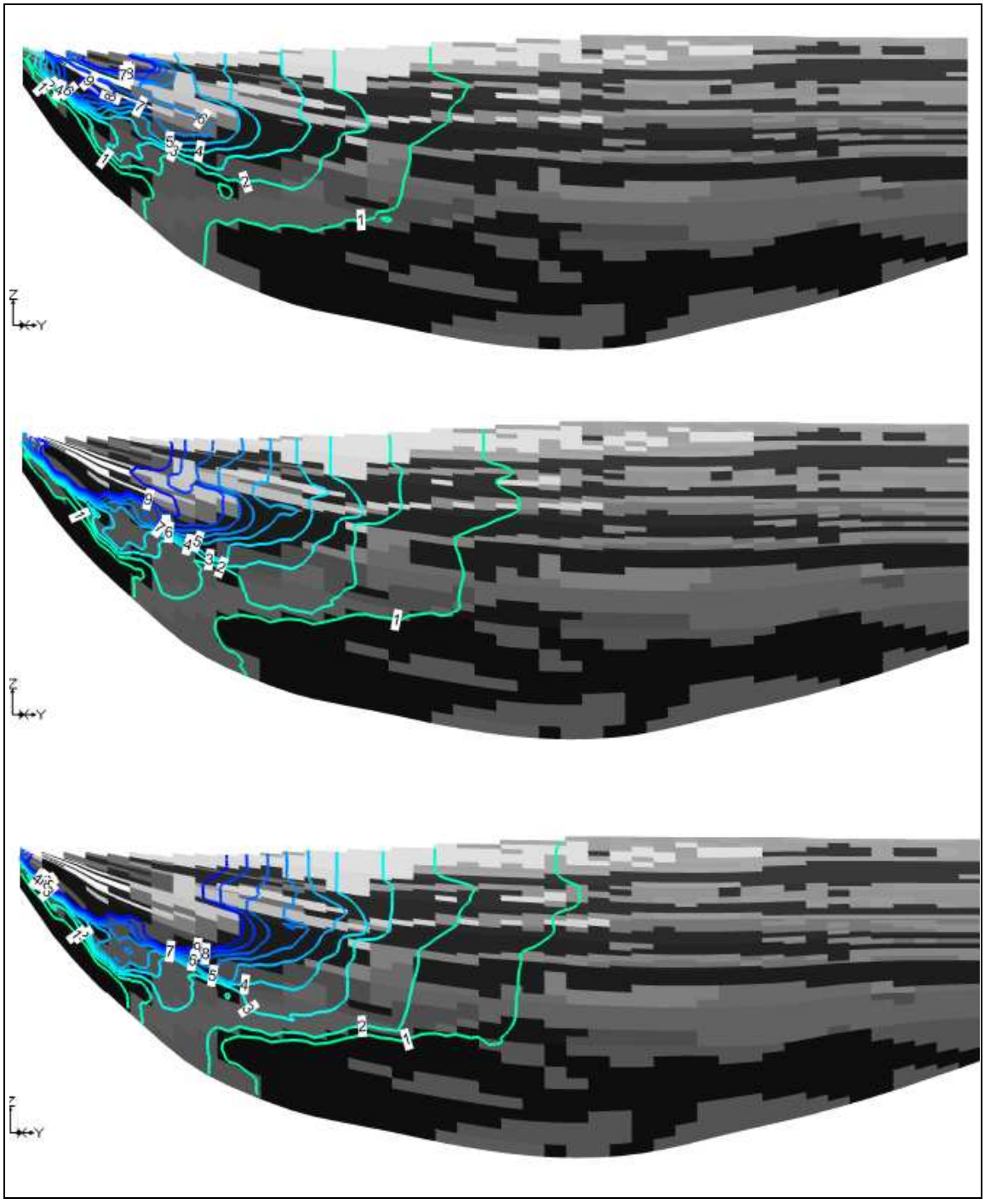
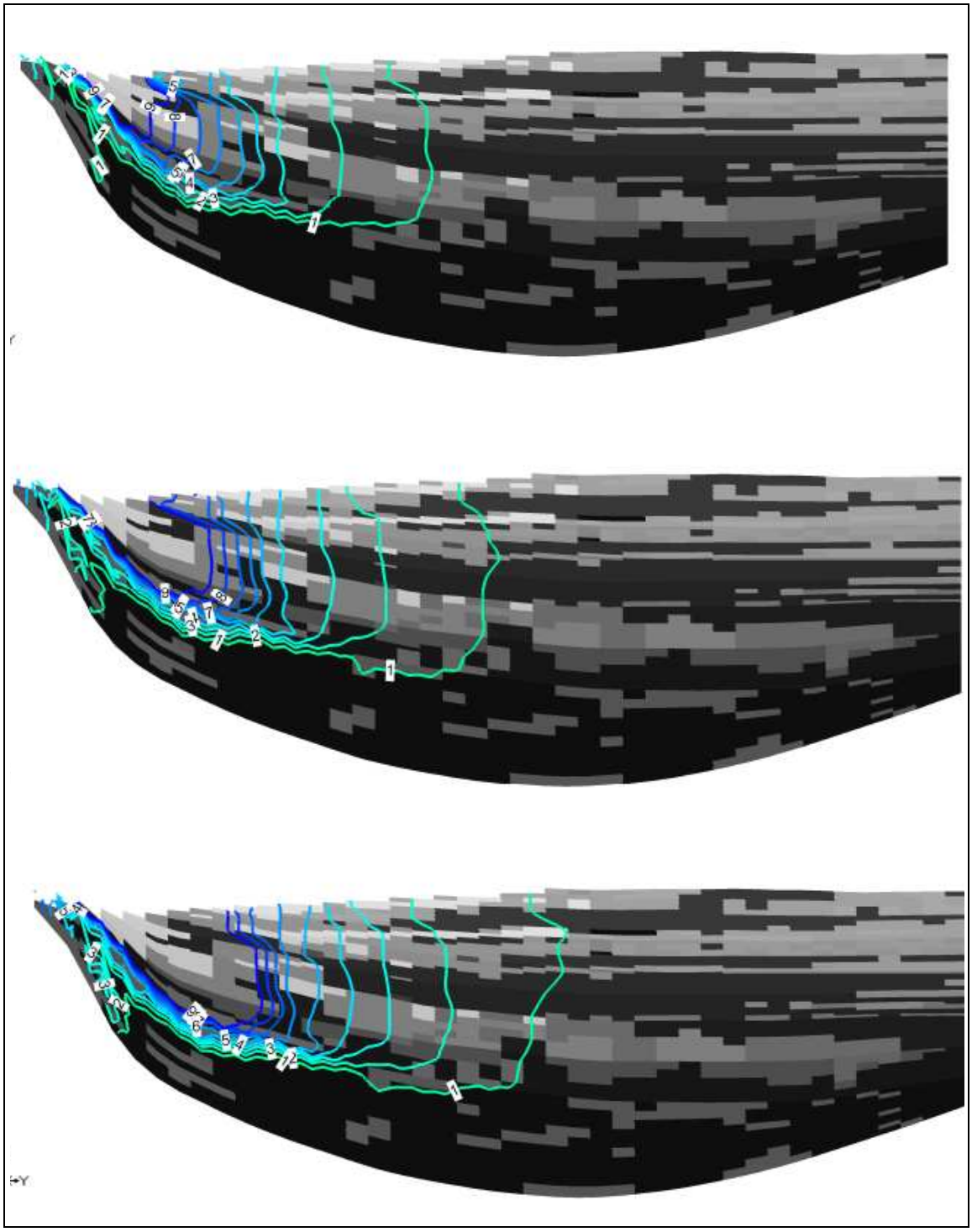


Figura 5.75: caso 3 (Croce di Casalecchio), recuperi piezometrici sezione J34, istanti T33 (novembre 05), T36 (febbraio 06) e T39 (maggio 06)



5.7.2.2 Analisi del bilancio idrogeologico

Nel precedente paragrafo 4.4.2.2 sono stati richiamati gli elementi necessari per meglio comprendere l'analisi del bilancio idrogeologico come chiave di valutazione comparata delle simulazioni effettuate e che in questo caso si riferiscono alla conoide del Fiume Reno.
Tale sistema di lettura dei dati permette di analizzare le figure (da Figura 5.76 a Figura 5.80) che rappresentano le differenze dei bilanci idrogeologici tra i casi in presenza (i cinque casi) ed il caso in assenza di intervento di ricarica artificiale, relativamente al biennio 2005-2006 in cui

si è supposto di attivare tale intervento. Risulta evidente che i termini del bilancio risultano identici nel periodo precedente e vengono quindi esclusi dall'analisi e non rappresentati in figura. Le figure evidenziano su quali termini del bilancio idrogeologico dell'intera conoide l'intervento di ricarica artificiale, e quindi la maggiore disponibilità di acqua nel periodo concesso da ottobre a maggio, va ad incidere: gli immagazzinamenti in ingresso ed uscita (*storage in* e *out*).

Figura 5.76: analisi del bilancio idrogeologico, proposta 1 (ricarica artificiale in Calderara di Reno) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)

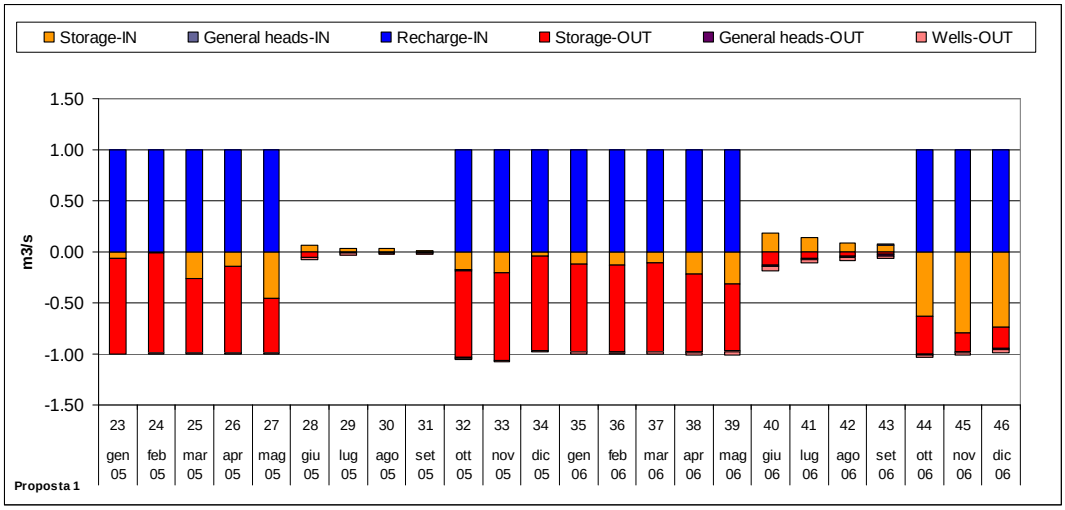
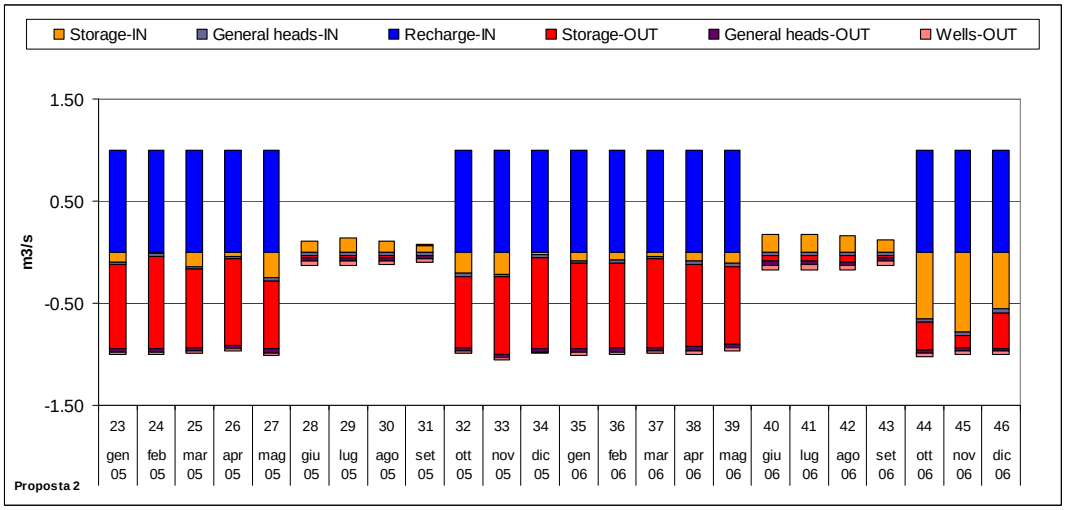


Figura 5.77: analisi del bilancio idrogeologico, proposta 2 (ricarica artificiale in zona Tiro a Segno) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)



Il significato fisico ed in termini di bilancio dell'analisi viene di seguito sintetizzato:

- nei periodi dell'anno in cui avviene la ricarica artificiale (ottobre-maggio) l'immagazzinamento in uscita (lo *storage out*) rappresenta (con segno negativo) il maggiore immagazzinamento di acqua nel sistema dovuto proprio alla ricarica artificiale e quindi la quota parte di questa che viene trattenuta all'interno del sistema.
- nei periodi dell'anno in cui avviene la ricarica artificiale (ottobre-maggio) l'immagazzinamento in ingresso (lo *storage in*) rappresenta (con segno negativo) invece il volume di acqua di ricarica artificiale che ha compensato altre voci in uscita e che in assenza di ricarica artificiale andavano ad incidere sull'immagazzinamento di acqua del sistema.

