




ARPAT
Agenzia regionale
per la protezione ambientale
della Toscana

Regione Toscana



Report ARPAT



Modellistica del Bacino del Cecina per la tutela quantitativa l'ottimale gestione delle risorse idriche della Val di Cecina e nella fascia costiera livornese compresa tra Rosignano e Bibbona

2016

Direzione Tecnica

Indice generale

INTRODUZIONE.....	4
MATERIALI E METODI.....	5
Attività.....	5
Modelli.....	6
Modello NITRATI 2003.....	6
Modello BACINO PILOTA 2006.....	6
Modello ORGANOALOGENATI 2014.....	7
Software.....	7
ELABORAZIONI.....	12
Modellazione Idrologica.....	12
Modello Cecina Monte.....	20
Modello Cecina Valle.....	34
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	38
BIBLIOGRAFIA.....	40

“Modellistica del Bacino del Cecina per la la tutela quantitativa l’ottimale gestione delle risorse idriche della Val di Cecina e nella fascia costiera livornese compresa tra Rosignano e Bibbona”

A cura di:

Alessandro Franchi

Coordinatore Commissione Acque

Autori:

Stefano Menichetti – Direzione Tecnica Settore SIRA

Stefano Tessitore – Direzione tecnica Settore VIA VAS

INTRODUZIONE

Con il presente rapporto si riportano i risultati delle attività previste dall'allegato A al DDRT 6570 del 15/12/2014 per la predisposizione di un modello idrogeologico di supporto alla gestione dinamica della risorsa idrica in val di Cecina e nella pianura costiera.

L'attività non riguarda tanto la predisposizione ex-novo di un modello quanto l'unione e messa a regime di precedenti esperienze modellistiche idrogeologiche condotte da ARPAT sul bacino del Cecina e che riguardano in ordine cronologico:

- Studio idrogeologico con utilizzo di modelli numerici di simulazione per la definizione dei meccanismi d'arricchimento in nitrati delle acque sotterranee nell'area compresa tra gli stradoni del Lupo, del Tripesce, la SS. n° 206, Vada e S. Pietro in Palazzi - Relazione Finale – Gennaio 2003 (Modello NITRATI);
- Applicazione della Direttiva Comunitaria 2000/60/CE nel Bacino del Fiume Cecina in Qualità di Bacino Pilota - Sistema Informativo Territoriale del Bacino del Cecina Applicazione dei Modelli allo Studio del Bacino Pilota Parte Prima: Aspetti Quantitativi della Risorsa – Febbraio 2006 (Modello SWAT – MODFLOW STR);
- ARPAT (2013) Accordo di Programma per l'attuazione degli interventi urgenti per la bonifica della falda acquifera a seguito inquinamento da organoalogenati Comuni di Montescudaio (PI) e Cecina (LI) - Modello di Flusso e Trasporto. Relazione Finale Novembre 2013 (Modello ORGANOALOGENATI).

Obiettivo del presente lavoro richiesto dalla Regione Toscana, capofila degli Enti preposti alla gestione della risorsa idrica, è dunque la possibilità di rendere operative per il bilancio idrico le applicazioni modellistiche fin qui realizzate. Le richieste degli Uffici, sottolineano la disponibilità dei nuovi dati di misura (freatimetrica, idrometrica, delle portate prelevate oltre ad un rilievo topografico di dettaglio dell'asta del Cecina del 2004). e sono così riassumibili:

- per il modello di "monte", compreso tra il Ponte di Monterufoli e la confluenza dello Zambra e corrispondente all'acquifero K dell'individuazione dell'Autorità di Bacino Regionale Toscana Costa, si richiedono due nuove simulazioni sul decennio successivo 2003-2012, in presenza ed assenza dei prelievi valutando:
 - estensione e frequenza temporale delle sezioni a ridotto flusso idrico nelle condizioni attuali e naturali;
 - possibilità di tradurre in soglie piezometriche le soglie di deflusso minimo nel corso d'acqua;

- per il modello di “valle”, compreso tra Ponte della Steccaia ed il Mare e corrispondente agli acquiferi M, A e B dell’Autorità di Bacino Regionale Toscana Costa ed ottenuto dalla riunione dei due modelli del 2003 e 2013, si richiede di includere negli aggiornamenti già previsti per il supporto dell’AdP per l’attuazione degli interventi di bonifica del sito regionale di Poggio Gagliardo (Montescudaio, PI), ulteriori simulazioni per la valutazione degli effetti del programma di pianificazione dei fabbisogni idropotabili e riorganizzazione dei punti di approvvigionamento.

Le attività per la modellistica dell’acquifero di “valle”, come ricordato, sono in parte già previste nelle Direttive annuali come “ Attività di monitoraggio Montescudaio”.

Per quanto riguarda, invece, il modello di monte è da notare nel corso del 2015 le attività di cui al presente studio sono state, di fatto, assorbite nel supporto tecnico agli uffici regionali per il parere di VIA al progetto SOLVAY CHIMICA ITALIA S.p.A. - “Nuovo sistema idrico industriale per l’attività mineraria” ed in particolare per quanto riguarda l’Allegato 1 Rev1 al progetto “Modellistica Numerica Acquifero Fiume Cecina “.

ARPAT aveva infatti osservato in via preliminare l’inadeguatezza della modellazione sia concettuale che numerica del Progetto Solvay utilizzando, a tal fine e su richiesta di RT, alcune simulazioni del Modello del Bacino Pilota, nel frattempo aggiornato ed impiegato anticipatamente.

Una serie di incontri tecnici con il proponente ha seguito il parere ARPAT, con lo scopo principale di verificare se la configurazione dei modelli utilizzati da ARPAT e da Solvay (modello implementato con Feflow) fossero riferiti allo stesso progetto e ai medesimi dati di input e condizioni al contorno.

In conclusione, a giudizio di ARPAT, è stato ribadito che la maggiore differenza tra i due modelli non risiede tanto nelle differenze geometriche quanto sull’impiego nel modello ARPAT del pacchetto Stream, che permette di simulare gli intensi scambi fiume-falda che caratterizzano questo particolare acquifero.

MATERIALI E METODI

Attività

In riferimento al progetto trasmesso alla Regione Toscana con nota del 11/3/14, la prevista suddivisione delle attività era la seguente:

- FASE I che riguardava il modello Cecina Monte (CCM) con una calibrazione 2003-2012 per l'obiettivo di una simulazione di deflusso naturale e conseguente derivazione soglie.
- FASE II concentrata invece sul modello Cecina Valle (CCV) con la riunione dei modelli in destra (NITRATI) e sinistra (ORGANOALOGENATI) del Fiume Cecina con realizzazione delle simulazioni previsionali estreme di minima (2005/06) e di massima (2009/10) per la valutazione degli impatti del previsto programma di riorganizzazione dei punti di approvvigionamento.

Modelli

Modello NITRATI 2003

Lo studio idrogeologico finalizzato alla definizione dei meccanismi d'arricchimento in nitrati dei sistemi acquiferi della piana costiera compresa tra gli stradoni del Lupo, del Tripesce, la SS. n° 206, Vada e S. Pietro in Palazzi è stato affidato ad ARPAT dall'Azienda Servizi Ambientali di Livorno, come da convenzione stipulata con Decreto ARPAT n° 245 del 12/03/2001.

Lo studio aveva previsto una campagna di indagini idrogeologiche con realizzazione di piezometri e prove idrauliche. Il modello idrogeologico di flusso e di trasporto realizzato con i codici MODFLOW+MT3D derivava da una vasta raccolta ed elaborazione di dati di letteratura, stratigrafie, bilanci idrologici, prelievi, pressioni civili ed agricole. Sulla base dell'analisi critica dei dati raccolti ed in vista dell'interesse ultimo che era quello di una comprensione generale ed estesa dei processi di trasporto ed arricchimento dei nitrati nel sistema acquifero, era stata stata comunque adottata una ricostruzione semplificata, bidimensionale, del modello di flusso.

Le condizioni al contorno del modello indicavano, infatti, un sistema acquifero generalmente multistrato e solo localmente multifalda alimentato in gran parte dall'infiltrazione verticale, con pochi scambi sia in direzione del mare che del Fiume Cecina.

Modello BACINO PILOTA 2006

Nell'ambito degli studi promossi per l'applicazione della direttiva comunitaria 2000/60/CE nel bacino del Cecina in qualità di Bacino Pilota, ARPAT aveva realizzato nel 2006 una sperimentazione per l'applicazione dei modelli SWAT e MODFLOW alle problematiche di bilancio idrico del bacino.

L'integrazione dei risultati del modulo idrologico di SWAT (output definito a livello di singolo sottobacino), in MODFLOW (output di dettaglio per singola cella), rappresentò uno dei risultati più

soddisfacenti dell'intera sperimentazione. Seppure apprezzato, il lavoro non ebbe però seguito, ritenendo, da parte degli Enti, ancora prematura una sua piena operatività in assenza di effettivi dati di controllo e taratura. In quegli anni iniziava la misura in continuo delle principali variabili date dai prelievi idrici e livelli idrometrici e piezometrici.

La stessa implementazione della rete del Servizio Idrologico Regionale fu, anche questa, infatti, un importante prodotto degli investimenti per il Bacino Pilota. Il modello idrogeologico è stato calibrato in regime transitorio medio stagionale in riferimento al periodo

Modello ORGANOALOGENATI 2014

ARPAT nell'ambito dell'Accordo di programma per l'attuazione degli interventi urgenti per la bonifica della falda acquifera a seguito inquinamento da organoalogenati - Comuni di Montescudaio (PI) e Cecina (LI), ha realizzato un modello di flusso e trasporto che si estende dalla sezione della Steccaia sul Fiume Cecina fino alla Piana Costiera.

Il modello, pur in assenza di registrazioni piezometriche in continuo sull'area di Cecina solo recentemente avviate, è stato calibrato in regime transitorio nel periodo 2005-2010. Le forzanti idrauliche del modello sono date dalle registrazioni idrometriche del Ponte della Steccaia e dall'infiltrazione calcolata dal modello di bacino di riferimento del Servizio Idrologico Regionale MOBIDIC. Il modello che riconosce due scenari di massima e di minima di anni idrologici tipo (2005/06 e 2009/2010 rispettivamente) è stato ripetutamente utilizzato per la valutazione di possibili alternative nella configurazione dei pozzi del sistema di Pump & Treat.

Software

Per il presente studio sono stati utilizzati in prevalenza codici di calcolo di pubblico dominio come MODFLOW e QGIS. L'unico software commerciale è rappresentato dalla interfaccia ESI - GroundWaterVistas 6 che offre ancora una maggiore immediatezza e facilità d'uso rispetto a prodotti open.



QGIS è un Sistema di Informazione Geografica Open Source rilasciato sotto la GNU General Public License. QGIS è un progetto ufficiale della Open Source Geospatial Foundation(OSGeo), è in grado di funzionare su Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android e supporta numerosi formati

vettoriali, raster, database e funzionalità. QGIS offre un numero in continua crescita di funzionalità dal programma principale e dai plugin. Attraverso il software è possibile visualizzare, gestire, modificare, analizzare dati e comporre mappe stampabili. (www.qgis.org/it/site/about/index.html).



MODFLOW (Harbaugh & McDonald, 1996) è un modello di acque sotterranee tridimensionale alle differenze finite del Servizio Geologico statunitense, USGS, considerato uno standard internazionale per la simulazione e la previsione delle condizioni delle acque sotterranee e delle interazioni acque sotterranee / di superficie d'acqua.

La struttura modulare di MODFLOW ha permesso negli anni una potente integrazione di funzionalità aggiuntive. La famiglia di programmi MODFLOW include funzionalità per simulare sistemi accoppiati di acque sotterranee/superficiali, trasporti soluto e densità variabile, compattazione dei terreni, stima dei parametri e gestione delle acque sotterranee. In particolare il modulo aggiuntivo dello Stream Routing Package STR1 (Prudic, 1989) permette di valutare in modo completo gli scambi fiume falda determinando la portata liquida nel corso d'acqua in conseguenza degli scambi con la falda e limitando la ricarica della falda alla portata liquida effettivamente disponibile.



SWAT (Soil and Water Assessment Tool, Neitsh et alii [2001]) è un modello USDA (United States Department of Agriculture) a scala di bacino sviluppato per stimare l'impatto di pratiche di gestione di suolo sulle acque, sui sedimenti e sulla cessione e diffusione di prodotti chimici utilizzati in agricoltura. L'applicazione nel bacino del Cecina, tuttavia, era stata limitata alla simulazione del comportamento idrologico del bacino.

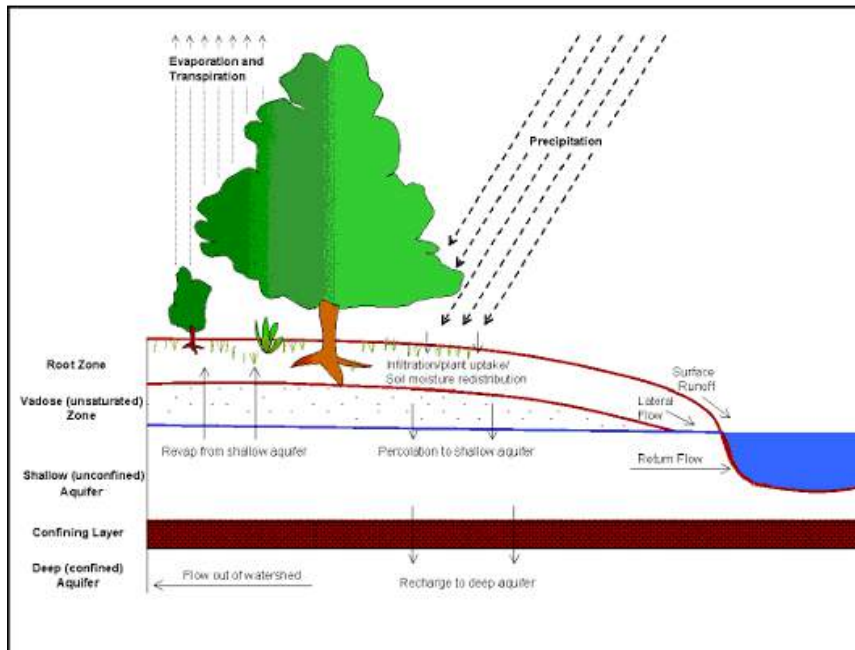


Figura 1: Rappresentazione schematica del ciclo idrologico in SWAT

SWAT è un modello di tipo “tempo-variante”, orientato ad indagini e studi su lunghi periodi di tempo. SWAT può gestire un singolo bacino o un sistema multiplo di sottobacini idrologicamente connessi. Il bacino oggetto di indagine può essere organizzato, a discrezione dell’utente, in sottobacini (vedi figura che segue), che vengono quindi suddivisi a loro volta in Hydrologic Response Units (HRUs), superfici caratterizzate da combinazioni uniche per tipo di suolo ed uso del suolo.

SWAT stima, per ciascun sottobacino e per le relative sezioni di chiusura (outlets), un notevole numero di grandezze (grandezze idrologiche e parametri qualitativi di stato e di pressione), riferite al tempo di mediazione richiesto (giorni, mesi o anni).

Indipendentemente dal problema studiato con SWAT, la modellazione di tutto quanto avviene sul bacino si basa sul bilancio idrico. Per effettuare una predizione accurata dei movimenti di pesticidi, sedimenti, sostanze nutrienti, etc. la modellazione del ciclo idrologico deve quindi essere conforme e coerente con quanto effettivamente accade fisicamente sul bacino.

