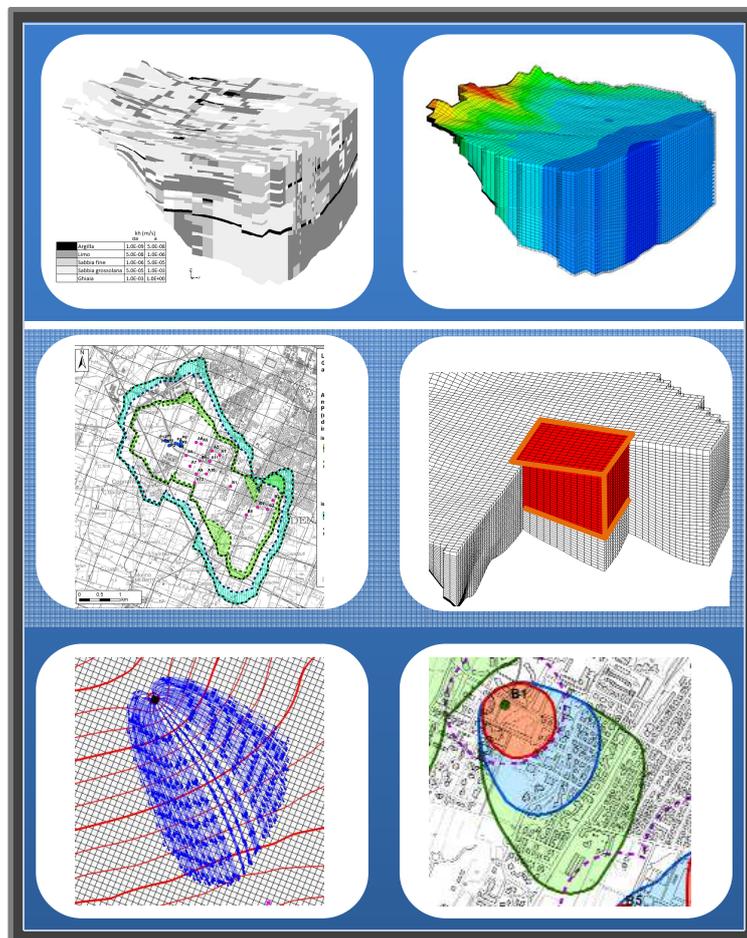


**ACCORDO DI COLLABORAZIONE SCIENTIFICA AI SENSI DELL'ART. 15 L. 241/90 PER LA
REALIZZAZIONE DI ATTIVITÀ DI INTERESSE COMUNE RIGUARDANTE LA DEFINIZIONE
DELLE AREE DI SALVAGUARDIA PER LE CAPTAZIONI DI ACQUE SOTTERRANEE IN
COMUNE DI MODENA E VERIFICA DELLE AREE DI RISERVA**



Versione 01

Bologna, maggio 2018

ATERSIR EMILIA-ROMAGNA

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

Ing. Vito Belladonna – Direttore

Ing. Marco Grana Castagnetti – Responsabile Area Servizio Idrico Integrato

Dott. Pier Luigi Maschietto – Responsabile Servizio Pianificazione e Regolamentazione Tecnica

Dott.ssa Francesca Carla Lupoli - Area Servizio Idrico Integrato

ARPAE

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

Arpae Direzione Tecnica – Centro Tematico Regionale Sistemi Idrici

Dott.ssa Donatella Ferri – Responsabile del CTR Sistemi Idrici

Ing. Andrea Chahoud – Responsabile di progetto

Dott. Luca Gelati

Arpae Sezione di Modena

Dott. Stefano Forti – Direttore di Arpae Sezione di Modena

Dott.ssa Daniela Sesti – Responsabile Servizio Sistemi Ambientali

Dott.ssa Anna Maria Manzieri – Responsabile di progetto

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

Dott. Marco Marcaccio – ARPAE DT

Dott.ssa Gisella Ferroni – ARPAE DT

Ing. Daniele Cristofori – ARPAE DT

Dott.ssa Monica Carati – ARPAE DT

Dott.ssa Rosalia Costantino – ARPAE DT

Sommario

1	Premessa	1
2	Valutazioni propedeutiche alle scelte operative effettuate.....	1
2.1	La modellistica del flusso delle acque sotterranee ed il particle-tracking.....	1
2.1.1	Esempio di <i>particle-tracking</i> su un pozzo in prelievo.....	2
2.1.2	Effetti sul <i>particle tracking</i> della discretizzazione di maggior dettaglio.....	7
2.2	Possibilità di realizzazione di un raffittimento locale della griglia spaziale del modello. ...	13
2.2.1	Raffittimento globale della griglia del modello	13
2.2.2	Raffittimento graduale della griglia nella sola zona di interesse	13
2.2.3	Raffittimento telescopico della griglia (TMR).....	14
2.2.4	Utilizzo del modulo LGR di Modflow (2005)	15
2.3	Diversi approcci per la costruzione del modello “ <i>Local</i> ”.....	15
3	Le scelte operative e la metodologia di lavoro adottata.....	16
4	Esecuzione del <i>particle tracking</i> sul modello di flusso degli acquiferi modenesi (Modello <i>Regional</i>) per la definizione degli areali di influenza dei campi pozzi (Cognento, Modena Sud e Marzaglia).....	18
4.1	Verifica puntuale dei tratti filtranti dei pozzi.	19
4.2	Attribuzione del singolo pozzo in prelievo alla cella o alle celle del modello numerico e relativa ripartizione dei volumi estratti.....	21
4.3	Esecuzione del particle-tracking a partire dal modello <i>Regional</i>	27
5	Realizzazione di modelli di maggior dettaglio per gli areali di influenza dei campi pozzi di Cognento, Modena Sud e Marzaglia.	31
5.1	Passaggio dal modello <i>Regional</i> al modello <i>Local</i>	31
5.2	Costruzione dei modelli di maggior dettaglio (<i>Local</i>)	33
5.2.1	Procedura operativa per il passaggio dal modello <i>Regional</i> al modello <i>Local</i>	33
5.2.2	Preparazione dei dati del modello <i>Regional</i> per il successivo utilizzo a favore del modello <i>Local</i>	33
5.2.3	Creazione delle griglie dei modelli <i>Local</i>	34
5.2.4	Implementazione dei dati del modello <i>Local</i> a partire dal modello <i>Regional</i> e dai dati di partenza.....	36

5.3	Verifica della consistenza tra il modello <i>Regional</i> ed il modello <i>Local</i>	39
5.3.1	Verifica della consistenza tra il modello <i>Regional</i> ed il modello <i>Local</i> Tele-Cognento	39
5.3.2	Verifica della consistenza tra il modello <i>Regional</i> ed il modello <i>Local</i> Tele-Marzaglia	43
6	Esecuzione del <i>particle tracking</i> nella nuova configurazione del modello e tracciamento delle isocrone per i campi pozzi.....	45
6.1	Modalità di esecuzione del tracciamento delle particelle	46
6.2	Il risultato delle simulazioni	55
6.3	Tracciamento delle isocrone ed inviluppo degli areali di influenza dei campi pozzi	64
6.3.1	Inviluppo delle isocrone relative a ciascun tratto filtrante del pozzo.....	64
6.3.2	Inviluppo delle isocrone relative ai due scenari gestionali proposti.....	66
6.3.3	Inviluppo delle isocrone di pozzi vicini in funzione del loro livello di sovrapposizione	69
6.3.4	Elaborati finali	72
7	Bibliografia	77
8	ALLEGATI	78

1 Premessa

A partire dal 2013 è stata condotta l'implementazione del modello di flusso e di trasporto per le acque sotterranee modenesi, ospitate dalle due conoidi principali dei Fiumi Secchia e Panaro e dalla intermedia a queste, la conoide del Torrente Tiepido. Il lavoro ha visto prima l'implementazione del modello di flusso ([3], Atersir, Arpa (2013). Implementazione della modellistica di flusso delle acque sotterranee della provincia di Modena a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica. Rapporto tecnico.), poi il suo aggiornamento e l'estensione del modello al fenomeno del trasporto ([4], Atersir, Arpa (2016). Applicazione della modellistica delle acque sotterranee della provincia di Modena: aggiornamento del modello di flusso, implementazione del modello di trasporto dei nitrati e loro applicazione a supporto di specifici obiettivi di pianificazione e gestione della risorsa idrica. Rapporto tecnico.).

Nel corso del 2016 è emersa la necessità di revisionare la perimetrazione delle aree di salvaguardia (zone di rispetto) delle opere di captazione idropotabile presenti intorno alla città di Modena. Tali aree vengono definite con *criterio cronologico* attraverso l'adozione di opportuni tempi di sicurezza ed il tracciamento delle relative isocrone, delimitando quindi le zone ad ugual tempo di arrivo sui pozzi. Il tempo di sicurezza può generalmente variare da 30 a 365 giorni a seconda del livello di protezione e del pericolo di contaminazione della risorsa. Ai fini della predisposizione della protezione statica e della protezione dinamica dei campi pozzi i tempi di sicurezza tracciati sono generalmente pari a 60,180 o 365 giorni.

Le isocrone possono essere determinate a partire dalle risultanze del modello di flusso (campo di moto dell'acqua) applicando a questo un apposito modello denominato di "*Particle-Tracking*" che effettua il tracciamento di ipotetiche particelle di acqua che si muovono all'interno del sistema. Unendo le particelle tracciate ad ugual tempo di arrivo sul pozzo (tempo di percorrenza) si ottiene la relativa isocrona.

Obiettivo del presente lavoro è stato quindi il valutare le possibilità e le modalità con le quali la modellistica, nella configurazione ed alla scala attualmente disponibile (anno 2016) per i modelli già realizzati (500 m di lato della maglia), potesse supportare la realizzazione di tali perimetrazioni. Il problema principale è legato alla scala di realizzazione del modello probabilmente troppo ampia per assolvere al dettaglio necessario per questo tipo di applicazione. Tale dettaglio risiede principalmente nella precisione richiesta nell'ubicazione dei pozzi all'interno del modello numerico, ed al dettaglio richiesto dai percorsi che devono essere tracciati nel tempo e nello spazio. Verrà nel seguito individuato il modo con cui tali difficoltà possono essere superate.

2 Valutazioni propedeutiche alle scelte operative effettuate.

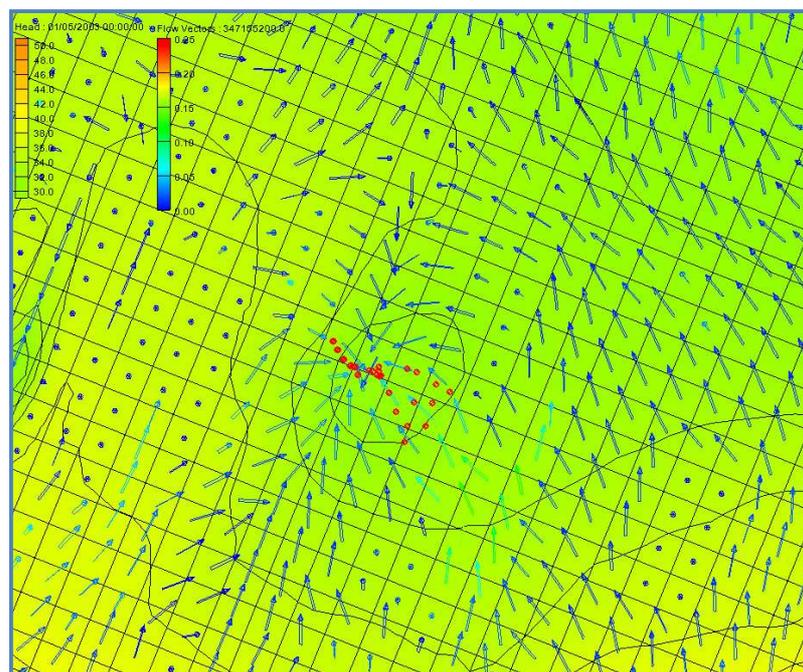
2.1 La modellistica del flusso delle acque sotterranee ed il particle-tracking.

Il modello di flusso ricostruisce il movimento dell'acqua all'interno degli acquiferi. In Figura 2.1 ne è riportata una schematizzazione realizzata a partire dalla soluzione ottenuta dal modello di flusso delle acque sotterranee (codice di calcolo Modflow, [10], Harbaugh A.W., Banta E.R., Hill M.C. & McDonald M.G. (2000). *MODFLOW-2000, The U.S. Geological*

Survey Modular Ground-water model – User Guide to Modularization concepts and the Ground-water Flow Process. U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-92.). In figura vengono rappresentati i flussi di scambio (frecche rappresentanti direzione, verso ed intensità della portata) tra le diverse celle del modello appartenenti ad un layer del modello stesso. Tali flussi rappresentano quindi delle portate espresse in m^3/s che sono calcolate da Modflow in funzione della permeabilità dell'acquifero e del gradiente idraulico della falda (legge di Darcy). Queste portate di scambio vengono trasformate in traiettorie e marcate con i rispettivi tempi di percorrenza dal codice di calcolo che effettua il tracciamento delle particelle (Modpath, [14], Pollock, D.W. (2012). *User Guide for MODPATH Version 6 - A Particle Tracking Model for MODFLOW*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A41, 58p.), che trasforma le portate di scambio in velocità reali utilizzando il parametro porosità. In sintesi Modpath opera nel seguente modo:

1. calcola il percorso di particelle di acqua “immaginarie” che si muovono all'interno del sistema;
2. calcola la “reale” velocità di queste particelle ed i relativi tempi di percorrenza;
3. unendo i punti del sistema ad ugual tempo di percorrenza si ottengono le isocrone richieste.

Figura 2.1: campo di moto dell'acqua generato dal modello di flusso nell'intorno dei campi pozzi di Cognento (punti rossi). Le frecce indicano i flussi di scambio tra le diverse celle del modello. Dimensione della cella 500x500 m.



2.1.1 Esempio di *particle-tracking* su un pozzo in prelievo

L'obiettivo è calcolare i tempi di arrivo delle particelle d'acqua su un pozzo che sta prelevando. Il pozzo è presente all'interno del modello. Si prenda a titolo di esempio il pozzo A5 del campo pozzi di Hera a Cognento sulla conoide del Secchia. L'ubicazione in pianta ed in profondità del pozzo che verrà analizzato è riportata nella Figura 2.2 e nella successiva Figura 2.3. Il prelievo medio annuo del pozzo è di circa 1.5 Mm^3 dei quali circa un terzo sono attribuiti dal modello al primo dei due tratti filtranti del pozzo collocato tra i 61 ed i 65 m dal piano campagna. Al secondo tratto filtrante, collocato tra gli 81 e gli 89 m dal piano

campagna, e quindi di spessore doppio rispetto al precedente, viene attribuito la rimanente parte del prelievo.

Figura 2.2: posizione dei pozzi appartenenti ai campi pozzi Aimag ed Hera di Cognento. Identificazione del pozzo A5 del campo pozzi Hera.

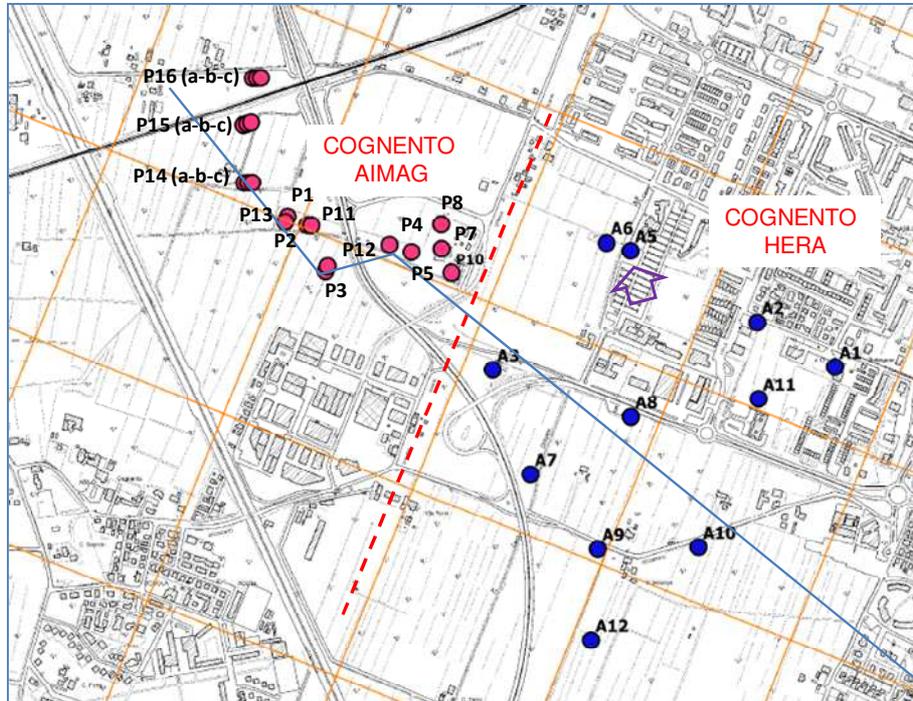
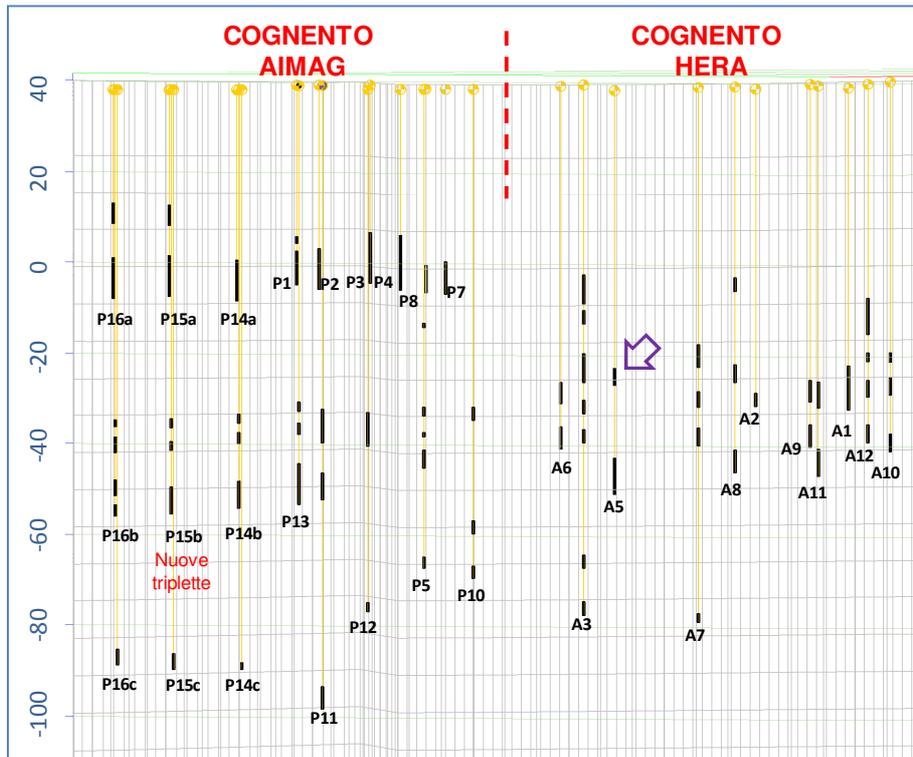


Figura 2.3: vista in sezione verticale dei pozzi appartenenti ai campi pozzi Aimag ed Hera di Cognento. Identificazione del pozzo A5 del campo pozzi Hera.



Occorre identificare la cella (o le celle) del modello associata al prelievo del pozzo e creare un opportuno numero di particelle (quelle che verranno successivamente tracciate) all'interno della stessa. Può essere utilizzato uno dei due schemi riportati in Figura 2.4: nel primo caso (caso a.) viene definito un numero di particelle che viene distribuito nelle tre direzioni all'interno del volume della cella (in figura $5 \times 5 \times 5 = 125$ particelle). Nel secondo caso (caso b.) viene definito un numero di particelle che vengono disposte in modo radiale attorno al centro della cella.

Figura 2.4: modalità di definizione delle particelle di acqua che verranno tracciate all'interno di una cella del modello in cui è assegnato un prelievo.

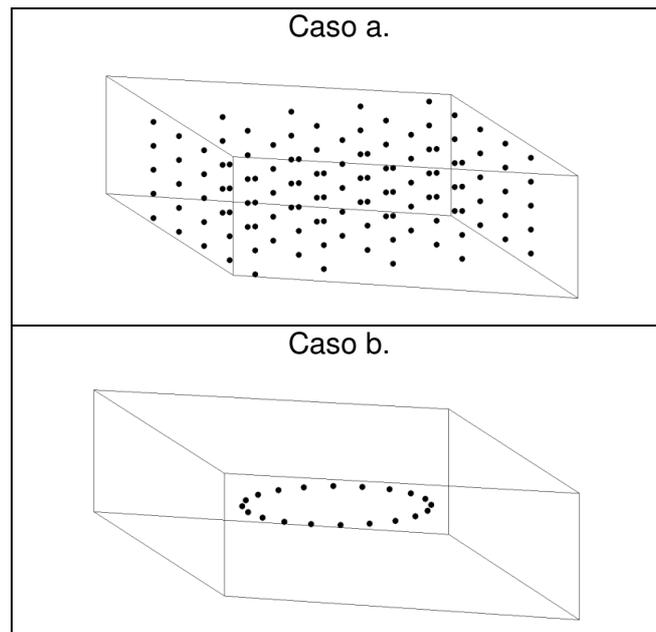


Figura 2.5: tracciamento delle particelle del filtro più alto del pozzo A5 di Cognento Hera. Maglia del modello 500x500 m. Nelle tre dimensioni vengono tracciate 5x5x5 particelle all'interno della cella in cui viene assegnato il prelievo, tempo di percorrenza 3 anni.