Figura 5.78: analisi del bilancio idrogeologico, proposta 3 (ricarica artificiale in zona Croce di Casalecchio) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)

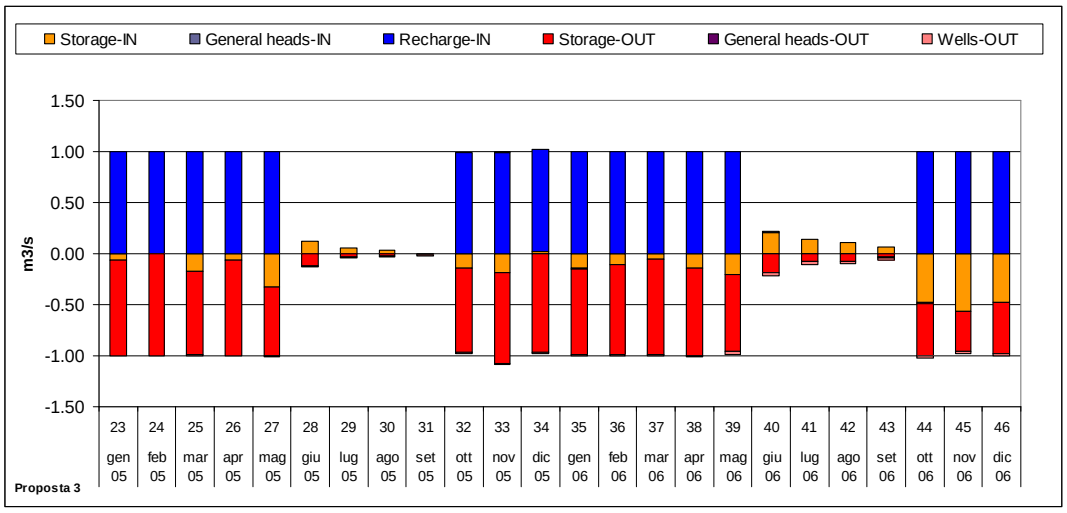


Figura 5.79: analisi del bilancio idrogeologico, proposta 2b (ricarica artificiale in zona Tiro a Segno) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)

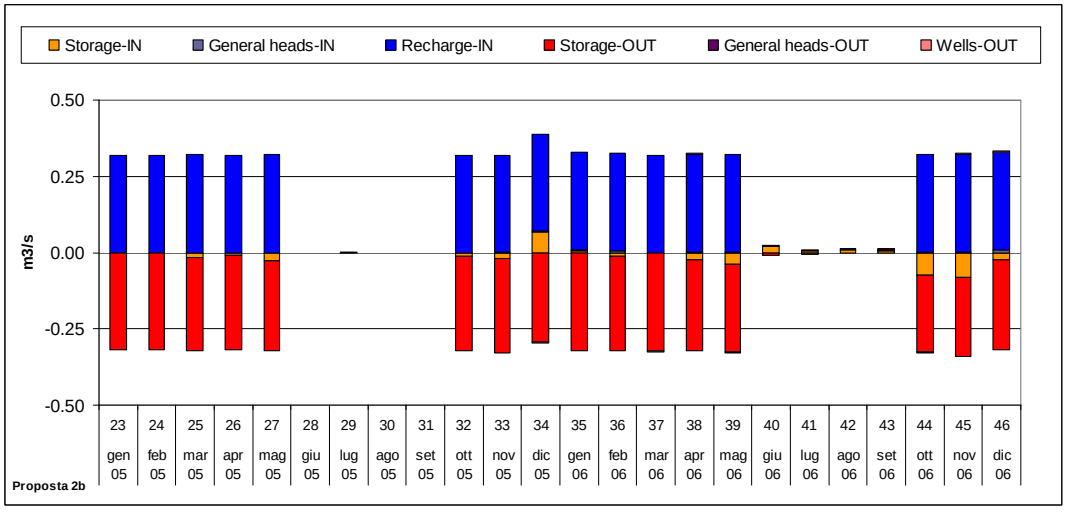
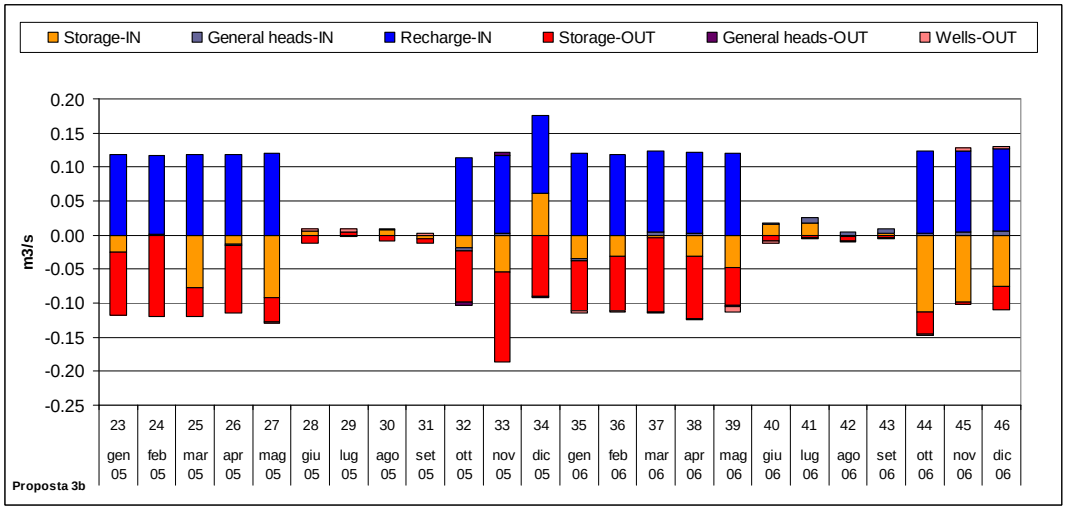


Figura 5.80: analisi del bilancio idrogeologico, proposta 3b (ricarica artificiale in zona Croce di Casalecchio) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)



A livello di sintesi e per una valutazione complessiva dell'intervento di ricarica artificiale proposto, le successive figure (da Figura 5.81 a Figura 5.85) riportano l'analisi del bilancio precedentemente vista nella sua articolazione mensile aggregata su base annuale e quindi considerando nel suo insieme l'intero arco temporale comprensivo del periodo di ricarica e di non ricarica.

Figura 5.81: analisi del bilancio idrogeologico su base annuale, caso 1 (con ricarica artificiale in zona Calderara di Reno) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)

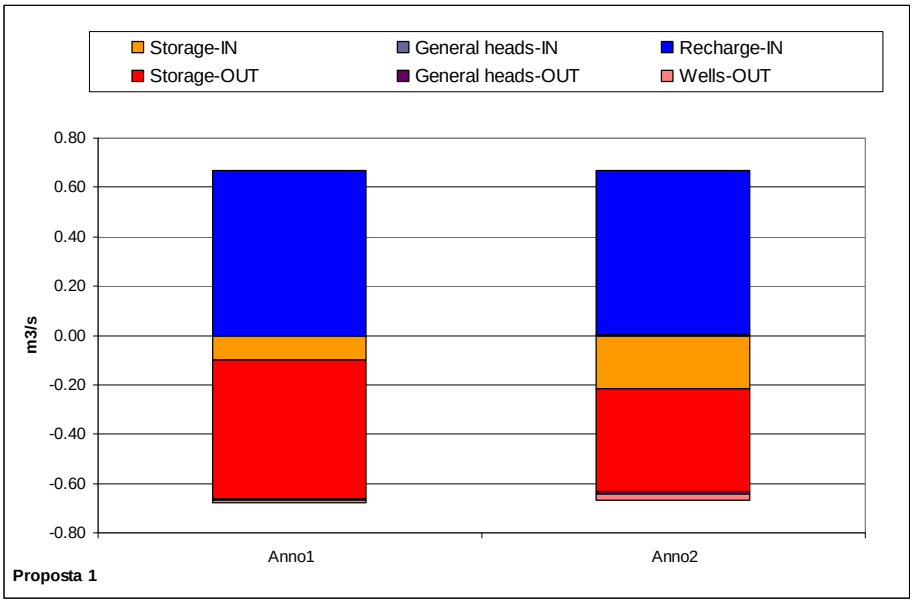
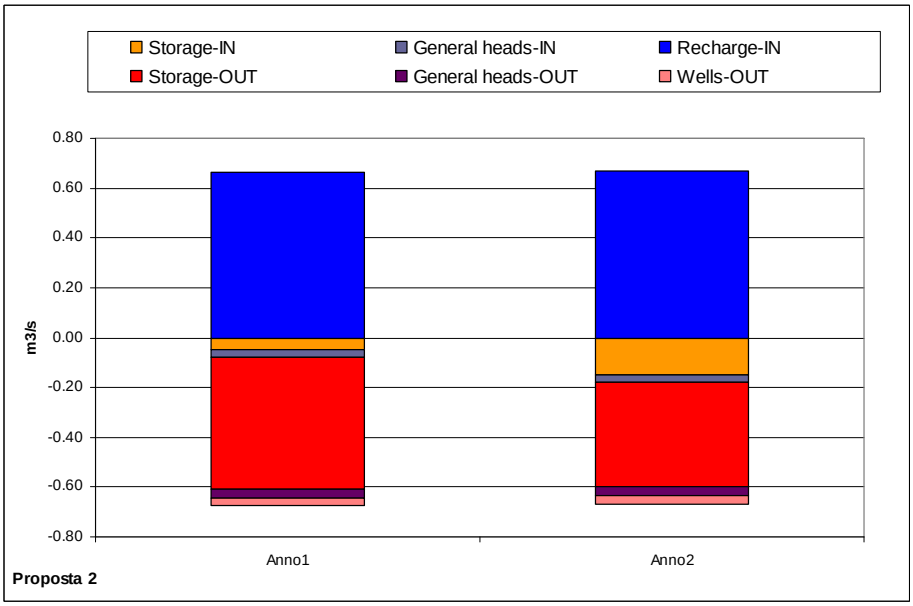


Figura 5.82: analisi del bilancio idrogeologico su base annuale, caso 2 (con ricarica artificiale in zona Tiro a Segno) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)



Mediamente nei due anni quasi tutta l'acqua di ricarica artificiale viene utilizzata (*storage in*) oppure immagazzinata (*storage out*) nella conoide. In tutte le simulazioni si nota inoltre che nel secondo anno la voce di bilancio corrispondente allo *storage in* aumenta a scapito della voce corrispondente allo *storage out*. In altri termini:

- nel primo anno si assiste ad un maggiore immagazzinamento effettivo di acqua all'interno della conoide rispetto alla quantità di acqua di ricarica artificiale che va a compensare i prelievi esistenti;

- nel secondo anno viceversa i due termini si invertono a significare un aumento di acqua di ricarica artificiale direttamente utilizzata dal sistema dei prelievi.

Ciò è coerente con le quote di alimentazione che sono superficiali (la ricarica è operata ad esempio a un laghetto) ed i prelievi che insistono a profondità maggiori.

Figura 5.83: analisi del bilancio idrogeologico su base annuale, caso 3 (con ricarica artificiale in zona Croce di Casalecchio) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)

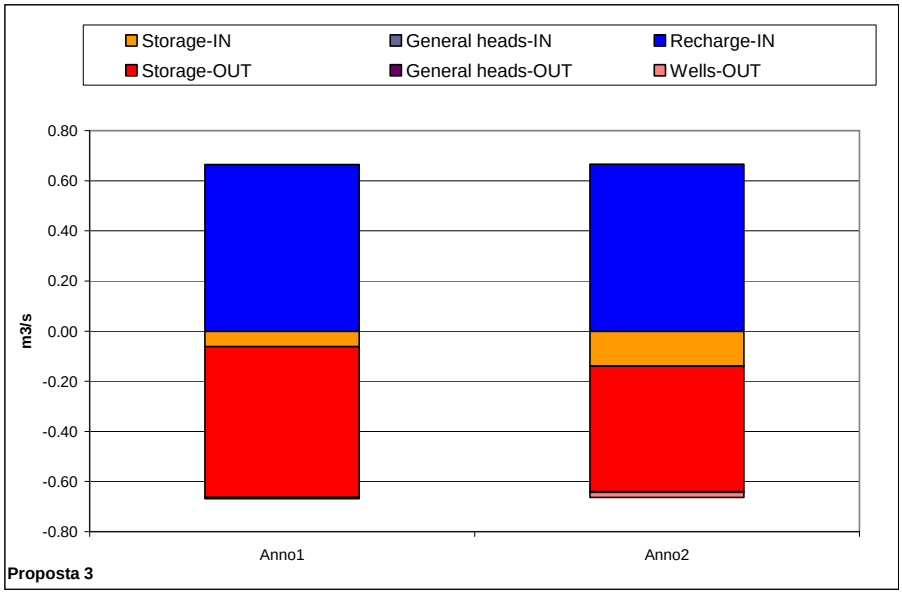


Figura 5.84: analisi del bilancio idrogeologico su base annuale, caso 2b (con ricarica artificiale in zona Tiro a Segno) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)