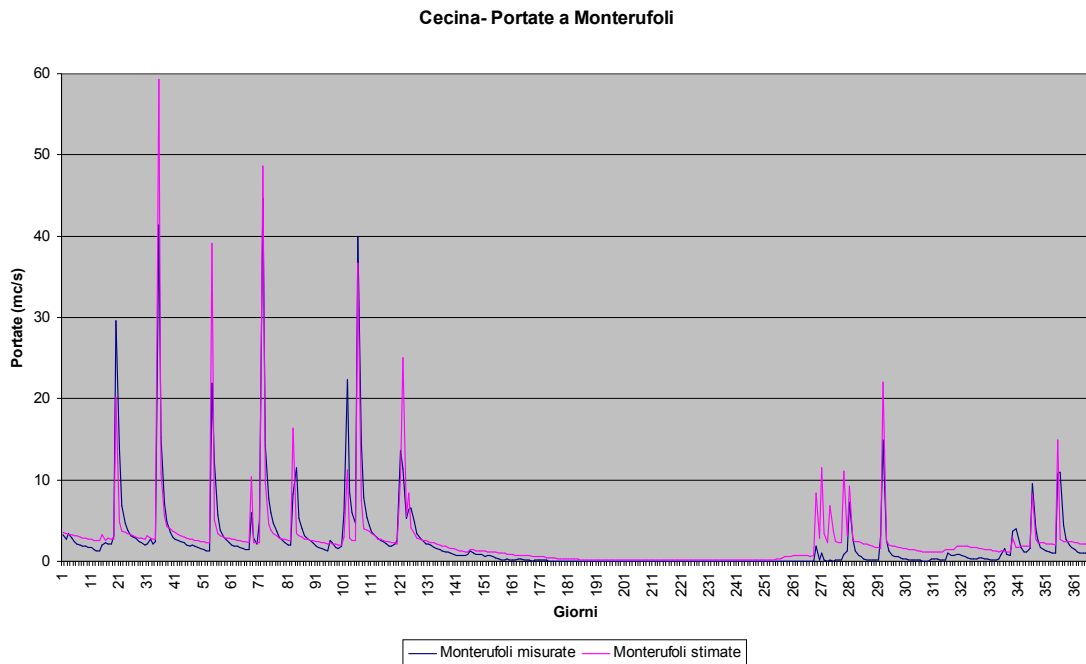


Figura 2: Fase di calibrazione - Portate misurate e portate simulate a Monterufoli nell'anno 1998.

MOBIDIC

MOBIDIC (Campo et alii, 2006) è un modello di bilancio idrologico distribuito con rappresentazione temporale continua. Il modello, proprietà del Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Firenze ma distribuito tra numerosi enti della Regione Toscana, in primis Autorità di Bacino del Fiume Arno e Servizio Idrologico Regionale, consente di simulare le dinamiche spaziali e temporali delle principali variabili idrologiche di interesse, quali il contenuto di acqua nei suoli, il ruscellamento superficiale, lo scambio con la falda, nonché valutare gli effetti sull'evoluzione dei processi considerati della variabilità della precipitazione, delle proprietà idrauliche dei suoli, della vegetazione e l'influenza di interventi antropici sul territorio.

Il modello si basa spazialmente su una discretizzazione orizzontale del bacino in forma di modello digitale a maglia rettangolare (raster) che ne costituisce il Modello Digitale del Terreno (DTM) e su una discretizzazione verticale del bacino in 5 strati:

- vegetazione;
- invaso superficiale;
- porzione di suolo a prevalente comportamento gravitazionale;
- porzione di suolo a prevalente comportamento capillare;
- acquiferi (artesiani, freatici).

Viene effettuato il bilancio idrico degli strati b) c) d) e) (superficie, suolo e sottosuolo) accoppiato, tramite l'evapotraspirazione, al bilancio energetico degli strati a) c) d) (vegetazione e suolo), come si vede dalla figura.

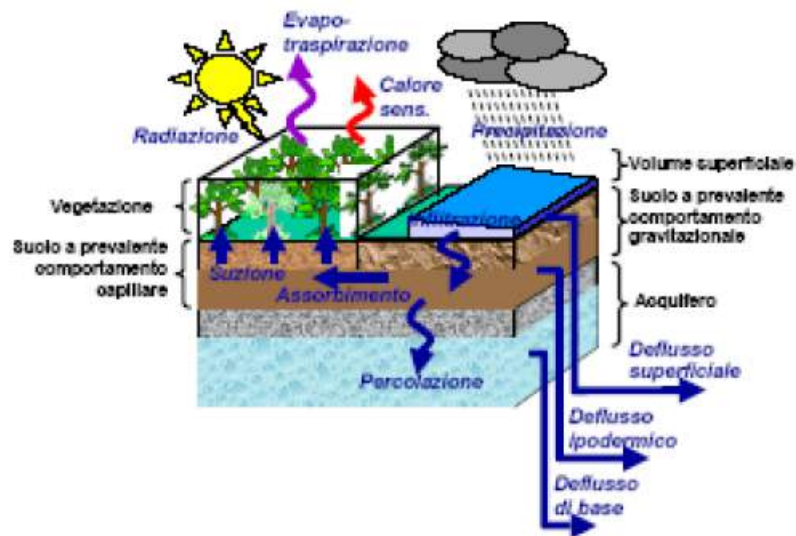


Figura 3: Discretizzazione verticale e Bilancio Idrico in MOBIDIC



Il software R deriva da S, un linguaggio ed un sistema sviluppati da John Chambers e collaboratori negli anni '80 presso i Laboratori Bell. R è un progetto Open Source conforme per la maggior parte ad S. Sviluppato inizialmente da Ross Ihaka and Robert Gentleman all'Università di Auckland (Nuova Zelanda) è attualmente sviluppato da una ampia comunità internazionale di ricercatori e sviluppatori in ambito sia accademico sia industriale.

Il software R opera attraverso il web (www.r-project.org), disponibile per Windows, Macintosh e Linux, è facilmente installabile sul proprio pc dal sito <http://cran.r-project.org/>.

Attraverso la conoscenza delle caratteristiche fondamentali del linguaggio è possibile sviluppare semplici programmi in R. Il linguaggio R è applicabile a problemi rilevanti in ambito ambientale e attraverso le numerose librerie scaricabili è possibile eseguire la maggior parte delle analisi geospaziali, statistiche e geostatistiche necessarie. R è un programma per la grafica e fornisce un ambiente integrato per l'elaborazione interattiva di dati e la visualizzazione di grafici, inoltre dispone anche di interfacce verso programmi e moduli scritti con altri linguaggi.

In particolare uno script di R è stato utilmente impiegato per la lettura ed aggregazione temporale dei numerosi file raster prodotti da MOBIDIC.

ELABORAZIONI

Modellazione Idrologica

Si è proceduto inizialmente in un esame critico di due possibili “motori” idrologici rappresentati da un lato dal modello di bacino SWAT già testato in precedenza per il modello Bacino Pilota del 2006 e dall'altro dal modello idrologico di riferimento per il Servizio Idrologico Regionale MOBIDIC, in precedenza impiegato, invece, per il modello Organoalogenati del 2014 sulla piana costiera.

Il modello MOBIDIC era stato fin lì utilizzato in prevalenza per simulazioni di rischio idraulico su scala regionale e locale. La risoluzione di cella nel Bacino del Cecina risultava pari a 400 m, mentre i parametri del modello risultavano calibrati su portate di piena, lasciando alcuni dubbi sulla affidabilità previsionale nei regimi di magra, di maggior interesse per valutazioni sullo stato della risorsa.

La Regione ha dunque affidato parallelamente allo studio Eumechanos di Firenze una significativa implementazione del MOBIDIC, con aumento della risoluzione ad una cella di 100 m estensione alle aree della pianura di Cecina e, soprattutto, possibile definizione di una più efficace calibrazione delle portate di magra.

Nel settembre 2014 sono state dunque rese disponibili le nuove simulazioni MOBIDIC con migliore calibrazione delle portate di magra per gli anni 2010,2011,2012,2013 e primo semestre 2014.

Sono stati forniti grid dei valori cumulati mensili del periodo per l'infiltrazione ed il runoff, oltre alle portate canalizzate sulle sezioni di interesse in corrispondenza della chiusura dei sottobacini SWAT del modello del Bacino Pilota. Il miglioramento dei risultati del MOBIDIC, almeno per i valori medio alti appare con evidenza dal grafico seguente che raffronta dati calcolati con dati osservati alla stazione idrometrica di Monterufoli.

Calibrazione 2011 - 2012 MOBIDIC

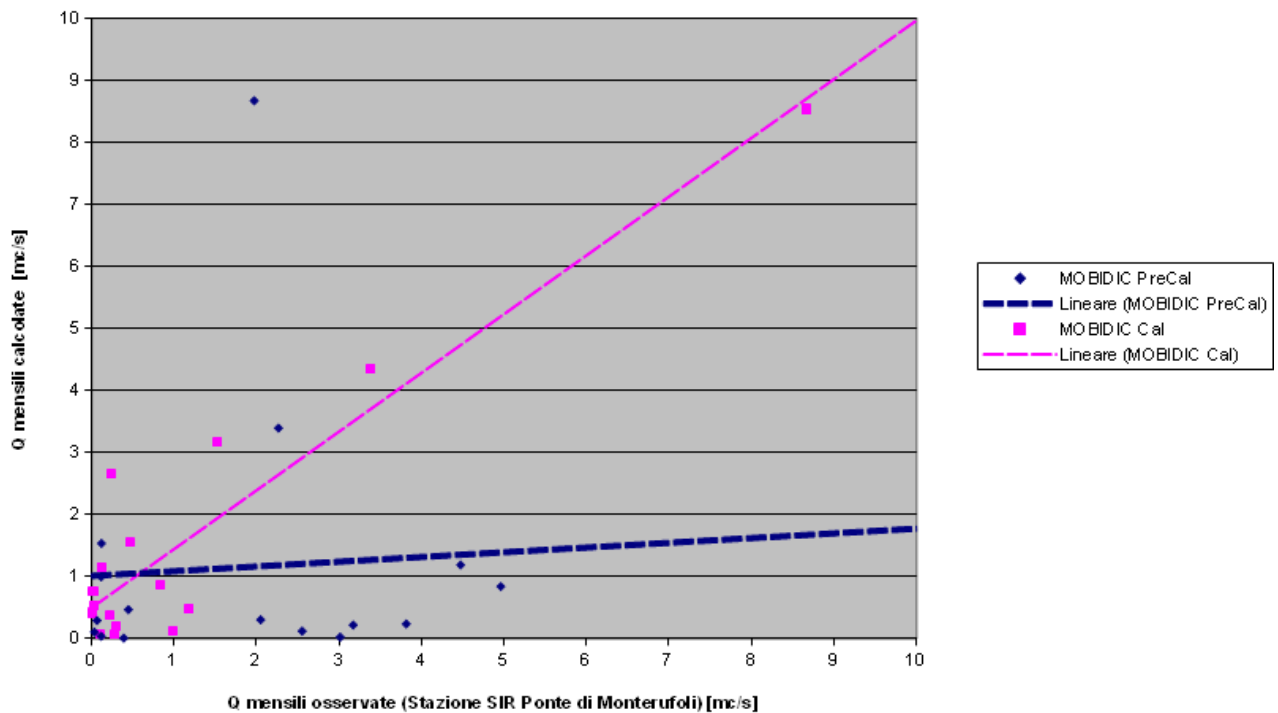


Figura 4: Risultati calibrazione del modello MOBIDIC (precal, precedente calibrazione)

Per i tre principali ingressi di portate canalizzate, utilizzati dal modello ARPAT (2006) e rappresentati dal Cecina a valle dello Zambra e dagli affluenti Gagno e Trossa, sono state così messe a confronto le portate canalizzate ottenute da MOBIDIC con le precedenti determinazioni del modello SWAT, riportando come termine di confronto le medie delle misure di portate istantanee rilevate mensilmente da Lorenzini (2002) nello Studio di Impatto Ambientale condotto per Solvay.

I valori, tenuto conto delle diverse annualità messe a confronto, appaiono nel complesso comparabili. Per la sezione a valle dello Zambra, dove MOBIDIC sembra sovrastimare, molto più di SWAT, il dato reale, occorre anche tener di conto del fenomeno di forte inalveamento delle portate canalizzate nel materasso alluvionale, già evidenziato da Lorenzini (2002).

MOBIDIC - MODFLOW(SWAT) Deflussi ingresso Segment

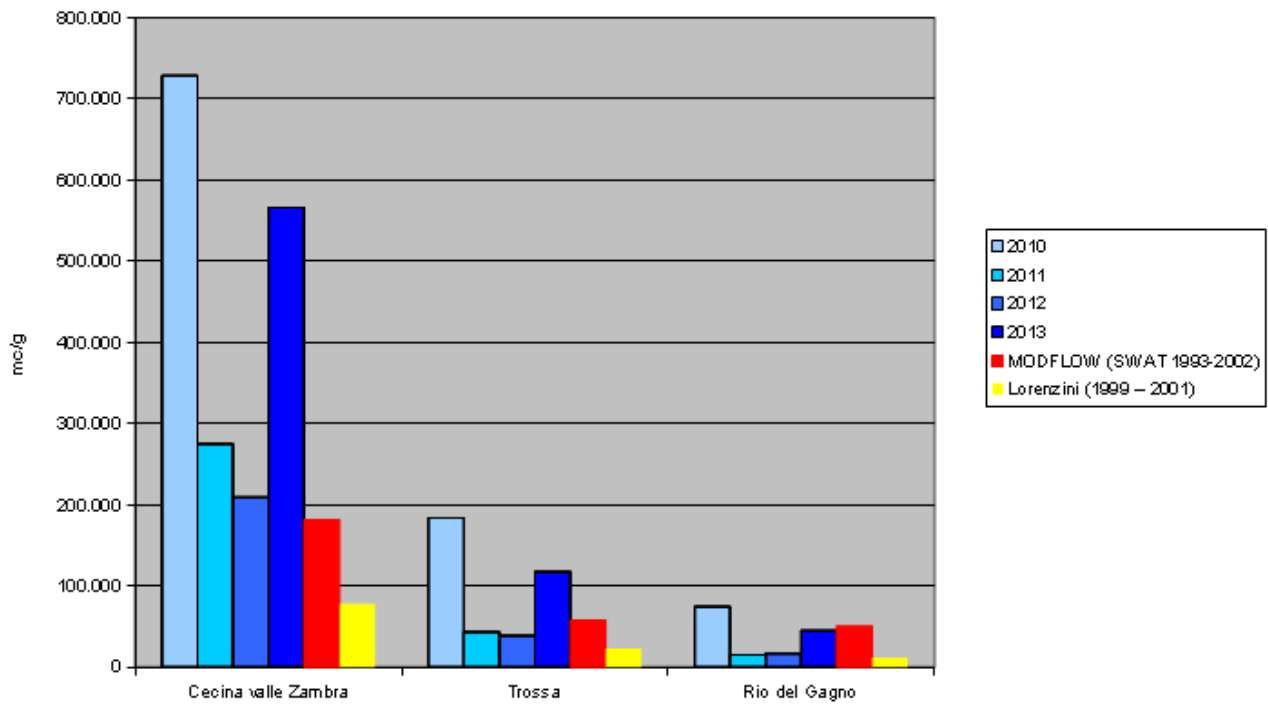


Figura 5: Raffronto portate ingresso nei segment MOBIDIC - SWAT - osservato

I file mensili dell'infiltrazione cumulata sono stati editati, corretti ed aggregati attraverso uno script R per il formato ASCII GRID e portati in QGIS per le successive elaborazioni.