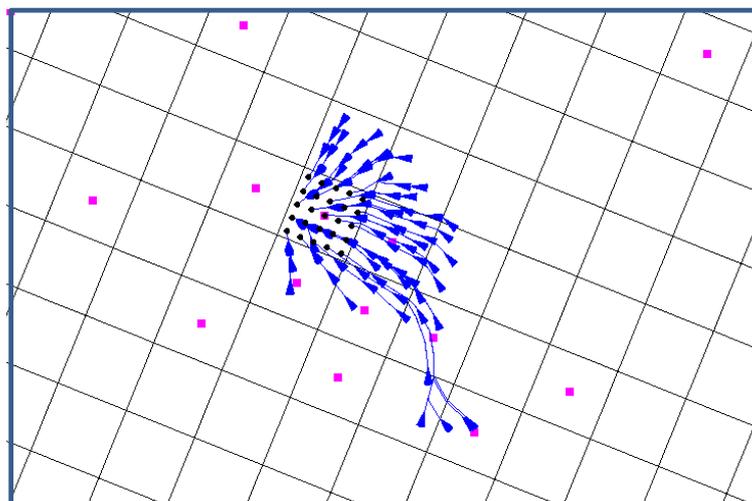
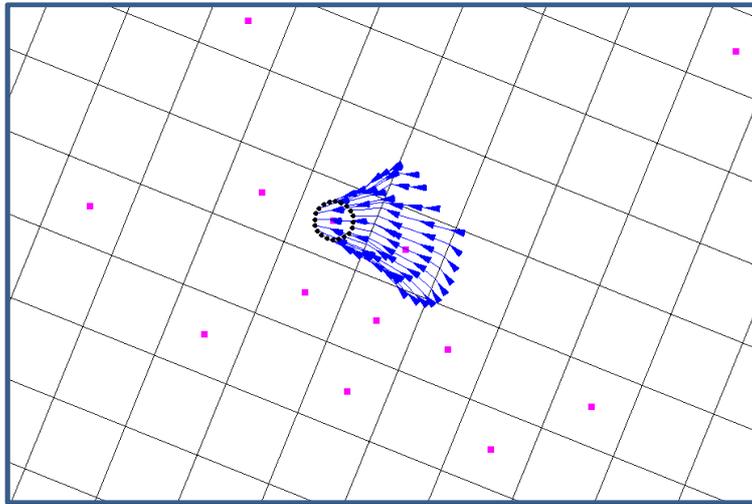


Figura 2.6: tracciamento delle particelle del filtro più alto del pozzo A5 di Cognento Hera. Maglia del modello 500x500 m. Nelle tre dimensioni vengono tracciate 20 particelle convergenti sul centro della cella in cui viene assegnato il prelievo, tempo di percorrenza 3 anni.



Nelle due ipotesi di distribuzione di particelle all'interno della cella si ottengono con Modpath i tracciamenti riportati, rispettivamente per i due casi, in Figura 2.5 ed in Figura 2.6 e riferiti ad un tempo di percorrenza pari a tre anni. Si ricorda che la cella ha lato 500 m e spessore pari a 8.3 m.

E' evidente e naturale la somiglianza tra i due areali di influenza del pozzo nei due casi, le cui differenze sono da attribuirsi alla diversa posizione ed al diverso numero di particelle utilizzate per il tracciamento. Nel primo caso le particelle sono 125 distribuite sull'intero volume della cella ($500 \times 500 \times 8 \text{ m}^3$), nel secondo sono 20 distribuite radialmente attorno al centro della cella.

Le osservazioni che risultano ora evidenti sono le seguenti:

1. per il modello numerico il pozzo in prelievo viene in entrambi i casi posto al centro della cella. Ciò costituisce una prima approssimazione legata alla effettiva posizione in pianta del prelievo all'interno della cella stessa. Più questa è distante dal centro della cella, maggiore potrà essere l'approssimazione alla quale si sarà soggetti. Per lo schema radiale di distribuzione delle particelle (caso b. di Figura 2.4) le linee di flusso tenderanno a convergere comunque al centro della cella, e tale approssimazione non sarà compensabile in alcun modo. Nel caso a) invece si potranno scegliere i punti di arrivo più vicini alla reale posizione del pozzo e non considerare quelli più lontani; il pozzo A5 utilizzato nell'esempio che segue risulterà minimamente affetto da tale approssimazione data la sua vicinanza col centro della cella del modello sul quale verrà applicato il prelievo (Figura 2.2). Su altre situazioni l'approssimazione risulterà ben più evidente (pozzi A3, A9 Hera ad esempio e tutti i pozzi Aimag situati in prossimità dei vertici delle celle del modello);
2. le distanze percorse dalle particelle nei tre anni utilizzati per il tracciamento evidenziano mediamente percorsi lunghi attorno al km, distanza pari al doppio della dimensione della cella del modello numerico. Se si accorciano i tempi di percorrenza all'anno (365 giorni) o a periodi ancora più corti si ottengono i tracciamenti delle successive Figura 2.7 e Figura 2.8 che rendono evidente lo scarso dettaglio delle

linee così ottenute (ad esempio per un tempo pari a 365 giorni) rispetto alla discretizzazione adottata. Isocrone per periodi inferiori all'anno risulteranno quindi impossibili da tracciare.

Figura 2.7: tracciamento delle particelle del filtro più alto del pozzo A5 di Cognento Hera. Maglia del modello 500x500 m. Nelle tre dimensioni vengono tracciate 5x5x5 particelle all'interno della cella in cui viene assegnato il prelievo, tempo di percorrenza 1 anno.

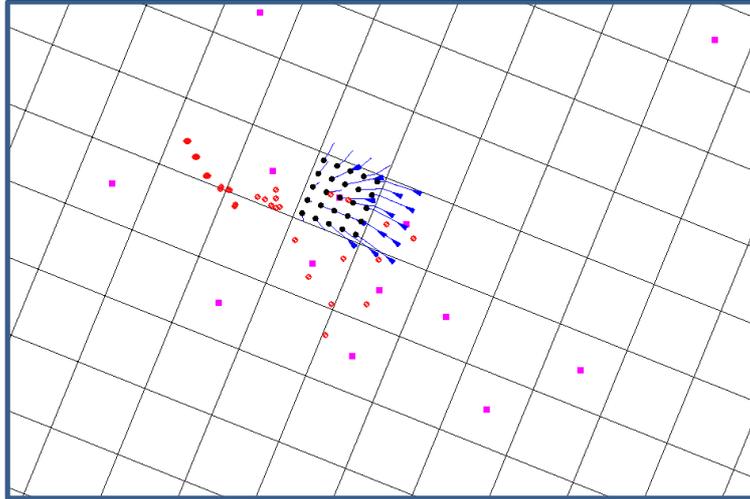
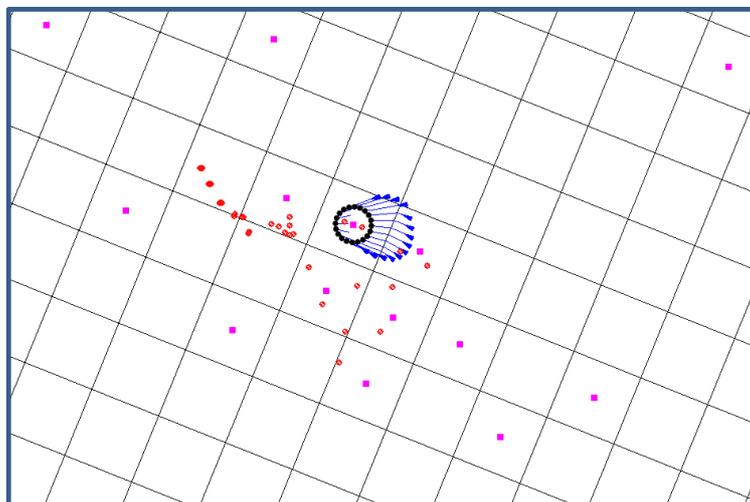


Figura 2.8: tracciamento delle particelle del filtro più alto del pozzo A5 di Cognento Hera. Maglia del modello 500x500 m. Nelle tre dimensioni vengono tracciate 20 particelle convergenti sul centro della cella in cui viene assegnato il prelievo, tempo di percorrenza 1 anno.



Quanto precedentemente espresso porta alle conclusioni che possono essere così sintetizzate:

1. dal punto di vista metodologico il modello di flusso delle acque sotterranee delle conoidi modenesi alla maglia 500x500 m attualmente disponibile può essere usato per la successiva applicazione del "particle-tracking" con opportune limitazioni legate ai tempi di percorrenza richiesti (che devono essere necessariamente superiori all'anno) ed alla posizione e numero di pozzi da analizzare (deve essere accettabile

- l'approssimazione precedentemente descritta legata alla distanza tra la posizione del pozzo ed il centro della cella);
2. nel caso specifico dei pozzi appartenenti ai campi pozzi che devono essere analizzati il dettaglio spaziale della discretizzazione 500x500 m non è in grado di differenziare le linee di flusso convergenti sui singoli pozzi dei due campi pozzi di Cognento (Hera ed Aimag) in quanto più pozzi vengono associati alla medesima cella;
 3. risulta necessario quindi prevedere una discretizzazione di maggior dettaglio nell'intorno dei pozzi in modo da poterli differenziare e caratterizzare separatamente all'interno del modello;
 4. in funzione del maggior dettaglio ottenuto per la discretizzazione sarà quindi possibile prevedere il tracciamento di isocrone con tempi di percorrenza più brevi.

2.1.2 Effetti sul *particle tracking* della discretizzazione di maggior dettaglio

In Figura 2.9 è riportato un possibile schema di raffittimento spaziale della maglia del modello numerico (si veda a tal proposito il successivo paragrafo 2.2). Si è proceduto gradualmente riducendo prima ad un 1/5 la dimensione delle celle nell'intorno dei campi pozzi di Cognento (REF_A, cella 100 m), poi di nuovo ad 1/5 (REF_B, cella 20 m).

In entrambi i casi si è provveduto ad un graduale raccordo delle dimensioni delle celle del modello tra quelle a maggior definizione (100 m o 20 m) a quelle iniziali (500 m) osservando gli opportuni vincoli su rapporti dimensionali tra celle adiacenti.

Eseguendo nuovamente la corsa del modello di flusso e del modello di *particle tracking* nelle due nuove configurazioni sono stati ottenuti i seguenti risultati:

1. la Figura 2.10 riporta il tracciamento delle particelle ottenute dai tre modelli a diversa discretizzazione spaziale tracciando le particelle in arrivo su tutto il volume occupato dalla cella di dimensioni 500 x 500 m del modello di partenza. Ovviamente nei modelli a discretizzazione più fine sono state definite particelle su di un numero di celle maggiore pari a 125 e 625 rispettivamente, in modo tale da tracciare l'intero volume occupato dalla singola cella 500 x 500 metri appartenente al modello a discretizzazione più grossolana. I risultati evidenziano l'analogia di comportamento dei tre modelli in questo caso andando questi a tracciare sempre la medesima zona. Le soluzioni ottenute da Modflow e dalla successiva applicazione di Modpath non risentono quindi a livello computazionale della diversa dimensione della griglia;
2. la discretizzazione sempre più fine permette però di meglio definire la posizione del pozzo (supponendo in questo caso la concentricità delle celle di diversa dimensione (20/100/500 m). La Figura 2.11 mostra il tracciamento di 125 particelle posizionate all'interno della singola cella, ma di dimensioni via via decrescenti, su cui viene posizionato il pozzo in esame. Le tre immagini dimostrano il diverso risultato ottenuto nei tre casi nei quali la dimensione della cella detta il livello di approssimazione con il quale risulta possibile posizionare correttamente il pozzo nello spazio;
3. Il raffittimento della griglia permette inoltre di meglio definire il tracciamento delle particelle relativo a tempi di percorrenza più brevi come viene mostrato in Figura 2.12 relativamente al tempo di percorrenza di un anno. Per il solo modello a maglia più fine nella successiva Figura 2.13 viene mostrato il tracciamento ottenuto per tempi di percorrenza ancora più brevi (sei e tre mesi rispettivamente).

Figura 2.9: realizzazione di un raffittimento graduale della maglia di discretizzazione spaziale del modello numerico. Rispetto dei vincoli dei rapporti dimensionali tra celle attigue.

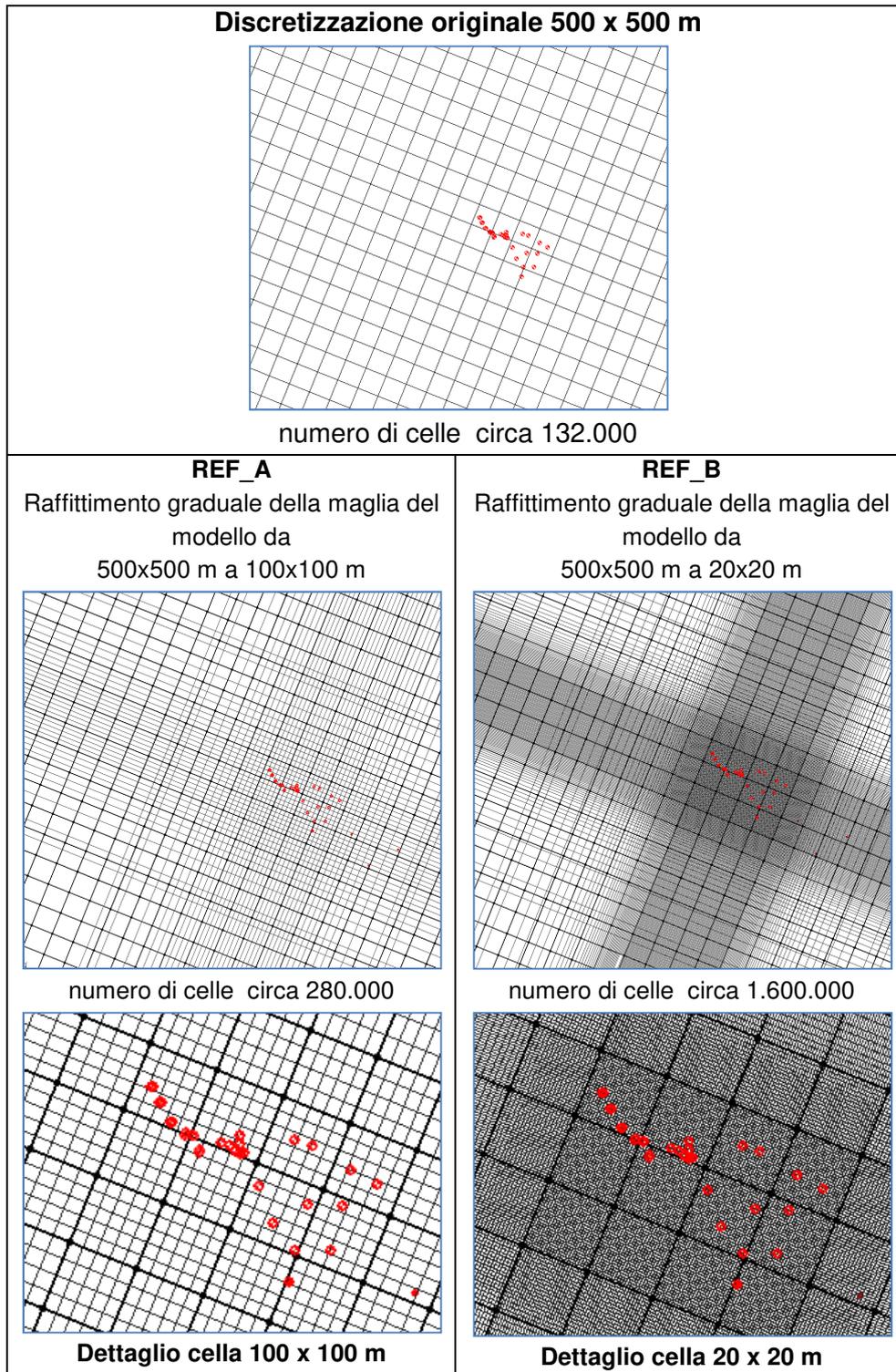


Figura 2.10: realizzazione di un raffittimento graduale della maglia di discretizzazione spaziale del modello numerico. Risultati del *particle tracking* sulle particelle in arrivo sulle 125/625 particelle delle 25/125 celle corrispondenti alla cella iniziale (500x500 m).

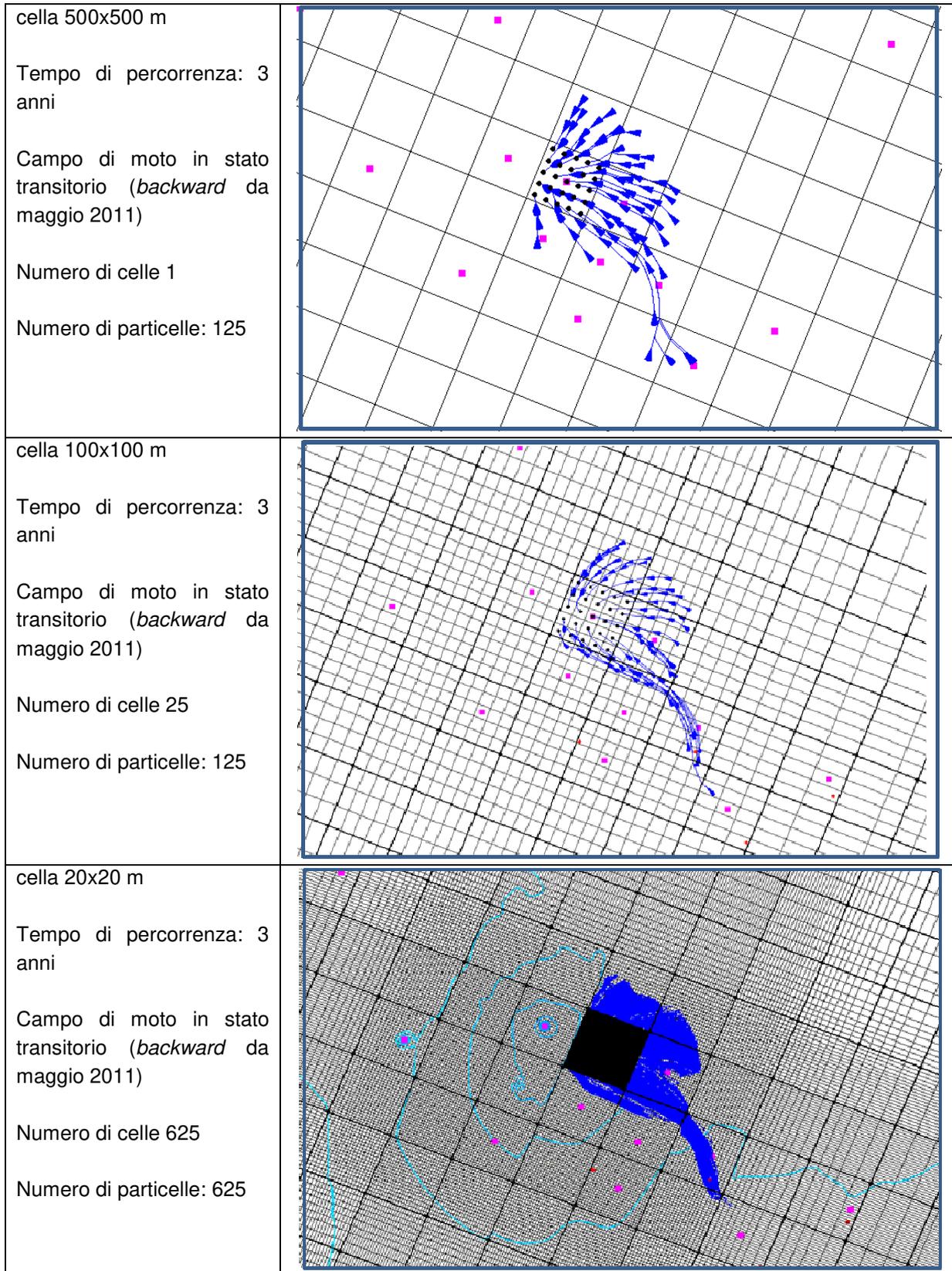


Figura 2.11: realizzazione di un raffittimento graduale della maglia di discretizzazione spaziale del modello numerico. Risultati del *particle tracking* sulle particelle in arrivo sulla cella di ubicazione del prelievo nei tre casi a differente dimensione della maglia e per un tempo di percorrenza pari a 3 anni.