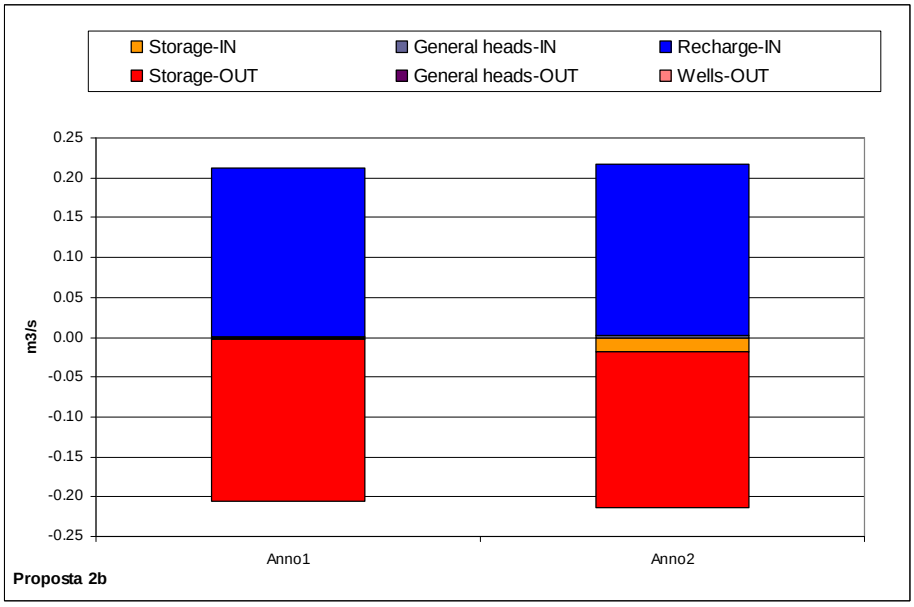
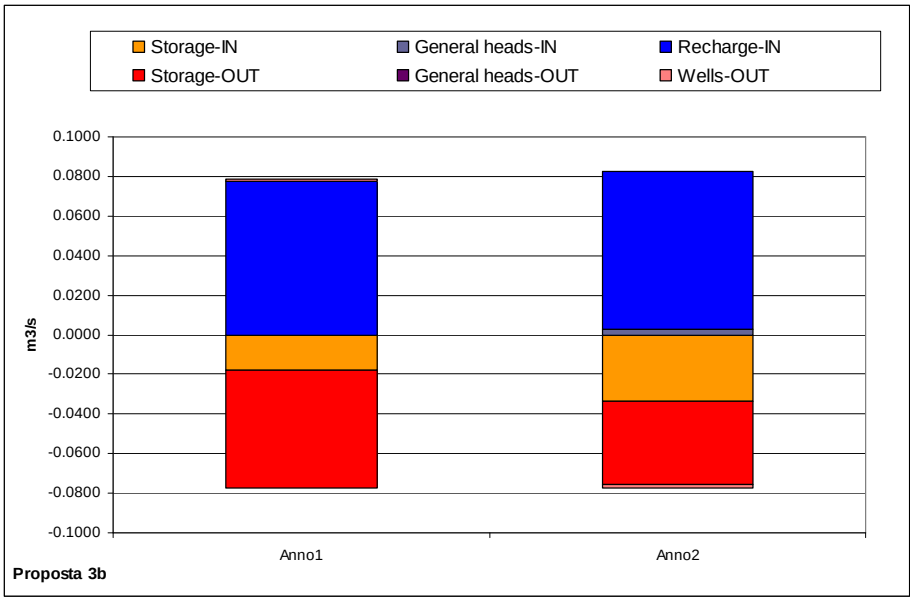


Figura 5.85: analisi del bilancio idrogeologico su base annuale, caso 3b (con ricarica artificiale in zona Croce di Casalecchio) in rapporto al caso 0 (senza ricarica artificiale)



6. CONCLUSIONI

Il presente studio ha affrontato il tema della ricarica artificiale delle falde nei suoi aspetti generali prima, per focalizzarsi poi su due aree appartenenti al territorio emiliano-romagnolo sulle sono stati eseguiti gli approfondimenti necessari a valutare su queste la possibile realizzazione di un intervento di ricarica artificiale delle falde.
Lo studio è stato impostato in maniera differente per le due aree:

- per la prima area di studio, localizzata sulla conoide del fiume Marecchia, è stata segnalata ed è tuttora disponibile la zona dei laghetti di ex-cava situati in destra Marecchia a cavallo tra i comini di Santarcangelo e Rimini, e ciò ha permesso di circostanziare e precisare al meglio l'analisi in tali zone;
- per la seconda area di studio, situata in conoide Reno, sono state avanzate alcune proposte (alternative) di localizzazione che sono state analizzate in maniera comparata in funzione del diverso contesto idrogeologico in cui si collocano all'interno della conoide.

Vengono di seguito riportati a livello di sintesi prima i termini di fattibilità generale di un intervento di ricarica artificiale delle falde nel contesto emiliano-romagnolo e poi alcune indicazioni più di dettaglio relative alle due aree sulle quali lo studio ha eseguito gli approfondimenti.

6.1 TERMINI GENERALI PER LA FATTIBILITÀ DI UN INTERVENTO DI RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE

La fattibilità di un possibile intervento di ricarica artificiale passa attraverso i seguenti criteri principali:

- la risposta degli acquiferi all'ingresso di una maggiore quantità d'acqua. Questa, a sua volta, va valutata in funzione delle modalità di arrivo dell'acqua in falda (acquiferi più superficiali, acquiferi più profondi, posizione dei punti di prelievo civile-agricolo-industriale ecc.);
- la disponibilità di risorsa idrica da immettere;
- la qualità della risorsa idrica da immettere.

Oltre a questi tre temi principali è necessario valutare un'altra serie non piccola di aspetti, che servono a dettagliare meglio il problema e che dipendono più strettamente dal contesto specifico di ciascuna ipotesi di intervento (modalità di ingresso dell'acqua in falda ecc.).
In linea generale, le verifiche sviluppate nel corso dello studio hanno mostrato che un'ipotesi di ricarica artificiale sul Reno o sul Marecchia è certamente fattibile alle altre condizioni generali implicitamente assegnate allo studio; infatti, si intende dare netta preferenza a soluzioni al minimo costo, che sono quelle a gravità.
Infine, come riferimento generale per il dimensionamento del problema si può utilizzare l'intensità del prelievo da pozzo nell'area, intendendo con ciò rapportare i volumi di ricarica resi disponibili dall'intervento con l'effettiva idroesigenza da falda del territorio in esame. Il contributo della ricarica può quindi essere riferito a questo valore.

6.1.1 Criterio "idrogeologico" generale

Lo studio si è avvalso delle basi di dati sperimentali che provengono dalle reti di monitoraggio in uso, degli studi di settore esistenti e di alcune verifiche modellistiche costruite appositamente.
In particolare, i modelli tridimensionali degli acquiferi del Reno e del Marecchia hanno consentito di valutare preventivamente gli effetti sugli acquiferi in funzione di:

- intensità del termine di ricarica;
- posizione dell'impianto di ricarica.

L'intensità della ricarica incide evidentemente sulla risposta espressa in termini di recupero della quota d'acqua in falda: si veda ad esempio per la conoide Reno (paragrafo 5.7.2.1) la proposta 3, zona alla Croce di Casalecchio (confronto dei casi 3 e 3b) e proposta 2, Zona Tiro a Segno (confronto dei casi 2 e 2b). La posizione del punto di immissione incide invece sulla geometria della diffusione dell'acqua; a seconda che l'impianto sia collocato più a monte (entro la zona di massima anastomizzazione degli acquiferi: proposta 3 in conoide Reno) o più a valle (proposta 1, sempre in conoide Reno), vengono raggiunti acquiferi più profondi o meno profondi, con un fronte di ampiezza della diffusione di tipo circa inverso (maggiore la profondità raggiunta, minore l'ampiezza verso valle della diffusione, schematicamente).
Mediante le simulazioni è stato possibile rispondere ad un altro quesito, non secondario, relativo alle modalità di circolazione dell'acqua ricaricata entro la falda, e più precisamente se vi sia e in che misura il rischio di far affluire acqua che poi defluisce rapidamente verso valle e verso i fianchi del sistema, vanificando in misura maggiore o minore la validità del progetto. A tal proposito si veda l'analisi del bilancio idrogeologico condotta per le diverse simulazioni in conoide Reno (paragrafo 4.4.2.2) e conoide Marecchia (paragrafo 5.7.2.2).
Si è trovato infatti, che vi è un grado significativo di elasticità di risposta dell'ammasso roccioso attraverso l'immagazzinamento del fluido entro la roccia; l'acqua immessa, infatti, non partecipa tutta e direttamente al deflusso in senso stretto, ma incide in modo significativo sull'immagazzinamento proprio degli acquiferi, con ciò rallentando l'intero sistema di circolazione del nuovo flusso e impedendo all'acqua di perdersi con un ritmo non accettabile. Questo aspetto è coerente con tutte le valutazioni ricavate dalle esperienze e dai modelli sviluppati nel corso di questi ultimi anni, che hanno mostrato che è proprio l'immagazzinamento il termine che ha maggiormente sofferto del sovrasfruttamento. E' altrettanto ovvio che si tratta di un effetto non definitivo: nell'ipotesi di una ricarica di intensità elevata, è elevato anche l'aumento del gradiente idraulico, che a sua volta aumenta il deflusso a scapito dell'immagazzinamento, che quindi cede acqua per un certo periodo di tempo. Si tratta quindi di uno schema di funzionamento che non è necessariamente sempre all'equilibrio (ingressi = uscite, nel tempo), ma dipendente dalle geometrie e disomogeneità interne, tempi di risposta non identici in parti diverse dell'ammasso ecc.
Sulla base di queste considerazioni, la conclusione in merito alla fattibilità generale è largamente positiva: in particolare, proprio la complessità delle geometrie presenti, e le ben note disomogeneità di comportamento, consentono anche una notevole flessibilità di intervento, ad esempio dando la possibilità di "specializzare" un intervento di ricarica a beneficio di una certa porzione dell'acquifero e di conseguenza, per le note correlazioni tra usi idrici e profondità della falda, tra diversi tipi d'uso dell'acqua.

6.1.2 Criterio "idrologico" generale

La fonte primaria di acqua per la realizzazione di una ricarica è, nel caso, esclusivamente l'acqua superficiale. Si escludono a priori ipotesi che prevedono il trasferimento di acqua sotterranea da una parte all'altra di sistemi acquiferi, essendo quello della conoide comunque la destinazione finale.
Il prelievo di acqua dall'alveo del fiume è di per sé sempre fattibile, per cui si tratta di valutare "semplicemente" l'intensità del prelievo, tenendo conto che il prelievo è a sua volta condizionato dalle caratteristiche dei deflussi. E' noto, infatti, che, per ragioni legate sia alla qualità dell'acqua, sia alla quantità di massa solida trasportata, è in genere sconsigliabile di prelevare l'acqua di piena per non incorrere in costi troppo elevati in termini di impianti di trattamento e stoccaggio; in linea di principio, è quindi preferibile ricorrere ai regimi di deflusso più ordinario, che tuttavia concedono intensità di prelievo più limitate. Il prelievo in regime di magra, inoltre, deve considerare di non poter depauperare il fiume in modo eccessivo, per poter rispettare le necessità dei tratti d'alveo posti più a valle (DMV ed eventuali altri utilizzi in atto).
Una ulteriore ipotesi che si segnala consiste nel prelevare acqua dal reticolo idrografico minore. Tali considerazioni sono anche più difficili, a causa della ben scarsa disponibilità di informazioni utili, si deve tuttavia considerare che si tratta di cavi e canali caratterizzati da regimi di risposta quasi istantanea agli eventi di pioggia, quindi ancor più difficili da controllare in un contesto di regimazione più regolare. Per conseguenza di questo, si può anche presumere che abbiamo maggiori problemi di qualità dell'acqua.

Regimazione
Il regime migliore da utilizzare per la realizzazione della ricarica è vincolato al periodo di massima disponibilità idrica in alveo; per questo motivo, le simulazioni dell'acquifero sono state realizzate sotto l'ipotesi della continuità di rifornimento limitata al periodo tra ottobre e maggio che è orientativamente quello della massima disponibilità idrica (si vedano a tal proposito i paragrafi 4.3.7.1 e 5.4.1).
Simulando una durata di due anni, quindi due fasi distinte di ricarica, sono stati notati gli effetti positivi sull'immagazzinamento descritti sopra.

Stoccaggio
Lo stoccaggio è necessario per due eventuali motivi:

a) se l'acqua deve subire una qualche forma di trattamento prima dell'immissione in falda;
b) se la capacità di infiltrazione in falda è minore della capacità di accumulo nel periodo di deflusso favorevole.

Senza anticipare le considerazioni sulla qualità dell'acqua, si può invece valutare la necessità di ricorrere agli stoccaggi sulla base delle valutazioni parametriche che sono state realizzate simulando la ricarica nelle località prese a riferimento.
Vi è tuttavia un altro modo di analizzare il problema: infatti, è relativamente poco importante che il regime della ricarica, del ritmo cioè con cui l'acqua viene immessa in falda, sia particolarmente costante e regolare. Ammesso che sia di qualche necessità, a questo provvede egregiamente l'immagazzinamento dell'acquifero, come accennato.
Premesso questo, si può cercare di ottenere la flessibilità desiderata aumentando considerevolmente il deflusso in falda, in modo da evitare quasi completamente lo stoccaggio; questa ipotesi, da approfondire con le necessarie verifiche sul terreno, si basa sulla presenza di una discreta quantità di ammassi ghiaiosi nella parte apicale della conoide, ammassi che sono in genere caratterizzati da permeabilità verticali molto maggiori da quelle utilizzate (più prudenzialmente) nel corso delle simulazioni di dettaglio qui condotte. Se si considera, ad esempio, una permeabilità verticale dell'ordine di $1 \cdot 10^{-4}$ m/s, si ottiene un deflusso in falda per solo effetto della gravità dell'ordine dei 1 m^3/s per ettaro di superficie impiegata, o ancor più per permeabilità maggiori, possibili nei casi di ghiaie particolarmente ben classate e prive di matrice fine. Su questa base è possibile ipotizzare un deflusso abbastanza consistente da rendere praticamente inutile un sistema di stoccaggio, lasciando aperto solo quanto attiene alla qualità dell'acqua e al trasporto solido.

Distanze
La distanza tra il punto di presa dell'acqua superficiale ed il punto di immissione in falda ha un ruolo abbastanza significativo, dato che l'eventuale trasporto dell'acqua può costituire un altro elemento di complicazione. Si tratta tuttavia di un fattore che normalmente incide più sulla fattibilità economica, che qui non è ancora in discussione, che su quella tecnica in generale.

6.1.3 Criterio "qualità dell'acqua"

La qualità dell'acqua va considerata sotto diversi aspetti, tutti riconducibili sostanzialmente a due categorie di problemi che riguardano:

a) la possibilità di alterare, peggiorandola, la qualità dell'acqua di falda;
b) possibilità di alterare, peggiorandola, la permeabilità verticale dell'ammasso porosa che viene usato per l'infiltrazione in falda.