Una prima elaborazione ha riguardato il calcolo delle cumulate annuali del 2011 per un primo confronto, anche qui, con i dati derivati in precedenza dal modello di bacino SWAT.

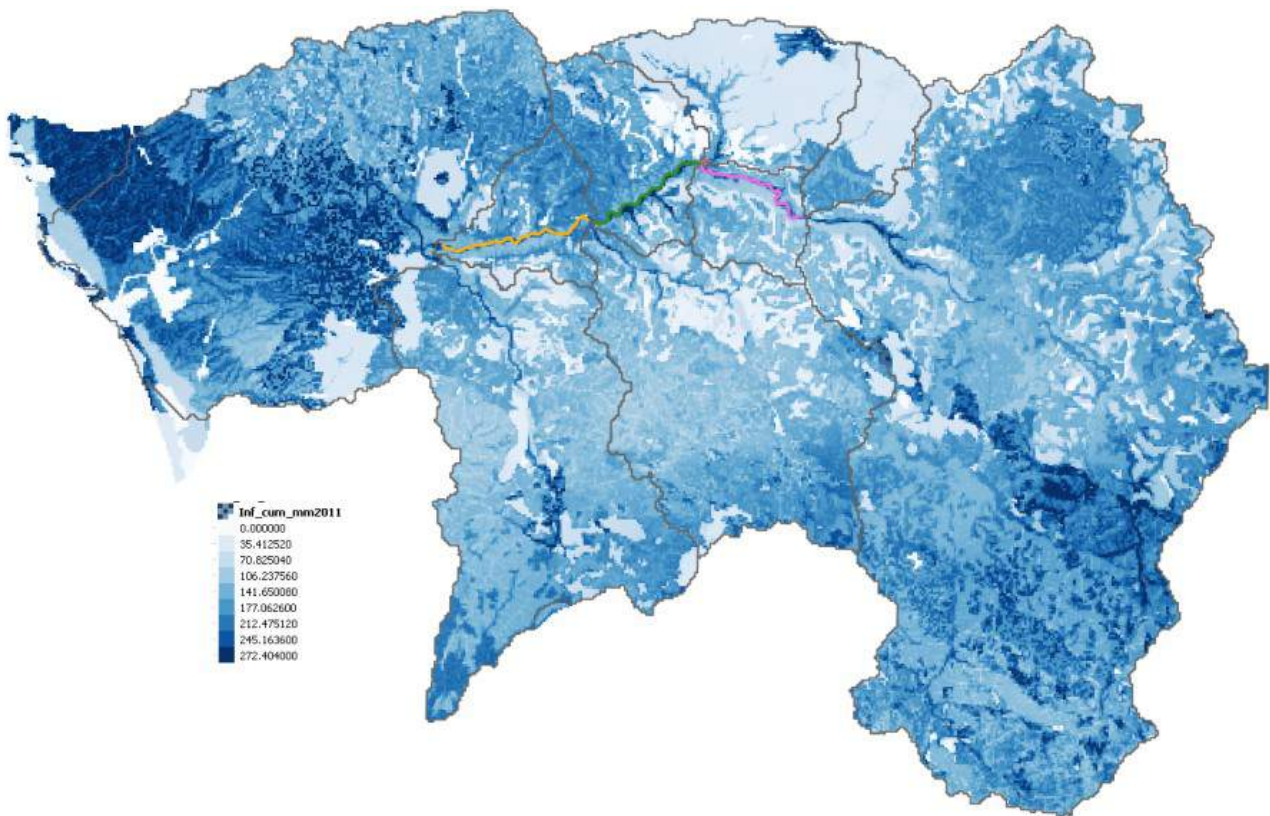


Figura 6: MOBIDIC Infiltrazione cumulata 2001

Sono stati calcolati i volumi di infiltrazione sia relativi agli interi sottobacini afferenti ai tre “segment” del modello Bacino Pilota, sia nel dettaglio relativi alla ricarica zenitale del corpo idrico sotterraneo, cioè quelli della sola pianura alluvionale del Cecina.

Il confronto dei dati mostra che i valori di infiltrazione di SWAT corrispondono abbastanza bene al volume di infiltrazione calcolato da MOBIDIC sul sottobacino. Mentre, molto inferiore da 4 a 8 volte, è risultato con MOBIDIC il volume di effettiva ricarica zenitale sulla pianura.

SWAT è un modello non distribuito che calcola bilanci complessivi per sottobacini e relativi trasferimenti, la semplificazione allora adottata, tenuto conto della situazione geologica di seguito descritta, riteneva plausibile limitare l'esistenza della falda al solo nastro alluvionale.

Nel modello dimostrativo del Bacino Pilota il dato di bilancio fornito da SWAT per l'infiltrazione nella falda superficiale nel sottobacino complessivo è stato, pertanto, ragguagliato e concentrato sulla pianura alluvionale.

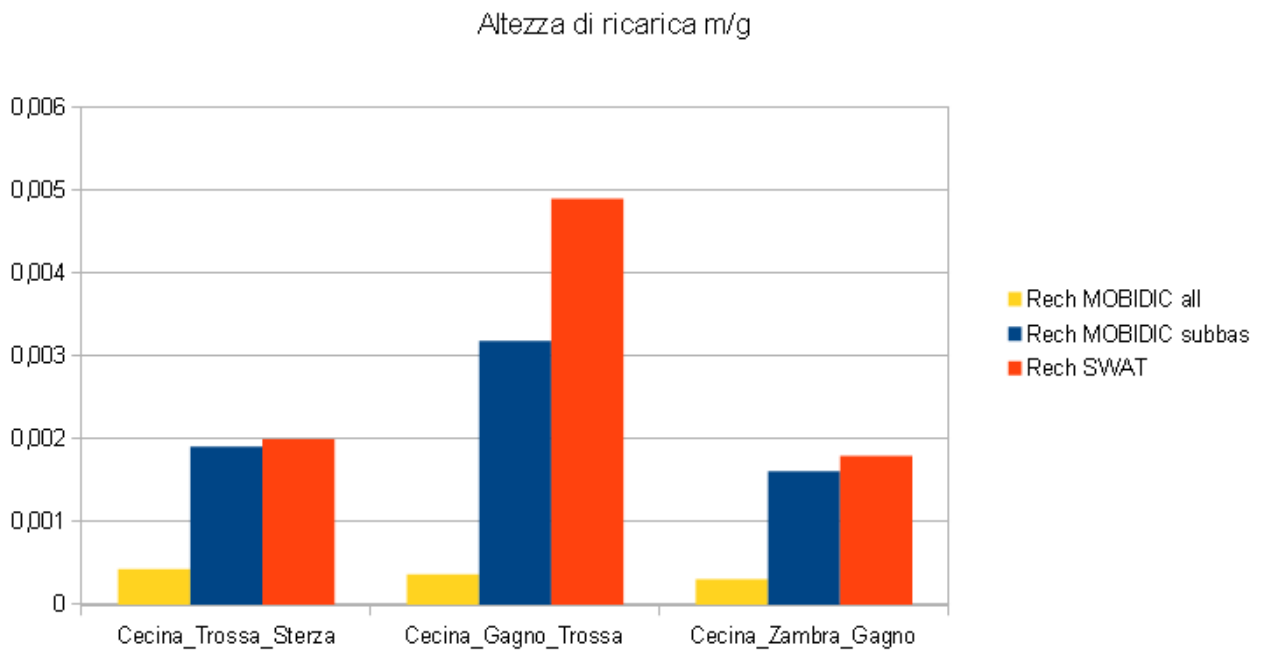


Figura 7: Confronto altezze di infiltrazione

I risultati ottenuti hanno richiesto una attenta valutazione della correttezza e influenza delle diverse assunzioni e conseguenti semplificazioni.

La situazione geologica esemplificata nella figura successiva sembra lasciare in realtà pochi dubbi. L'acquifero alluvionale nastriforme del Cecina si sviluppa entro una valle con depositi prevalentemente impermeabili (argille del pliocene (PLIa), argille (MESa) e gessi (MESg) del messiniano, le stesse formazioni fluviolacustri tortoniane (FOS) presentano come noto una abbondante matrice argillosa.

I volumi che si infiltrano nelle aree collinari contermini della pianura non sembrano dunque in grado di consentire una propagazione del flusso idrico tale da assimilare detti contatti a ricariche laterali. Più probabilmente i volumi infiltrati possono costituire piccole falde isolate, alimentate dall'infiltrazione locale e da reti limitate del deflusso ipodermico, il cui deflusso riemerge con facilità trasferendosi al deflusso superficiale.

In linea teorica, pertanto, i contributi all'acquifero alluvionale intravallivo del Cecina, come riconosciuti dal modello idrologico idraulico MOBIDIC, sono dati dalla ricarica zenitale locale individuata da MOBIDIC, oltreché dagli scambi con il reticolo idraulico. Ai fini della simulazione di stato naturale, è stato osservato che le portate in ingresso derivano in tutti i casi da zone di monte con prelievi minimi o assenti.

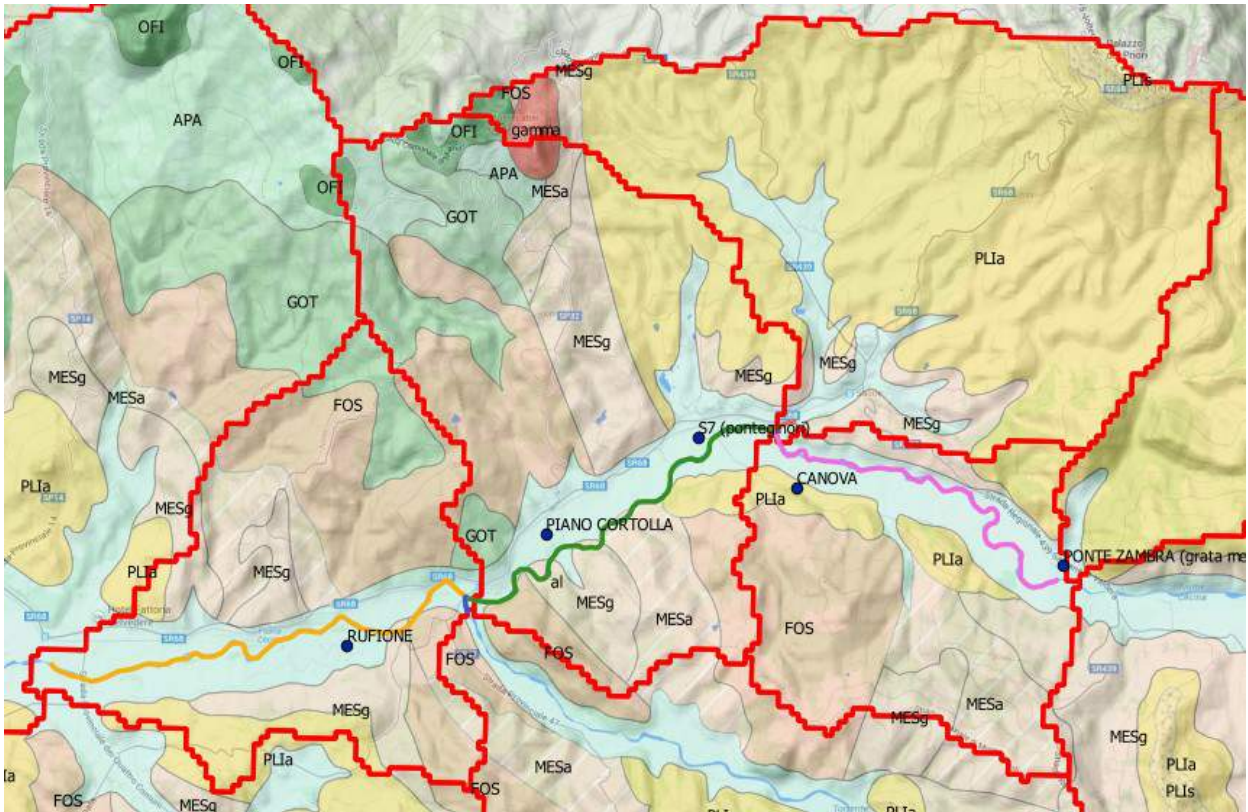
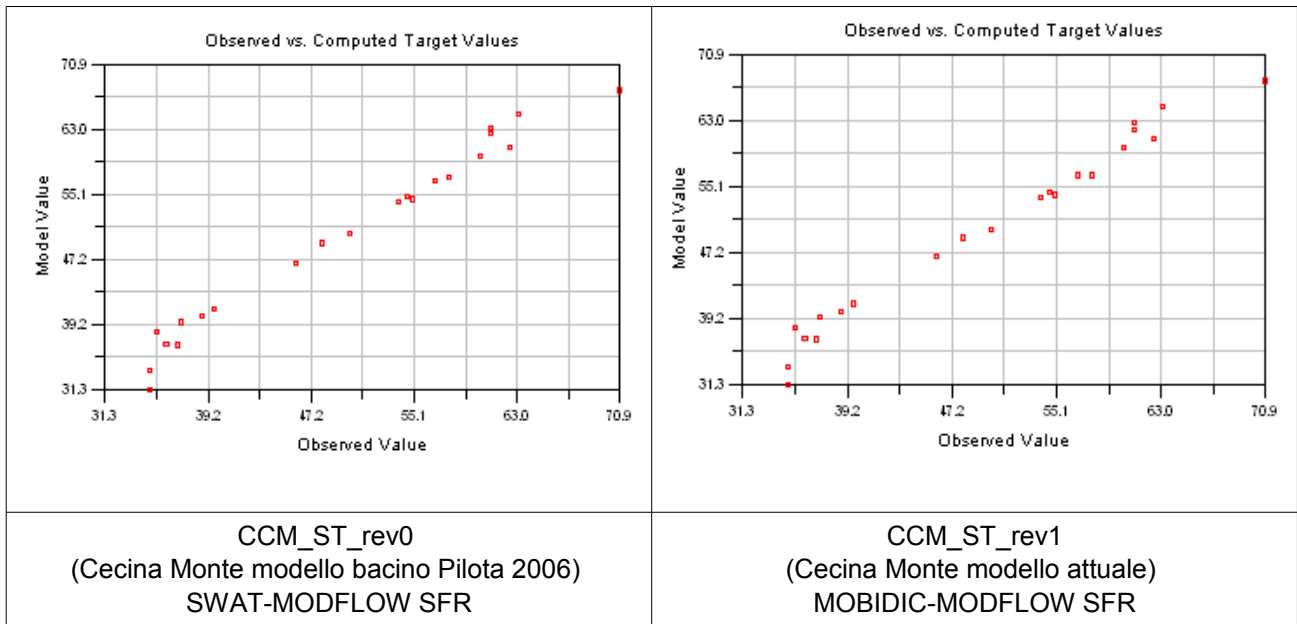


Figura 8: Geologia dei bacini del modello Cecina monte

E' stato così condotto un confronto tra gli esiti del modello Bacino Pilota in condizioni stazionarie (CCM_ST_rev0) con quelli di un nuovo modello (CCM_ST_rev1), cui sono state applicate le ricariche zenitali ridotte secondo i valori indicati da MOBIDIC.