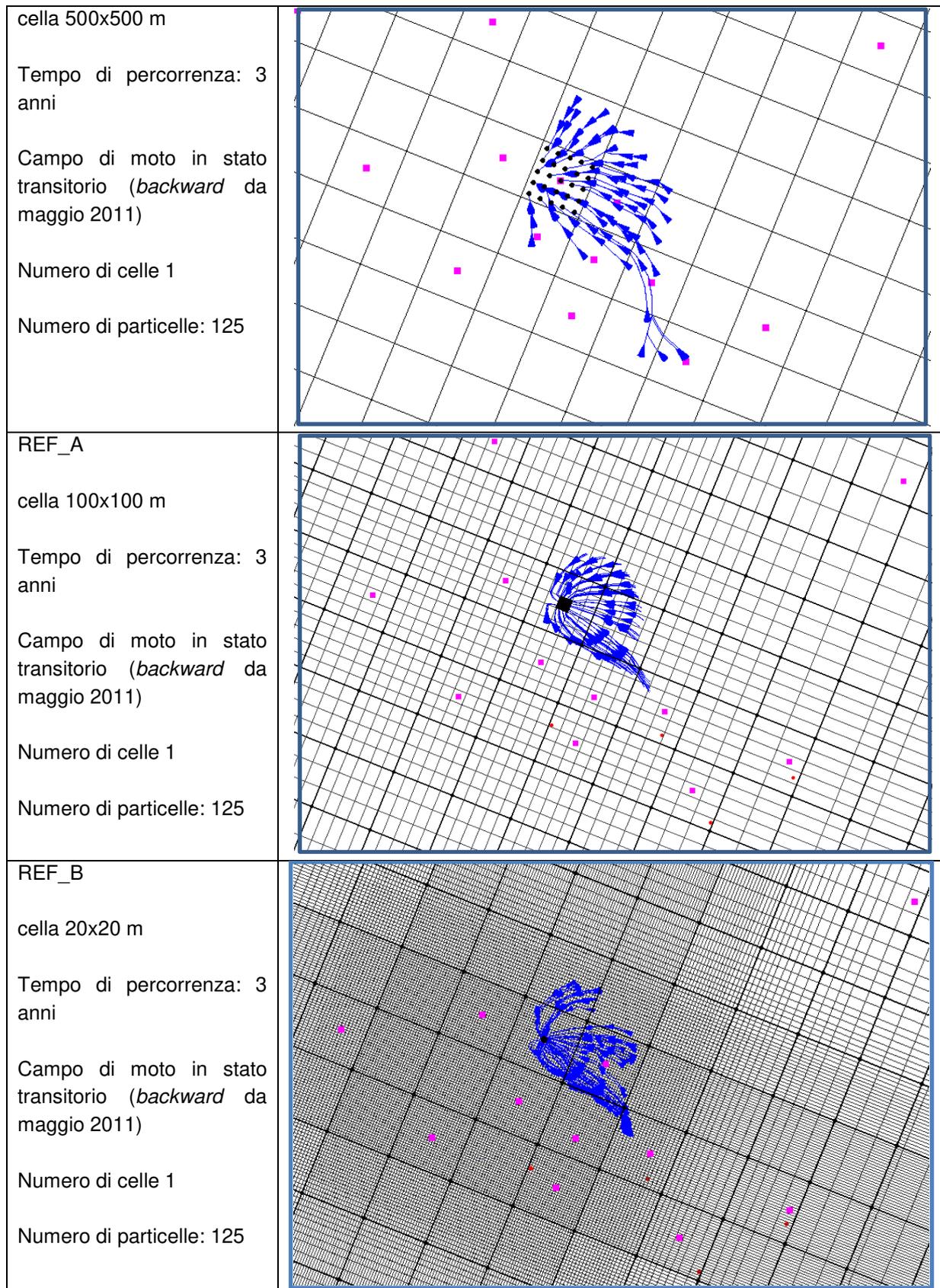


Figura 2.12: realizzazione di un raffittimento graduale della maglia di discretizzazione spaziale del modello numerico. Risultati del *particle tracking* sulle particelle in arrivo sulla cella di ubicazione del prelievo nei tre casi a differente dimensione della maglia e per un tempo di percorrenza di 1 anno.

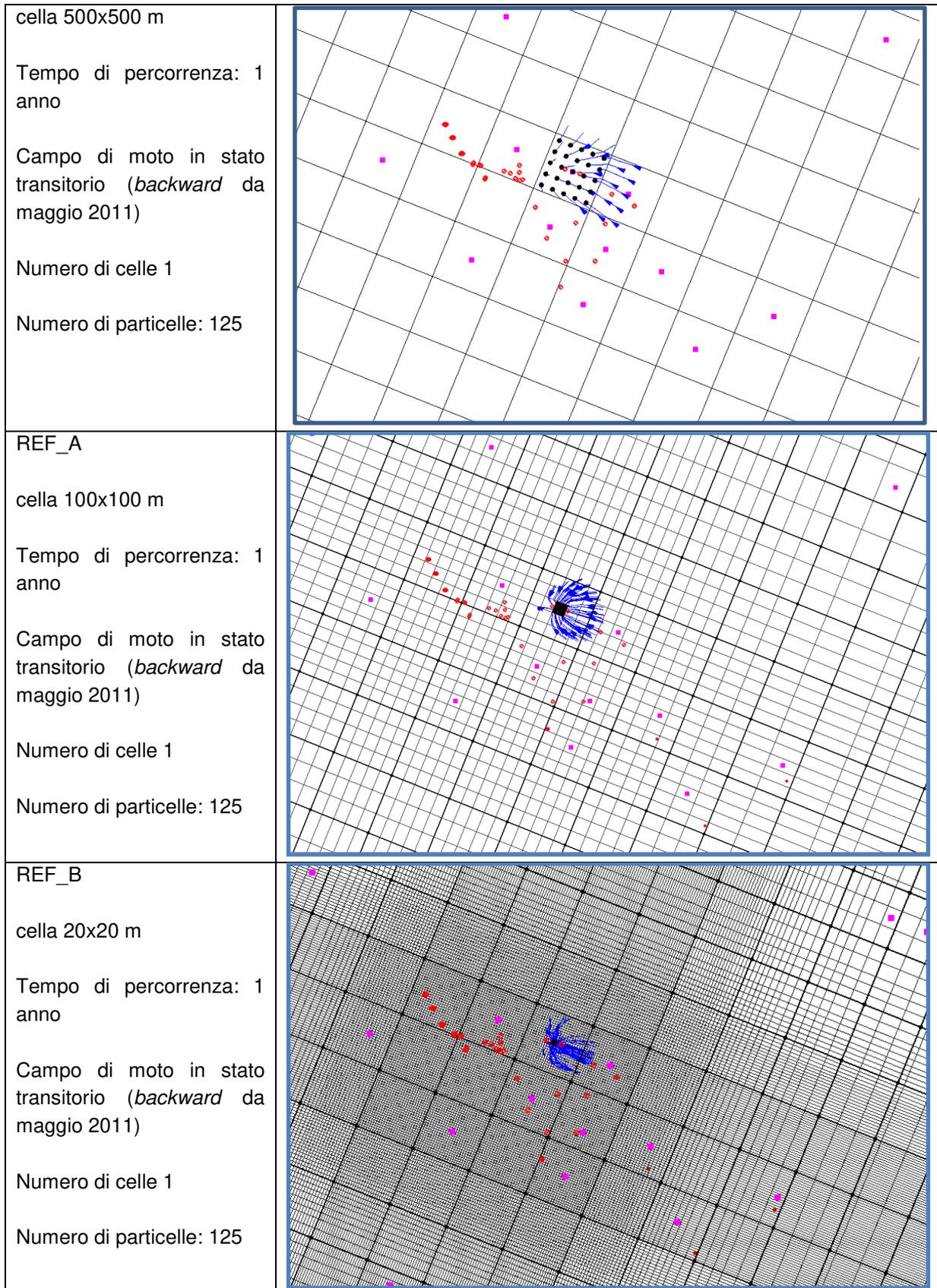
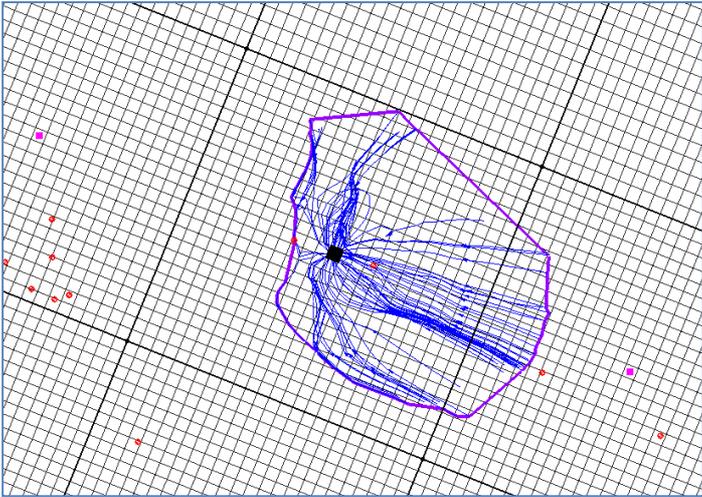
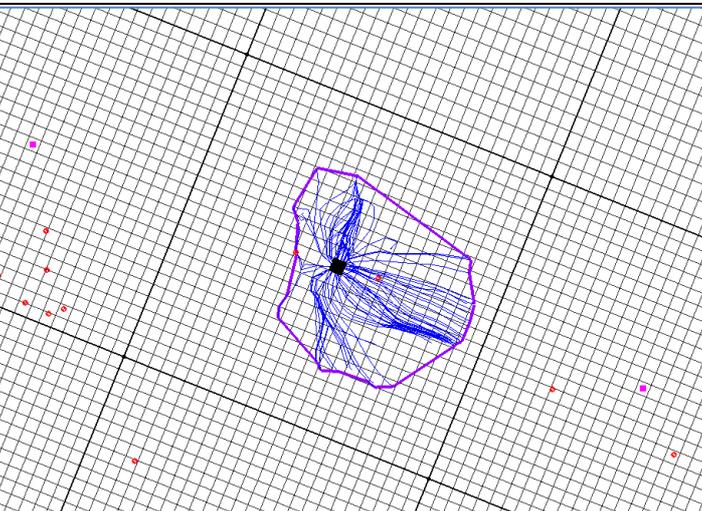
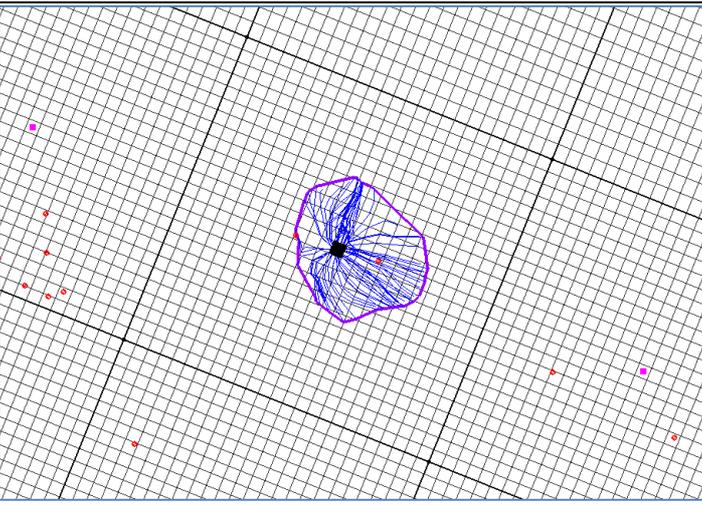


Figura 2.13: realizzazione di un raffittimento della maglia di discretizzazione spaziale del modello numerico. Risultati del *Particle tracking* per diversi tempi di percorrenza: 1 anno, 6 mesi e tre mesi.

<p>REF_B</p> <p>cella 20x20 m</p> <p>Tempo di percorrenza: 1 anno</p> <p>Campo di moto in stato transitorio (<i>backward</i> da maggio 2011)</p> <p>Numero di celle 1</p> <p>Numero di particelle: 125</p>	
<p>REF_B</p> <p>cella 20x20 m</p> <p>Tempo di percorrenza: 6 mesi</p> <p>Campo di moto in stato transitorio (<i>backward</i> da maggio 2011)</p> <p>Numero di celle 1</p> <p>Numero di particelle: 125</p>	
<p>REF_B</p> <p>cella 20x20 m</p> <p>Tempo di percorrenza: 3 mesi</p> <p>Campo di moto in stato transitorio (<i>backward</i> da maggio 2011)</p> <p>Numero di celle 1</p> <p>Numero di particelle: 125</p>	

Alla luce di quanto esposto si ritiene quindi che una discretizzazione di dettaglio con maglia pari a 20 m possa soddisfare i seguenti requisiti:

1. minimizzare l'approssimazione dovuta alla effettiva posizione del pozzo in prelievo all'interno del modello numerico;

2. mantenere la possibilità di distinguere i pozzi in prelievo vicini tra loro e appartenenti ai campi pozzi oggetto di studio;
 3. effettuare il tracciamento delle particelle dei pozzi in prelievo anche per tempi di percorrenza inferiori a 180 gg,
- e quindi superare le problematiche precedentemente evidenziate.

2.2 Possibilità di realizzazione di un raffittimento locale della griglia spaziale del modello.

Una volta individuate le effettive necessità di raffittimento spaziale della maglia di discretizzazione del modello, nel caso in esame necessario a passare dai 500 m attuali ai 20 m richiesti (25x), occorre individuare il percorso metodologico più idoneo a perseguire tale obiettivo. Utilizzando il codice Modflow le possibilità operative di riduzione della griglia di calcolo alle differenze finite possono essere le seguenti e verranno discusse relativamente ai pro ed ai contro di ognuna di esse.

2.2.1 Raffittimento globale della griglia del modello

Il metodo prevede il raffittimento di tutte le maglie del modello indipendentemente dalla zona di specifico interesse locale. Il metodo è facile da applicare ma crea un numero di celle elevato anche nelle zone dove il raffittimento non è necessario. Nel caso in esame si passerebbe dalle 101.501 maglie del modello ad oltre 60 milioni di celle. Si otterrebbe quindi un modello numerico non più gestibile con gli strumenti hardware e software disponibili ed in ogni caso caratterizzato da tempi di calcolo che non permetterebbero la necessaria attività di calibrazione richiesta.

2.2.2 Raffittimento graduale della griglia nella sola zona di interesse

Rispetto alla possibilità appena descritta, una soluzione che in parte ridurrebbe i “consumi” hardware e software necessari per lo sviluppo dell'applicazione consiste nel raffittimento graduale della maglia nella sola zona di interesse. Il che significa seguire lo schema di Figura 2.14, con riduzione progressiva della maglia nella zona di interesse fino ai 20 m richiesti.

Modflow però richiede di prolungare tale riduzione della maglia dalla zona di interesse fino ai confini laterali del modello lungo le due direzioni della discretizzazione orizzontale (frece gialle in Figura 2.14) e quindi il numero di celle complessivo rimane comunque elevato (3 milioni di celle) con molta parte di queste presenti in zone non di interesse. Inoltre se il dettaglio della griglia fosse richiesto in più zone del modello separate tra loro allora ci si ricondurrebbe facilmente al caso precedente.

Altri problemi possono essere legati ai rapporti dimensionali che si creano in questo caso tra celle adiacenti col possibile insorgere di problematiche di tipo numerico. Infine lavorare con griglie non regolari può risultare comunque più complicato rispetto alle griglie regolari in fase di pre e post-processing dei dati. Il vantaggio maggiore consiste nel fatto che il modello rimane comunque un unico modello.

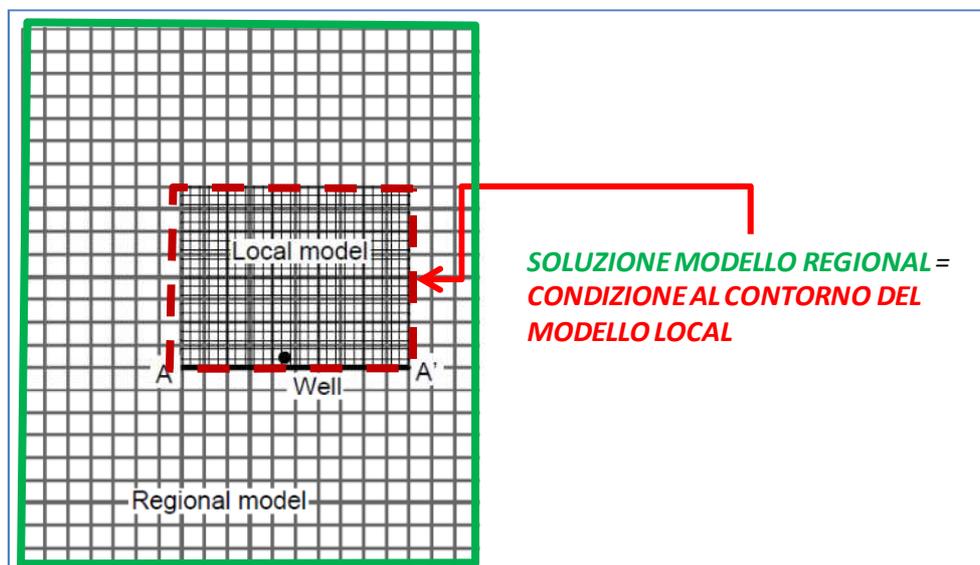
Figura 2.14: esempio di realizzazione di un raffittimento graduale della maglia di discretizzazione spaziale del modello numerico.



2.2.3 Raffittimento telescopico della griglia (TMR)

Un altro metodo che può essere utilizzato in questo caso è la riduzione telescopica della griglia di calcolo ([11], Lake S.A., Claar D.V. , Procedures and Computer Programs for Telescopic Mesch Refinement Using Modflow- Open file report 99-238. Tucson 1999) che consiste nella creazione di un nuovo modello di dettaglio nell'area di interesse (modello locale, *Local*) il cui comportamento risulterà governato dall'imposizione di condizioni al contorno estratte dal modello più grande (modello regionale, *Regional*). I termini "modello regionale" e "modello locale" sono però da intendersi in termini relativi e non assoluti: il secondo modello è una ridefinizione di una parte del primo. Il primo modello incorpora completamente il secondo (Figura 2.15).

Figura 2.15: esempi di passaggio da modello regionale a modello locale. (da [11] modificato)



La stessa figura esemplifica anche le situazioni preferibilmente da evitare nella scelta del perimetro del modello locale che non deve essere vicino ad altre tipi di condizioni al contorno (in questo caso ai prelievi).

Il termine “telescopico” rappresenta proprio la dinamica del passaggio dal modello regionale al modello locale, passaggio che può essere ripetuto in sequenza creando quindi modelli sempre più piccoli (in maniera telescopica).

Il percorso di creazione del modello *Local* è monodirezionale nel senso che i dati trasferiti dal modello *Regional* al modello *Local* non sono soggetti a feedback di ritorno. Il collegamento tra i due modelli è garantito dal trasferimento dei dati sul contorno rosso indicato in Figura 2.15 solamente per le grandezze legate al modello di flusso (carico idraulico, flussi).

2.2.4 Utilizzo del modulo LGR di Modflow (2005)

Il metodo denominato “*shared node local grid refinement*” ([13], Norton G.A., Leahy P.P., (2005). Modflow 2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – Documentation of Shared Node *Local* Grid Refinement (LGR) and Boundary Flow and Head (BFH) Package. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A12, 68p) è concettualmente simile al precedente ma i due modelli risultano in questo caso fisicamente sovrapposti ed accoppiati in modo bidirezionale condividendo la soluzione lungo il perimetro sempre indicato in Figura 2.15. In questo modo viene mantenuta la consistenza necessaria tra i carichi idraulici ed i flussi di acqua simulati dai due modelli risolvendo in maniera sequenziale ed iterativamente le equazioni governanti i due modelli. Il pacchetto LGR lavora con il Modflow2005.

2.3 Diversi approcci per la costruzione del modello “*Local*”

In Figura 2.16 sono schematicamente riportati i due approcci attraverso i quali è possibile costruire i modelli *Regional*, *Local* e gestire il collegamento tra i due. Occorre quindi valutare la convenienza o meno, per la costruzione diretta del modello *Local*, di ripartire nuovamente dai dati di partenza che hanno permesso l’implementazione del modello *Regional* (metodo A) oppure costruire il modello *Local* a partire dai dati già strutturati nell’implementazione del modello *Regional* (metodo B).

Devono essere in tal senso effettuate delle valutazioni preliminari per individuare il percorso più idoneo, che potrà essere, come si vedrà, anche un mix tra i due metodi, valutazioni che terranno conto della disponibilità dei dati di partenza e degli obiettivi alla base della costruzione del modello di maggior dettaglio.