Nel primo caso, oltre agli eventuali vincoli di carattere normativo (generale o locale) che posso in qualche modo condizionare l'operazione, è necessario comunque verificare a priori che le sostanze veicolate per soluzione dall'acqua superficiale non siano per tipo e per quantità tali da peggiorare l'acqua di destinazione.
Nel secondo, è invece necessario evitare effetti di intasamento dell'ammasso porosa a causa del solido trasportato dall'acqua superficiale che, con il tempo, può essere trattenuto nella matrice porosa, diminuendone l'efficienza.
In entrambi i casi è possibile aumentare la flessibilità di impiego del fluido ipotizzando forme più o meno spinte di trattamento o di gestione dell'impianto, che incidono evidentemente sulla fattibilità economica.

6.1.4 Indicazioni generali per una successiva fase di sperimentazione

Nei paragrafi precedenti sono documentati i risultati ottenuti nel corso dello studio e sono state sciolte le prime riserve in ordine alla fattibilità. Data la complessità delle dinamiche e dei fattori che regolano un impianto del genere, sono tuttavia alcuni altri passaggi, prima di poter arrivare ad un eventuale progetto esecutivo. Infatti, è necessario sviluppare l'attività sotto due profili principali:

a) bisogna iniziare ad associare qualche elemento di costo ai dimensionamenti preliminari emersi dallo studio;
b) bisogna realizzare qualche approfondimento sperimentale, sia sotto il profilo di rilievi idrogeologici di dettaglio maggiore, sia sotto il profilo di vere e proprie immissioni sperimentali d'acqua.

La questione fondamentale, nel prospettare questi approfondimenti, è che essi sono consigliabili, per evidenti ragioni di economia, solo nelle località in cui si ritiene di poter poi effettivamente realizzare l'impianto di ricarica; è ovvio che nei casi troppo dubbi o troppo complicati vi è il rischio di sprecare risorse di tempo e di denaro.
Una prima stima a grandi linee del costo dell'intervento deriva fondamentalmente dalla natura e dalle dimensioni delle opere da realizzare, sapendo che in prima approssimazione:

a) non si ritiene necessario, al momento, il ricorso ad opere di trattamento dell'acqua;
b) sono invece necessarie le opere di presa e di collegamento, da valutare caso per caso, ma che dipendono essenzialmente dalla portata d'acqua da trasportare e dalla distanza da percorrere;
c) è possibile dover ricorrere ad opere di scavo per raggiungere i volumi richiesti.

Da notare che l'impianto sul Marecchia è in condizioni particolari, dato che le opere di collegamento sono già presenti e presumibilmente si devono valutare solo interventi minori di sistemazione e pulizia.
Le attività di carattere sperimentale riguardano due aspetti:

a) il rilievo di dati idrogeologici nell'area di interesse per affittire adeguatamente le conoscenze oggi disponibili: ciò avviene installando una quantità significativa di

piezometri, ma anche utilizzando gli eventuali pozzi (di caratteristiche compatibili) già presenti nell'area;

b) l'esecuzione, come accennato, di prove di immissione. Nel caso del Marecchia si tratta di una attività relativamente semplice, dato che il canale di collegamento è già disponibile ed è necessario solo concertare l'operazione con i soggetti istituzionali interessati. Nel caso invece del Reno, probabilmente bisogna attrezzare un'area apposita in una località adatta, dotandosi di un sistema di sollevamento temporaneo, di tubi e predisponendo, mediante uno scavo, una vasca per i test di infiltrazione;
c) in entrambi i casi, cioè sia sul Reno che sul Marecchia, le area di test vanno a loro volta attrezzate adeguatamente per poterne seguire e rilevare gli effetti (aste idrometriche, piezometri e misuratori di portata, fondamentalmente).

Le attività sul terreno devono poi essere associate da opportune simulazioni con i modelli matematici, che devono essere dettagliati fino alla scala necessaria, ciò che può avvenire sia affittendo i sistemi già in uso, sia eventualmente realizzando specifiche applicazioni di dettaglio.

6.2 CONCLUSIONI PER LA RICARICA ARTIFICIALE IN CONOIDE MARECCHIA

Da quanto sopra esposto appare evidente che esistono tutti i termini per prendere in considerazione l'ipotesi della ricarica della falda nell'ambito della conoide del Marecchia.
In termini generali, infatti, è possibile reperire volumi d'acqua in quantità significativa dal Fiume durante i regimi di tipo intermedio; la quantità significativa può essere rapportata alle idroesigenze dell'area, che vengono stimate nell'ordine dei 1 m^3/s medio, ovvero dei 30 milioni di metri cubi nel corso dell'anno. Da notare, a questo proposito, che, supponendo di poter immettere una pari quantità d'acqua in falda:

- non si ottiene il "saldo" della quota prelevata, dato che una certa parte della risorsa viene comunque persa a causa del deflusso sui fianchi e verso valle;
- si sposta il beneficio di tale nuova risorsa verso porzioni dell'acquifero più o meno distanti dall'area riminese, quindi a disposizione di altri territori.

L'assetto più ovvio proponibile per il prelievo dal fiume consiste nel distribuire su 8 mesi, da ottobre a maggio, i 30 milioni di metri cubi necessari, che così si traducono un una media di circa 1,5 m^3/s, sempre abbondantemente inferiore a quanto effettivamente presente in alveo. E' poi possibile dettagliare meglio e rendere più efficiente la gestione del prelievo in modo da minimizzare gli effetti sul fiume con una indagine più mirata, da eseguire a questo scopo, ed identificare i regimi migliori per quello che riguarda il trasporto solido e la qualità dell'acqua.
Per quello che riguarda invece il deflusso in falda, la valutazione condotta considerando una permeabilità verticale di 10^{-3} m/s in concomitanza con le elevate superfici disponibili dai laghetti rende più che mai perseguibile il bersaglio dell'analisi (1.0 m^3/s per i 12 mesi).
Sotto tutte queste condizioni, la risultante valutazione è del tutto positiva, sia dal punto di vista della fattibilità in sé, sia dal punto di vista di riuscire ad incidere in modo molto significativo sull'intero sistema di prelievo da pozzi nell'areale riminese.
Si ritiene opportuno ricordare ancora che di fatto molti degli elementi che costituirebbero l'impianto di ricarica artificiale delle falde esistono già (canale di derivazione, invasi, ecc.) e che quindi obiettivo ulteriore della eventuale sperimentazione potrà essere l'acquisizione di elementi di maggior dettaglio sulla dinamica di interazione laghetto/falda/fiume nonché la verifica su eventuali limiti cui assoggettare le portate fluenti nel canale di derivazione (è stato segnalato un passaggio intubato del canale in concomitanza del sottopasso della pista ciclabile in un tratto a monte dell'impianto di ricarica).

6.3 CONCLUSIONI PER LA RICARICA ARTIFICIALE IN CONOIDE RENO

Da quanto sopra esposto appare evidente che esistono tutti i termini per prendere in considerazione l'ipotesi della ricarica della falda nell'ambito della conoide del Reno.

In termini generali, infatti, è possibile reperire volumi d'acqua in quantità significativa dal Fiume durante i regimi di tipo intermedio; la quantità significativa può essere rapportata alle esigenze dell'area, che vengono stimate nell'ordine dei 1.5 m^3/s, ovvero dei 45 milioni di metri cubi nel corso dell'anno. Da notare, a questo proposito, che, supponendo di poter immettere una pari quantità d'acqua in falda:

- non si ottiene il "saldo" della quota prelevata, dato che una certa parte della risorsa viene comunque persa a causa del deflusso sui fianchi e verso valle;
- si sposta il beneficio di tale nuova risorsa verso porzioni dell'acquifero più o meno distanti dall'area bolognese, quindi a disposizione di altri territori.

Un volume di queste dimensioni rappresenta una quota pari a circa il 10 % dell'acqua in transito dalla sezione di rilevamento a Casalecchio a valle della Chiusa, presso la quale la media 1991-2001 dei deflussi mostra l'assetto della Figura 5.21.

L'assetto più ovvio proponibile per il prelievo consiste nel distribuire su 8 mesi, da ottobre a maggio, i 45 milioni di metri cubi necessari, che così si traducono un una media di circa 2,2 m^3/s, sempre largamente inferiore a quanto effettivamente presente in alveo. E' poi possibile dettagliare meglio e rendere più efficiente la gestione del prelievo in modo da minimizzare gli effetti sul fiume con una indagine più mirata, da eseguire a questo scopo, ed identificare i regimi migliori per quello che riguarda il trasporto solido e la qualità dell'acqua.

Per quello che riguarda invece il deflusso in falda, la valutazione più prudenziale qui condotta assume una produzione dell'ordine di 100-120 l/s per ettaro considerando una permeabilità verticale contenuta (10^{-5} m/s), più vicina al campo delle sabbie che a quello delle ghiaie. La produzione può raggiungere, con la medesima permeabilità, un livello dell'ordine dei 150-180 l/s (per ettaro)considerando di poter stoccare l'acqua in un bacino come quello della ex cava del Tiro a Segno, quindi con un tirante idraulico dell'ordine dei 10 m.

Tra questa portata e la portata che costituisce il "bersaglio" dell'analisi (2.2 m^3/s) corre ancora più di un ordine di grandezza, che però può essere collocato sia nell'estensione dell'impianto (permeabilità bassa su 10 ettari di bacino), ma anche in una migliore (del tutto possibile) permeabilità verticale ed una superficie di scambio più limitata.

Si deve notare anche che fino a questo punto non è stato necessario inserire nella valutazione la risorsa che può essere ritratta sfruttando il reticolo idraulico minore, che contente di operare con altri volumi, oltre a quelli citati; presumendo, in assenza di informazioni, che possa trattarsi di acque di qualità inferiore, appare corretto limitarsi qui alla segnalazione dell'opportunità, senza entrare nel merito specifico di una tale ipotesi.

Sotto tutte queste condizioni, la valutazione risultante è del tutto positiva, sia dal punto di vista della fattibilità in sé, sia dal punto di vista di riuscire ad incidere in modo molto significativo sull'intero sistema di prelievo da pozzi nell'area bolognese.

Nel corso dello studio sono stati indagati anche alcuni fattori di dettaglio posti all'interno del quadro di fattibilità generale descritto sopra.

Questi fattori sono:

- la disponibilità di aree adatte per loro natura e posizione ad ospitare un impianto di ricarica;
- la valutazione preliminare della produzione (verso la falda) di impianti ottenuti in tali località;
- la valutazione degli effetti di tale ricarica sulla falda;
- la presenza di controindicazioni, derivanti dalle verifiche di dettaglio, tali da ribaltare il giudizio generale espresso sopra.

La presenza di invasi già disponibili, tipicamente i bacini di cave esaurite poste nei pressi del Reno, garantisce che venga rispettato il criterio del minimo costo; infatti, si tratta di località poste a breve distanza dall'alveo e, nel caso particolare della cava presso il Tiro a Segno sembra essere già previsto il passaggio in proprietà al Comune di Bologna nel quadro delle convenzioni stipulate per le attività di cava e di recupero dei bacini corrispondenti.

Il quadro di dettaglio, consiste quindi in tre diverse localizzazioni, il cui studio ha consentito sia di verificare i vantaggi e svantaggi reciproci, ma anche di stimare parametricamente alcune delle

grandezze significative già descritte nei paragrafi dedicati alla fattibilità generale. Da sud a nord, le località studiate sono:

1. la golena del Reno in prossimità della Croce di Casalecchio (Proposta 3);
2. l'ex cava del Tiro a Segno (Proposta 2)
3. zone in località Calderara di Reno (Proposta1)

Lo studio ha così consentito di valutare il deflusso verso la falda in diverse condizioni di:

- morfologia del bacino (superficie e sviluppo laterale);
- posizione del punto di ricarica relativamente alla geometria della falda;
- intensità del deflusso in falda.

Le simulazioni hanno confermato che la posizione apicale consente di raggiungere le profondità maggiori, dato che nell'area attorno alla Croce di Casalecchio e per un spessore (in senso nord-sud) dell'ordine di 1 km affiorano tutti gli acquiferi, anche quelli che, poco più a valle si immergono rapidamente in profondità.

La simulazione in dettaglio di due ipotesi (proposta 1 e proposta 3) ha consentito di parametrare l'intensità del deflusso in funzione della permeabilità verticale, della superficie del fondo, dello sviluppo laterale e del tirante d'acqua impegnato entro il bacino, e della presenza di uno spessore molto diversificato del mezzo non saturo posto tra la superficie e la tavola d'acqua..

Poiché la proposta 2. consiste in un bacino già realizzato,è evidente che corrisponde ad una situazione molto favorevole sia sul piano del costo economico, sia sul piano della formalizzazione delle autorizzazioni necessarie alla realizzazione di un impianto del genere. Quindi, corrisponde ad una situazione ideale rispetto agli altri casi. Nella tabella che segue, comunque, è riportata una breve sintesi delle condizioni favorevoli e sfavorevoli per tutti i 3 casi:

Tabella 6.1: analisi comparata delle re possibilità di intervento in conoide Reno

Condizioni	1. Croce di Casalecchio	2. Tiro a Segno	3. Calderara di Reno
a) idrogeologia a.1) alimentazione falde profonde	●●●	●●	●
a.2) alimentazione falde poco profonde	●	●●	●●●
a.3) permeabilità verticale	●●●	●●●	●●
a.4) spessore del mezzo non saturo	●●●	●●	●●
b) idraulica b.1) distanze, stoccaggi ecc.	●●●	●●●	●●●
b.2) produttività	●●●	●●●	●●
c) qualità dell'acqua in ingresso	●●	●●	●
d) morfologia del bacino e volume disponibile	●	●●●	●●

●●● = molto favorevole ; ●● = abbastanza favorevole ● = poco favorevole

Occorre infine richiamare la problematica emersa nell'ambito dello studio e legata alla rinvenuta presenza di Toluene all'interno dei sedimenti dell'alveo del Reno nel tratto in prossimità della proposta 3 (Croce di Casalecchio).