Il sistema si conferma molto influenzato e vincolato alla presenza del corso d'acqua. I carichi idraulici tra le due simulazioni variano molto poco, almeno in rapporto al forte dislivello monte valle. Il nuovo modello con la ricarica ridotta sembra raggiungere addirittura migliori statistiche di calibrazione (errore medio 0,08 m contro -0,34 m).



La differenza sostanziale tra le due configurazioni si esprime però con molta evidenza nei bilanci:

SWAT (1993-2002)			MOBIDIC (2011)		
Description	Inflow	Outflow	Description	Inflow	Outflow
Recharge	32.244	0	Recharge	4.157	0
ET	0	0	ET	0	0
Constant Head	0	0	Constant Head	0	0
River	0	0	River	0	0
Lake	0	0	Lake	0	0
Drain	0	0	Drain	0	0
GHB	0	0	GHB	0	0
Well	0	21.178	Well	0	21.178
Stream	15.218	26.383	Stream	29.172	12.270
Storage	0	0	Storage	0	0
TOTAL	47.462	47.561	TOTAL	33.329	33.448
ERROR	-0		ERROR	-0	

Q monterufoli **300.800** mc/d
110 Mmc/y
3,48 mc/s

Q monterufoli **316.300** mc/d
115 Mmc/y
3,66 mc/s

Almeno per le medie annuali si può osservare come, nel modello con ricarica ridotta, la notevole disponibilità idrica del corso d'acqua, dell'ordine di alcune centinaia di migliaia di mc/g, supplisce alla riduzione (32.000 mc/g) della ricarica.

Nel modello stazionario medio annuo originario CCM_ST_rev0, il saldo dell'acquifero nei confronti del corso d'acqua risulta negativo, con un flusso di 11.000 mc/g che si trasferisce dall'acquifero al corso d'acqua (fiume drenante).

Nel nuovo modello CCM_ST_rev1, nell'anno 2011, con la ricarica ottenuta da MOBIDIC ristretta alla pianura alluvionale e che si riduce di quasi 8 volte, l'acquifero ha adesso un saldo positivo, quasi dello stesso ordine di grandezza, verso il corso d'acqua, con un flusso di ca. 17.000 mc/g che passano adesso dal corso d'acqua all'acquifero (fiume alimentante).

Ulteriori simulazioni MOBIDIC del periodo 2002-2013 sono state successivamente rese disponibili dallo studio Eumechanos con i valori cumulati mensili di infiltrazione, runoff e portate canalizzate sulle sezioni di interesse. Un ulteriore variabile fornita è rappresentata dalla percolazione, termine che più propriamente dovrebbe rappresentare la ricarica zenitale delle falde sotterranee, ma per il quale è emersa la necessità di una ulteriore calibrazione del MOBIDIC.

Una esatta definizione del termine, infatti, non era richiesta in un modello quantitativo del deflusso superficiale, soprattutto se dedicato alla ricostruzione di eventi di morbida. La percolazione che concorre a definire il deflusso di base rappresenta evidentemente una quantità subordinata rispetto alle altre componenti del deflusso superficiale come flusso canalizzato, runoff, e ruscellamento ipodermico.

Le semplificazioni fin qui introdotte in MOBIDIC, con l'assegnazione di un unico coefficiente di percolazione non dipendente dalla litologia, sembrano invece penalizzare fortemente la percolazione sulla pianura alluvionale, determinando valori molto bassi. Come è visibile dalla mappa i colori scuri sul Piano della Cortolla (contesto pianeggiante costituito da alluvioni ghiaioso-sabbiose con copertura limoso sabbiosa di spessore max 1 m) corrispondono ad infiltrazioni di 10 - 20 mm/anno, non realistiche



Figura 9: Altezze di percolazione dal modello MOBIDIC

E' stato così deciso, di comune accordo con la Dr.ssa Francesca Caparrini di Eumechanos, di procedere comunque nella richiesta simulazione del periodo di riferimento 2003-2012 con il termine di infiltrazione come ricarica zenitale. Si ha ragione di ritenere, infatti che:

1. nella pianura in assenza di ruscellamento ipodermico l'infiltrazione dovrà risultare in tutti i casi assai prossima alla percolazione;
2. considerata la minima influenza percentuale delle aree alluvionali sul bacino di monte del Fiume Cecina la calibrazione complessiva del modello è da ritenere comunque raggiunta.

Modello Cecina Monte

Le elaborazioni successive, come richiesto dal disciplinare, sono consistite nella miglior implementazione e calibrazione 2003-2012 del modello transitorio medio annuo già sviluppato per lo studio del Bacino Pilota, modello che prevedeva 4 stress periods trimestrali dei dati medi stagionali del periodo 1993-2002.

Sono stati pertanto estratti da MOBIDIC:

- 120 file mensili (12*10) dell'infiltrazione cumulata per il decennio 2003-2012, editati e corretti per il formato ASCII GRID e portati in R e QGIS per le successive elaborazioni statistiche e geometriche di estrazione sull'area del modello;
- 48 valori del flusso canalizzato (4 * 12) in corrispondenza della sezione di ingresso del Cecina a valle della confluenza del Torrente Zambra e dei due maggiori affluenti nel tratto considerato quali Botro del Gagno e Trossa, oltre alla sezione di controllo di uscita al Ponte di Monterufoli prima della confluenza con lo Sterza.

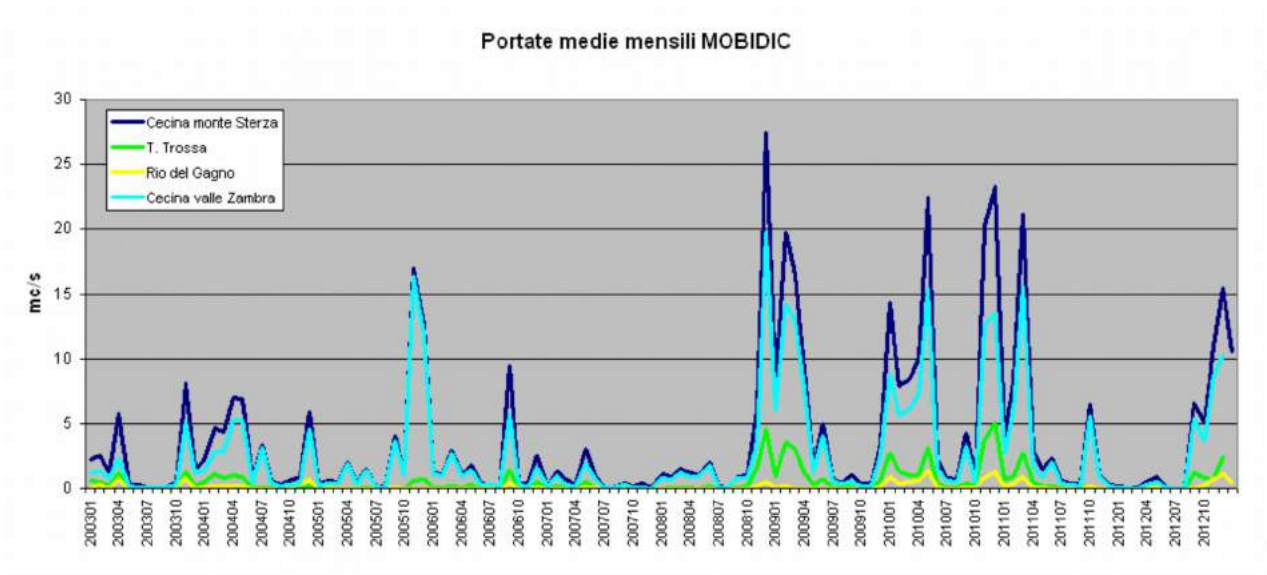


Figura 10: portate canalizzate medie mensili calcolate da MOBIDIC sulle sezioni di interesse

Sono stati dunque forniti al modello i dati del periodo 2003-2012 aggregati e mediati su 12 stress periods mensili.

I dati di infiltrazione cumulata sono stati trasferiti puntualmente dalle celle di 100 m del MOBIDIC agli elementi alle differenze finite di MODFLOW, anche questi definiti con passo di 100m, come condizione al contorno “Recharge”;

I dati di portata sono stati invece forniti, nello specifico, al package MODFLOW-STR (Stream Routing Package) come portate di ingresso nei seguenti segment:

- Cecina a valle della confluenza del Torrente Zambra;
- Botro del Gagno
- Trossa.

I due input sono messi al confronto nel diagramma seguente:

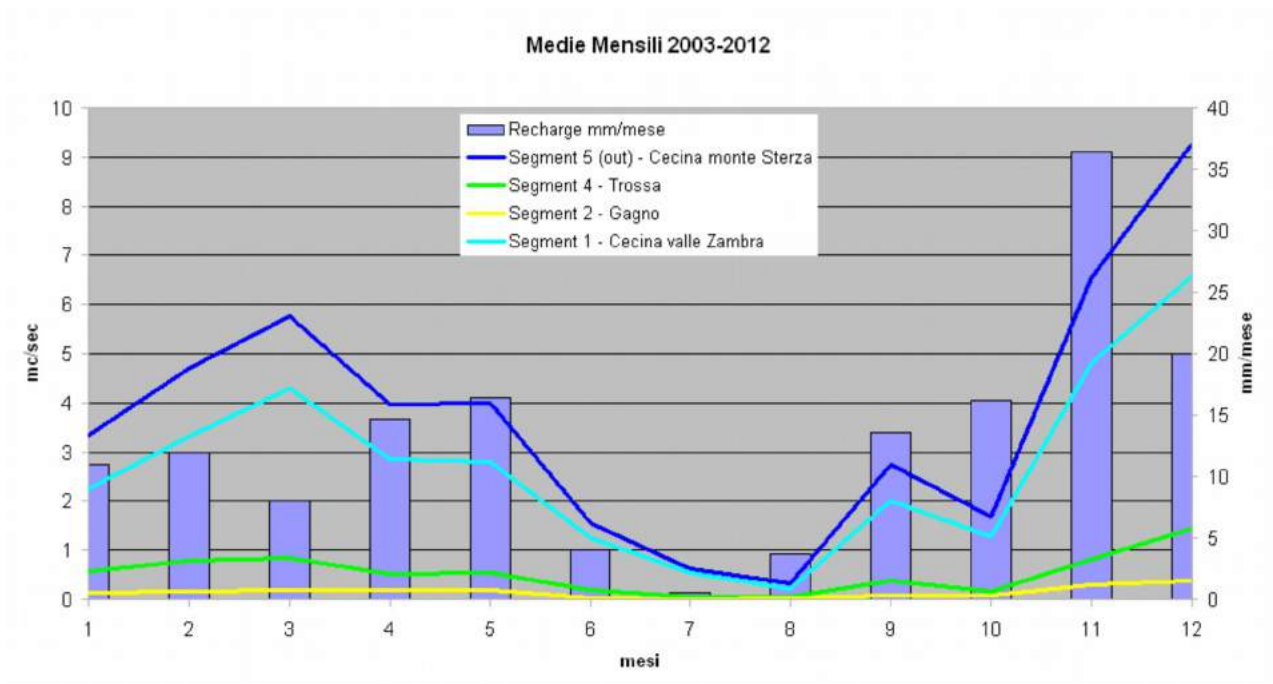


Figura 11: medie mensili del periodo 2003-2012 di ricarica e portate dei corsi d'acqua fornite al modello MODFLOW CCM_rev1

Ulteriori dati di maggior dettaglio forniti al nuovo modello sono rappresentati da:

- ricostruzione dei prelievi delle 45 utenze esistenti in zona (effettuata dal Dr. Giovanni Testa della Provincia di Pisa Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Pisa);
- ricostruzione del profilo altimetrico e delle caratteristiche geometriche delle sezioni del corso d'acqua (bottom, width, slope per singolo reach) sulla base del rilievo topografico del 2003.

I prelievi valutati dagli uffici provinciali, sia sulla base degli effettivi consumi per le derivazioni maggiori, sia sulle stime dalle quantità in concessione per quelle più piccole, sono risultati nel complesso pari a ca 6 Mmc/anno, in massima prevalenza ad uso industriale e da ritenere distribuiti con relativa uniformità nel corso dell'anno.

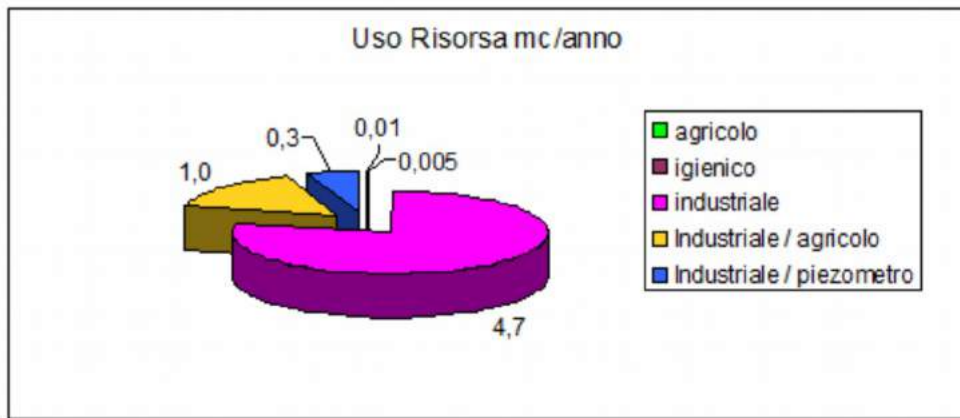


Figura 12: Prelievi ed uso della risorsa idrica sotterranea

Per quanto riguarda i rilievi geometrici delle sezioni del Fiume Cecina è stato realizzato un confronto delle quote minime originarie dell'alveo, derivate dal modello SWAT sulla base del DEM 10 m di Regione Toscana, con le quote minime date dai rilievi topografici di dettaglio del 2003.

Nella figura che segue è riportato un esempio delle celle stream di modello sottoposte a verifica.

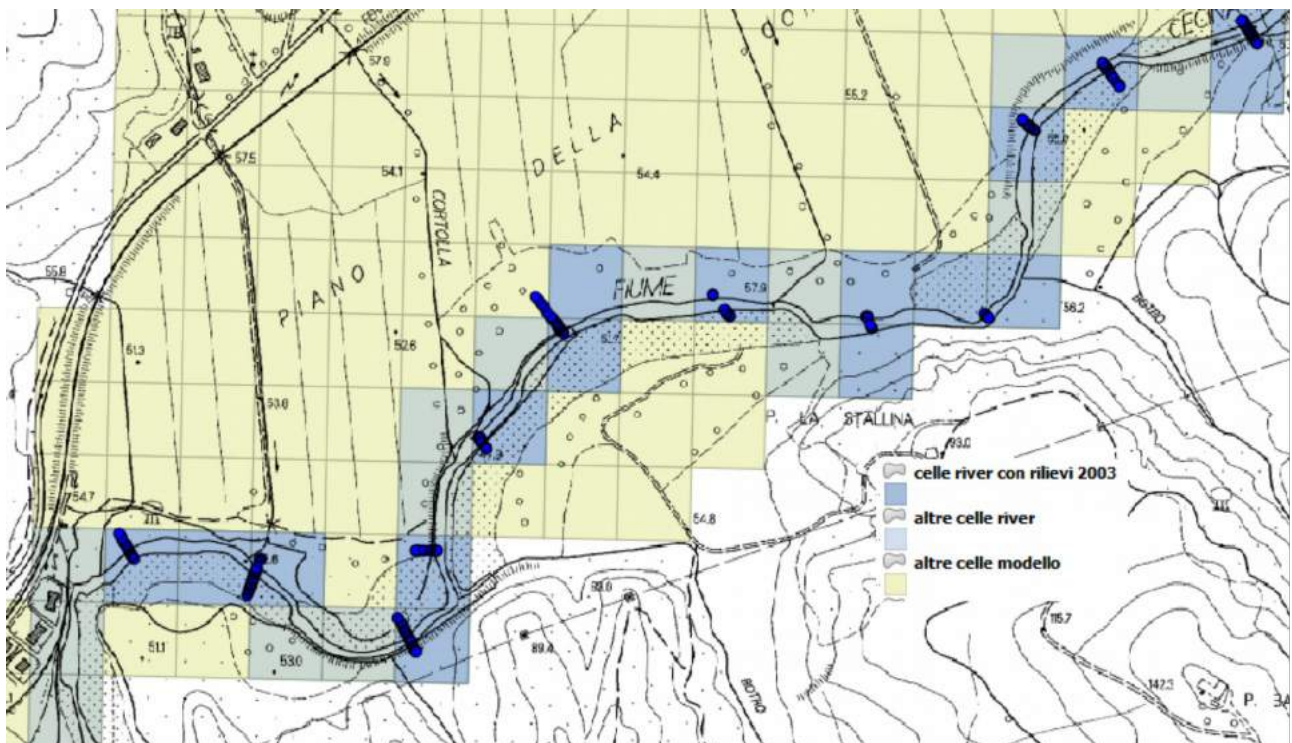


Figura 13: Celle stream di modello sottoposte a verifica della quota del fondo alveo

Il risultato è stato che le differenze, per quanto sensibili con una media delle differenze assolute pari a 76 cm e deviazione standard di 58 cm, risultano con evidenza distribuite casualmente lungo il tratto del Cecina modellato nei segments 1, 3 e 5.