I dati di partenza per la costruzione del modello fanno generalmente riferimento ai seguenti aspetti:

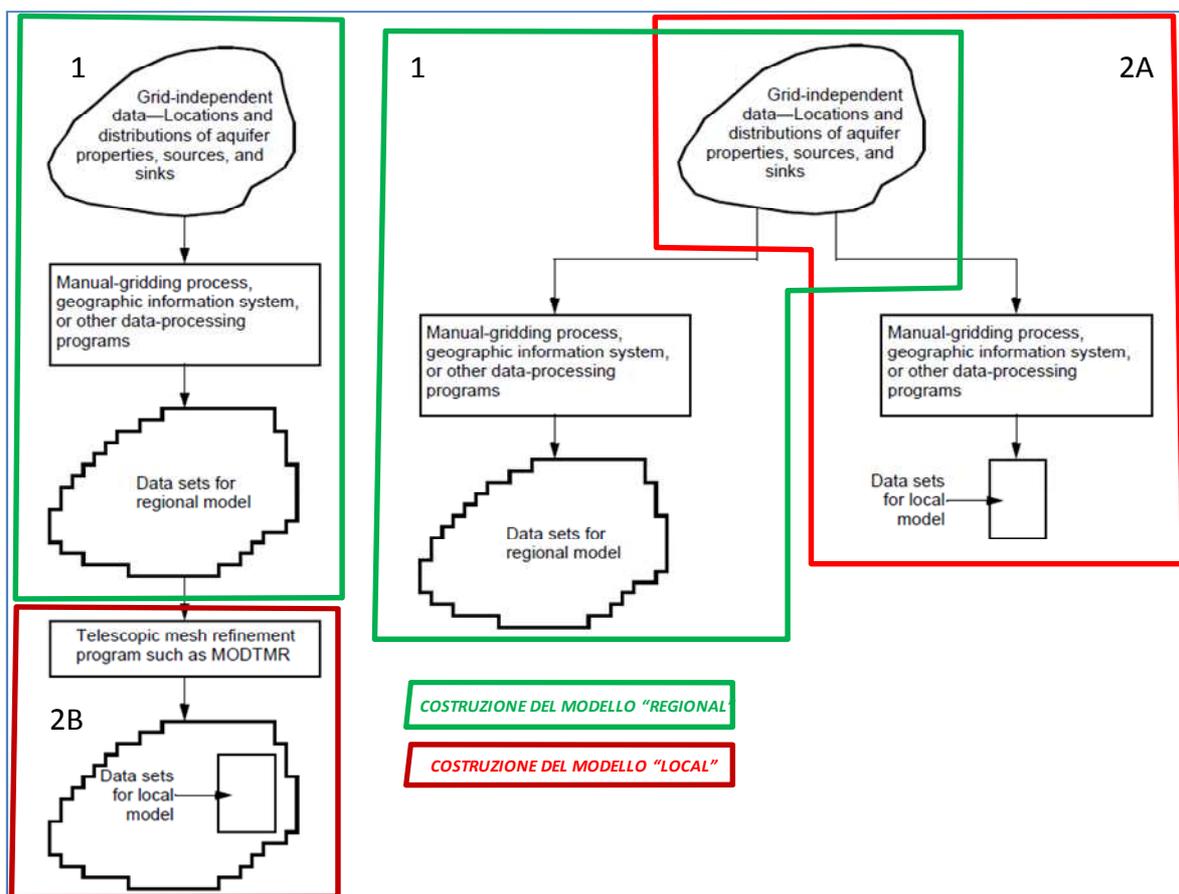
- ricostruzione geologica di dettaglio del sottosuolo;
- dati piezometrici e chimici delle reti di monitoraggio;
- dati sui prelievi di acque sotterranee;
- dati sulla distribuzione della presenza dei pozzi in prelievo per i diversi usi;
- parametri idrodinamici (storici + nuove prove ad hoc);
- dati di ricarica dalla superficie (piogge/fiumi)
- dati idraulici, idrologici e prova di portata sui fiumi.

Le basi informative possono essere disponibili come dati puntuali o come rielaborazioni sotto forma di mappe ovvero come interpolazioni dei dati originali su una griglia uniforme di punti.

In ogni caso l'implementazione del modello, sia esso *Regional* o *Local*, prevede un passaggio di spazializzazione/attribuzione del dato sulla griglia che di fatto costituirà poi la discretizzazione spaziale del modello.

Il metodo A prevede quindi di effettuare la spazializzazione/attribuzione del dato iniziale su entrambe le griglie di calcolo riferite sia al modello *Regional*, sia al modello *Local*. Questo metodo ha il vantaggio di utilizzare sempre la massima informazione disponibile che viene nei due casi proiettata sulla diversa discretizzazione (ad esempio migliore precisione nel posizionamento dei pozzi in prelievo, possibilità di descrivere meglio la presenza di gradienti nelle superfici geologiche/piezometriche). Il metodo B prevede invece l'utilizzo del dato spazializzato/attribuito del modello *Regional* per la successiva spazializzazione/attribuzione del dato sul modello *Local*. Il vantaggio di questo metodo consiste nella possibilità di lavorare con i vari strati informativi in ingresso già regolarizzati e pre-elaborati e nel contempo di poter utilizzare anche i dati in uscita dal modello *Regional* come dati in ingresso per il modello *Local* (ad es per la definizione dello starting head).

Figura 2.16: diversi approcci per la costruzione del modello *Regional* e del modello *Local* (da [11] modificato)



3 Le scelte operative e la metodologia di lavoro adottata

Sulla base delle considerazioni e valutazioni precedentemente espone viene individuata la riduzione telescopica della griglia di calcolo (TMR, *Telescopic Mesh Refinement*, descritto al precedente paragrafo 2.2.3) come metodo idoneo per la creazione di modelli a scala di

Un esempio di passaggio da modello *Regional* a modello *Local* è schematicamente riportato in Figura 3.1 che rappresenta il doppio passaggio dal modello dell'intero acquifero emiliano-romagnolo (modello *Regional*), al modello degli acquiferi modenesi (modello *Local*), che a sua volta diventa il modello *Regional* della successiva discesa di scala per la realizzazione di un modello a scala di singolo campo pozzi (*Local*).

Nel caso specifico la necessità di realizzazione del modello a scala di singolo campo pozzi è derivata dalla richiesta di delimitazione delle aree di salvaguardia con criterio cronologico. Dal punto di vista metodologico ed operativo molti degli elementi che verranno di seguito descritti possono essere di esempio pratico per qualsiasi altro tipo di discesa di scala telescopica di un modello numerico per le acque sotterranee.

Dal punto di vista metodologico le attività sono schematicamente riconducibili alle seguenti 3 sotto-attività:

1. esecuzione del *particle tracking* sul modello di flusso degli acquiferi modenesi per la definizione degli areali di influenza dei campi pozzi (Cognento, Modena Sud e Marzaglia);
2. realizzazione di modelli di maggior dettaglio per gli areali di influenza dei campi pozzi di Cognento, Modena Sud e Marzaglia;
3. esecuzione del *particle tracking* nella nuova configurazione del modello e tracciamento delle isocrone (zone di rispetto) per i campi pozzi.

Tali attività sono descritte nei successivi paragrafi.

4 Esecuzione del *particle tracking* sul modello di flusso degli acquiferi modenesi (Modello *Regional*) per la definizione degli areali di influenza dei campi pozzi (Cognento, Modena Sud e Marzaglia)

Alla luce di quanto espresso nei paragrafi precedenti è stato utilizzato il modello di flusso delle acque sotterranee delle conoidi modenesi, nella sua configurazione iniziale, per definire le zone di influenza complessiva di tutti i pozzi appartenenti alla zona di Cognento, Modena Sud e Marzaglia. Attraverso il *Particle tracking* sono state quindi tracciate le isocrone ad un anno ed a tre anni per tutti i pozzi oggetto di studio ed in diverse condizioni di prelievo (reale ed in concessione). Valutazioni ulteriori sono state condotte sul regime di moto (transitorio per diversi periodi, e stazionario). Tutto ciò al fine di delimitare l'areale sul quale realizzare un vero e proprio taglio dello stesso modello per la generazione di un sotto-modello locale dedicato.

Questa parte del lavoro viene quindi realizzata col modello numerico esistente (che nel seguito verrà indicato con "*EM-MO-Regional*" o più semplicemente *Regional*) a maglia quadrata di 500 m di lato. Per tutti i pozzi acquedottistici oggetto dello studio di maggior dettaglio (campi pozzi di Cognento e Modena Sud, campo pozzi di Marzaglia) sono state condotte le seguenti attività:

1. verifica puntuale dei tratti filtranti dei pozzi appartenenti ai campi pozzi, in funzione della loro attribuzione alle celle del modello numerico, in pianta ed in profondità;
2. attribuzione del singolo pozzo in prelievo alla cella o alle celle del modello numerico e relativa ripartizione dei volumi estratti; per i volumi estratti si farà riferimento a due valori: alla portata media dell'ultimo periodo (Pmed) sulla base dei dati disponibili (10 anni, 2003-2013) ed al volume annuo richiesto in concessione (PGest);

3. esecuzione del ParticleTracking a partire dalle celle individuate al punto precedente, simulazione in arrivo sulle stesse (backward) per tempi pari ad 1 e 3 anni e per le 2 differenti condizioni di prelievo indicate al precedente punto 2. Individuazione delle relative aree di influenza per i singoli pozzi;
4. inviluppo degli areali così ottenuti ed individuazione degli areali di influenza per uno o più campi pozzi/acquifero.

4.1 Verifica puntuale dei tratti filtranti dei pozzi.

È stata condotta una puntuale verifica delle informazioni relative alla ubicazione, alla profondità ed ai tratti filtranti per tutti i pozzi acquedottistici oggetto di studio. Molte informazioni erano già disponibili ma sono state oggetto di ulteriori verifiche.

Alcune informazioni sono state integrate ed altre corrette. Il quadro complessivo che ne è derivato viene riportato nelle tabelle (Tabella 4.1 e Tabella 4.2) e rappresentato graficamente nelle figure in pianta ed in sezione verticale (Figura 4.1 e Figura 4.2. per l'areale di Cognento e Modena Sud e Figura 4.3 per la zona di Marzaglia.

Tale verifica ha comportato alcune modifiche al modello *Regional* degli acquiferi modenesi che hanno portato ad una miglior possibilità di attribuzione del prelievo dei pozzi acquedottistici analizzati. In questa fase del lavoro non sono state considerate attive le nuove triplette in fase di costruzione che comunque ricadono all'interno della medesima cella del pozzo P1 di Aimag (Tabella 4.3).

Tabella 4.1: pozzi Aimag di Cognento: ubicazione e profondità dei tratti filtranti dei pozzi.

Pozzo	UTM-ETRS89 Fuso 32		p.c. (m s.l.m.)	Prof. (m)	FILTRI (m da p.c.)			
	X	Y			Tetto	Base	Sviluppo filtri	
COGNENTO - AIMAG	P1	648698	4945003	39	50	33.4	44	33.4-34.9; 36.5-44
	P2	648746	4944982	39	45	36	45	36-45
	P3	648791	4944869	39	50	32.5	43.6	32.5-43.6
	P4	648948	4944934	38	50	32.2	44.2	32.2-44.2
	P5	649002	4944916	38	109.4	51.4	105.5	51.4-52.4; 70-72; 75.6-76.6; 79.5-83.5; 103-105.5
	P7	649076	4944924	38	45.1	38	45.12	38-45.12
	P8	649075	4944984	38	44.8	38.8	44.8	38.8-44.8
	P10	649102	4944864	38	127	70	108	70-73; 95-98; 105-108-FERMO dal 2011
	P11	648756	4944981	38.9	145	71.3	137.3	71.3-78.8; 85.3-91.3; 132.3-137.3
	P12	648796	4944881	38.1	130	67.3	115.2	71.2-78.7; 113.2-115.2
P13	648692	4944990	38.9	126.3	69.7	92.3	69.7-71.8; 74.3-76.9; 83.2-92.3	
COGNENTO - AIMAG NUOVE TRIPLETTI	P14A	648591	4945086	38	50	37.5	46.5	37.5-46.5
	P14B	648601	4945087	38	94.5	71.5	92.25	71.5-73.5; 75.5-78.0; 86.25-92.25
	P14C	648611	4945087	38	129	126.3	127.8	126.25-127.75
	P15A	648590	4945231	38	50	25.5	45.5	25.5-30.0; 36.5-45.5
	P15B	648599	4945234	38	97	72.5	93.5	72.5-74.5; 77.5-79.5; 87.5-93.5
	P15C	648609	4945237	38	135.5	124.3	127.3	124.25-127.75
	P16A	648613	4945346	38	51	25	46	25.0-29.5; 37.0-46.0
	P16B	648623	4945347	38	101	72.75	94	72.75-74.25; 76.5-80.0; 86.0-89.5; 91.5-94.0
P16C	648633	4945347	38	139	123.3	126.8	123.25-126.75	

Tabella 4.2: pozzi Hera di Cognento, Modena Sud e Marzaglia: ubicazione e profondità dei tratti filtranti dei pozzi.

	Pozzo	UTM-ETRS89 Fuso 32		p.c. (m s.l.m.)	Prof. (m)	FILTRI (m da p.c.)		
		X	Y			Tetto	Base	Sviluppo filtri
COGNENTO - HERA	A1	650041	4944633	38	72	61	71	61-71
	A2	649850	4944743	37.8	71.5	67	70	67-70
	A3	649202	4944626	39	122	41.8	117	41.8-48.2; 49.6-52.6; 59.65-65.4; 69.5-72.5; 75.9-78.9; 103.5-106.5; 114-117
	A5	649540	4944919	37.5	93	61	89	61-65; 81-89
	A6	649481	4944938	38.5	82	65	80	65-70; 75-80
	A7	649294	4944367	38.5	130	56.5	118	56.5-61.5; 67-70.5; 75-79; 116-118
	A8	649541	4944508	38.5	88.5	42	85	42-45; 61-65; 80-85
	A9	649460	4944180	39.2	207	65	80	65-70; 75-80
	A10	649707	4944184	39.6	95	59.5	81.5	59.5-61.5; 65-69; 77.5-81.5
	A11	649853	4944553	38.6	85	65	86	65-71; 80-86
	A12	649443	4943954	39.3	84	47	79	47-55; 59-61; 65-69; 75-79
	MODENA SUD HERA	B1	650299	4943889	41.3	130	53.7	119
B2		651333	4943540	38	81.5	64	77.5	64-67; 74.9-77.5
B3		651199	4943323	40	106.5	49	65.2	49-51.5; 63.7-65.2
B4		650963	4943364	40.5	71.2	55.2	65.5	55.2-57.5; 63.2-65.5
B5		650700	4943228	41.6	95	55	66.5	55-59.5; 65-66.5
MARZAGLIA HERA	C1	644240	4945674	48	226	97	201	97-99; 105-110; 115-123; 131.2-135.2; 167.5-177.5; 194-201
	C2	644151	4945197	48	210	82.9	189	82.9-86; 90.2-92.5; 116.9-120; 143.5-149; 162.2-164.5; 181.1-189
	C3	644220	4944722	48.3	160	58	153	58-64; 79.5-81.5; 85.5-87.5; 99.5-105.5; 136-142; 147-153
	C4	643969	4944282	50.2	145	76	137	76-82; 86-91; 95-100; 126-130; 133-137
P. Marzaglia	643008	4945641	51.7	92	55	80	55-58; 75-80	

Figura 4.1: ubicazione dei pozzi appartenenti ai campi pozzi di Cognento (Hera ed Aimag), e Modena Sud.

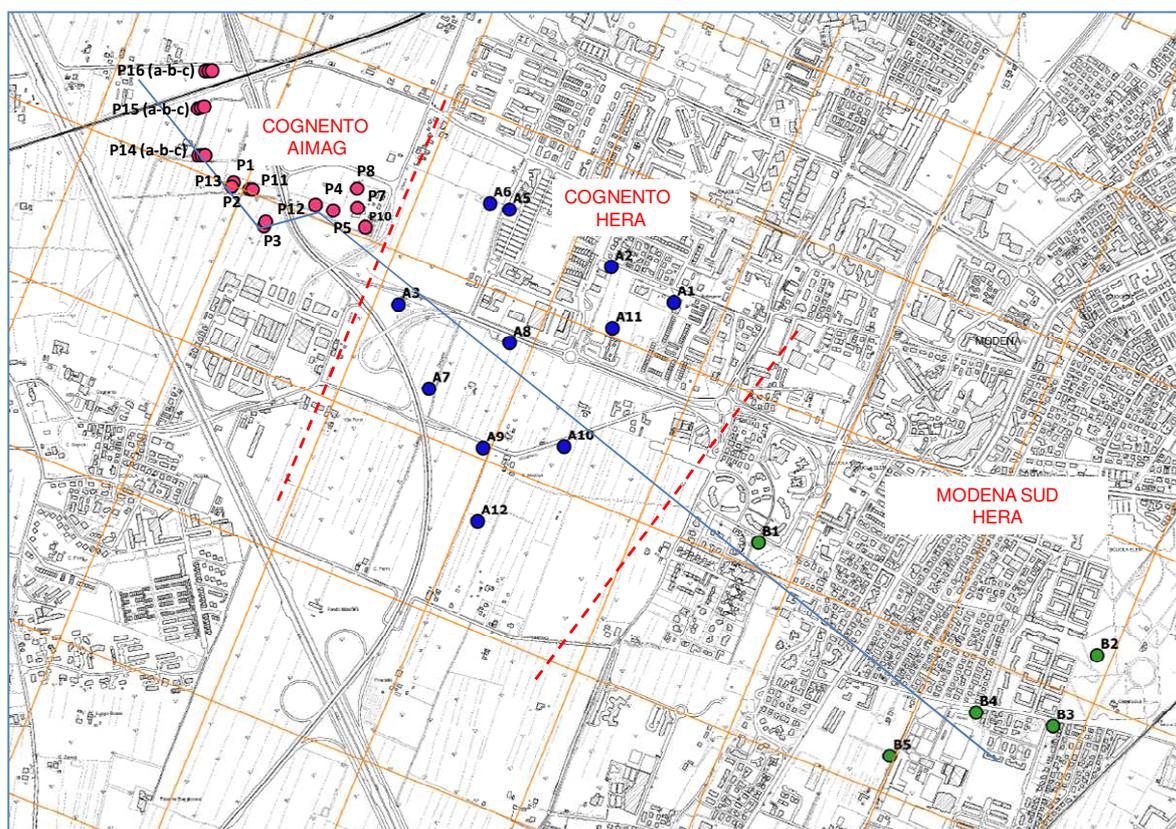


Figura 4.2: sviluppo filtri dei pozzi appartenenti ai campi pozzi di Cognento (Hera ed Aimag), e Modena Sud.

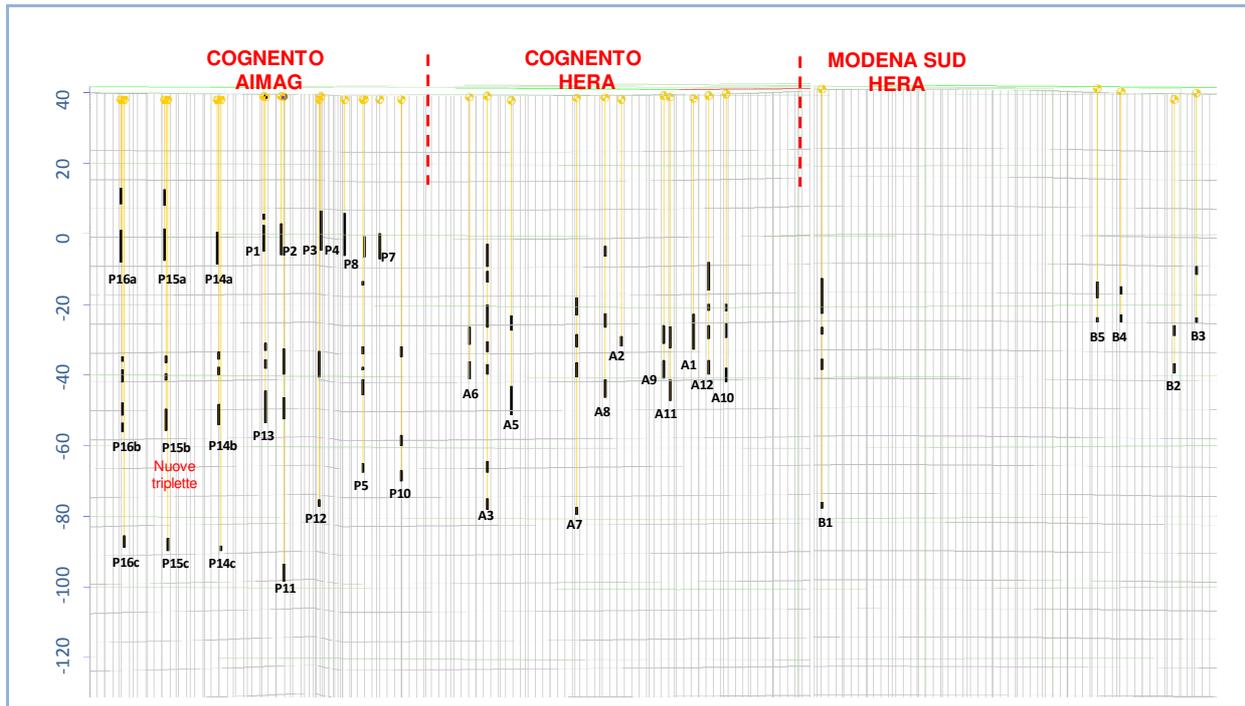
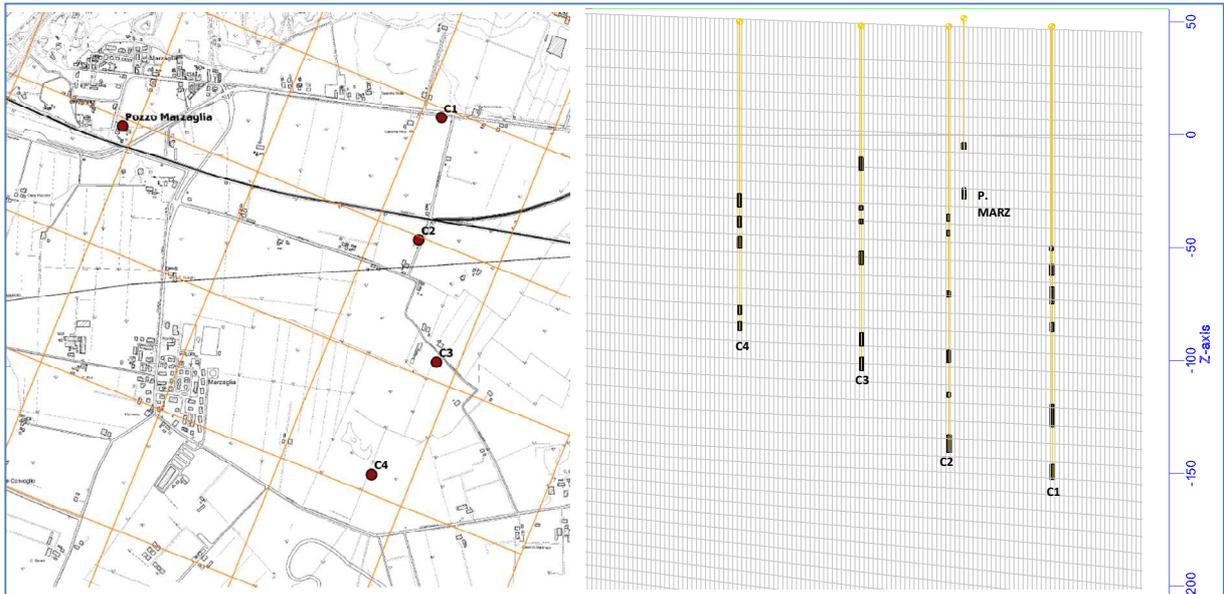


Figura 4.3: ubicazione e sviluppo filtri dei pozzi di Marzaglia.