7. 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] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, Autorità di Bacino del Reno, dicembre 2005. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Reno per la realizzazione di un modello idrogeologico per la gestione sostenibile delle risorse idriche*. Rapporto tecnico.

[3] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, luglio 2006. *Studio della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica*. Rapporto tecnico.

[4] Arpa Emilia-Romagna, Hera Rimini, aprile 2007. *Applicazione della modellistica matematica di simulazione del flusso delle acque sotterranee della Conoide Alluvionale del Fiume Marecchia*. Rapporto tecnico.

[5] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2006. *La qualità dei corsi d'acqua della Regione Emilia-Romagna*. A cura di D. Tonna.

[6] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2004. *La qualità dei corsi d'acqua della Regione Emilia-Romagna – Biennio 2001-2002 anno 2003*. A cura di A. Fava, S. Franceschini.

[7] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2003. *La qualità dei corsi d'acqua della Regione Emilia-Romagna – Report 2000-2002*. A cura di R. Spaggiari, S. Franceschini, M.E. Manzini.

[8] Arpa Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna, 2005. *Le caratteristiche degli acquiferi della regione Emilia-Romagna. Report 2003.* A cura di A. Fava, M. Farina, M. Marcaccio.

[9] Regione Emilia-Romagna, Comune di Rimini, Comune di Santarcangelo di Romagna, 2004. *Progetto di riassetto territoriale delle aree periurbane della Bassa Valmarecchia al fine di definire il recupero ambientale delle cave Incal System e Adria Scavi nel fiume Marecchia*. Rapporto tecnico.

[10] R. Spaggiari, A. Fava, S. Franceschini, M. Marcaccio, G. Bardasi, F. Bonsignore, A. Chahoud, E. Dal Bianco, M. Morelli, P. Spezzani, A. M. Casadei. Arpa Emilia-Romagna Annuario Regionale dei dati ambientali, Edizione 2007. Capitolo 3A - Acque interne. http://www.arpa.emr.it, edizione su CD Rom

[11] Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP, (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*, a cura di G.Di Dio, Firenze, 120pp.

[12] Regione Emilia-Romagna, Arpa-IA**,** settembre 2003*. Modello matematico di simulazione delle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna (Emiro3D)*, Elaborato di supporto alla Relazione Generale del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna.

[13] Regione Emilia-Romagna, Arpa-IA**,** marzo 2007. *Modello matematico di flusso e di trasporto dei nitrati nelle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna (Emiro3D)*. Rapporto Tecnico.

[14] 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.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 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.

[18] Harbaugh A.W., Banta E.R., Hill M.C., McDonald M.G., (2000). *MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-water model – User Guide to Modularization concepts and the Ground-water Flow Process*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-92.

[19] Mc Donald M.G., Harbaugh A.W., (1988). *A modular three–dimensional finite difference ground water flow model*. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 6, chapter A1.

[20] Thoms R.B., Johnson R.L., Healy R.W..(2006). *User's Guide to the Variably Saturated Flow (VSF) Process for Modflow*. United States Geological Survey Techniques and Methods 6-A18,58p.

[21] Niswonger, R.G., Prudic, D.E., and Regan, R.S., (2006). *Documentation of the Unsaturated-Zone Flow (UZF1) Package for modeling unsaturated flow between the land surface and the water table with MODFLOW-2005*: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A19, 62 p.

[22] Voss C. I., (1984). *SUTRA: A Finite Element Simulation Model for Saturated-Unsaturated, Fluid Density-Dependent Groundwater Flow with Energy Transport and Chemically-Reactive Single-Species Solute Transport*. U.S.G.S., Report n.84-4369, 1984, 409 pp.

[23] Voss C. I., Provost A. M., (2003). *SUTRA, Water-Resources Investigations Report 02-4231*, , Reston, Virginia, U.S.Department of the Interior, U.S. Geological Survey, pp. 333, http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/sutra.html

[24] Williams J.R., Ouyang Y., Chen J., Ravi V., (1998) *Estimation of infiltration rate in vadose zone: application of selected mathematical models (Volume II)*. EPA/600/R-97/128b.

[25] Stuyfzand P. J. (2006). *Dispense del Seminario "La ricarica artificiale degli acquiferi". Bologna, 13-14 gennaio 2006.*

[26] Williams J.R., Ravi V., (1998) *Estimation of Infiltration Rate in Vadose Zone: Compilation of Simple Mathematical Models (Volume I)*. EPA/600/R-97/128a.

ALLEGATO 1: SCHEDE MONOGRAFICHE DI STUDI E PROGETTI DI RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE

Titolo pubblicazione	**Assessment of Artificial Recharge at Sand Hallow Reservoir, Washington County, Utah, Updated to Conditions through 2006**
Paese	Stati Uniti
Anno	2007
Autore	Victor M. Heilweil e David D. Susong
Scopo	- Aumentare il livello piezometrico della falda. - Valutare il raggio d'influenza della ricarica attraverso indicatori geochimici e piezometri di controllo - Calcolare una stima della ricarica artificiale efficace attraverso un bilancio idrogeologico. - Valutare le variazioni nel tempo delle proprietà idrogeologiche dell'acquifero in relazione a problemi di intasamento del bacino. - Influenza del bacino artificiale sull'idrodinamica dell'acquifero
Contesto territoriale	Altopiano non urbanizzato
Tecnologia adottata	Diretta superficiale (bacino artificiale)
Problemi emersi	- Considerazioni sulle cause di intasamento del bacino artificiale - Differenti caratteristiche chimiche fra acqua di ricarica e di falda
Dati tecnici	- Bacino artificiale costruito nel 2002 - Superficie massima dell'acqua contenuta nel bacino artificiale (2006) : circa 5 km^2 - Profondità massima dell'acqua contenuta nel bacino artificiale (2006) : circa 27.5 m - Volume massimo dell'acqua contenuta nel bacino artificiale (2006) : circa 63 Mm^3 - Volumi mensili stimati di ricarica artificiale efficace: da 0.25 Mm^3 a 3.7 Mm^3
Utilizzo modellistica	No

Titolo pubblicazione	**Artificial Recharge through a Thick, Heterogeneous Unsatured Zone near an Intermittent Stream in the Western Part of the Mojave Desert, California**
Paese	Stati Uniti
Anno	2002
Autore	John A. Izbicki e Christina L. Stamos
Scopo	- Contrastare l'abbassamento del livello piezometrico della falda prodotto dai prelievi idrici di diversi pozzi. - Testare attraverso esperimenti la fattibilità di utilizzo delle acque di un canale, per ricaricare l'acquifero regionale - Monitoraggi quali-quantitativi, anche in continuo, delle acque di ricarica per mezzo di strumentazione sofisticata, al fine di verificare il percorso e le variazioni chimiche delle acque dal bacino artificiale alla falda - Identificazione della migliore ubicazione del sito di ricarica artificiale
Contesto territoriale	Deserto
Tecnologia adottata	Diretta superficiale (bacino artificiale)
Problemi emersi	Diversi innalzamenti del livello di falda a seconda del sito di immissione della ricarica associato secondariamente ai volumi di acqua immessi
Dati tecnici	Spessore dell'acquifero insaturo: circa 130 m
Utilizzo modellistica	Sì: modello di flusso delle acque sotterranee con simulazione in periodo siccitoso di 20 anni.

Titolo pubblicazione	**Field experiments and simulations of infiltration-rate response to changes in hydrologic conditions for an artificial-recharge test basin near Oakes, southeastern North Dakota**
Paese	Stati Uniti
Anno	1991
Autore	D. M. Summer, W. M. Schuh e R. L. Cline
Scopo	- Valutare e simulare i tassi di infiltrazione, per dei mezzi saturato e non saturato, secondo il livello dell'acqua nel bacino di infiltrazione, e in funzione del tempo. - Studiare le proprietà idrauliche dell'acqua tra un bacino di infiltrazione e la falda.
Contesto territoriale	Pianura
Tecnologia adottata	Diretta superficiale (bacino artificiale)
Problemi emersi	Sedimenti depositati nel fondo del bacino artificiale
Dati tecnici	- Bacino di infiltrazione: 15*15 metri. - Alimentato dal fiume "James "
Utilizzo modellistica	**Si**: 2 modelli utilizzati per simulare le proprietà idrauliche per un mezzo non saturato (1D) e saturato (2D) in dei bacini test.

Titolo pubblicazione	**Guide on Artificial Recharge to Groundwater**
Paese	India
Anno	2000
Autore	Central ground water board ministry of water resources
Scopo	- Fornire le indicazioni delle linee guida, dei fattori da considerare e degli studi indispensabili per la pianificazione di progetti di ricarica artificiale - Fornire una descrizione delle diverse tecniche di ricarica artificiale - Fornire un elenco di casi storici di applicazione di progetti di ricarica artificiale con una breve sintesi dei vantaggi ottenuti
Contesto territoriale	Vario
Tecnologia adottata	Diretta superficiale/diretta profonda
Problemi emersi	- Metodi per ridurre gli effetti dell'intasamento del fondo di bacini artificiali - Valutazione degli impatti e dei costi-benefici
Dati tecnici	
Utilizzo modellistica	**No**

Titolo pubblicazione	**Studio per una migliore gestione delle risorse idriche dell'Emilia orientale e della Romagna tramite integrazione con acque derivate dal Canale Emilano-Romagnolo**			
Paese	Italia			
Anno				
Autore	EHS s.r.l – Servizi per l'ingegneria idraulica ed ambientale			
Scopo	- Descrivere come esempi la strutturazione e le caratteristiche tecniche di alcuni ì impianti di ricarica artificiale realizzati in Europa e negli Stati Uniti. - Effettuare una simulazione modellistica di ricarica artificiale nei pressi di Bologna per valutarne gli effetti prodotti.			
Contesto territoriale	Pianura			
Tecnologia adottata	Diretta profonda (pozzi)			
Problemi emersi	Intasamento dei filtri dei pozzi da risolvere mediante spurgo o lavaggio			
Dati tecnici	**Ubicazione impianto**	**Spagna (Barcellona)**	**Inghilterra (Lee, vicino Londra)**	**Stati Uniti (Long Island nello stato di New York)**
	Falda coinvolta	Freatica (circa i primi 30m)		Primi strati fino a 150 m
	N° pozzi	1 centrale + 16 laterali da 8'' + 1 uno a parte	3	1 da 36''
	Provenienza acqua immessa	Da canale irriguo e da fiume		
	Trattamento acqua di ricarica	Filtrazione con rete metallica + clorazione		
	Portata di ricarica (l/sec)	100-110 in totale	Fino a 140 ciascuno	
	Operazioni di spurgo o lavaggio dei pozzi/ portate (l/sec)	Sì/ 200-400		

Utilizzo modellistica	**Sì**: simulazioni di ricarica artificiale con un impianto di 10 pozzi con portata pari a 250 e 500 l/sec in località S. Giorgio di Piano (BO) presso il cambio di direzione del Canale Emiliano-Romagnolo. I valori dei parametri idrodinamici dell'acquifero sono i seguenti: - Conducibilità idraulica $K=2*10^{-4}$ m/sec - Trasmissività $T=2\text{-}4*10^{-3}$ m^2/sec

Titolo pubblicazione	**Studio progettuale di utilizzazione di bacini di cava nel comprensorio di Bologna quali invasi idrici ad usi plurimi**
Paese	Italia
Anno	1983
Autore	Idroser s.p.a
Scopo	- Definire le caratteristiche fisiche e antropiche delle aree di indagine attraverso studi approfonditi su diversi settori (idrogeologia, idrologia, geotecnica e geognostica, qualità delle acque, analisi dell'impatto ambientale, valutazione della domanda idrica, analisi delle infrastrutture idrauliche esistenti e in progetto, studio urbanistico e studio giuridico-amministrativo) - Individuare le possibili ipotesi di riutilizzazione dei bacini di cava di Casteldebole e dell'area dell'Idice, compatibili con una politica di tutela socio-ambientale del territorio (utilizzo agro-industriale, socio ricreativo, di ricarica artificiale delle falde acquifere) - Progettare il recupero ad invaso idrico del bacino di cava di Casteldebole a scopo di ricarica artificiale con acqua di provenienza fluviale, valutando quindi le opere e le operazioni di manutenzione necessarie
Contesto territoriale	Pianura urbanizzata, industrializzata e con attività agricola intensiva
Tecnologia adottata	Diretta superficiale (bacino artificiale di ex cava)
Problemi emersi	- Maggiore profondità del piano d'infiltrazione comporta minore altezza limite dell'anomalia piezometrica (quota tra il livello piezometrico della falda e il battente d'acqua sul piano d'infiltrazione) e quindi minore portata d'infiltrazione
Dati tecnici	- volume del bacino di sedimentazione: $4.5*10^6$ m^3 - volume del bacino di infiltrazione: $4.2*10^6$ m^3 - portata di acqua necessaria per portare a saturazione l'insaturo: 1000 l/sec (in un primo periodo transitorio di 80 giorni) e 360 l/sec (nel lungo periodo) - portata massima dell'acqua da derivare dal fiume al bacino di sedimentazione: 4 m^3 /sec - intervallo ottimale di portata per derivare acqua dal fiume al fine di assicurarne le migliori caratteristiche qualitative: 26-80 m^3 - impermeabilizzazione del fondo e dei paramenti del bacino di sedimentazione - opere di trattamento delle acque prima dell'immissione in falda
Utilizzo modellistica	**Sì**