Sulla base degli esiti del confronto si è ritenuto, per il momento, di non procedere nell'aggiornamento delle caratteristiche idrauliche delle diverse sezioni, che tra l'altro sarebbero in ogni caso riferite a rilievi relativamente datati.

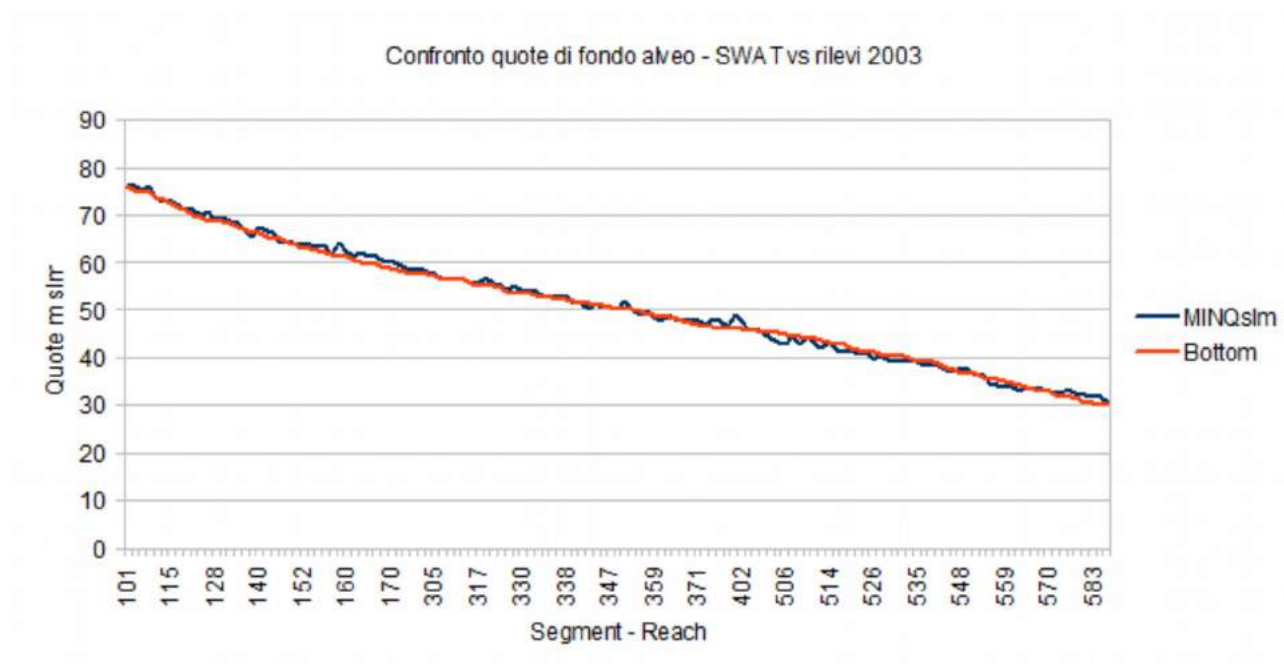


Figura 14: Confronto quote di fondo alveo

Per la calibrazione del modello in stato transitorio sono state acquisite, infine, le registrazioni piezometriche delle 5 stazioni CFR disponibili in zona, anche queste mediate su base mensile.



Figura 15: Stazioni Freatimetriche SIR

Le registrazioni coprono per ampia parte il periodo di riferimento 2003-2012

Stazione SIR		valori	Da	a
TOS19000605	Ponte Zambra	109	2004	2014
TOS19000603	Canova	111	2005	2014
TOS19000602	Ginori S7	96	2005	2014
TOS19000607	Piano Cortolla	101	2005	2014
TOS19000609	Rufione	112	2004	2014

I primi run condotti sulla base dei dati fin qui esposti hanno mostrato un sensibile scostamento del nuovo modello transitorio CCM_TR_rev1 rispetto al modello pilota CCM_TR_rev0.

A conferma di quanto precedentemente osservato circa le notevoli differenze di bilancio tra modello stazionario CCM_ST_rev1 e precedente CCM_ST_rev0, si osserva che la forte dipendenza dal corso d'acqua durante tutta la simulazione conduce ad un sostanziale appiattimento delle oscillazioni freatiche in CCM_TR_rev1. Diversamente, infatti, nel caso del modello più dominato dalla ricarica locale, CCM_TR_rev0 il trasferimento del flusso dall'acquifero al corso d'acqua determina una maggiore dinamica.

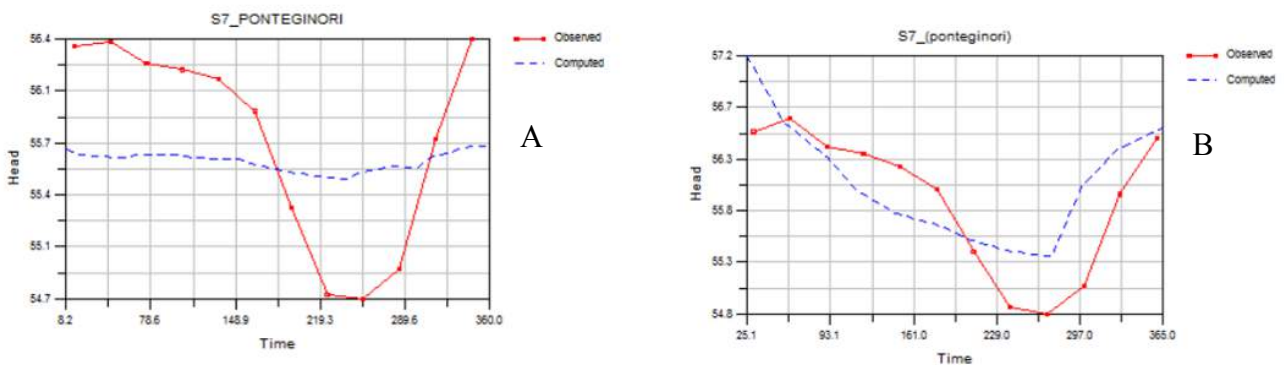


Figura 16: (A) CCM_TR_rev1 ricarica zenitale MOBIDIC (B) CCM_TR_rev0 – ricarica sottobacino SWAT

Come accennato in precedenza, nel corso del 2015, ARPAT è stata chiamata come supporto tecnico nella procedura di VIA relativo al Progetto 2014 di SOLVAY CHIMICA ITALIA S.p.A. “Nuovo sistema idrico industriale per l’attività mineraria”. In particolare, il documento analizzato è rappresentato dall’Allegato 1 Rev1 “Modellistica Numerica Acquifero Fiume Cecina”.

Il modello Solvay aveva simulato, in condizioni dichiarate come conservative, diversi scenari di stress nel periodo giugno – ottobre con risultati che mostravano come la quota piezometrica, calcolata dal modello numerico in quasi tutti i punti di controllo del modello, risultava a fine periodo di simulazione (15 Ottobre) sempre superiore alla quota di fondo alveo. Si affermava, pertanto, l’evidenza di impatti non critici per l’acquifero del fiume Cecina, con il nuovo schema di pompaggio che includeva i fabbisogni del progetto Solvay (714 mc/h) come delle altre utenze industriali (Eti1 ed Altair 101 mc/h) e, tenuto conto anche di ulteriori necessità idriche per l'uso potabile future di ASA (162 mc/h).

Per quanto il modello fornisse rassicurazioni circa la disponibilità idrica nel tratto a valle di Ponteginori interessato da nuovi sfruttamenti, fu però osservato come l'andamento del piezometro Rufione, riportato nel documento Solvay, compreso tra i punti di controllo P2 e P3 con quote fondo alveo rispettivamente di 36,2 e 39,73 m slm, sembrava raggiungere sia nel 2008 che nel 2011 sicure condizioni critiche nei riguardi del drenaggio fiume falda.

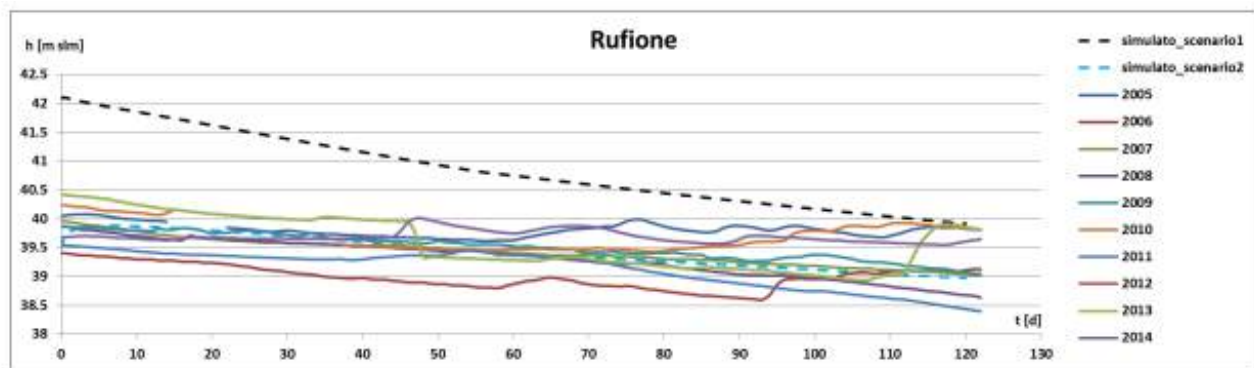


Figura 32: andamento della piezometria nel piezometro Rufione negli scenari di simulazione e misure 2005-2014

Figura 17: Andamenti 15/6 – 15/10 del piezometro Rufione secondo scenari di simulazione Solvay e misure 2005-2014

Inoltre, gli stessi andamenti generali osservati al piezometro Rufione, proprio al confronto con gli andamenti ricostruiti dal modello, evidenziavano una certa sovrastima del modello, da ritenersi invece in teoria conservativo, rispetto alla realtà. Questi elementi, tenuto conto della massima rilevanza del piezometro, l'unico nel tratto in nuovo sfruttamento, mettevano in discussione le conclusioni degli autori e pertanto, ai fini di una verifica della effettiva conservatività delle ipotesi e degli scenari Solvay, il modello è stato testato attraverso una serie di simulazioni alternative così descritte:

- scenario IMPATTO (“A” stato pre 2002 per l’intero anno);
- scenario NATURALE (senza prelievi);
- scenario PROPOSTA ALTERNATIVA (“S” delocalizzazione)
- scenario VIA (“E” IdroS nello stress period 3 estivo + “A” per i restanti)

Al fine di avvicinarsi alle condizioni conservative indicate da Solvay basate sulle misure di deflusso superficiale del triennio 1999-2001 sono state dunque calcolate le portate medie nel trimestre estivo (luglio-agosto-settembre) dalle misure disponibili di Lorenzini e sostituite alle portate di SWAT nello stress period 3.

Le ricariche medie stagionali nei quattro stress periods sono state mantenute le stesse del Modello Bacino Pilota, come ottenute dalla calibrazione nel periodo 1993-2002 di SWAT (CCM_TR_rev0).

Tabella 1 – Portate medie estive calcolate dalle misure 1999-2001

Sezione		l/s	mc/g
F. Cecina	Ponte di ferro	35	3010
T. Zambra	Ponte di Zambra	0	0
Botro di Gagno	La Botte	51	4435
T.Trossa	Ponteginori	0,3	29
F. Cecina	Ponte di Monterufoli	20	1699

Il modello ARPAT rispetto al modello Solvay utilizzava inoltre un valore della conducibilità idraulica K superiore $2,3E-3$ m/s contro $1,5E-3$ m/s così come una porosità n di 0,25 contro 0,15. Altro elemento di differenza da tenere presente, per quanto riguarda le condizioni al contorno, riguarda l'assenza di comunicazioni sotterranee con i bacini limitrofi (monte del Ponte di ferro, Zambra, Gagno Santa Marta, Trossa e valle di Ponte di Monterufoli). La semplificazione che comporta una riemersione obbligata del flusso idrico sotterraneo alla chiusura dei bacini è valida certamente nelle condizioni di medio ed alto deflusso dei corsi d'acqua, quando le portate superficiali sono più ordini di grandezza superiori alle portate della falda mentre, se confrontata con le sole portate liquide superficiali può risultare conservativa nelle condizioni di magra.

I risultati della modellazione dello scenario A, attuale e di impatto, analizzati sul piezometro Rufione dimostrano andamenti realistici; una migliore calibrazione, sembra aversi con i dati di conducibilità e porosità originari (A).

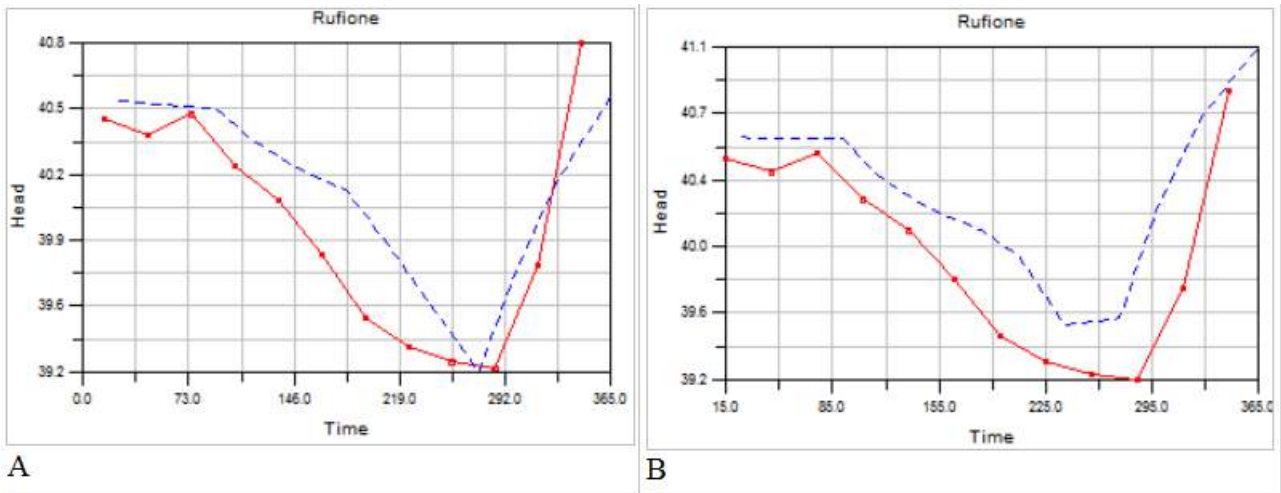


Figura 18: Piezometro Rufione: grafici osservato (linea rossa) calcolato (blu) con diversi parametri K ed ne A (ARPAT, 2006) B (Solvay).