4.2 Attribuzione del singolo pozzo in prelievo alla cella o alle celle del modello numerico e relativa ripartizione dei volumi estratti.

Sulla base delle verifiche puntuali sui tratti filtranti dei pozzi acquedottistici si è proceduto all'individuazione all'interno del modello *Regional* delle celle da attribuire ai singoli filtri dei pozzi ed alla ripartizione del prelievo imputabile al singolo pozzo.

Tabella 4.3: pozzi di Cognento (Hera ed Aimag), Modena Sud e Marzaglia: sovrapposizione dei tratti filtranti dei pozzi alle celle del modello.

	I_EM-MO-15	J_EM-MO-15	Nome pozzo Gestori	K Modpath (Layer)
Campo pozzi Aimag Cognento	18	29	P1	5
			P14A	
			P15A	3-5
			P16A	
			P14B	9-10
			P15B	
			P16B	
			P14C	15
			P15C	
	P16C			
	18	30	P2	5
			P4	
			P7	
			P8	
			P9	
			P6	12
			P10	8; 12
			P5	8; 9-10; 12
	P11	9-10; 16		
19	29	P13	9-10	
19	30	P12	9; 14	
		P3	5	
Campo pozzi Hera Cognento	18	31	A5	7; 10
			A6	7-8
	18	32	A1	7-8
			A2	8
	19	31	A3	5; 7-8; 10; 14-15
			A7	7-8; 10; 15
			A8	5; 8; 10
	19	32	A9	8; 10
			A10	7-8; 9
	20	32	A11	8; 9
A12			6-7-8; 9	
Campo pozzi Hera Modena Sud	19	33	B1	6-7-8; 9; 14
	19	35	B2	7-8; 9
	20	34	B5	7-8
			B3	6-8
20	35	B4		
Campo pozzi Hera Marzaglia e pozzo Marzaglia	21	18	POZZO MARZAGLIA	6-8
	21	21	C1	12-13-14-15-16; 20-21; 24
	22	21	C2	10-11-14; 18-20-23
			C3	7-8; 10-12-13; 17-18-19
	23	21	C4	10-11-12; 16-17

Per la ripartizione del prelievo si è fatto riferimento ad i seguenti criteri:

1. lunghezza del singolo tratto filtrante rispetto alla lunghezza complessiva dei filtri del pozzo ed all'altezza della cella del modello e relative proporzioni;
2. litologia presente nella cella (distribuzione del prelievo maggiore sulle celle a permeabilità maggiore e viceversa).

Il risultato ottenuto è riportato nella Tabella 4.3 che evidenzia come spesso ad una singola cella del modello *Regional* corrispondano più pozzi acquedottistici comunque non differenziabili lungo la verticale. Così ad esempio le nuove triplette del campo pozzi di Aimag sono distinguibili in senso verticale ma non tra loro in senso planimetrico. Viceversa non sono distinguibili tra loro i pozzi P2, P4, P7, P8 e P9 che nel modello *Regional* vengono condensati su una unica cella. Situazioni analoghe si riscontrano per gli altri pozzi appartenenti ai campi pozzi di Hera a Cognento, Modena Sud e Marzaglia. La sovrapposizione può essere anche solo parziale: ad esempio il pozzo P5 ed il pozzo P11 risultano solo parzialmente sovrapposti sui layer 9 e 10 del modello. Stessa cosa per i pozzi A5 ed A6 sul layer 7 ed i pozzi A1 e A2 sul layer 8.

Tabella 4.4: pozzi di Cognento Aimag, ripartizione percentuale del prelievo lungo la verticale

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
Layer del modello	5	100%	100%	100%	100%			100%	100%	100%				
	6													
	7													
	8					16%					33%		0%	
	9					48%						38%	79%	34%
	10					21%						34%		66%
	11													
	12					15%	100%				67%			
	13													
	14												21%	
	15													
	16											28%		

Tabella 4.5: pozzi di Cognento Aimag (nuove triplette), ripartizione percentuale del prelievo lungo la verticale

		P14A	P14B	P14C	P15A	P15B	P15C	P16A	P16B	P16C
Layer del modello	3				33%			33%		
	4									
	5	100%			67%			67%		
	6									
	7									
	8									
	9		43%			36%			42%	
	10		57%			64%			58%	
	11									
	12									
	13									
	14									
	15			100%			100%			100%

Tabella 4.6: pozzi di Cognento Hera, ripartizione percentuale del prelievo lungo la verticale

		A1	A2	A3	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
Layer del modello	5			34%				25%			
	6										
	7	50%		17%	33%	50%	34%			20%	
	8	50%	100%	14%		50%	24%	33%	50%	40%	67%
	9									40%	33%
	10			13%	67%		28%	42%	50%		
	11										
	12										
	13										
	14			11%							
	15			11%			14%				

Tabella 4.7: pozzi di Modena Sud Hera, ripartizione percentuale del prelievo lungo la verticale

		B1	B2	B3	B4	B5
Layer del modello	6	35%		62%	50%	
	7	24%	38%			75%
	8	12%	21%	38%	50%	25%
	9	18%	41%			
	10					
	11					
	12					
	13					
	14	11%				

Tabella 4.8: pozzi di Marzaglia Hera, ripartizione percentuale del prelievo lungo la verticale

		C1	C2	C3	C4	P.MARZAGLIA
Layer del modello	6					37.5%
	7			15.8%		
	8			5.7%		62.5%
	9					
	10		12.8%	14.3%	25.0%	
	11		9.5%		20.8%	
	12	9.6%		8.6%	20.8%	
	13	9.8%		12.8%		
	14	21.4%	12.8%			
	15	0.8%				
	16	11.1%			16.7%	
	17			19.4%	16.7%	
	18		22.7%	10.4%		
	19			13.1%		
	20	10.9%	9.5%			
	21	16.9%				
	22					
	23		32.6%			
	24	19.4%				

Il risultato del lavoro di ripartizione del prelievo lungo la verticale, condotto singolarmente per ogni pozzo indipendentemente dal suo livello di sovrapposizione con altri pozzi, viene invece rappresentato in termini percentuali nelle tabelle (da Tabella 4.4 a Tabella 4.8).

In relazione alle portate estratte dai pozzi appartenenti ai diversi campi pozzi si è fatto riferimento alle seguenti possibili configurazioni di prelievo:

1. portata massima di esercizio dei pozzi (Pmax): rappresenta la portata massima imputabile al pozzo calcolata a partire dalla portata critica dedotta a sua volta dalla prova di emungimento eseguita sul pozzo;
2. volume annuo in concessione (PGest): è il volume annuo richiesto in concessione relativamente ai singoli campi pozzi e successivamente ripartito sui singoli pozzi; è questo valore, tradotto in portata (L/s) che sarà successivamente utilizzato nei modelli (sia *Regional* sia *Local*) per il tracciamento definitivo delle particelle in arrivo sui pozzi in prelievo. Questo valore è stato fornito pozzo per pozzo da Atersir col supporto dei Gestori;
3. portata media decennale disponibile per il periodo 2004- 2013 (Pmed): rappresenta la portata media prelevata dai pozzi nell'intervallo temporale dell'attuale disponibilità del modello numerico già implementato. Risulta essere un riferimento per gli attuali utilizzi di risorsa rispetto all'ammontare dei volumi posti in concessione.

Tabella 4.9: Portate e volumi di riferimento complessivi per i campi pozzi di Cogneto, Modena Sud e Marzaglia.

	Portata massima concessione Pmax (L/s)	Portata Media EM-MO-15 Pmed (L/s)	Volume Concessione PGest (L/s)
Pozzi Hera Cognento	678	272.9 75%PGest 40%Pmax	363 54%Pmax
Pozzi Aimag (esistenti)	533	294.6 96%PGest 41%Pmax	306.4 43%Pmax
Pozzi Aimag Nuove Triplette	185		
Pozzi Modena Sud	251	27.7 18%PGest 11%Pmax	153 61%Pmax
Pozzi Marzaglia	505	306.9 86%PGest 60%Pmax	380.5 75%Pmax

Le portate di riferimento sono riportate in termini complessivi a livello di campo pozzi nella Tabella 4.9 dove vengono anche evidenziati i diversi rapporti percentuali tra i volumi posti in concessione (PGest), il prelievo medio decennale (Pmed) e quello massimo "istantaneamente" ammissibile (Pmax). La ripartizione delle portate complessive tra i singoli

pozzi è riportata nelle successive tabelle da Tabella 4.10 a Tabella 4.13, una per ciascun campo pozzi oggetto di studio. Tali valori sono stati forniti direttamente dai Gestori in accordo con Atersir sulla base delle più probabili modalità di funzionamento dei campi pozzi stessi.

Si ricorda nuovamente che le nuove triplette in fase di realizzazione da parte di Aimag a Cognento non sono state considerate in questa prima fase del lavoro in quanto collocate nella stessa cella di P1 all'interno del modello *Regional* senza rappresentare un aumento della portata in concessione, ma solamente un potenziamento delle possibilità di prelievo istantaneo (Pmax) del campo pozzi.

I prelievi sui singoli pozzi sono stati successivamente ripartiti all'interno del modello numerico sulla base dell'analisi di distribuzione percentuale riportata nelle precedenti tabelle (da Tabella 4.4 a Tabella 4.8).

Tabella 4.10: pozzi di Cognento Aimag: ripartizione del prelievo sui singoli pozzi. Non vengono in questa fase del lavoro considerate le nuove triplette in fase di costruzione da parte di Aimag.

Campo pozzi	Pozzo	L/s	L/s	L/s
		Pmed	PGest	Pmax
Aimag Cognento - Pozzi esistenti	P1	38.6	53	54
	P2	16.7	18	20
	P3	28.1	50	65
	P4	15.5	15	55
	P5	18.4	13	45
	P7	8.6	0.4	69
	P8	39.6	34	74
	P10	23.0	0	0
	P11	50.4	49	60
	P12	42.9	30	31
	P13	12.8	44	60
Totale		294.6	306.4	533.0

Tabella 4.11: pozzi di Cognento Hera: ripartizione del prelievo sui singoli pozzi.

Campo pozzi	Pozzo	L/s	L/s	L/s
		Pmed	PGest	Pmax
Hera Cognento	A1	6.6	10.5	64
	A2	6.3	5.3	32
	A3	4.0	15.5	94
	A5	51.5	67.0	67
	A6	26.2	31.0	31
	A7	68.1	68.0	68
	A8	1.8	8.4	51
	A9	60.6	84.0	84
	A10	4.3	7.7	47
	A11	26.7	51.0	51
	A12	16.8	14.6	89
	Totale		272.9	363.0

Tabella 4.12: pozzi di Modena Sud Hera: ripartizione del prelievo sui singoli pozzi.

		L/s	L/s	L/s
Campo pozzi	Pozzo	Pmed	PGest	Pmax
Hera Modena Sud	B1	4.4	61.0	61
	B2	11.2	45.0	45.0
	B3	5.4	16.2	50.0
	B4	2.7	14.6	45.0
	B5	4.1	16.2	50.0
Totale		27.7	153.0	251.0

Tabella 4.13: pozzi di Marzaglia (Hera) e pozzo Marzaglia: ripartizione del prelievo sui singoli pozzi.

		L/s	L/s	L/s
Campo pozzi	Pozzo	Pmed	PGest	Pmax
Hera Marzaglia	C1	163.7	200.0	200.0
	C2	72.2	118.4	200.0
	C3	67.3	56.2	95.0
	C4	3.7	0.0	
POZZO MARZAGLIA		0.0	5.9	10.0
Totale		306.9	380.5	505.0

4.3 Esecuzione del *particle-tracking* a partire dal modello *Regional*

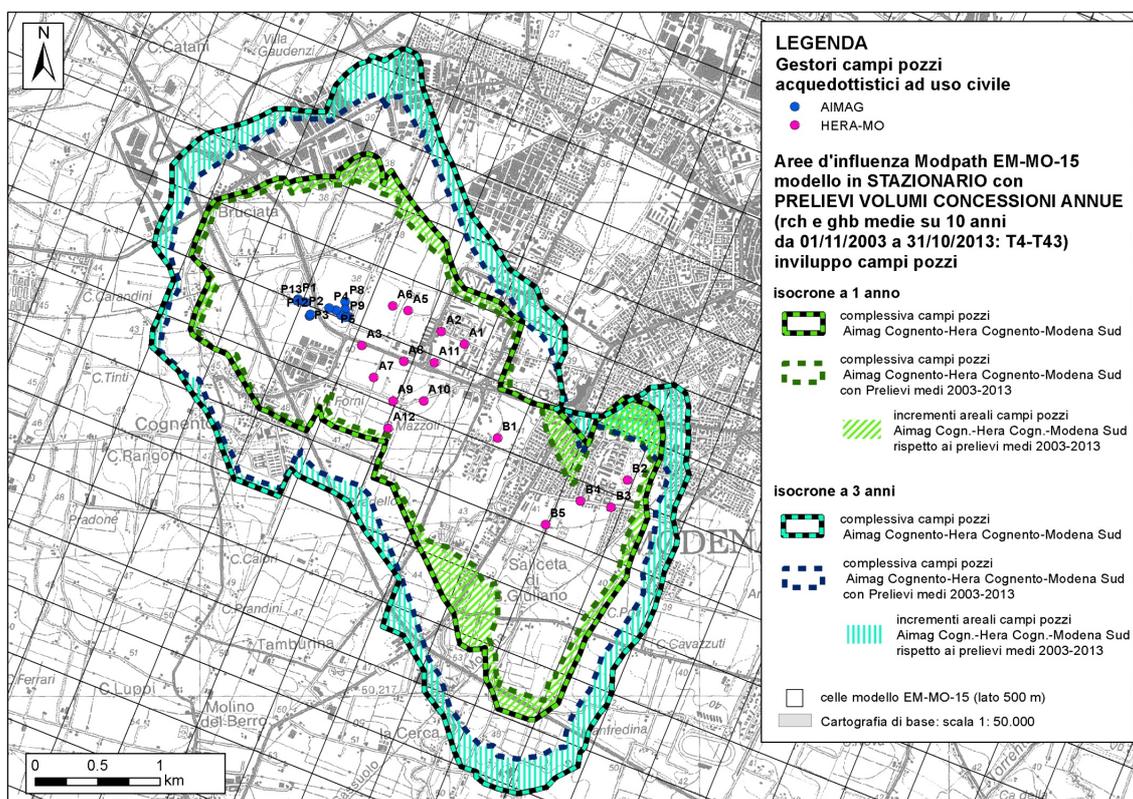
Questa fase del lavoro ha previsto l'esecuzione del *particle-tracking* sul modello numerico degli acquiferi modenesi (*Regional*) assumendo quindi tutte le limitazioni del caso e precedentemente descritte al paragrafo 2. In questo caso infatti l'obiettivo principale non è il tracciamento di dettaglio dei percorsi delle particelle, ma la delimitazione degli areali di influenza dei campi pozzi nel loro complesso in modo da delimitare il contorno del modello di maggior dettaglio (modello *Local*) che verrà successivamente implementato col metodo telescopico precedentemente descritto al paragrafo 2.2.3. Le ipotesi alla base della conduzione del *particle-tracking* sono state le seguenti:

1. il *Particle-tracking* è stato condotto utilizzando come destinazione le celle di Tabella 4.3 a rappresentazione dell'ubicazione dei pozzi oggetto di studio appartenenti ai campi pozzi di Cognento, Modena Sud e Marzaglia; per ogni cella sono state tracciate 125 particelle distribuite in modo uniforme all'interno della cella stessa (caso a di Figura 2.4);
2. il totale di celle oggetto di tracciamento è stato pari a 68: 11 e 18 celle per il campo pozzi di Cognento (Aimag ed Hera rispettivamente), 12 per il campo pozzi di Modena Sud e 27 per quello di Marzaglia (Tabella 4.3);
3. i pozzi appartenenti alle nuove triplette di Aimag a Cognento, in fase di costruzione non sono state prese in considerazione per questa fase del lavoro; se in pianta appartengono tutti alla stessa cella del pozzo P1, in verticale oltre al layer 5 intercettano un layer più superficiale (3) e tre più profondi (9, 10 e 15);

4. il valore di prelievo utilizzato per i pozzi è stato il volume in concessione annuo (PGest, Tabella 4.9 e successive). Una simulazione è stata condotta anche per valori di prelievo pari alla portata media decennale 2004-2013 (Pmed) in modo da poter per confronto valutare l'incidenza della differenza di prelievo dei singoli pozzi sulla estensione dell'area di influenza individuata; i prelievi attribuiti ai vari pozzi sono riportati nelle tabelle da Tabella 4.10 a Tabella 4.13.
5. i tempi di percorrenza adottati sono stati pari ad 1 anno ed a 3 anni.

Le figure che seguono mostrano in sintesi i risultati ottenuti: la Figura 4.4 mostra il risultato complessivo ovvero l'inviluppo di tutti gli areali di influenza dei singoli pozzi (campo pozzi Aimag Cognento, 11 pozzi, Hera Cognento 11 pozzi e Modena Sud 5 pozzi) ottenuti per tracciamento delle particelle su percorsi ad 1 e 3 anni e nelle due configurazioni di prelievo precedentemente descritte (Pmed e PGest).

Figura 4.4: Campi pozzi Cognento e Modena Sud: esecuzione del *particle-tracking* sul modello *Regional* a 1 e 3 anni per due configurazioni di prelievo (PGest e Pmed). Inviluppo complessivo delle aree tracciate.



La figura evidenzia un areale tanto più grande quanto più elevati risultano essere i tempi di percorrenza per confronto tra le due curve tratteggiate azzurre (3 anni) e verdi (1 anno). Stesso effetto anche se in questo caso di minor entità rispetto al precedente, si rileva al crescere dei prelievi da Pmed a PGest (aree tratteggiate in verde ed azzurro rispettivamente per i tempi di percorrenza pari a 1 e 3 anni). Le figure successive (Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7) mostrano alcuni degli step intermedi che hanno condotto alla precedente Figura 4.4, ovvero la delimitazione degli areali di influenza per i singoli campi pozzi (Cognento Hera, Cognento Aimag e Modena Sud) ed all'interno di questi di un singolo pozzo scelto come esempio.

Figura 4.5: Campi pozzi Cognento e Modena Sud: esecuzione del *particle-tracking* sul modello REGIONAL a 1 e 3 anni per due configurazioni di prelievo (PGest e Pmed). Dettaglio del campo pozzi Aimag di Cognento e del pozzo P13 appartenente allo stesso campo pozzi.

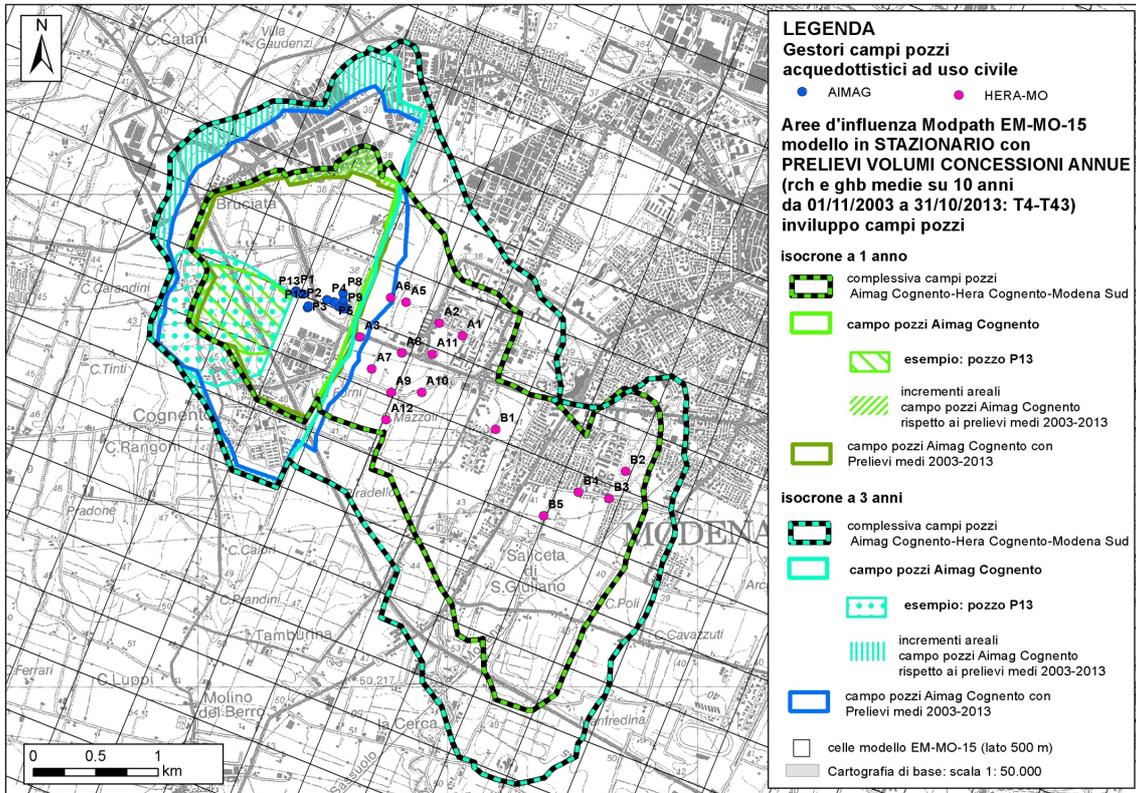


Figura 4.6: Campi pozzi Cognento e Modena Sud: esecuzione del *particle-tracking* sul modello REGIONAL a 1 e 3 anni per due configurazioni di prelievo (PGest e Pmed). Dettaglio del campo pozzi Hera di Cognento e del pozzo A10 appartenente allo stesso campo pozzi.