<table>
<tr><td>Titolo pubblicazione</td><td colspan="5"><u>Connaissance et modélisation du fonctionment des bassins d’infiltration d’eaux de ruissellment urbain pour l’evaluation des performances techniques et environnementales sur le long terme (Tesi)</u></td></tr>
<tr><td>Paese</td><td colspan="5">Francia</td></tr>
<tr><td>Anno</td><td colspan="5">2002</td></tr>
<tr><td>Autore</td><td colspan="5">Magali Dechesne</td></tr>
<tr><td>Scopo</td><td colspan="5">- Valutare i processi relativi al funzionamento di un bacino di infiltrazione che riceve acque di ruscellamento urbano (immagazzinamento, infiltrazione, inquinamento dell’acqua di ricarica nell’attraversamento dell’insaturo)
- Studiare il funzionamento di un bacino di infiltrazione su un lungo periodo e valutare il suo rendimento (approccio sperimentale di un modello di infiltrazione, tenuto conto della sedimentazione sul fondo del bacino dei solidi sospesi in acqua e approccio sperimentale del funzionamento qualitativo).</td></tr>
<tr><td>Contesto territoriale</td><td colspan="5">Pianura urbanizzata</td></tr>
<tr><td>Tecnologia adottata</td><td colspan="5">Diretta superficiale (bacino artificiale)</td></tr>
<tr><td>Problemi emersi</td><td colspan="5">- Sedimenti depositati sul fondo del bacino artificiale
- necessità di trattamenti depurativi delle acque di ruscellamento urbano</td></tr>
<tr><td rowspan="5">Dati tecnici</td><td>Nome del bacino di infiltrazione</td><td><u>Triangle / homme</u></td><td><u>Centre routier</u></td><td><u>ZAC du Chene</u></td><td><u>ZAC des Pivolles</u></td></tr>
<tr><td>Capacità (m^3)</td><td></td><td>2616</td><td>10700</td><td>7962</td></tr>
<tr><td>Profondità media (m)</td><td>6.4</td><td>5</td><td>3.86</td><td>4.15</td></tr>
<tr><td>Superficie del fondo (m^2)</td><td>1234</td><td>550</td><td>1905</td><td>1245</td></tr>
<tr><td>Conducibilità del sottosuolo (m/s)</td><td>3.10^{-4}</td><td>3.10^{-4}</td><td>10^{-4}</td><td>3.10^{-3}</td></tr>
<tr><td>Utilizzo modellistica</td><td colspan="5"><u>Sì</u>: simulazioni idrauliche e qualitative dei bacini: idrografico, di sedimentazione e di filtrazione</td></tr>
</table>

Titolo pubblicazione	**Procédure et proposition de modélisation des flux d'eau et des polluants au sein des systèmes d'infiltration des eaux de ruisselement en milieu urbain**
Paese	Francia
Anno	2005
Autore	Sebastien Le Coustumer, Silvie Barraud, Yvan Béranger
Scopo	- Capire dettagliatamente il funzionamento idraulico dei bacini di infiltrazione - Stimare il rendimento di depurazione delle acque di ricarica immesse all'interno di un bacino di infiltrazione nell'attraversamento dell'insaturo (bilancio di massa dell'inquinamento) - Costruire un modello descrittivo del funzionamento idraulico del bacino di infiltrazione
Contesto territoriale	Pianura urbanizzata
Tecnologia adottata	Diretta superficiale (bacino artificiale)
Problemi emersi	Sedimenti depositati sul fondo del bacino artificiale
Dati tecnici	- Coefficiente di impermeabilizzazione: 75%. - Volume del bacino di sedimentazione: 32 000 m^3 - Volume del bacino di infiltrazione: 61 000 m^3 - Caratteristiche dell'insaturo: suolo fluvio-glaciale con una permeabilità media di 7-9.10^{-3} m/s - Soggiacenza della falda freatica rispetto al fondo del bacino: 13 m.
Utilizzo modellistica	**Si:** il modello idrogeologico è utilizzato per calcolare la velocità di infiltrazione e si serve dell'equazione di moto di Bouwer: $v = (h_0 - h_{cr}) / R$ Dove: **v** è la velocità di infiltrazione $\mathbf{h_0}$, l'altezza dell' acqua nel bacino $\mathbf{h_{cr}}$, la pressione nella zona non saturata **R**, parametro indicativo della resistenza idraulica del bacino di infiltrazione (rapporto fra lo spessore del sedimento depositato sul fondo del bacino e la sua conducibilità idraulica)

<table>
<tr><td>Titolo pubblicazione</td><td colspan="3"><u>Projects and studies in artificial recharging of some adriatic coastal alluvial fans</u></td></tr>
<tr><td>Paese</td><td colspan="3">Italia</td></tr>
<tr><td>Anno</td><td colspan="3">1978</td></tr>
<tr><td>Autore</td><td colspan="3">E. Forlani, G. Grezzi, M. P. Marcetti, G. Zanetti</td></tr>
<tr><td>Scopo</td><td colspan="3">Servirsi dei risultati quantitativi e qualitativi relativi all’alimentazione artificiale della falda freatica della Conoide del Conca-Ventena come riferimento per uno studio sulla ricarica artificiale della Conoide del Marecchia.</td></tr>
<tr><td>Contesto territoriale</td><td colspan="3">Conoide</td></tr>
<tr><td>Tecnologia adottata</td><td colspan="3">Diretta superficiale (bacino artificiale e sbarramento) e diretta profonda (pozzi)</td></tr>
<tr><td>Problemi emersi</td><td colspan="3">Considerazioni emerse che hanno portato ad intervenire con ricarica artificiale:
- diminuzione della portata d’acqua attingibile dai pozzi (Ventena, Conca).
- abbassamento dei livelli piezometrici sotto il livello del mare (Ventena, Conca).
- intrusione del cuneo salino vicino alla costa (Ventena, Conca).
- Forte deterioramento delle falde acquiferi (Marecchia)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Dati tecnici</td><td><u>Zona del Ventena</u></td><td><u>Zona del Conca</u></td><td><u>Conoide del Marecchia</u></td></tr>
<tr><td>- bacino artificiale per la ricarica della falda freatica
- pozzi per la ricarica della falda più profonda)</td><td>sbarramento</td><td>- sbarramento
- 2 bacini di infiltrazione
- pozzi di iniezione in previsione</td></tr>
<tr><td>- volume di ricarica artificiale: circa 1.1 Mm^3/anno.
- Capacità di ciascun bacino: circa 500 m^3</td><td>- Volumi di infiltrazione provenienti dalla riva sinistra del bacino: circa 3.5 Mm^3/anno.</td><td>- Deficit del bilancio idrico pre-ricarica artificiale: 31 Mm^3/anno
- Volume possibile di alimentazione artificiale: circa 35 Mm^3/anno</td></tr>
<tr><td colspan="2"><u>Risultati</u> ottenuti dopo 2 anni di ricarica artificiale:
- i livelli piezometrici delle falde sono tornati a valori normali e conseguentemente anche le portate di acqua estratte dai pozzi
- l’intrusione del cuneo salino è sparita.</td><td></td></tr>
<tr><td>Utilizzo modellistica</td><td colspan="3"><u>No</u></td></tr>
</table>

ALLEGATO 2: BIBLIOGRAFIA SPECIFICA DI STUDI E PROGETTI DI RICARICA ARTIFICIALE DELLE FALDE

1. Scanlon B.R., Dutton A., Sophocleous M. (2003). *Groundwater Recharge in Texas.* Rapporto tecnico.
2. Swancar A., Lee T.M. (2003). *Effects of Recharge, Upper Floridan Aquifer Heads,and Time Scale on Simulated Ground-Water Exchangewith Lake Starr, a Seepage Lake in Central Florida*. Water-Resources Investigations Report 02-4295.
3. Askar G., Ahlfeld D., Winkler E. (2001). *Assessment of the Relative Importance of Hydraulic Parameters on Infiltration Basin Performance*. MADEP 99-06/319.
4. Assouline S., Shavit U., (2004). *Effects of management policies, including artificial recharge, on salinization in a sloping aquifer: The Israeli coastal aquifer case,* Water Resources Research, 40(4), W04101/1-W04101/13.
5. Berg R. L.. Jensen T. O., Bennedsen L., Brandt G. (2005) *Investigation of introducing water from an artificial recharge plant to an existing groundwater distribution system.* Water Science & Technology: Water Supply, 5(1), 25-40.
6. Bhargav J. S., Sivasankar K., Sambasiva Rao V. (2006). *Groundwater quality in artificial recharge - some hypothetical views*. Journal of Applied Geochemistry, 8(1), 85-99.
7. Bouwer H., (2002) *Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering*., Hydrogeology Journal (2002), 10, 121-142.
8. Greskowiak J., Prommer H., Massmann G., Nutzmann G., Pekdeger A. (2006). *Redox changes during alternating saturated and unsaturated conditions below an artificial recharge pond*. Preprints of Extended Abstracts presented at the ACS National Meeting, American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry (2006), 46(2), 720-725.
9. Klaus Janina S., Hansen Bent T., Buapeng Somkid (2007). *87Sr/86Sr ratio: a natural tracer to monitor groundwater flow paths during artificial recharge in the Bangkok area, Thailand*, Hydrogeology Journal,15(4), 745-758.
10. Kolehmainen Reija E., Langwaldt Joerg H., Puhakka Jaakko A. (2007). Natural organic matter (NOM) removal and structural changes in the bacterial community during artificial groundwater recharge with humic lake water, Water Research 41(12), 2715-2725.
11. Massmann G., Duennbier U., Greskowiak J., Knappe A., Pekdeger A. (2005). *Investigating surface water-groundwater interactions with the help of sewage indicators in Berlin, Germany*. IAHS Publication, 297 103-112.
12. Pi Y., Wang J., (2006). *A field study of advanced municipal wastewater treatment technology for artificial groundwater recharge* . Journal of Environmental Sciences, 18(6), 1056-1060.
13. Sheng Z., (2005). *An aquifer storage and recovery system with reclaimed wastewater to preserve native groundwater resources in El Paso, Texas.* Journal of Environmental Management 75(4), 367-377.
14. Toze S., Hanna J., Smith T., Edmonds L., McCrow A. (2004) *Determination of water quality improvements due to the artificial recharge of treated effluent*, IAHS Publication 285 53-60.

15. Lowry C. S., Anderson M.P. (2006). *An Assessment of Aquifer Storage Recovery Using Ground Water Flow Models*. Ground Water 44(5), 661-667
16. Nichols W.E. , Wurstner S.K., Eslinger P.W. *Vadose Zone–Attenuated Artificial Recharge for Input to a Ground Water Model*. Ground Water 45(4), 491–498

ALLEGATO 3: CERTIFICATI DELLE PROVE DI LABORATORIO

GEOTEA s.r.l.
Laboratorio Geotecnico

Certificato 1 909
Verbale 474

Committente: Scaglioni Dott. Andrea
Località: Bologna
Cantiere: Fiume Reno

Sondaggio: -
Campione: C1
Profondità: -

pagina 1 di 1

Data inizio prova: 12/05/2008
Data ricevimento campione: 09/05/2008

Data fine prova: 19/05/2008
Data emissione certificato: 19/05/2008

ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento: CNR-UNI A. V n° 23 - 1971

SETACCIATURA

Peso campione 264.24 g

Setaccio	Pesata
mm	g
71.0	0
63.0	0
40.0	0
30.0	0
25.0	0
22.5	0
20.0	0
19.0	0
9.5	0
5.0	0.7
2.0	4.67
0.85	7.27
0.425	4.28
0.250	9.35
0.125	75.27
0.075	24.27

Diametro	Passante
mm	%
71.0	100.00
63.0	100.00
40.0	100.00
30.0	100.00
25.0	100.00
22.5	100.00
20.0	100.00
19.0	100.00
9.5	100.00
5.0	99.74
2.0	97.97
0.85	95.22
0.425	93.60
0.250	90.06
0.125	61.57
0.075	52.39

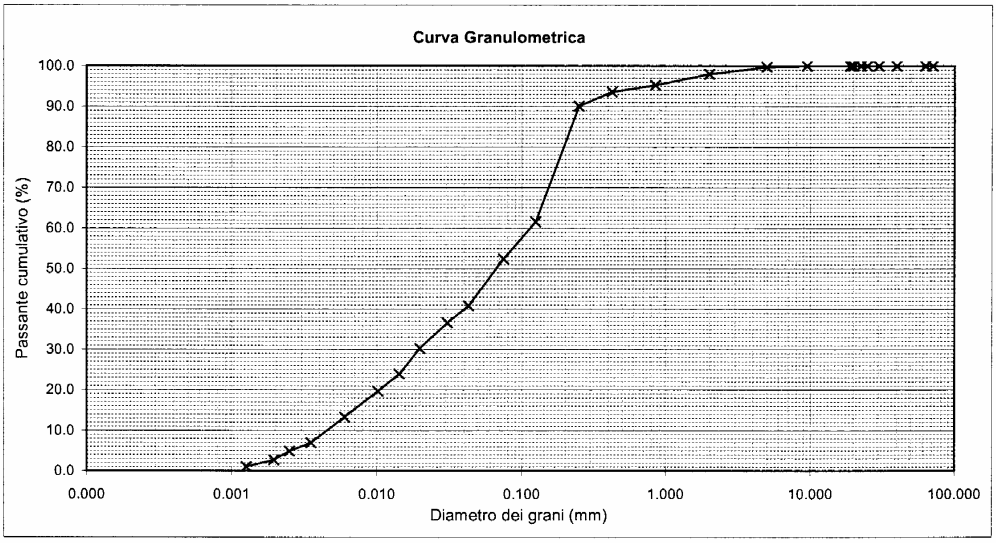
SEDIMENTAZIONE

Peso campione 40.23 g

Minuti	R1
1	23.0
2	21.0
5	18.0
10	15.0
20	13.0
60	10.0
180	7.0
360	6.0
600	5.0
1440	4.2

Diametro	Passante
mm	%
0.043	40.87
0.031	36.64
0.020	30.28
0.014	23.93
0.010	19.69
0.006	13.34
0.0035	6.99
0.0025	4.87
0.0019	2.75
0.0013	1.06