I risultati della modellazione per lo scenario A relativa al termine del terzo time step dello stress period 3 estivo possono essere direttamente confrontati con i quadri idrici riportati da Squarci et al. (2014) nelle Tavole 9A e 9B relative all'agosto 2001 ed agosto 1999.

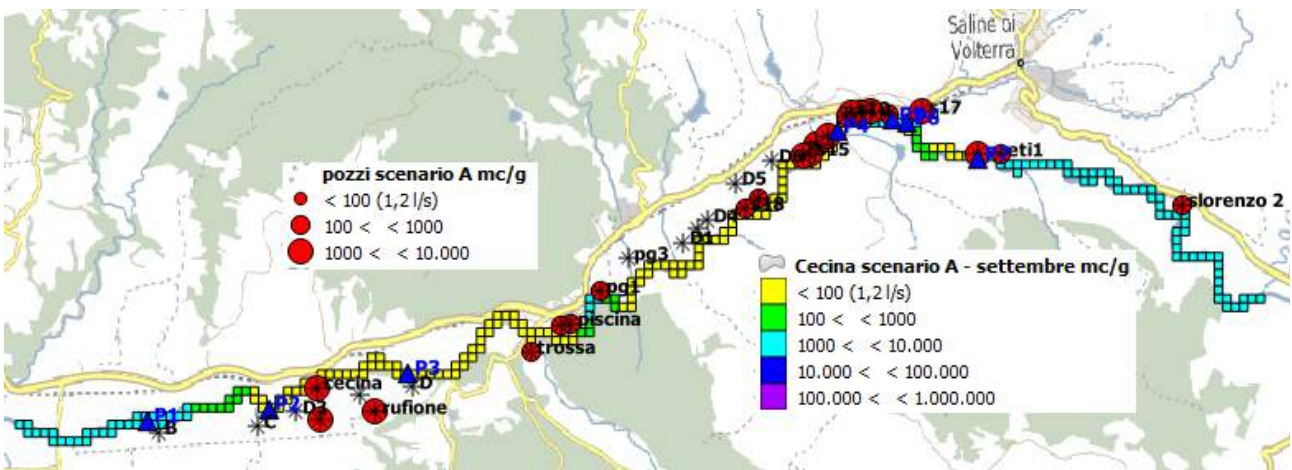


Figura 19: Quadro Idrico ricostruito da MODFLOW-STR per lo Scenario d'IMPATTO (A) - Settembre

La successione di tratti con deflusso e tratti asciutti, appare ben ricostruita, si individuano in particolare tre tratti critici con Q minime o nulle (< 1,2 l/s):

- a valle di podere san Lorenzo fino a monte della confluenza del Botro di Gagno e Santa Marta;
- a valle della Cacciatina fino a monte di Ponteginori
- a valle di Ponteginori fino a monte di Ponte di Monterufoli.

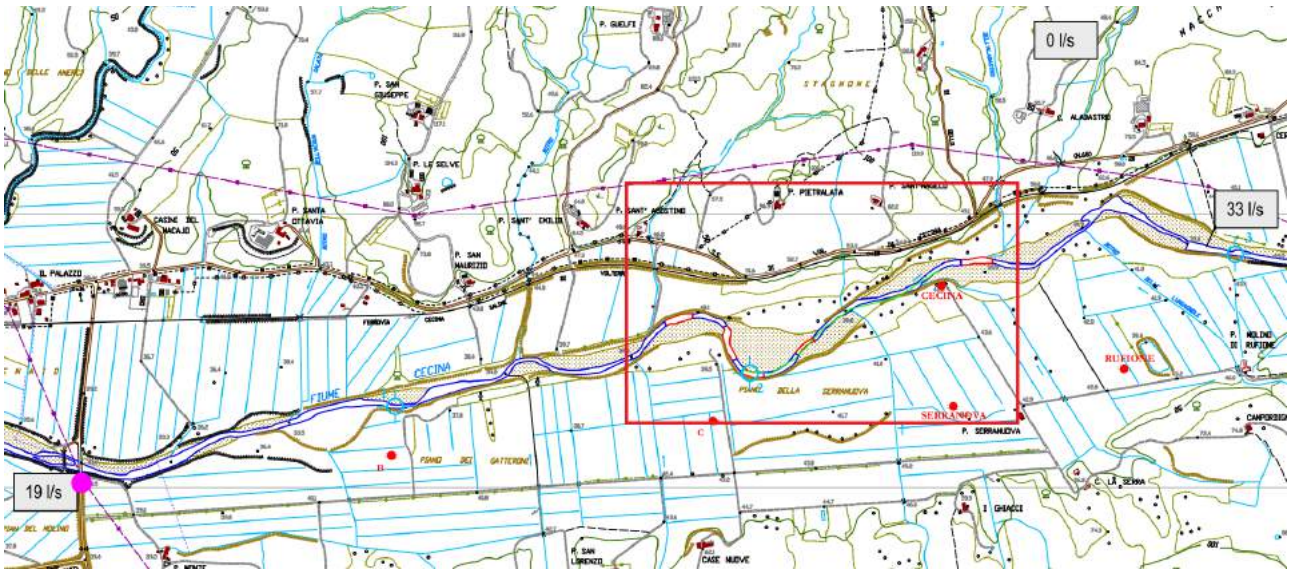


Figura 20: Quadro idrico rilevato nei giorni 12-13-22 agosto 1999 – dettaglio del tratto asciutto a valle di Ponteginori

Ritenuta, nei limiti delle attuali possibilità, sufficientemente attendibile la modellazione dello scenario d'IMPATTO si è proceduto nella ricostruzione di uno scenario NATURALE, in assenza, cioè dei prelievi. La modellazione, anche se conservativa, non sembra lasciare molti dubbi, il Fiume Cecina avrebbe nelle condizioni di fine estate un corso con deflusso continuo ancorché limitato.

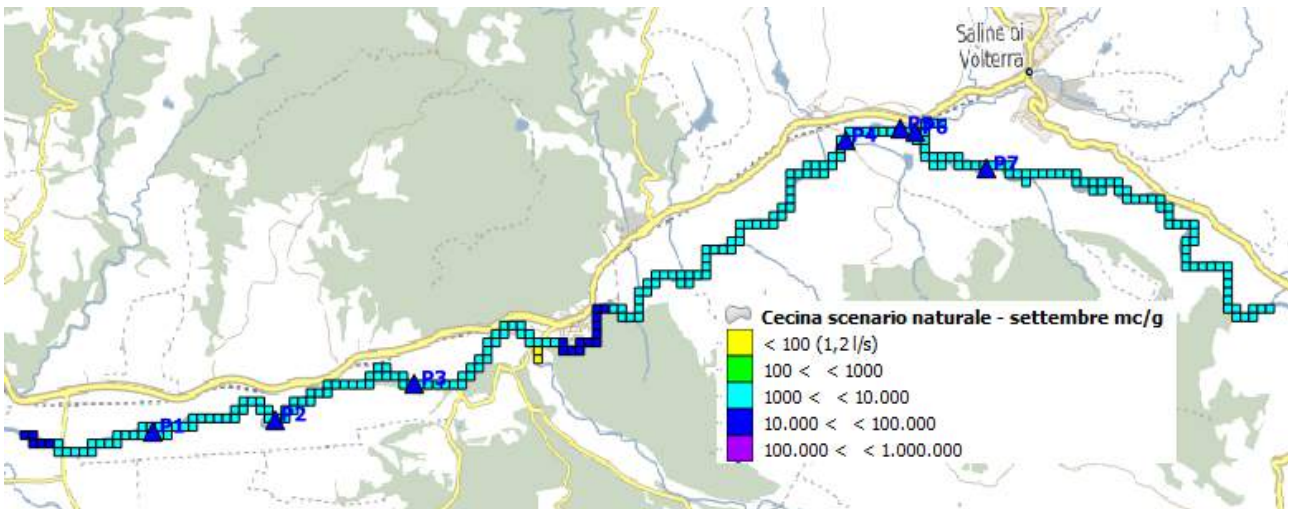


Figura 21: Quadro Idrico ricostruito da MODFLOW-STR per lo Scenario NATURALE - Settembre

Lo scenario S della PROPOSTA ALTERNATIVA, oggetto della proposta di delocalizzazione, in contrasto con quanto risultato al modello SOLVAY, non sembra invece risolvere le condizioni di impatto se non nell'area della Cacciatina. Permangono, infatti, ed addirittura si aggravano gli impatti sul deflusso superficiale a valle di Ponteginori.

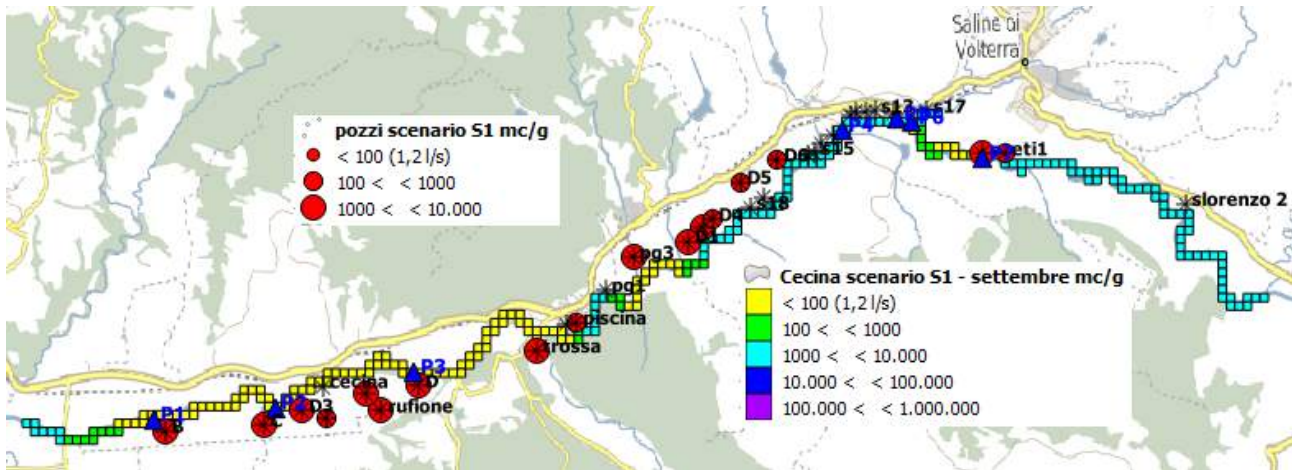


Figura 22: Quadro Idrico ricostruito da MODFLOW-STR per lo Scenario PROPOSTA ALTERNATIVA (S) - Settembre

A titolo di confronto è stato inoltre riprodotto lo scenario della proposta originaria di VIA (A + E) caratterizzata dalla cessazione dei prelievi della Cacciatina nel periodo estivo. Lo scenario appare migliore della Proposta di Delocalizzazione, garantendo con la cessazione dei prelievi nel periodo estivo un deflusso superficiale al Fiume Cecina.

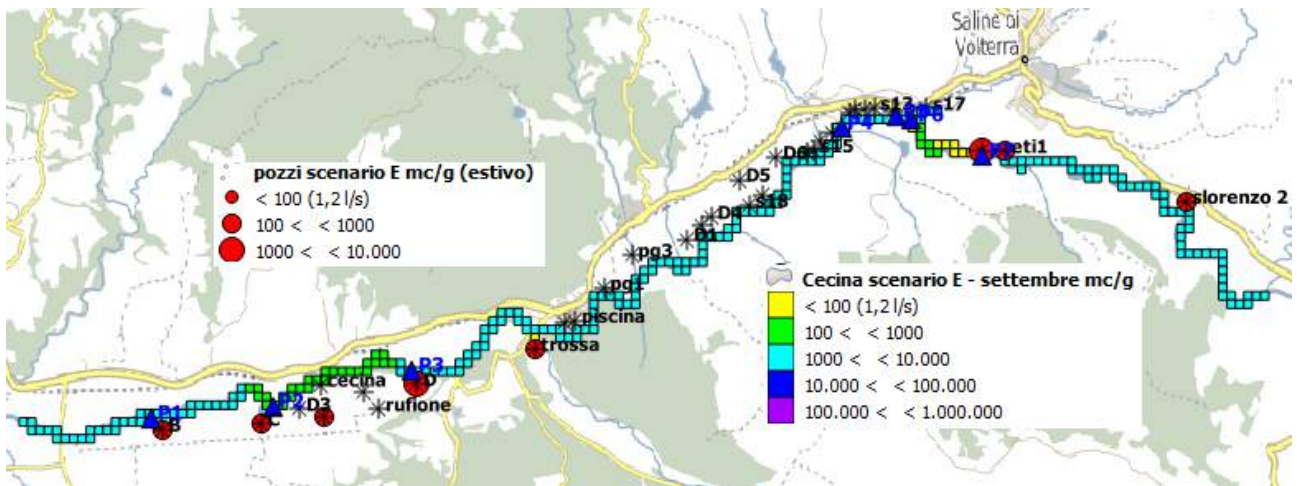


Figura 23: Quadro Idrico ricostruito da MODFLOW-STR per lo Scenario VIA (E IdroS + A) - Settembre

I risultati ottenuti dal modello ARPAT a questo punto differivano da quelli del modello Solvay. Lo scenario S della PROPOSTA ALTERNATIVA di Solvay, anche se con la falda dalla Cacciatina al Ponte di Monterufoli dovunque più alta del fondo alveo ed alimentante, risulta invece critico, secondo gli esiti ARPA. A valle di Ponteginori, infatti, le depressioni dei nuovi pozzi sembrano indurre una nuova inversione dei rapporti fiume falda fino all'esaurimento della portata liquida superficiale per un ampio tratto. La portata del corso d'acqua che si ricostituisce poco a monte di Ponte di Monterufoli determina un'uscita importante del sistema valutata in 40 l/s.

Il modello ha visto due successive fasi di calibrazione e affinamento, la prima attraverso incontri con i modellisti di Solvay la seconda attraverso lo studio Eumechanos..

In data 03/03/2015 ed in data 09/03/2015 si sono svolte presso il Settore Tutela e Gestione delle Risorse Idriche, due riunioni tecniche finalizzate ad un confronto tra i modelli in oggetto, riunioni che hanno visto la partecipazione oltre che dei tecnici di Solvay ed Arpat anche i tecnici del settore scrivente, del Genio Civile Toscana Sud, della Provincia di Pisa.

Al termine della prima riunione, sono state riscontrate, tra i due modelli, differenze geometriche, differenze di posizionamento dei prelievi e sulla loro dinamica.

Oltre a quanto verificato nel corso dell'incontro, veniva ravvisato, da parte di tutti, il dubbio che un'altra rilevante differenza tra le due modellazioni risiedesse sulla presenza o meno del pacchetto STREAM, in altre parole, tra una modellazione dinamica degli scambi fiume falda, nel modello Modflow, ed una essenzialmente statica, nel modello Feflow.