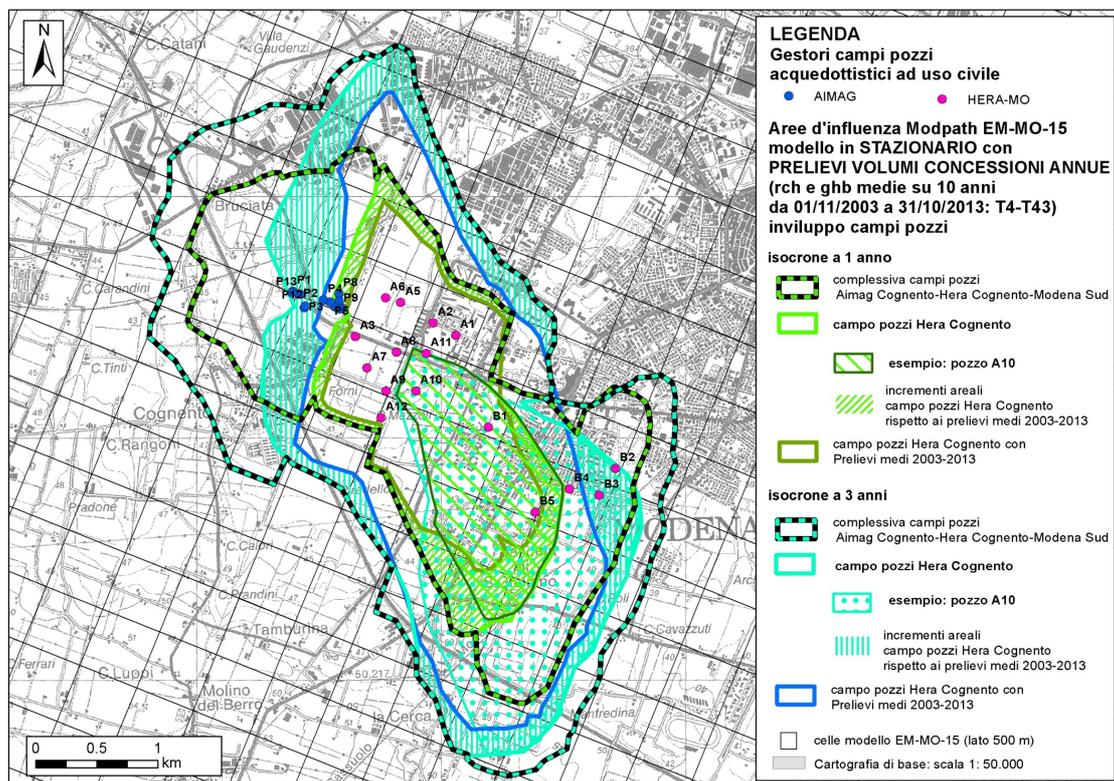


Figura 4.7: Campi pozzi Cognento e Modena Sud: esecuzione del *particle-tracking* sul modello REGIONAL a 1 e 3 anni per due configurazioni di prelievo (PGest e Pmed). Dettaglio del campo pozzi Hera di Modena Sud e dei pozzi B3 e B4 appartenenti allo stesso campo pozzi.

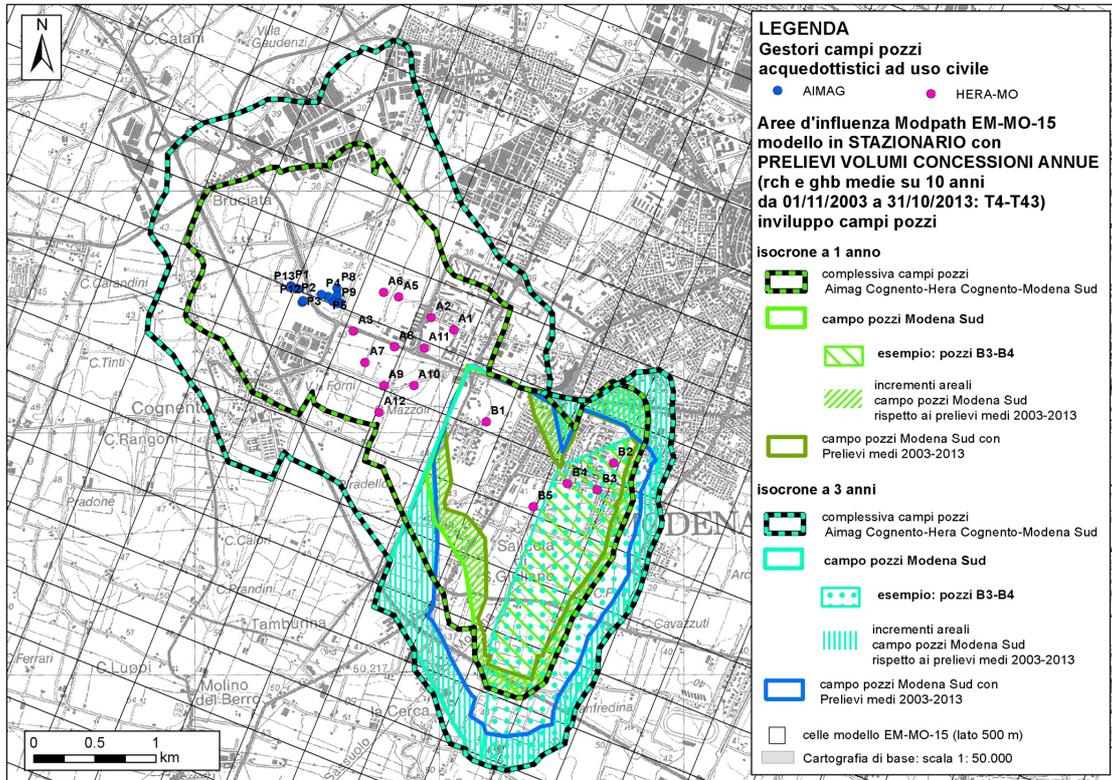
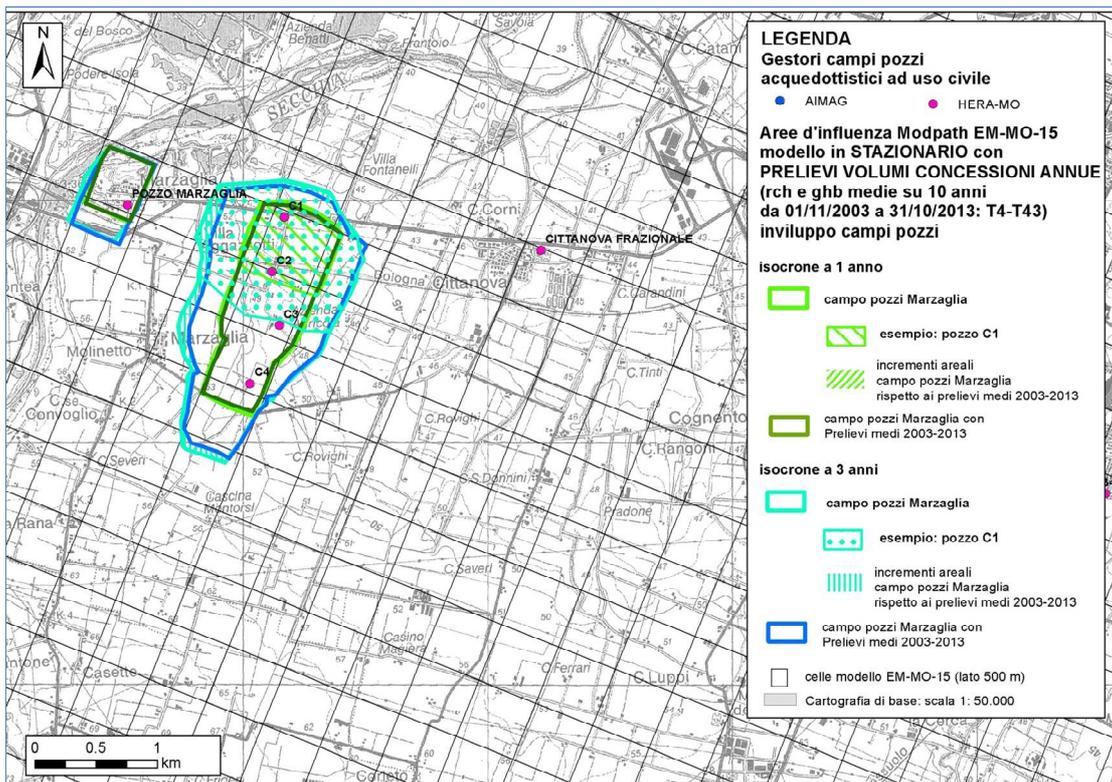


Figura 4.8: Campo pozzi di Marzaglia e Pozzo Marzaglia: esecuzione del *particle-tracking* sul modello REGIONAL a 1 e 3 anni per due configurazioni di prelievo (PGest e Pmed). Dettaglio del pozzo C1 appartenente allo stesso campo pozzi.



Infine la Figura 4.8 mostra i risultati ottenuti dallo stesso percorso metodologico sui 4 pozzi costituenti il campo pozzi di Marzaglia e sul pozzo Marzaglia.

5 Realizzazione di modelli di maggior dettaglio per gli areali di influenza dei campi pozzi di Cognento, Modena Sud e Marzaglia.

5.1 Passaggio dal modello *Regional* al modello *Local*

L'applicazione del *particle-tracking* al modello di flusso delle acque sotterranee delle conoidi modenesi seguendo le modalità descritte al precedente paragrafo, ha permesso di individuare gli areali di influenza dei campi pozzi dell'area di Cognento e Modena Sud e dell'areale di Marzaglia riportati nelle figure precedenti (Figura 4.4 e Figura 4.8).

La Figura 5.1 mostra il passaggio dal modello *Regional* al modello *Local* eseguito proprio a partire dalle delimitazioni di tali areali e seguendo lo schema TMR (raffittimento telescopico della griglia) descritto al paragrafo 2.2.3 e secondo gli approcci descritti al paragrafo 2.3.

Questa fase del lavoro ha previsto quindi la realizzazione di applicazioni con discretizzazione di maggior dettaglio in areali più piccoli aventi al proprio interno i campi pozzi oggetto di studio.

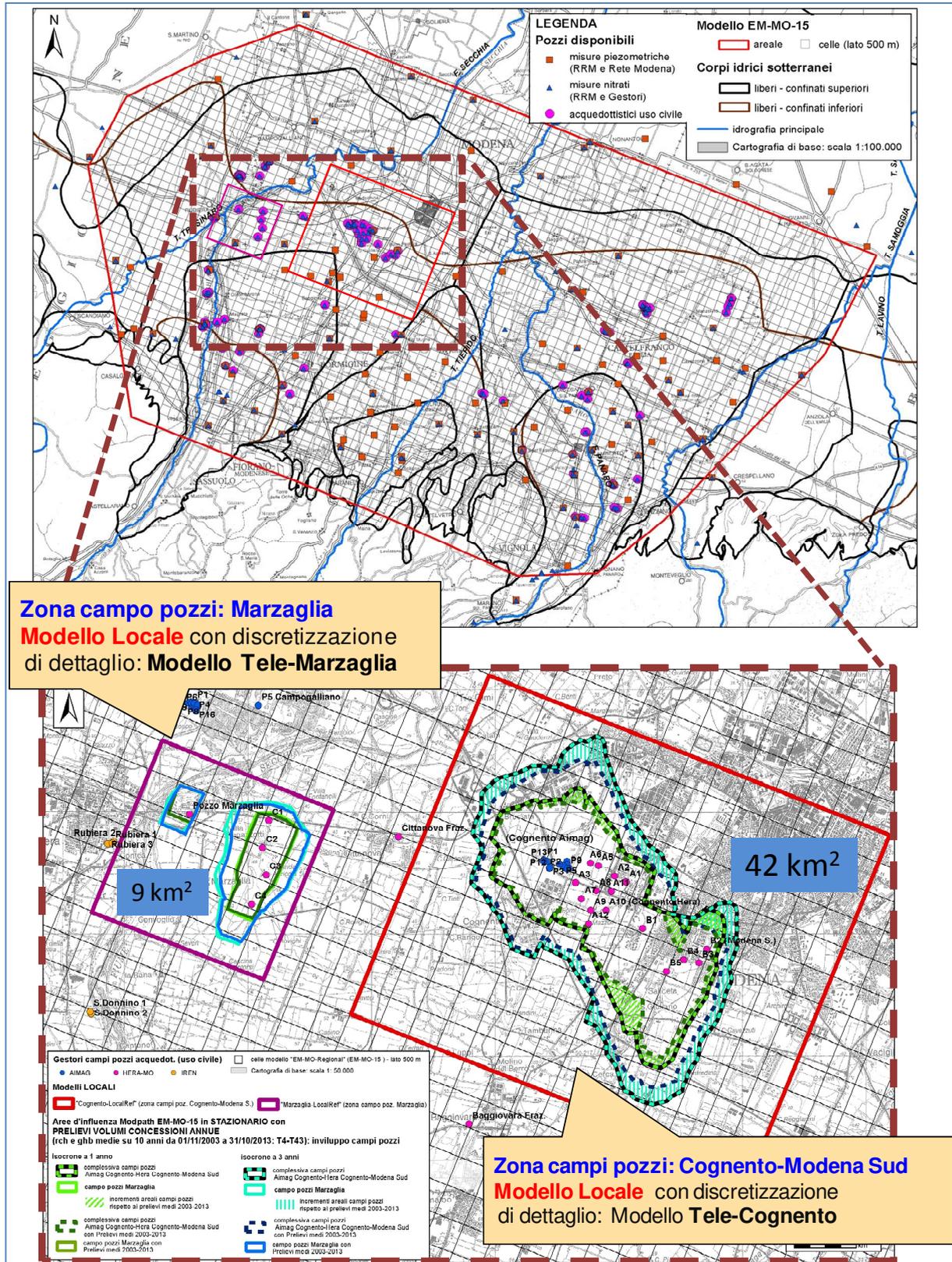
Tali modelli *Local* verranno indicati con la dicitura "TELE-*Nome Campo Pozzi*" a rappresentare un modello locale che ha subito un raffittimento della maglia di discretizzazione spaziale per poter effettuare il tracciamento di dettaglio delle particelle di acqua in arrivo sui pozzi appartenenti al campo pozzi indicato.

I modelli *Local* devono rimanere "dinamicamente collegati" al modello principale di provenienza (*Regional*) in termini di struttura, dati in ingresso e condizioni al contorno. Nel dettaglio si farà riferimento al seguente schema operativo:

1. sulla base delle relative distanze tra i campi pozzi e le ampiezze degli areali di influenza dei campi pozzi sono stati definiti il numero di modelli locali da realizzare: in Figura 5.1 viene già indicata la realizzazione di un modello locale unico per i campi pozzi di Cognento e Modena Sud (di fatto gli areali di influenza dei tre campi pozzi coinvolti convergono su un unico areale) ed un modello separato per il campo pozzi di Marzaglia e per il pozzo Marzaglia;
2. partendo dagli areali di influenza definiti al paragrafo precedente sono state dimensionate le perimetrazioni di contorno per le applicazioni di maggior dettaglio (rettangoli rosso e viola di Figura 5.1);
3. sulla base delle relative distanze dei pozzi è stata definita la discretizzazione spaziale di maggior dettaglio da realizzare; viene scelto di utilizzare una discretizzazione in pianta con maglie quadrate di lato 20 m (rapporto 1:25 rispetto al modello *Regional*);
4. tutti i dati del modello di partenza (*Regional*) devono essere "proiettati" sulla nuova discretizzazione del modello locale di arrivo (*Local*): geometria, struttura, parametrizzazione, prelievi, ricariche. Sul contorno del modello *Local* sono definite le condizioni al contorno a potenziale imposto derivate dal modello generale di partenza; in questo caso verrà adottato un approccio di tipo misto tra quelli descritti al 2.3;
5. deve essere condotta una verifica di coerenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local* così realizzato; potranno in questa fase essere inseriti elementi di dettaglio che nel modello *Regional* non erano stati inseriti o inseriti in forma aggregata. La

coerenza andrà valutata sia in termini di carico idraulico, sia in termini di bilancio dell'acqua.

Figura 5.1: schematizzazione del passaggio da modello *Regional* (modello conoidi modenesi) a modello *Local* (modello campo pozzi).



5.2 Costruzione dei modelli di maggior dettaglio (*Local*)

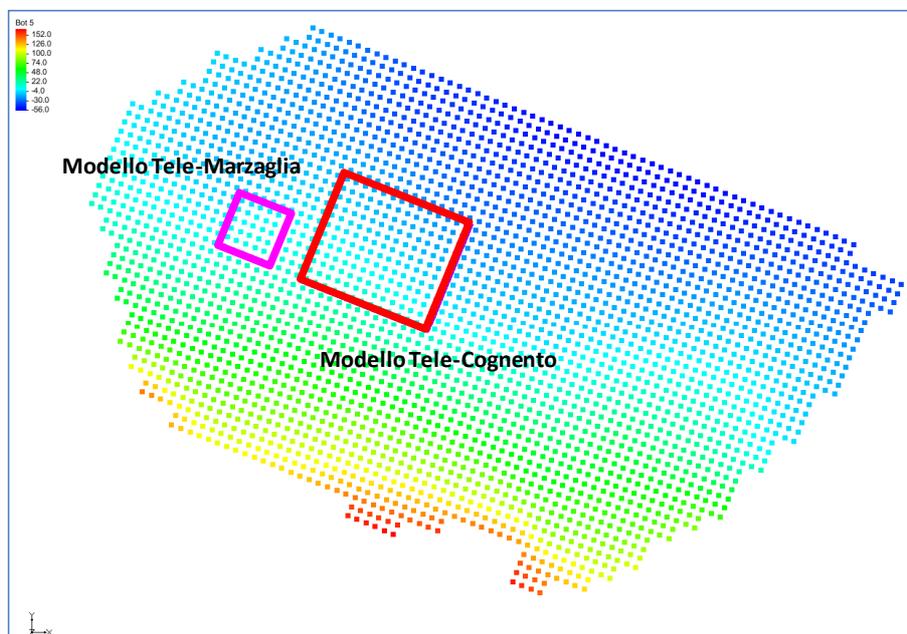
5.2.1 Procedura operativa per il passaggio dal modello *Regional* al modello *Local*

Sulla base delle indicazioni preliminarmente descritte al paragrafo 2.2 viene qui proposto un metodo per l'applicazione del metodo TMR (Teleopic Mesch Refinement) per effettuare il passaggio dal modello *Regional* (modello delle conoidi modenesi) al modello *Local* (modello per gli acquiferi dei campi pozzi di Cognento e Modena Sud, o modello per gli acquiferi di Marzaglia). Il metodo costituisce un mix tra i percorsi A e B indicati in Figura 2.16, ritenuto maggiormente idoneo in funzione della disponibilità dei dati che inizialmente hanno originato l'implementazione del modello degli acquiferi modenesi. Nel seguito verranno precisate le scelte effettuate per il passaggio *Regional to Local* per ogni categoria di informazioni disponibili. Per alcuni aspetti si è fatto inoltre riferimento agli strumenti di interpolazione spaziale automatica presenti nelle varie versioni dell'ambiente di sviluppo dei modelli (GMS di Aquaveo).

5.2.2 Preparazione dei dati del modello *Regional* per il successivo utilizzo a favore del modello *Local*

Occorre partire dal progetto complessivo a larga scala (il modello *Regional* che nel caso corrisponde al modello degli acquiferi modenesi a maglia 500 m). Il progetto di partenza può essere sia in stato stazionario sia in transitorio.

Figura 5.2: visualizzazione del 2D scatter point del modello *Regional* in sovrapposizione al perimetro del modello *Local*. Dati visualizzati bottom del layer 5.



Tutti i dati costituenti l'implementazione ed il risultato delle simulazioni del modello (top e bottom dei layers, parametrizzazione e distribuzione dei parametri idrogeologici, carichi idraulici, ricariche) vengono trasformati in strati informativi bidimensionali (layer per layer) per poter essere riutilizzati nell'implementazione del modello di dettaglio secondo l'approccio di tipo B di Figura 2.16. Un esempio è riportato in Figura 5.2.