Note:



Granulometria A.G.I.	Ghiaia	2.03	%	Sabbia	50.98	%	Limo	44.02	%	Argilla	2.98	%

Classe del campione: -

Il Direttore del laboratorio

Sperimentatore

40128 Bologna Via Calzolari 30/A Tel. 051-6311300 Fax 051 6311303

GEOTEA s.r.l.
Laboratorio Geotecnico

Certificato 1 910
Verbale 474

Committente: Scaglioni Dott. Andrea
Località: Bologna
Cantiere: Fiume Reno
Sondaggio: -
Campione: C2
Profondità: -

Data inizio prova: 12/05/2008
Data ricevimento campione: 09/05/2008
Data fine prova: 19/05/2008
Data emissione certificato: 19/05/2008

ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento: CNR-UNI A. V n° 23 - 1971

SETACCIATURA

Peso campione 349.94 g

Setaccio	Pesata
mm	g
71.0	0
63.0	0
40.0	0
30.0	0
25.0	0
22.5	0
20.0	0
19.0	0
9.5	0
5.0	0
2.0	6.98
0.85	6.38
0.425	11.97
0.250	90.1
0.125	145.08
0.075	28.14

Diametro	Passante
mm	%
71.0	100.00
63.0	100.00
40.0	100.00
30.0	100.00
25.0	100.00
22.5	100.00
20.0	100.00
19.0	100.00
9.5	100.00
5.0	100.00
2.0	98.01
0.85	96.18
0.425	92.76
0.250	67.01
0.125	25.56
0.075	17.51

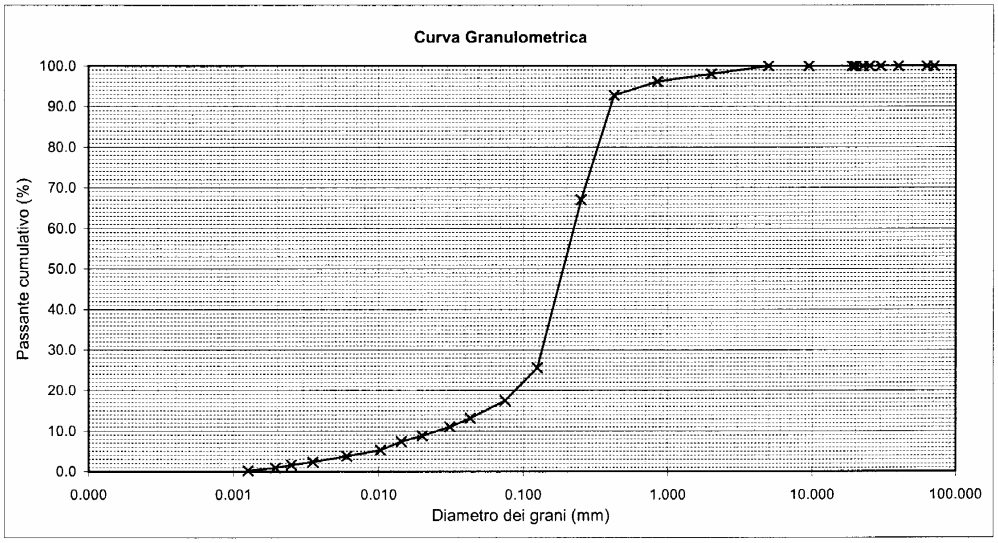
SEDIMENTAZIONE

Peso campione 39.62 g

Minuti	R1
1	22.0
2	19.0
5	16.0
10	14.0
20	11.0
60	9.0
180	7.0
360	6.0
600	5.0
1440	4.0

Diametro	Passante
mm	%
0.043	13.16
0.031	11.00
0.020	8.84
0.014	7.40
0.010	5.25
0.006	3.81
0.0035	2.37
0.0025	1.65
0.0019	0.93
0.0013	0.22

Note:



Granulometria A.G.I.	Ghiaia	1.99	%	Sabbia	82.55	%	Limo	14.44	%	Argilla	1.01	%

Classe del campione: -

Il Direttore del Laboratorio

Sperimentatore

40128 Bologna Via Calzolari 30/A Tel. 051-6311300 Fax 051 6311303

GEOTEA s.r.l.
Laboratorio Geotecnico

Certificato 1 911
Verbale 474

Committente: Scaglioni Dott. Andrea
Località: Bologna
Cantiere: Fiume Reno

Sondaggio: -
Campione: C3
Profondità: -

Data inizio prova: 12/05/2008
Data ricevimento campione: 09/05/2008

Data fine prova: 19/05/2008
Data emissione certificato: 19/05/2008

ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento: CNR-UNI A. V n° 23 - 1971

SETACCIATURA

Peso campione 296.71 g

Setaccio	Pesata
mm	g
71.0	0
63.0	0
40.0	0
30.0	0
25.0	0
22.5	0
20.0	0
19.0	0
9.5	22.03
5.0	17.74
2.0	10.18
0.85	10.9
0.425	30.14
0.250	42.29
0.125	85.07
0.075	20.93

Diametro	Passante
mm	%
71.0	100.00
63.0	100.00
40.0	100.00
30.0	100.00
25.0	100.00
22.5	100.00
20.0	100.00
19.0	100.00
9.5	92.58
5.0	86.60
2.0	83.17
0.85	79.49
0.425	69.33
0.250	55.08
0.125	26.41
0.075	19.36

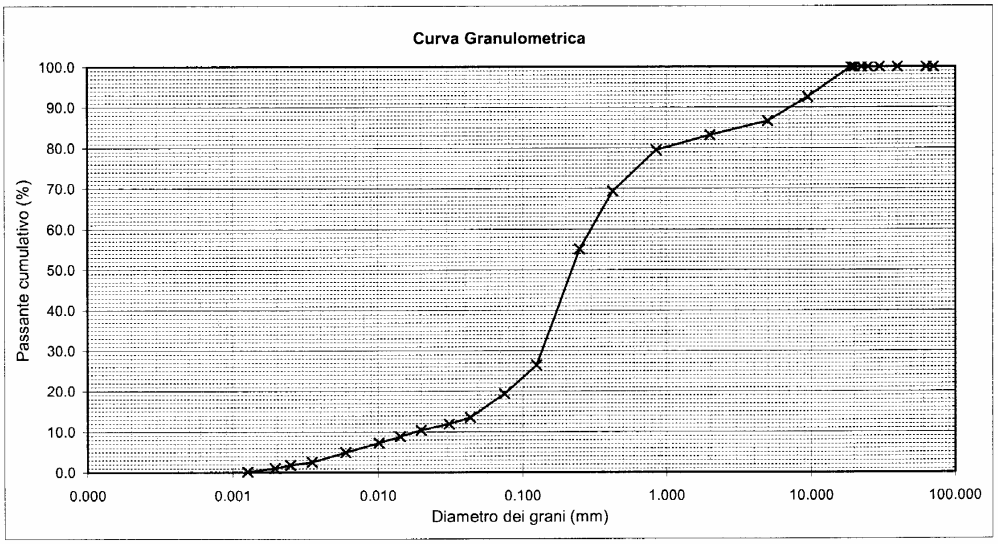
SEDIMENTAZIONE

Peso campione 40.28 g

Minuti	R1
1	21.0
2	19.0
5	17.0
10	15.0
20	13.0
60	10.0
180	7.0
360	6.0
600	5.0
1440	4.0

Diametro	Passante
mm	%
0.044	13.52
0.031	11.96
0.020	10.39
0.014	8.83
0.010	7.27
0.006	4.92
0.0035	2.58
0.0025	1.80
0.0019	1.02
0.0013	0.23

Note:



Granulometria A.G.I.	Ghiaia	16.83 %	Sabbia	66.59 %	Limo	15.48 %	Argilla	1.10 %

Classe del campione: -

Il Direttore del laboratorio

Sperimentatore

40128 Bologna Via Calzolari 30/A Tel. 051-6311300 Fax 051 6311303

GEOTEA s.r.l.
Laboratorio Geotecnico

Certificato 1 912
Verbale 474

Committente: Scaglioni Dott. Andrea
Località: Bologna
Cantiere: Fiume Reno

Sondaggio: -
Campione: C4
Profondità: -

Data inizio prova: 12/05/2008
Data ricevimento campione: 09/05/2008

Data fine prova: 19/05/2008
Data emissione certificato: 19/05/2008

ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento: CNR-UNI A. V n° 23 - 1971

SETACCIATURA

Peso campione 222.64 g

Setaccio	Pesata
mm	g
71.0	0
63.0	0
40.0	0
30.0	0
25.0	0
22.5	0
20.0	0
19.0	18.62
9.5	10.25
5.0	13
2.0	9.15
0.85	12.56
0.425	6.88
0.250	6.59
0.125	29.76
0.075	17.91

Diametro	Passante
mm	%
71.0	100.00
63.0	100.00
40.0	100.00
30.0	100.00
25.0	100.00
22.5	100.00
20.0	100.00
19.0	91.64
9.5	87.03
5.0	81.19
2.0	77.08
0.85	71.44
0.425	68.35
0.250	65.39
0.125	52.03
0.075	43.98

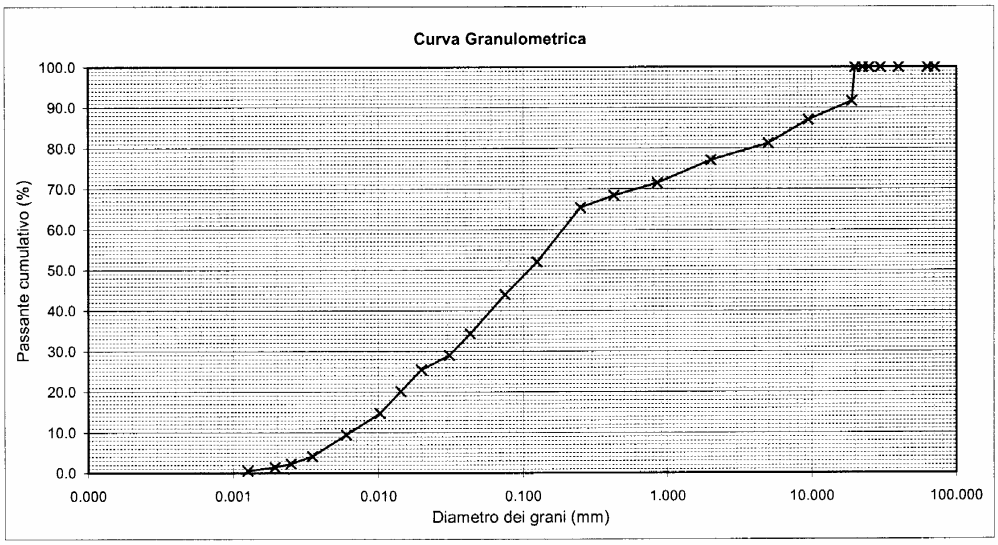
SEDIMENTAZIONE

Peso campione 40.21 g

Minuti	R1
1	23.0
2	20.0
5	18.0
10	15.0
20	12.0
60	9.0
180	6.0
360	5.0
600	4.5
1440	4.0

Diametro	Passante
mm	%
0.043	34.33
0.031	28.99
0.020	25.44
0.014	20.10
0.010	14.76
0.006	9.43
0.0035	4.09
0.0025	2.31
0.0019	1.42
0.0013	0.53

Note:



Granulometria A.G.I.	Ghiaia	22.92 %	Sabbia	37.62 %	Limo	37.95 %	Argilla	1.51 %

Classe del campione: -

Il Direttore del laboratorio

Sperimentatore

40128 Bologna Via Calzolari 30/A Tel. 051-6311300 Fax 051 6311303

GEOTEA s.r.l.
Laboratorio Geotecnico

Certificato 1 919
Verbale 478

Committente: Scaglioni Dott. Andrea
Località: Bologna
Cantiere: Fiume Reno

Sondaggio: S1
Campione: Ci1
Profondità: 0.00-0.60 m

Data inizio prova: 21/05/2008
Data ricevimento campione: 20/05/2008

Data fine prova: 27/05/2008
Data emissione certificato: 27/05/2008

ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento: CNR-UNI A. V n° 23 - 1971

SETACCIATURA

Peso campione 200.08 g

Setaccio	Pesata
mm	g
71.0	0
63.0	0
40.0	0
30.0	0
25.0	0
22.5	0
20.0	0
19.0	0
9.5	0
5.0	0
2.0	1.92
0.85	1.67
0.425	12.78
0.250	33.36
0.125	70.71
0.075	8.96

Diametro	Passante
mm	%
71.0	100.00
63.0	100.00
40.0	100.00
30.0	100.00
25.0	100.00
22.5	100.00
20.0	100.00
19.0	100.00
9.5	100.00
5.0	100.00
2.0	99.04
0.85	98.21
0.425	91.82
0.250	75.14
0.125	39.80
0.075	35.33

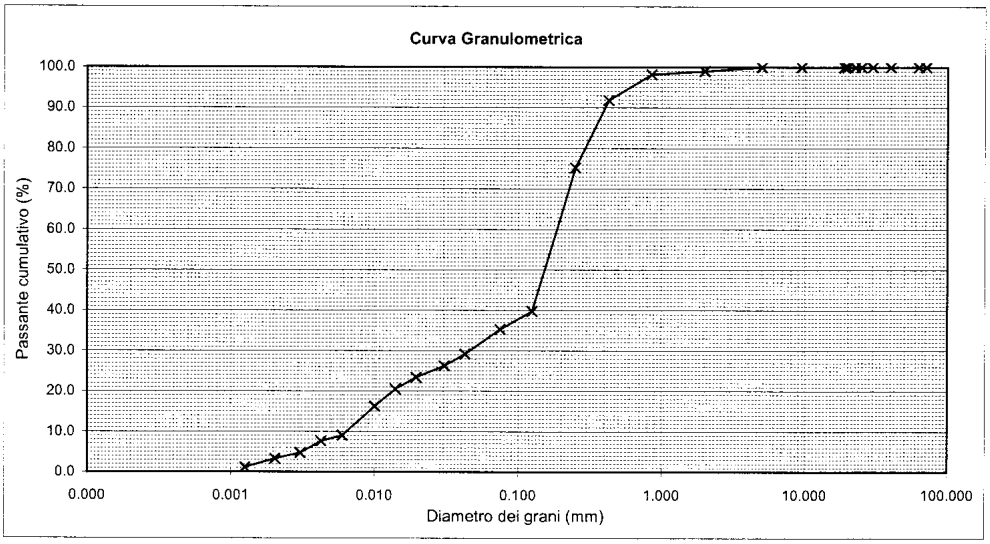
SEDIMENTAZIONE

Peso campione 40.02 g

Minuti	R1
1	24.0
2	22.0
5	20.0
10	18.0
20	15.0
60	10.0
120	9.0
240	7.0
540	6.0
1440	4.5