Pertanto successivamente I modellisti incaricati da Solvay in collaborazione con ARPAT hanno provveduto alla configurazione del modello Modflow nella stessa forma e stesse condizioni al contorno del modello Feflow. In particolare:

- utilizzando una discretizzazione di maggior dettaglio nel modello Modflow soprattutto nell'intorno dei pozzi, ai fini di una ricostruzione più accurata dei coni di pompaggio, con una risoluzione minima di 25 m;
- confrontando il rilievo relativo alle quote di bottom e di top dell'acquifero sotterraneo dal momento che ARPAT ha utilizzato i dati aggiornati al 2001 mentre Solvay ha ricostruito l'acquifero basandosi sul rilievo LIDAR e su nuovi rilievi in situ;
- posizionando i pozzi nel modello Modflow come nel modello Feflow ed allo stesso tempo aggiornando gli scenari di prelievo all'ultima proposta presentata del novembre 2014;
- utilizzando, anche nel modello Modflow un coefficiente di porosità pari a $n = 0.15$, come nel modello Feflow, che sembra essere, anche dalle prove condotte da Solvay quello più appropriato per le caratteristiche granulometriche e litologiche del subalveo;
- nello scenario estivo integrando le condizioni al contorno del modello Modflow con i contributi di subalveo provenienti dai corsi d'acqua posti a valle della confluenza con il Botro di Santa Marta (Botro Grande e Botro Cortolla) come indicato nel modello Feflow;
- riconsiderando nel dettaglio, con un opportuna suddivisione degli stress periods utilizzati dal modello Modflow, le due fasi di pompaggio previste nello scenario S di progetto, ritenuto

che la sospensione del pompaggio del “pozzo D” dopo il 15/08 possa avere un’influenza significativa sulle relazioni fiume-falda.

Dalle elaborazioni risultava come il modello Modflow, se configurato con gli stessi dati di input e le stesse caratteristiche geometriche ed idrauliche dell’analogo Feflow e in assenza degli scambi fiume-falda, calcolati dal pacchetto STREAM, desse risultati comparabili con quello Feflow impiegato da Solvay a supporto del progetto di delocalizzazione. .

ARPAT ha in tutti i casi ritenuto che la concettualizzazione del sistema fosse corretta solo prevedendo l’impiego del pacchetto STREAM per la simulazione dinamica degli scambi fiume falda.

Successivamente, il Settore Tutela e Gestione delle Risorse Idriche, di Regione Toscana, in considerazione del permanere di situazioni di notevoli discrepanze e divergenze di valutazioni su un tema molto specialistico quale quello della modellistica ambientale, ha acquisito uno specifico supporto tecnico dato dal rapporto di Eumechanos (2014a).

Lo studio Eumechanos, che si è avvalso del contributo scientifico del prof. Fabio Castelli dell’università di Firenze, ha realizzato come indicatore di sfruttamento il volume idrico scambiato, tra fiume e falda, con una valutazione generalizzata, in relazione a diversi scenari di prelievo, per le numerose condizioni di variabilità degli ultimi tredici anni,:

- Attuale: impianti attuali con emungimenti Solvay sempre al massimo richiesto in concessione;
- Project - Impianti come da nuovo progetto di delocalizzazione con emungimenti sempre al massimo richiesto in concessione ;
- Project 72%: riduzione del 72% dei prelievi di progetto, quantità equivalente alla media degli emungimenti effettivi nel periodo 2009-2014.
- Idro-S: Impianti attuali con emungimenti nulli nel periodo 15-giugno 15-ottobre e al massimo quantitativo richiesto in concessione nel rimanente periodo;
- Altri – Emungimenti Solvay nulli (attivi ASA e Altri industriali);
- Natural – Nessun emungimento.

La modellazione dell’acquifero è stata effettuata attraverso un approccio semplificato a doppio serbatoio, composto da un acquifero orientale e da un acquifero occidentale separati dalla soglia di

Ponteginori. I parametri di risposta sono stati stimati sulla base di numerose simulazioni MODFLOW-SFR (Stream Flow Routing, evoluzione dello stream package STR utilizzato da ARPAT che utilizza una configurazione della sezione idraulica del corso d'acqua più articolata) in risposta a varie combinazioni di sollecitazioni, mutate dai dati idrologici del periodo 2000-2013.

Con un approccio assai specialistico, certamente oltre l'usuale pratica di modellazione idrogeologica, sono state condotte numerose simulazioni di MODFLOW-SFR con l'acquifero sollecitato da complesse combinazioni, variabili nel tempo, delle diverse condizioni al contorno.

Le elaborazioni concludono che il volume di falda dell'acquifero occidentale è molto ben spiegato dal livello piezometrico nel pozzo Rufione, mentre quello dell'acquifero orientale è ben spiegato, se pur con un maggiore margine di errore accettabile, dal livello nel pozzo Canova. Individuati i due come piezometri di controllo le elaborazioni si sono concentrate nella definizione, sugli stessi, dei rispettivi valori soglia, per l'identificazione di stati del sistema fiume-falda che rendano gli impatti dei prelievi sostanzialmente analoghi a quelli di Idro-S. Gli stati fiume-falda di equilibrio sono letti anche come volume minimo al di sotto del quale la sottrazione al fiume può diventare superiore alla portata in ingresso.

Le soglie sono state definite anche in funzione delle portate del Cecina alla sezione di Masso degli Specchi, in quanto scambi consistenti dal fiume verso la falda sono comunque compatibili in condizione di portate fluviali superiori alla morbida.

L'utilizzo di dette soglie, in conclusione, disponendo di dati di monitoraggio in tempo reale e loro prevedibile sviluppo stagionale, dovrebbe consentire l'identificazione sia delle condizioni nelle quali l'attingimento effettivo potrà essere pari alla portata richiesta in concessione sia di quelle dove dovrà essere invece ridotto.

ARPAT pur compreso il percorso e condivise le generali conclusioni del documento nuove elaborazioni ha proceduto nell'esame della nuova proposta verificando con una nuova simulazione del proprio modello lo scenario proposto Project 72%.

Gli esiti riportati in figura se messi al confronto con gli stessi quadri idrici Idro-S ed S1 sembrano indicare un miglioramento, ma solo relativo, non assoluto e comparabile cioè a quella continuità delle portate fluviali, raggiunta nelle stesse condizioni da Idro-S.

Permangono, infatti, benché ridotte, le condizioni critiche nell'acquifero occidentale motivo del precedente parere sulla non confrontabilità dello scenario proposto allo scenario Idro-S.

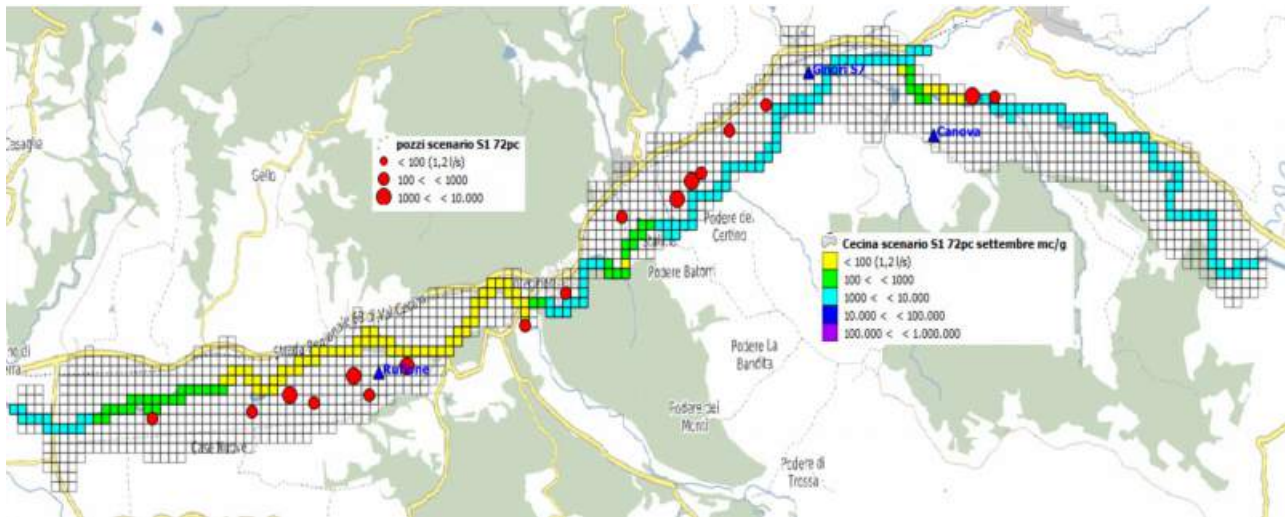


Figura 24: Quadro Idrico ricostruito da MODFLOW-STR per lo Scenario S1 (Project) 72pc- Settembre

L'esistenza di condizioni tendenzialmente più critiche nell'acquifero occidentale nello scenario Project 72% rispetto ad Idro-S trova conferma in una integrazione successiva Eumechanos(2014b) che realizza una rappresentazione in grafico degli andamenti del piezometro Rufione secondo i due scenari Project 72% ed Idro-S.

Si osserva così come il recupero piezometrico conseguente all'interruzione dei pompaggi con Idro-S ha un evidente beneficio, evitando in diversi casi l'instaurarsi di periodi di forte depressione piezometrica e possibile sparizione dei flussi in alveo. I minimi di Project72% nei riguardi della soglia indicata di -4,53 m p.c. sono in generale più numerosi e soprattutto di maggior durata come nel 2002, 2003, 2008 e 2013. Per Idro-S invece, un solo evento di supero della soglia di -4,52, comunque molto ridotto in durata, si verifica nel 2002 un anno con una straordinari magra invernale e primaverile, mentre in altri tre casi (2003, 2008, 2012) a riprova dell'idoneità della soglia ottenuta, la stessa viene appena sfiorata.

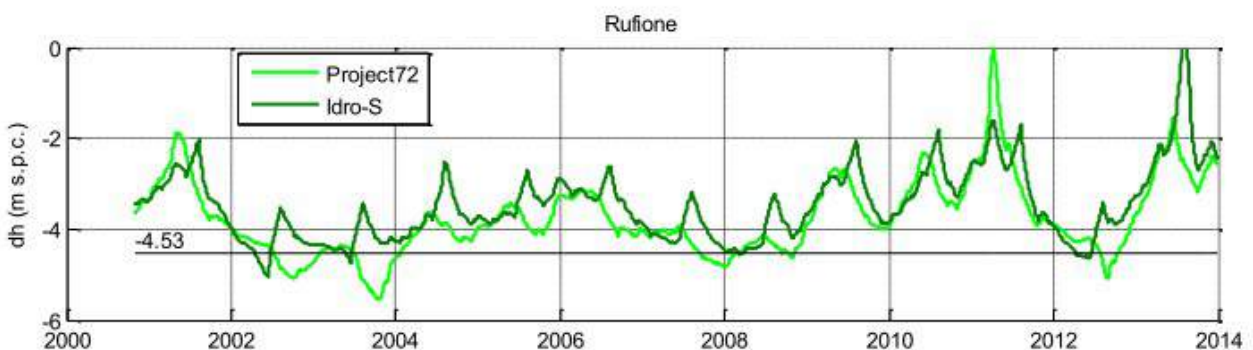


Figura 25: Confronto degli andamenti ricostruiti nel periodo 2000-2013 per il piezometro Rufione secondo i due scenari Idro-S e Project 72pc

In conclusione anche le ulteriori elaborazioni idrologiche ed idrogeologiche acquisite da RT hanno mostrato che:

- nel periodo estivo, in totale assenza dei prelievi durante il corso dell'anno, quindi in condizioni naturali, la falda avrebbe sempre alimentato il fiume;
- nello stato attuale si registrano, invece, nel periodo estivo di tutti gli anni simulati, trasferimenti di volumi idrici anche cospicui dal fiume alla falda, con conseguente riduzione, se non sparizione delle portate nel medesimo.

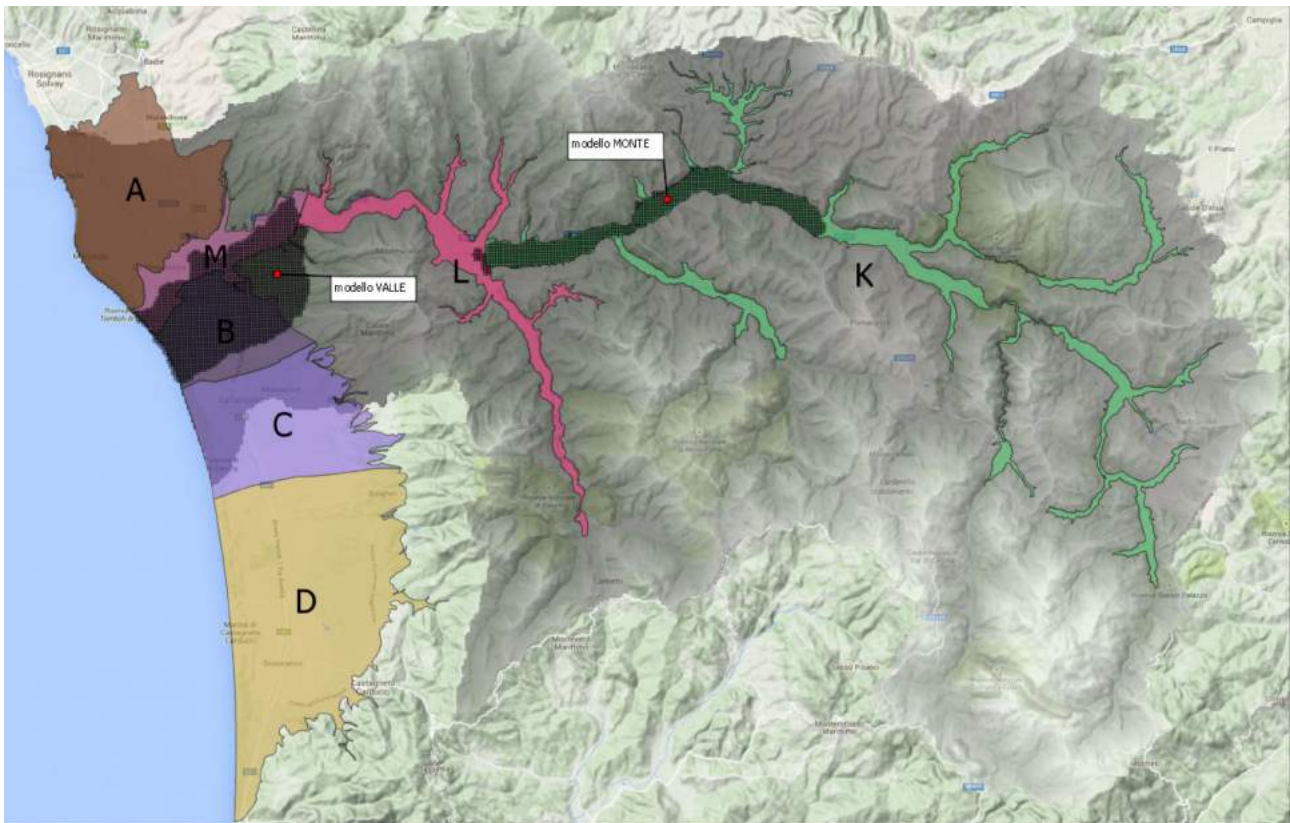
La riduzione per l'intero anno dell'entità dei prelievi del 72% rappresenta una quota paragonabile allo stesso volume recuperato in Idro-S, per quanto lo scenario Project 72%, mostri ancora sensibili, elementi di criticità nei riguardi di situazioni locali di esaurimento delle portate in alveo.