5.2.3 Creazione delle griglie dei modelli Local

Occorre creare la nuova griglia di discretizzazione riferita al modello locale. La procedura è valida sia per la costruzione del modello locale sull'areale di Cognento-Modena Sud (modello Tele-Cognento) sia per quello sull'areale di Marzaglia (modello Tele-Marzaglia).

Per il modello Tele-Cognento il dimensionamento del relativo Grid Frame locale è riportato in Figura 5.3 e viene creata la nuova griglia di discretizzazione con passo 20 m, scelta che permette di distinguere tutti i pozzi dell'areale di Cognento. Le nuove triplette Aimag non sono completamente distinte in pianta ma solo in verticale. Percorso analogo viene sviluppato per creare la nuova discretizzazione di dettaglio del modello per la zona di Marzaglia (Figura 5.4).

Figura 5.3: delimitazione del perimetro del modello a scala locale (Cognento e Modena Sud) e creazione del relativo Grid Frame di preparazione della griglia di dettaglio.

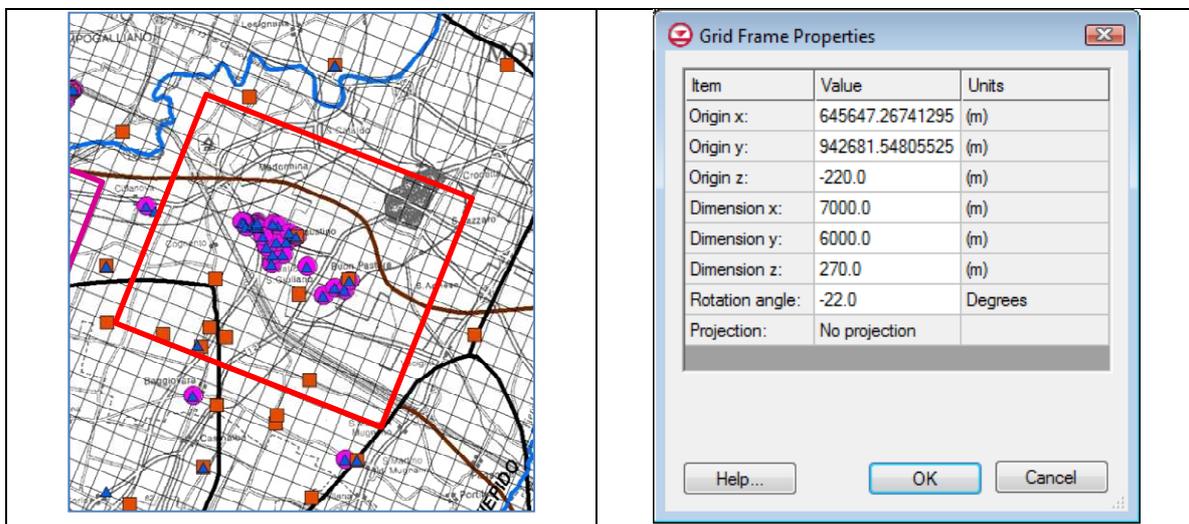


Figura 5.4: delimitazione del perimetro del modello a scala locale (Marzaglia) e creazione del relativo Grid Frame di preparazione della griglia di dettaglio.

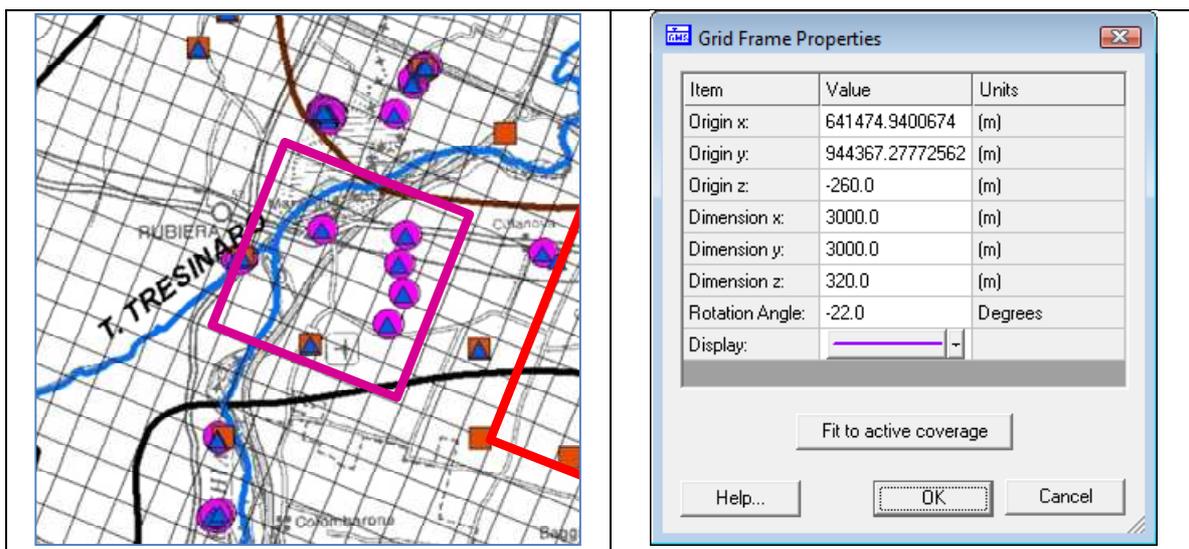
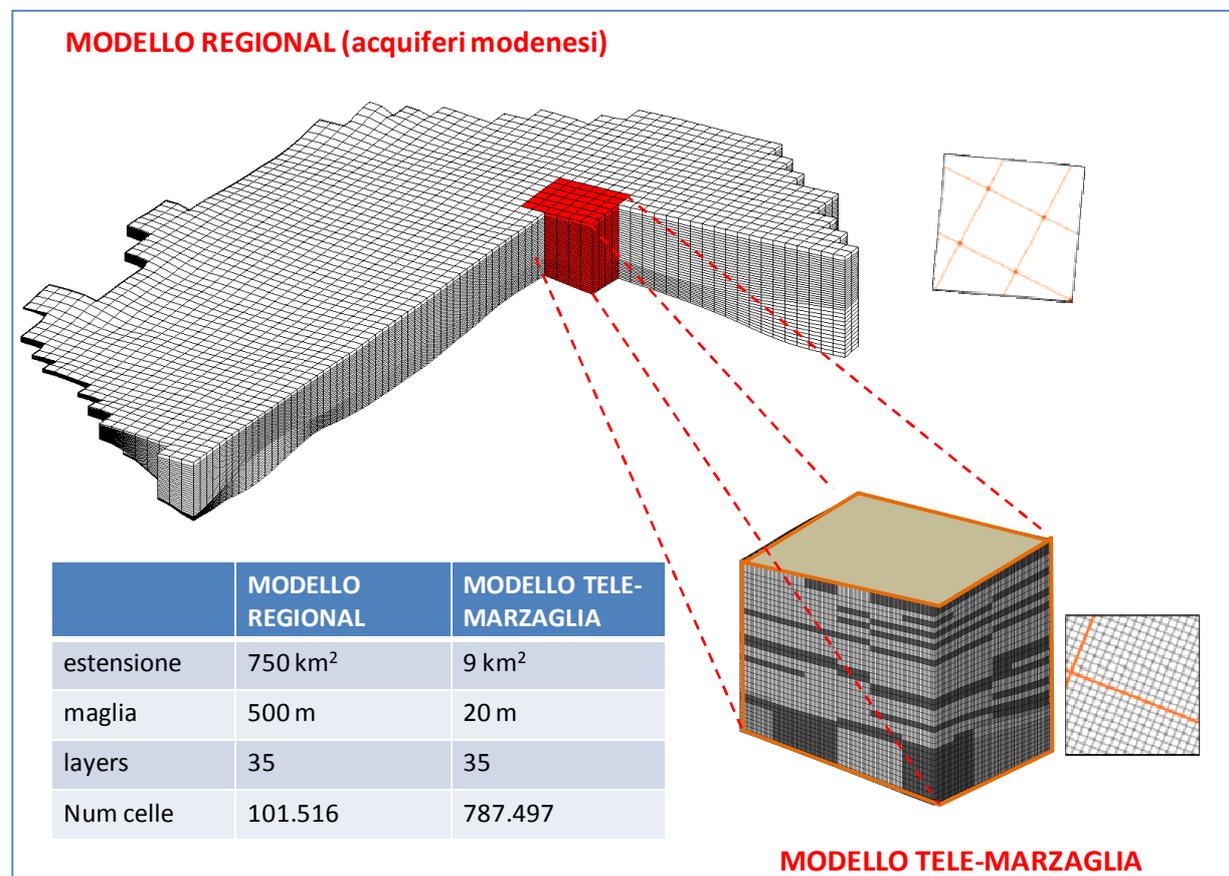
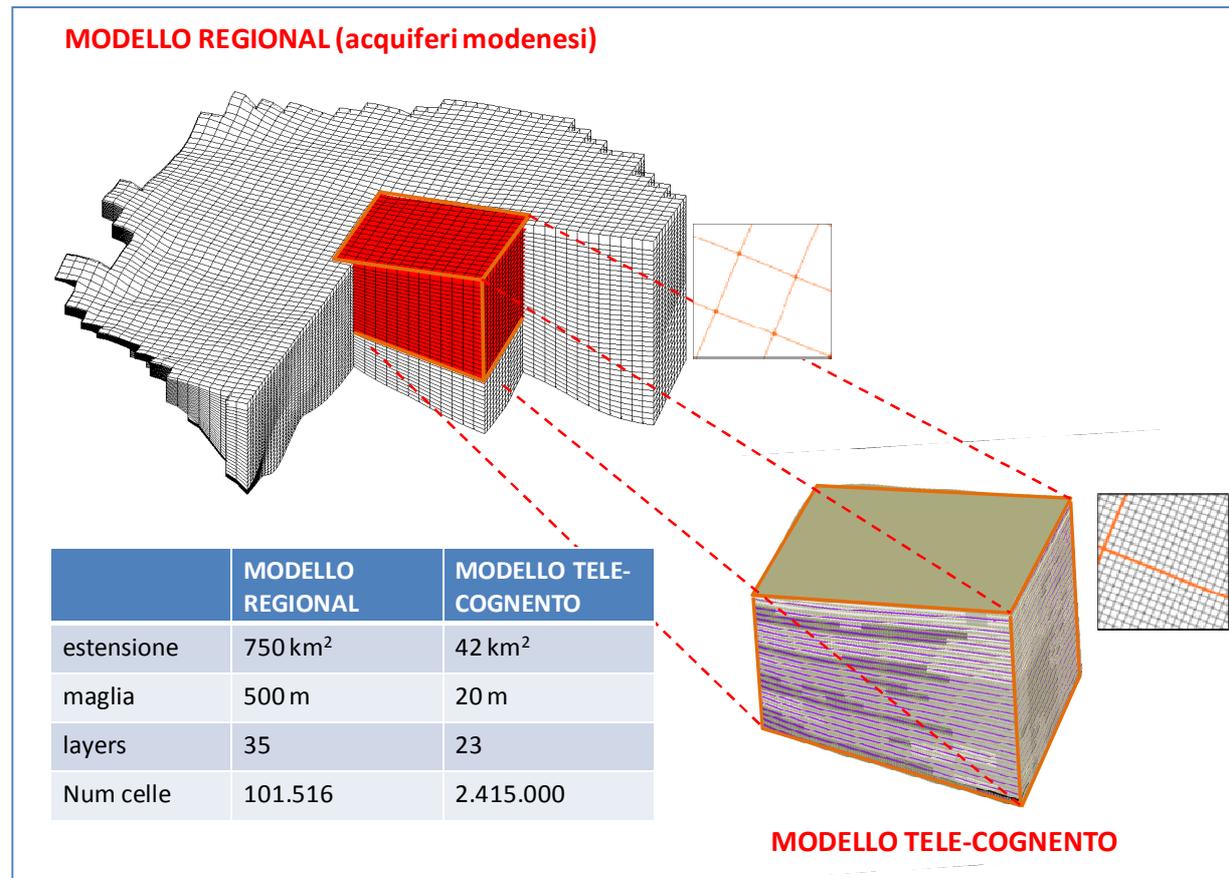


Figura 5.5: Scelta della discretizzazione spaziale per i due modelli *Local* (Tele-Cognento e Tele-Marzaglia) a partire dal modello *Regional* (acquiferi Modenesi); vista 3D. Sintesi



La Figura 5.5 sintetizza e descrive le principali caratteristiche costruttive del nuovo modello creato per la zona di Cognento e Modena Sud (in alto) e del nuovo modello creato per la zona di Marzaglia (in basso).

5.2.4 Implementazione dei dati del modello *Local* a partire dal modello *Regional* e dai dati di partenza

In questa parte del lavoro tutti i dati del modello di partenza (*Regional*) devono essere “proiettati” sulla nuova discretizzazione del modello locale di arrivo (*Local*): geometria, struttura, parametrizzazione, prelievi, ricariche. Sul contorno del modello locale andranno definite le condizioni al contorno a potenziale imposto derivate dal modello generale di partenza.

In questo caso viene adottato un approccio di tipo misto, ovvero scegliendo caso per caso l’approccio ritenuto più opportuno tra quelli descritti al precedente paragrafo 2.3.

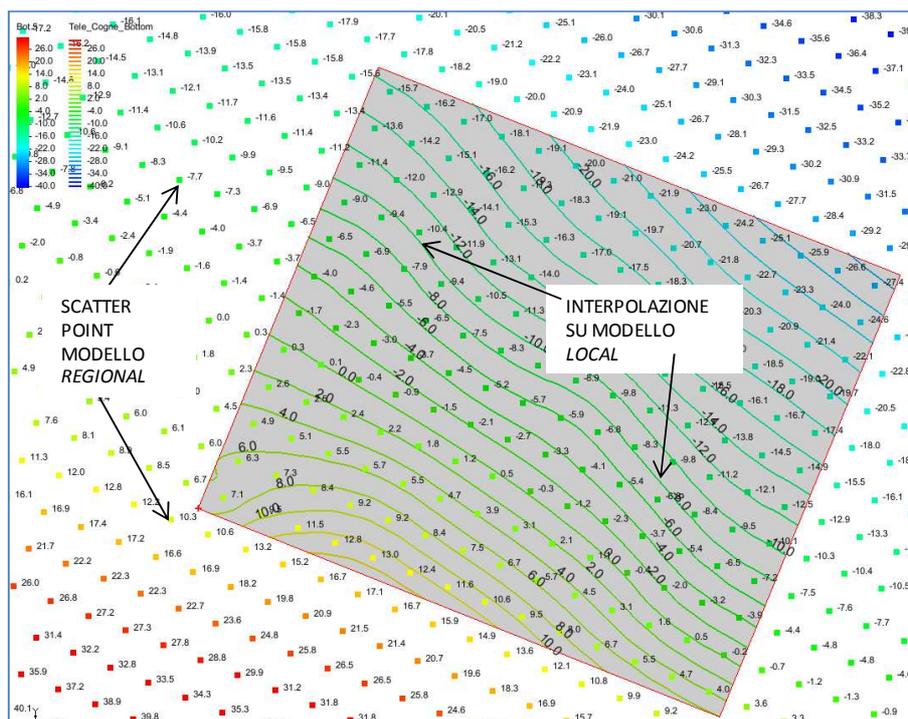
I vari passaggi vengono sinteticamente riportati nei prossimi paragrafi facendo riferimento al solo modello Tele-Cognento. Dal punto di vista metodologico per il Modello Tele-Marzaglia sono stati condotti i medesimi passaggi.

5.2.4.1 Geometria del modello *Local*

I dati dei Top e dei Bottom delle celle a maglia 500 m del modello *Regional* vengono interpolati, layer per layer sulle celle del modello *Local*. (Figura 5.6). In questo modo il modello *Local* assume le geometrie del modello *Regional*.

Viene in questo caso applicato l’approccio B di Figura 2.16. Le basi dei layer del modello *Regional* derivano infatti dalle basi dei gruppi Acquiferi A e B ricostruite a livello regionale dal RIS ([15], Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio, Selca, Firenze.) .

Figura 5.6: risultato dell’interpolazione dei dati della base del layer 5 (da modello *Regional*) sulla base del layer 5 del modello *Local*.

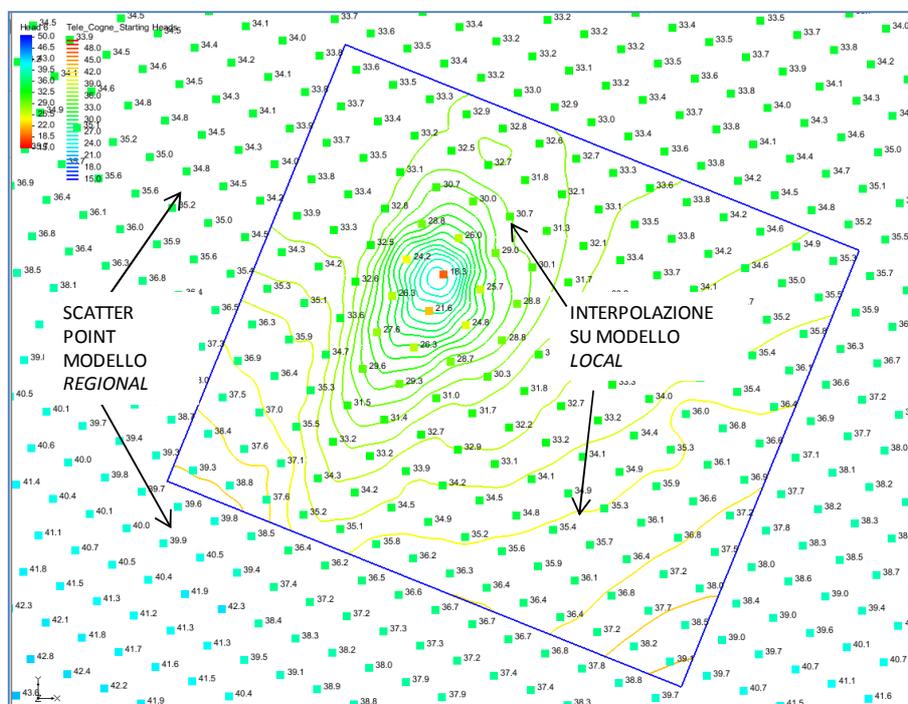


Già nel dettaglio del modello degli acquiferi modenesi erano state ricostruite a loro volta a partire dall'implementazione del modello regionale dell'intero acquifero emiliano romagnolo. Si è quindi ritenuto opportuno adottare lo stesso metodo per l'ulteriore passaggio dal modello degli acquiferi modenesi al modello del campo pozzi di Cognento. L'informazione di partenza sarebbe stata comunque di livello regionale. Inoltre la posizione spostata a valle della zona di interesse per il modello *Local* risulta caratterizzata da gradienti comunque bassi nella pendenza delle superfici di delimitazione degli acquiferi (qualche punto per mille, Figura 5.6).

5.2.4.2 Definizione della condizione iniziale (Starting Heads) per il modello Local

I dati di carico idraulico della soluzione numerica del modello *Regional* vengono interpolati, layer per layer sulle celle del modello *Local* (Figura 5.7). In questo modo il modello *Local* assume come Starting heads il valore della soluzione in regime di moto stazionario del modello *Regional*. Viene anche in questo caso applicato l'approccio B di Figura 2.16.

Figura 5.7: risultato dell'interpolazione dei dati dei carichi idraulici del layer 5 (da modello *Regional*) sulla base del layer 5 del modello *Local*.



5.2.4.3 Definizione della condizione al contorno (legame Regional to Local)

Il modello *Local* assume come condizioni al contorno i carichi idraulici della soluzione del modello *Regional*. Viene condotta l'interpolazione esattamente come al punto precedente ed in questo caso i valori sulle celle appartenenti al contorno del modello *Local* vengono fissati come condizione al contorno di tipo CHD (carico idraulico imposto). La condizione al contorno di tipo CHD può essere in questo modo gestita sia nel caso di simulazione in regime di moto stazionario (una distribuzione di valori CHD costante nel tempo) sia in caso del regime di moto transitorio (dato CHD variabile nel tempo).

5.2.4.4 Importazione dei dati delle litologie

Viene in questo caso applicato l'approccio B di Figura 2.16 ovvero le codifiche litologiche delle maglie 500x500m del modello *Regional*, vengono proiettate sulle maglie 20x20 m del

modello *Local*. Il passaggio della distribuzione delle litologie viene quindi condotto per sovrapposizione delle griglie costituenti le discretizzazioni dei due modelli.