Diametro	Passante
mm	%
0.043	29.14
0.031	26.27
0.020	23.40
0.014	20.53
0.010	16.22
0.006	9.04
0.0043	7.61
0.0030	4.74
0.0020	3.30
0.0013	1.15

Note:



Granulometria A.G.I.	Ghiaia	0.96	%	Sabbia	66.59	%	Limo	29.25	%	Argilla	3.20	%

Classe del campione: Q5

Il Direttore

Sperimentatore

GEOTEA s.r.l.
Laboratorio Geotecnico

Certificato n° 1 920
Verbale n° 478

Committente: Scaglioni Dott. Andrea
Località: Bologna
Cantiere: Fiume Reno

Sondaggio: S1
Campione: Ci1
Profondità: 0.00-0.60 m

Data inizio prova: 22/05/2008
Data ricevimento campione: 20/05/2008

Data fine prova: 22/05/2008
Data emissione certificato: 27/05/2008

Norme di riferimento: ASTM D4186, ASTM D2434-68

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO VARIABILE

Area cella	20.00	cm^2
Area buretta	0.532	cm^2
Altezza provini	2.000	cm

h1	h2	t	*k*
cm	cm	sec	cm/sec
75.5	29.0	36	1.413E-03

h_1 = altezza iniziale
h_2 = altezza finale

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE

Q	-	cm^3
H 1	-	cm
H 2	-	cm
H 3	-	cm
L1	-	cm
L2	-	cm
L3	-	cm
t	-	sec

k	-	cm/sec

PROVA DI PERMEABILITA' A CARICO COSTANTE IN CELLA TRIASSIALE

Altezza Provino	-	cm
Sezione provino	-	cm^2
Back pressure 1	-	kPa
Back pressure 2	-	kPa
σ_3	-	kPa

Q (cm^3)	t (sec)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

k	-	cm/sec

note:

Classe del campione: Q5

ALLEGATO 4: RAPPORTI DI PROVA DEI CAMPIONI DI SEDIMENTO E DI ACQUA

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001454 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083160**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007263/08/BO del: 19/05/2008**

RAPPORTO DI PROVA

Campione di: SEDIMENTO C1
Prelevatore: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Verbale N°: ---- del ----
Data Prelievo: 06/05/2008
Data Ricevimento: 19/05/2008
Punto Prelievo: ALVEO FIUME RENO - B.GO PANIGALE
Luogo del Prelievo: BOLOGNA
Cliente: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Indirizzo cliente: VIA ROCCHI 19 BOLOGNA (BO)
Quesito: VEDI VERBALE/RICHIESTA
Modalità Campionamento: A CURA DEL CLIENTE/PRELEVATORE
Temp. Ricevimento: AMBIENTE
Temp. Trasporto Interno: ----

Descrizione Campione: ----

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
pH	7.6	unità di pH	potenziometrico
Umidità a 105°C	44.5	%	gravimetrico
Piombo (Pb)	10.6	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Rame (Cu)	18.5	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cadmio (Cd)	< 0.5	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Nichel (Ni)	28.8	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo totale (Cr)	11.0	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo esavalente (Cr6)	< 0.5	mg/Kg s.s.	Quad. IRSA CNR N° 64
Zinco (Zn)	63.0	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Mercurio (Hg)	< 0.05	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Acenaftilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC-MS
Antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a) pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(b)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(k)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(g,h,i)perilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Crisene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Dibenzo(a,h)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Indenopirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Naftalene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001454 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083160**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007263/08/BO del: 19/05/2008**

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
Toluene	8.5	mg/Kg s.s.	GC/FID
Analisi GC-MS	vedi nota (+)		

(+) L'analisi gascromatografica qualitativa con detector massa ha confermato la presenza di toluene.

Il Chimico responsabile dell'analisi
Cristina Lea Barbieri

Data inizio Analisi: 20/05/2008
Data fine Analisi: 10/06/2008

Il Responsabile del Dipartimento Tecnico
M.Antonietta Bucci Sabattini

Data Emissione: 10/06/2008

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001452 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083167**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007266/08/BO del: 19/05/2008**

RAPPORTO DI PROVA

Campione di: SEDIMENTO C2
Prelevatore: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Verbale N°: ---- del ----
Data Prelievo: 06/05/2008
Data Ricevimento: 19/05/2008
Punto Prelievo: ALVEO FIUME RENO - B.GO PANIGALE
Luogo del Prelievo: BOLOGNA
Cliente: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Indirizzo cliente: VIA ROCCHI 19 BOLOGNA (BO)
Quesito: VEDI VERBALE/RICHIESTA
Modalità Campionamento: A CURA DEL CLIENTE/PRELEVATORE
Temp. Ricevimento: AMBIENTE
Temp. Trasporto Interno: ----

Descrizione Campione: ----

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
pH	7.9	unità di pH	potenziometrico
Umidità a 105°C	28.1	%	gravimetrico
Piombo (Pb)	11.0	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Rame (Cu)	16.8	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cadmio (Cd)	< 0.5	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Nichel (Ni)	30.2	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo totale (Cr)	11.5	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo esavalente (Cr6)	< 0.5	mg/Kg s.s.	Quad. IRSA CNR N° 64
Zinco (Zn)	48.0	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Mercurio (Hg)	< 0.05	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Acenaftilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC-MS
Antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a) pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(b)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(k)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(g,h,i)perilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Crisene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Dibenzo(a,h)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Indenopirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Naftalene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001452 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083167**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007266/08/BO del: 19/05/2008**

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
Analisi GC-MS	vedi nota (+)		

(+) L'analisi gascromatografica qualitativa con detector massa ha rilevato la presenza di toluene.

Il Chimico responsabile dell'analisi
Cristina Lea Barbieri

Data inizio Analisi: 20/05/2008
Data fine Analisi: 10/06/2008

Il Responsabile del Dipartimento Tecnico
M.Antonietta Bucci Sabattini

Data Emissione: 10/06/2008

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001511 Lab : TESTBO Cod. LIMS : 200083168

Sportello Accettazione: BOLOGNA N.ro Reg. 007270/08/BO del: 19/05/2008

RAPPORTO DI PROVA

Campione di: SEDIMENTO C3
Prelevatore: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Verbale N°: ---- del ----
Data Prelievo: 06/05/2008
Data Ricevimento: 19/05/2008
Punto Prelievo: ALVEO FIUME RENO - B.GO PANIGALE
Luogo del Prelievo: BOLOGNA
Cliente: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Indirizzo cliente: VIA ROCCHI 19 BOLOGNA (BO)
Quesito: VEDI VERBALE/RICHIESTA
Modalità Campionamento: A CURA DEL CLIENTE/PRELEVATORE
Temp. Ricevimento: AMBIENTE
Temp. Trasporto Interno: ----

Descrizione Campione: ----

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
pH	8.4	unità di pH	potenziometrico
Umidità a 105°C	36.5	%	gravimetrico
Piombo (Pb)	9.4	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Rame (Cu)	17.3	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cadmio (Cd)	< 0.5	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Nichel (Ni)	27.8	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo totale (Cr)	12.0	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo esavalente (Cr6)	< 0.5	mg/Kg s.s.	Quad. IRSA CNR N° 64
Zinco (Zn)	51.0	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Mercurio (Hg)	< 0.05	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Acenaftilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC-MS
Antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a) pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(b)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(k)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(g,h,i)perilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Crisene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Dibenzo(a,h)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Indenopirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Naftalene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001511 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083168**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007270/08/BO del: 19/05/2008**

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
Analisi GC-MS	vedi nota (+)		

(+) L'analisi gascromatografica qualitativa con detector massa ha rilevato la presenza di toluene.

Il Chimico responsabile dell'analisi
Cristina Lea Barbieri

Data inizio Analisi: 20/05/2008
Data fine Analisi: 10/06/2008

Il Responsabile del Dipartimento Tecnico
M.Antonietta Bucci Sabattini

Data Emissione: 10/06/2008

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001512 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083169**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007272/08/BO del: 19/05/2008**

RAPPORTO DI PROVA

Campione di: SEDIMENTO C4
Prelevatore: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Verbale N°: ---- del ----
Data Prelievo: 06/05/2008
Data Ricevimento: 19/05/2008
Punto Prelievo: ALVEO FIUME RENO - B.GO PANIGALE
Luogo del Prelievo: BOLOGNA
Cliente: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Indirizzo cliente: VIA ROCCHI 19 BOLOGNA (BO)
Quesito: VEDI VERBALE/RICHIESTA
Modalità Campionamento: A CURA DEL CLIENTE/PRELEVATORE
Temp. Ricevimento: AMBIENTE
Temp. Trasporto Interno: ----

Descrizione Campione: ----

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
pH	7.8	unità di pH	potenziometrico
Umidità a 105°C	31.7	%	gravimetrico
Piombo (Pb)	12.8	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Rame (Cu)	19.0	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cadmio (Cd)	< 0.5	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Nichel (Ni)	30.2	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo totale (Cr)	13.6	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Cromo esavalente (Cr6)	< 0.5	mg/Kg s.s.	Quad. IRSA CNR N° 64
Zinco (Zn)	67.8	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Mercurio (Hg)	< 0.05	mg/Kg s.s.	D.M. 13/9/99
Acenaftilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC-MS
Antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(a) pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(b)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(k)fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Benzo(g,h,i)perilene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Crisene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Dibenzo(a,h)antracene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Indenopirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Pirene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Naftalene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorantene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS
Fluorene	< 0.1	mg/Kg s.s.	GC/MS

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

Campione : 03708001512 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083169**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007272/08/BO del: 19/05/2008**

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
Analisi GC-MS	vedi nota (+)		
Toluene	7.0	mg/Kg s.s.	GC/FID

(+) L'analisi gascromatografica qualitativa con detector massa ha confermato la presenza di toluene.

Il Chimico responsabile dell'analisi
Cristina Lea Barbieri

Data inizio Analisi: 20/05/2008
Data fine Analisi: 10/06/2008

Il Responsabile del Dipartimento Tecnico
M.Antonietta Bucci Sabattini

Data Emissione: 10/06/2008

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4

Sezione Provinciale di Bologna
Dipartimento Tecnico
Responsabile: d.ssa M.A. Bucci Sabattini
Via Triachini, 17 - 40138 Bologna
Tel. 051 396211 Fax 051 342642
E-mail sez@bo.arpa.emr.it

n° 0226

Campione : 03708001493 **Lab : TESTBO** **Cod. LIMS : 200083170**

Sportello Accettazione: BOLOGNA **N.ro Reg. 007273/08/BO del: 19/05/2008**

RAPPORTO DI PROVA

Campione di: ACQ. - ACQ. SUP.MONIT.STATO AMB. ACQUA C
Prelevatore: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Verbale N°: ---- del ----
Data Prelievo: 06/05/2008
Data Ricevimento: 19/05/2008
Punto Prelievo: ALVEO FIUME RENO - B.GO PANIGALE
Luogo del Prelievo: BOLOGNA
Cliente: ARPA - DIST. TER. URBANO (BOLOGNA)
Indirizzo cliente: VIA ROCCHI19 BOLOGNA (BO)
Quesito: VEDI VERBALE/RICHIESTA
Modalità Campionamento: A CURA DEL CLIENTE/PRELEVATORE
Temp. Ricevimento: AMBIENTE
Temp. Trasporto Interno: ----

Descrizione Campione: ----

RISULTATO DELLA PROVA

Parametro	Valore	Unità di Misura	Metodo
* Azoto Ammoniacale, NH4+	0.04	mg/L	APAT-IRSA CNR 4030/A1: 2003
Azoto nitrico (N)	0.50	mg/L	APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003
* Fosforo totale (P)	0.07	mg/L	Kit Lange
* Nichel (Ni)	<5	µg/L	ICP-OES
* Cromo totale (Cr)	<5	µg/L	ICP-OES
* Piombo (Pb)	<5	µg/L	ICP-OES
* Mercurio (Hg)	<0.5	µg/L	A.A.S. vapori freddi

(*) Metodo di prova non accreditato SINAL

Data inizio Analisi: 20/05/2008
Data fine Analisi: 29/05/2008

Il Chimico responsabile dell'analisi
Cristina Lea Barbieri

Il Responsabile del Dipartimento Tecnico
M.Antonietta Bucci Sabattini

Data Emissione: 29/05/2008

L'incertezza di misura e l'eventuale fattore di recupero, sono riportati nel rapporto di prova quando hanno influenza sulla valutazione della conformità a limiti di riferimento o quando espressamente richiesti dal cliente. Si dichiara che i risultati del presente rapporto di prova si riferiscono solo al campione sottoposto a prova. Il presente rapporto di prova non può essere riprodotto parzialmente ne usato per scopi pubblicitari senza espicita autorizzazione della Direzione. Il dipartimento tecnico non è responsabile del campionamento tranne nei casi in cui è stato effettuato dallo stesso. I risultati del presente rapporto di prova non sono corretti per il fattore di recupero salvo espressa indicazione legata ad ogni singolo parametro.

A1-P51001/LM r4