Tuttavia, proprio in relazione a quanto mostrato dal grafico degli andamenti piezometrici ricostruiti al pozzo Rufione è da ritenersi, in conclusione, che la proposta di una "gestione adattiva" dei prelievi concessionati in funzione delle soglie, possa condurre a stati del sistema fiume-falda con impatti sostanzialmente analoghi a quelli di Idro-S.

Modello Cecina Valle

Per la modellistica quantitativa di valle avente per oggetto l'acquifero di interesse strategico della Steccaia sono state richieste delle valutazioni preliminari sul modello idrogeologico di flusso e trasporto già realizzato per il supporto delle attività di monitoraggio del plume di organo alogenati di Poggio Gagliardo.

Il modello Poggio Gagliardo è limitato in riva sx, ma comprende per intero l'area dell'acquifero strategico della Steccaia e dunque la parte più consistente dell'acquifero M.



Con riferimento ai modelli stazionari e transitorio medio stagionale sul periodo 2005-2010 già disponibile e calibrato è stata qui realizzata una stima della risorsa disponibile degli stessi dati di bilancio del modello.

Come noto per l'acquifero della zona M che comprende però, come visto, oltre all'area più consistente da un punto di vista idrogeologico in sx idrografica anche la porzione in dx, esiste già una stima della risorsa indicata dal Piano Stralcio sul Bilancio Idrico del Bacino Toscana Costa per un totale di 2 Mmc/anno.

Il valore deriva da valutazioni sull'entità minima della ricarica annuale sommata alla portata di inlveamento del Cecina, sottratta del deflusso a mare noto da studi idrogeologici.

I termini di bilancio restituiti da MODFLOW sono espressi in termini di flussi. E' possibile naturalmente integrare, per gli stessi termini, un volume annuo.

Nel modello i termini positivi (inflow) che contribuiscono positivamente alla risorsa sono:

- la ricarica (recharge) suddivisa tra **ricarica verticale** sulla pianura (infiltrazione efficace IE) e **ricarica** proveniente dai **rilievi collinari** delle sabbie ed argille ad Arctica;

- l'invalveamento del Fume Cecina (river inflow);

Sono invece termini negativi;

- deflusso verso mare (general head boundary inflow)
- il drenaggio dallo stesso Cecina (river outflow)
- i pozzi (well)

Per una valutazione dei volumi idrici sotterranei disponibili nel modello di Poggio Gagliardo, che corrisponde come visto a buona parte delle zone M e B, il bilancio stazionario è stato valutato sia nelle condizioni di assenza di prelievo da pozzi (situazione naturale tabella a), sia in condizione di prelievo attuale (tabella b).

*Tabella – Bilancio stazionario **naturale medio annuo** in Mmc/anno*

	INFLOW	OUTFLOW	Δ
Ricarica verticale	3,00		+ 3,00
Ricarica laterale colline	1.02		+ 1,02
Fiume Cecina	6.87	9.25	- 2,38
Deflusso a mare		1.56	- 1,56
Totale	10.98	10,81	0,17 (1,5 %)

*Tabella – Bilancio in regime stazionario **attuale medio annuo** in Mmc/anno*

	INFLOW	OUTFLOW	Δ
Ricarica verticale	3,00		+ 3,00
Ricarica laterale colline	1.02		+ 1,02
Fiume Cecina	8.07	7.93	+ 0,14
Deflusso a mare		1.26	- 1,26
Pozzi		3,00	- 3,00
Totale	12.09	12.19	0,08 (0,6%)

Si nota in particolare l'effetto di ricarica indotta del fiume Cecina: in condizioni naturali il fiume, che pure si invalva per 6,87 Mmc, risulta in un bilancio complessivo di drenaggio del sistema acquifero, drenando a mare una quantità considerevole di 2.38 Mmc. Ulteriori 1,56 Mmc di acqua dolce dell'acquifero defluiscono, infine, attraverso un fronte grosso modo parallelo alla linea di costa.

Nelle condizioni attuali di prelievo per 3 Mmc si rileva come soprattutto il Cecina contribuisca al soddisfacimento della richiesta idrica. Il bilancio netto del corso d'acqua infatti risulta in un contributo netto all'acquifero per 0,14 Mmc che, sommati ai precedenti 2,38 Mmc e ad una sensibile riduzione del deflusso mare anche dalla linea di costa per 0,3 Mmc vanno a corrispondere alla richiesta di 3 Mmc.

Il termine di riduzione del deflusso a mare dall'acquifero è certamente un indicatore di stress dato dagli attuali prelievi, la loro entità di 3 Mmc/anno, infatti, si conferma superiore alla valutazione della risorsa prima indicata in 2 Mmc/anno.

Un termine di speciale interesse nelle considerazioni sul bilancio è in tutti casi rappresentato dallo **storage o immagazzinamento** che si ottiene dalle simulazioni in regime transitorio, separato nelle componenti outflow / inflow.

Lo **storage** inteso come **volume annuo prima immagazzinato e poi restituito** corrisponde dunque concettualmente e numericamente, al volume di laminazione o **riserva regolatrice media annuale** dell'acquifero sul periodo considerato.

Nella figura sotto riportata è calcolato dal bilancio in regime transitorio stagionale medio annuo il volume d'immagazzinamento risultante in circa 800.000 mc annui, ben al di sotto sia dei prelievi in essere che della stessa stima della risorsa.

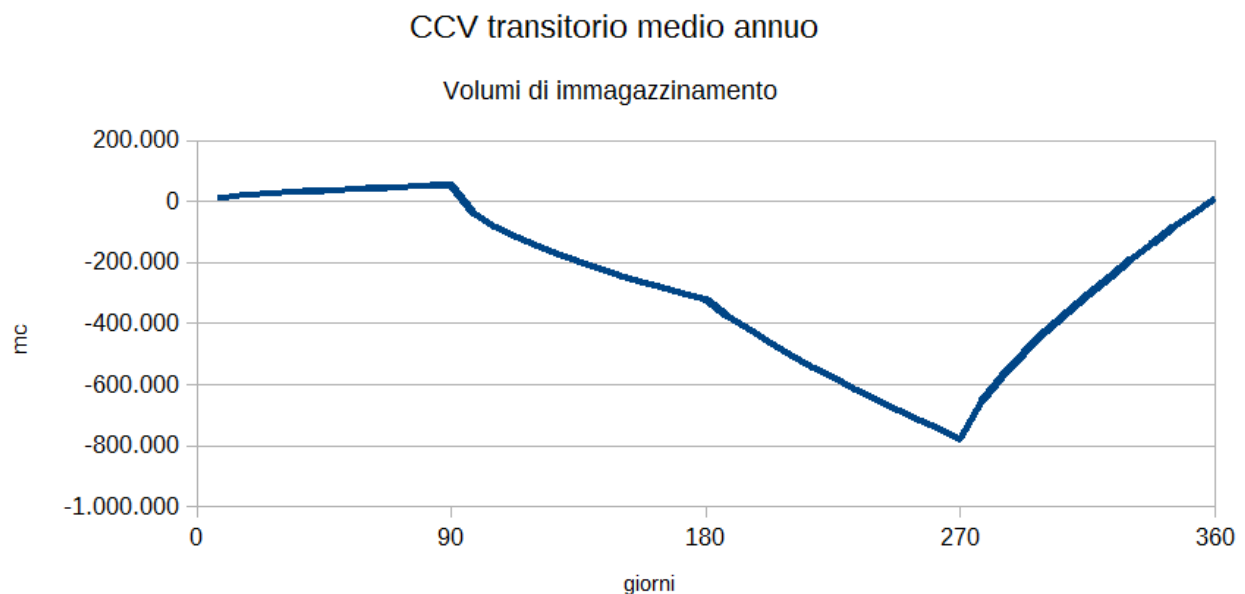


Figura 26: Volumi di Immagazzinamento

La discrepanza non deve stupire, la stima della risorsa in un contesto di ricarica indotta da corso d'acqua, infatti, deve tenere conto anche di questo termine che, come visto, provvede al pareggio di bilancio. A differenza del tratto di monte dove la sottrazione di acqua dal fiume raggiunge l'esaurimento della portata, in questo caso le disponibilità idriche del corpo idrico superficiale alla chiusura di bacino sono certo superiori alle richieste.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Sono stati illustrati gli esiti delle attività previste per la predisposizione di un modello idrogeologico di supporto alla gestione dinamica della risorsa idrica in val di Cecina e nella pianura costiera.

L'attività non riguardava tanto la predisposizione ex-novo di un modello quanto l'unione e messa a regime di precedenti esperienze modellistiche idrogeologiche condotte da ARPAT sul bacino del Cecina. Tale attività ha subito una distrazione dagli obiettivi iniziali per via del supporto tecnico attivo richiesto ad ARPAT dagli uffici regionali per il parere di VIA al progetto SOLVAY CHIMICA ITALIA S.p.A. - "Nuovo sistema idrico industriale per l'attività mineraria" in particolare per quanto riguarda l'Allegato 1 Rev1 al progetto "Modellistica Numerica Acquifero Fiume Cecina".

Con un approccio, non usuale rispetto alle normali attività di supporto tecnico per la commissione di VIA, è stato così predisposto da ARPAT un preliminare del modello di monte, nel tratto del Cecina da Ponte di Monterufoli al Botro del Gagno, in contraddittorio con il proponente Solvay. Le numerose simulazioni condotte da ARPAT sono contenute nei pareri VIA di ARPAT del 11/02/2015 e del 16/06/2015.

I risultati della simulazioni di ARPAT sono stati confermati da un ulteriore contributo modellistico dell'Università di Firenze, acquisito dagli Uffici Regionali per superare le notevoli divergenze con il proponente, concludendo che:

- nel periodo estivo, in totale assenza dei prelievi durante il corso dell'anno, quindi in condizioni naturali, la falda avrebbe sempre alimentato il fiume ;
- nello stato attuale si registrano nel periodo estivo trasferimenti di volumi idrici anche cospicui dal fiume alla falda, con conseguente riduzione, se non ampia sparizione negli anni più critici delle portate nel medesimo;
- Il primo scenario di mitigazione degli impatti ambientali, c.d. "Idro-S" che prevedeva con il ricorso a fonti alternative la cessazione dei prelievi nel periodo estivo raggiungeva l'obiettivo del mantenimento di un pur minimo deflusso estivo;
- le proposte alternative di delocalizzazione del proponente, non sono da considerarsi equivalenti e sostitutive di "Idro-S", determinando infatti un impatto comunque critico sul corso d'acqua, che diventa alimentante, fino all'annullamento della portata superficiale, adesso nelle nuove aree in sfruttamento a valle di Ponteginori;
- appare dunque necessario condizionare l'attingimento a determinate soglie piezometriche di criticità, contando che una gestione "adattiva" dei pompaggi certo meglio distribuiti con il

nuovo progetto possa consentire, anche con il supporto di strumenti previsionali modellistici, al previsto sfruttamento della risorsa.

In conclusione, per quanto detto, la prevista attività di modellistica idrogeologica sul bacino del Cecina, per quanto in stato molto avanzato, è da considerarsi al momento conclusa.

Per la parte di valle, tuttavia, manutenzione ed aggiornamento del modello proseguono nell'ambito delle Attività di Monitoraggio e supporto modellistico svolte annualmente da ARPAT per il Comitato Tecnico per la Bonifica di Poggio Gagliardo.

Tale attività è auspicabile anche per il modello di monte come sviluppo futuro e in prospettiva di un suo utilizzo operativo in collaborazione con gli Uffici Regionali della Tutela della Risorsa Idrici e del Genio Civile.

BIBLIOGRAFIA

ARPAT (2003): Studio idrogeologico con utilizzo di modelli numerici di simulazione per la definizione dei meccanismi d'arricchimento in nitrati delle acque sotterranee nell'area compresa tra gli stradoni del Lupo, del Tripesce, la SS. n° 206, Vada e S. Pietro in Palazzi - Relazione Finale – Gennaio 2003

http://www.provincia.livorno.it/fileadmin/Difesa_e_Protezione_del_Territorio/Arpat_20Relazione_20finale.pdf

ARPAT (2006): Applicazione della Direttiva Comunitaria 2000/60/CE nel Bacino del Fiume Cecina in Qualità di Bacino Pilota - Sistema Informativo Territoriale del Bacino del Cecina Applicazione dei Modelli allo Studio del Bacino Pilota Parte Prima: Aspetti Quantitativi della Risorsa – Febbraio 2006. http://sira.arpato.toscana.it/sira/documenti/Relazione_Cecina_Modelli_Tutela_Quantitativa.pdf

ARPAT (2013) Accordo di Programma per l'attuazione degli interventi urgenti per la bonifica della falda acquifera a seguito inquinamento da organoalogenati Comuni di Montescudaio (PI) e Cecina (LI) - Modello di Flusso e Trasporto. Relazione Finale Novembre 2013.

<http://www.arpato.toscana.it/documentazione/report/organoalogenati-modello-di-flusso-e-trasporto-nella-pianura-del-fiume-cecina>

Campo L., Caparrini F., Castelli (2006) Use of multi-platform, multitemporal remote-sensing data for calibration of a distributed hydrological model: an application in the Arno basin, Italy, *Hydrol. Process.*, 20, 2693–2712, 2006

Eumechanos (2015a) Elaborazioni Idrologiche ed Idrogeologiche relative al sistema fiume – falda nel bacino del Fiume Cecina (di supporto all'espressione del contributo tecnico all'interno della procedura V.I.A. sul progetto “Nuovo sistema idrico Industriale per l'attività mineraria” presentato da Solvay s.p.a.)

Eumechanos (2015b) Risposta alle richieste di approfondimenti su “Elaborazioni Idrologiche ed Idrogeologiche relative al sistema fiume – falda nel bacino del Fiume Cecina” come da verbale della riunione del 4/6/2015 del Nucleo Regionale di Valutazione. Fabio Castelli 8 giugno 2015

Greco V., Lorenzini S. e Squarci P. (2002), Modello Matematico di Flusso dell'Acquifero Alluvionale del Fiume Cecina tra Ponte di ferro e Ponte di Monterufoli. Allegato 13 allo Studio di Impatto Ambientale per il progetto di coltivazione mineraria del salgemma nelle concessioni “Cecina”, Volterra” e “Poppiano”.

Harbaugh A.W. and McDonald M.G. (1996). User's documentation for MODFLOW-96 an update to the U.S. Geological Survey modular finite difference groundwater model U.S. Geol. Surv. Open-File Rep, 96-485.

Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. (2001). Soil and Water Assessment Tool. User's Manual USDA ARS Grassland Soil and Water Research Laboratory,

Prudic D.E. (1989): Documentation of a computer program to simulate stream-aquifer relations using a modular, finite-difference, ground-water flow model. U.S. Geol. Surv. Open-File Rep, 88-729.

Squarci P., Rossi F. , Lorenzini S. (2014). SOLVAY s.p.a. - Progetto 2014 “Nuovo Sistema idrico industriale per l’attività mineraria” Distribuzione di acqua in alveo ante prima fase di delocalizzazione nella derivazione di Cacciatina – Tavola 9B Fiume Cecina rilevamento 17-18-19 agosto 2001 – Tavola 9A 12-13-22 agosto 1999