5.2.4.5 Importazione dei dati delle ricariche.

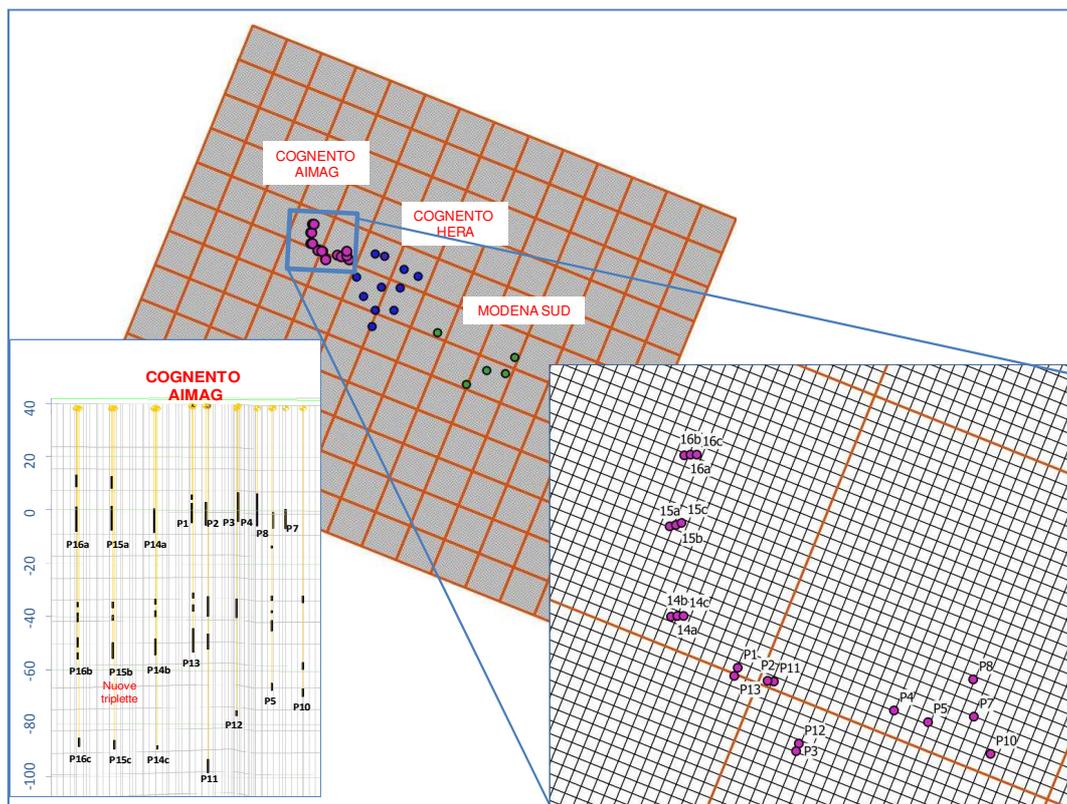
I dati di ricarica meteorica e da fiume da applicare al modello *Local* sono i medesimi presenti nel modello *Regional*. I valori di ricarica inizialmente appartenenti alle celle 500x500 m del modello *Regional* sono espressi in m/s e vengono imposti sulle nuove celle 20x20 m del modello *Local*.

La condizione al contorno di tipo RECHARGE può essere in questo modo gestita sia nel caso di simulazione in regime di moto stazionario (una distribuzione di valori RCH costante nel tempo) si in caso del regime di moto transitorio (dato RCH variabile nel tempo).

5.2.4.6 Importazione dei dati dei prelievi.

In questo caso si ritiene opportuno partire nuovamente dai dati di partenza sui prelievi (ubicazione e profondità dei filtri) in modo da poter attribuire in maniera più corretta questo tipo di informazione cosa di fondamentale importanza ai fini dell'utilizzo richiesto per il modello *Local* (definizione delle aree di salvaguardia con criterio cronologico). L'approccio rispetto allo schema di Figura 2.16 è quindi quello identificato con la lettera A.

Figura 5.8: riattribuzione dei prelievi di acque sotterranee nel modello *Local* Tele-Cognento. Definizione della dimensione della maglia del modello in funzione della distanza tra i pozzi.



La Figura 5.8 evidenzia infatti la necessità di ridimensionamento della maglia del modello *Local* (modello Tele-Cognento) al fine di poter differenziare i vari pozzi appartenenti allo stesso campo pozzi. La figura evidenzia come il modello *Regional* permetta di distinguere solo 3 celle in pianta per l'attribuzione dei pozzi del campo pozzi Aimag di Cognento. Il modello *Local* a maglia 20 m permette di distinguerli invece singolarmente.

La condizione al contorno di tipo WELL può essere in questo modo gestita sia nel caso di simulazione in regime di moto stazionario (portate WELL costanti nel tempo) sia in caso del regime di moto transitorio (portate WELL variabili nel tempo).

5.3 Verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*

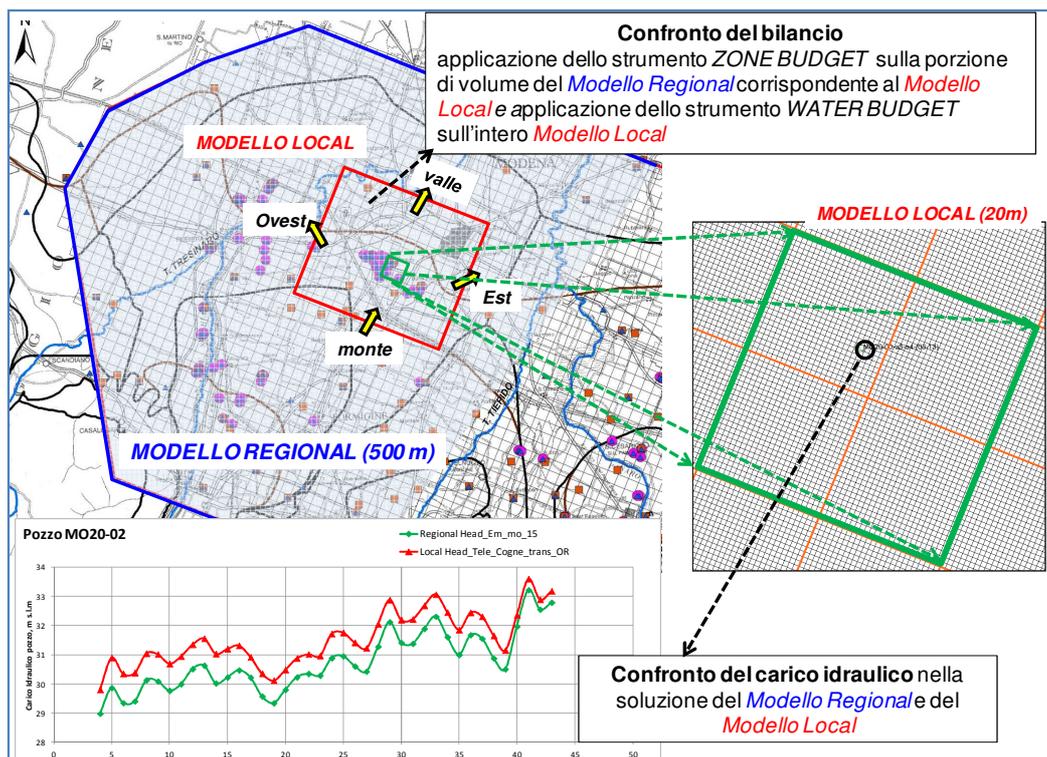
I passaggi descritti al precedente paragrafo 5.2, hanno permesso di effettuare la discesa di scala telescopica dal modello *Regional* corrispondente al modello degli acquiferi modenesi ai due modelli *Local* riferiti il primo all'areale dei campi pozzi di Cognento e Modena Sud, il secondo all'areale di Marzaglia.

Ulteriore passaggio necessario è la verifica del comportamento del modello *Local* che deve essere il più possibile coerente con quello del modello *Regional* di partenza, ovviamente tenendo conto delle possibili diversità indotte proprio dalla discesa di scala operata per la costruzione del modello *Local*. La coerenza deve essere valutata sia in termini di carico idraulico, sia in termini di bilancio (flussi di acqua) paragonando in questo caso le voci di bilancio in ingresso ed in uscita dei due modelli. Tale verifica è stata condotta separatamente per i due modelli *Local* e per completezza la verifica è stata estesa anche al regime di moto transitorio.

5.3.1 Verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local* Tele-Cognento

La Figura 5.9 evidenzia i rapporti dimensionali tra i due modelli. Il modello *Local* copre circa il 6% dell'estensione del modello *Regional* che viene quindi ridefinito con una discretizzazione 1/25 rispetto a quella del modello di partenza.

Figura 5.9: modello Tele-Cognento: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del carico idraulico e del bilancio calcolati dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli.



Nelle successive figure (Figura 5.10 e Figura 5.11) è riportato il confronto dei carichi idraulici per i due modelli in regime di moto transitorio. Nella successiva Figura 5.14 il medesimo confronto viene effettuato per la versione in stazionario dei due modelli.

Figura 5.10: modello Tele-Cogno: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del carico idraulico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local* su alcuni punti di controllo. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli.

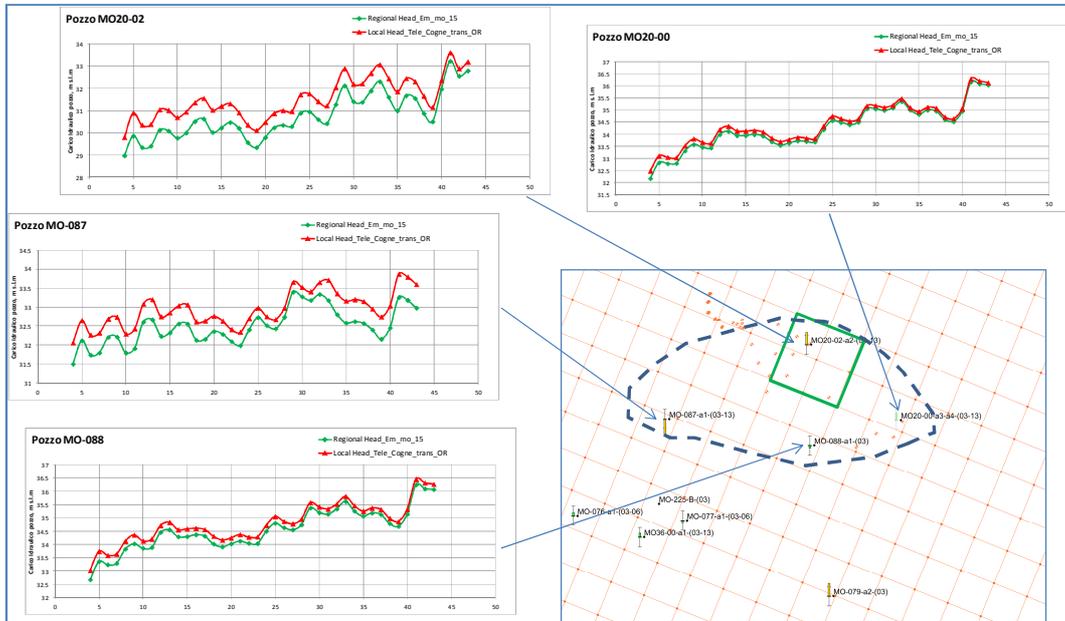


Figura 5.11: modello Tele-Cogno: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del carico idraulico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local* su alcuni punti di controllo. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli.

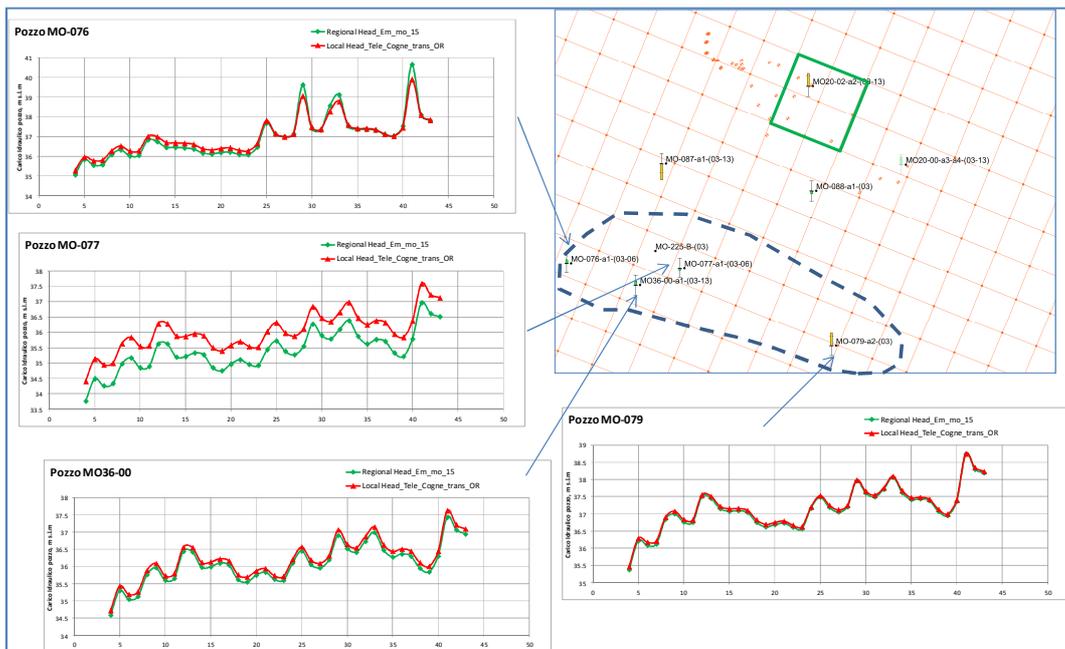


Figura 5.12: modello Tele-Cognento: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del bilancio idrogeologico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli.

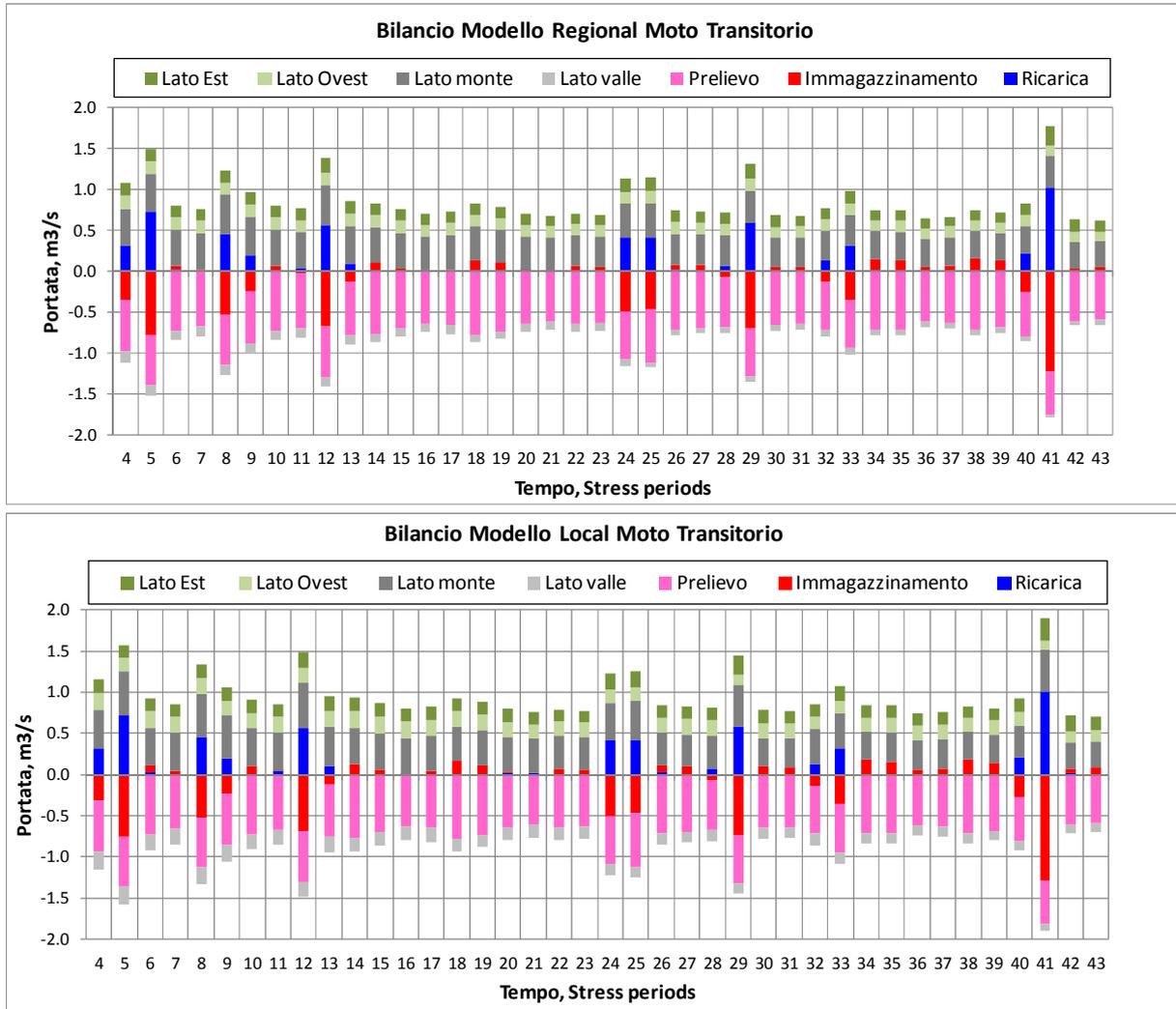


Figura 5.13: modello Tele-Cognento: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del bilancio idrogeologico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli. Confronto dei valori mediati nel tempo.

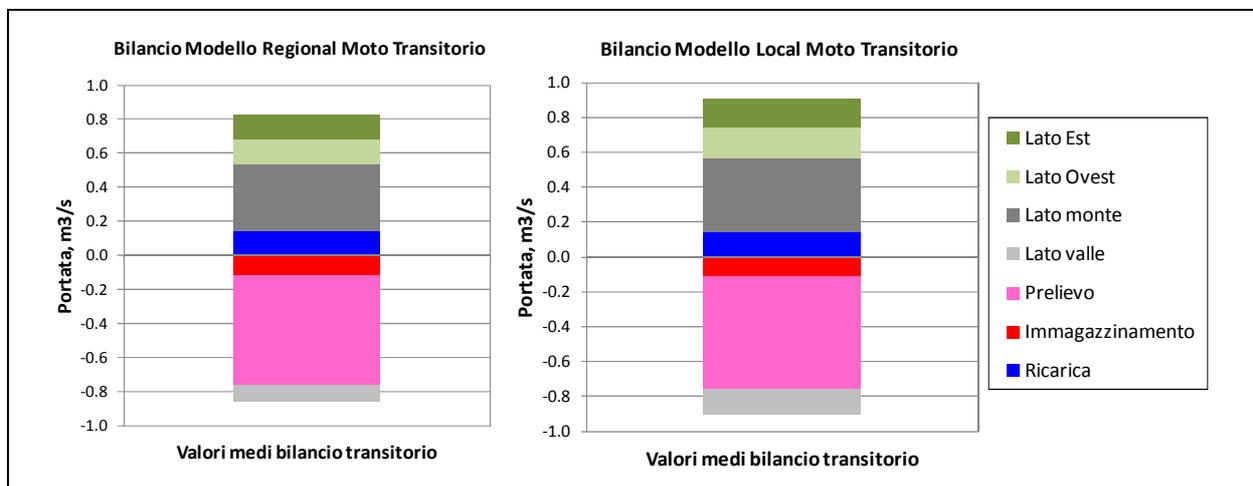


Figura 5.14: modello Tele-Cognento: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del carico idraulico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local* su alcuni punti di controllo. Regime di moto stazionario per entrambi i modelli.

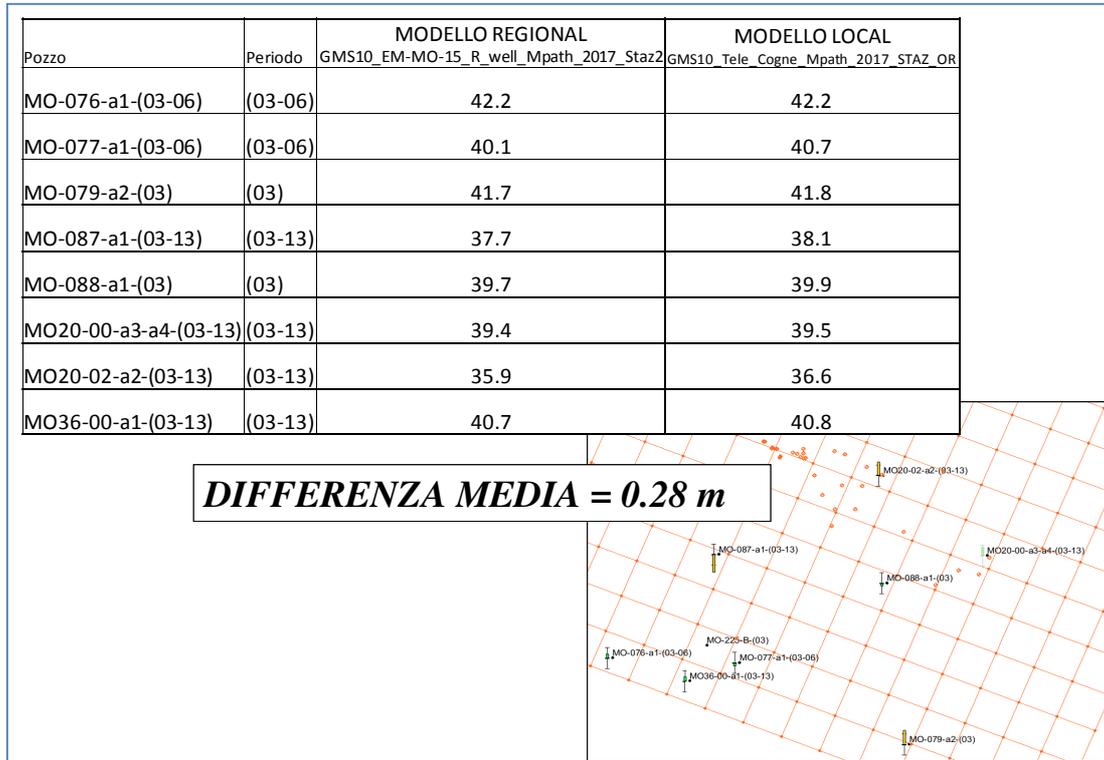
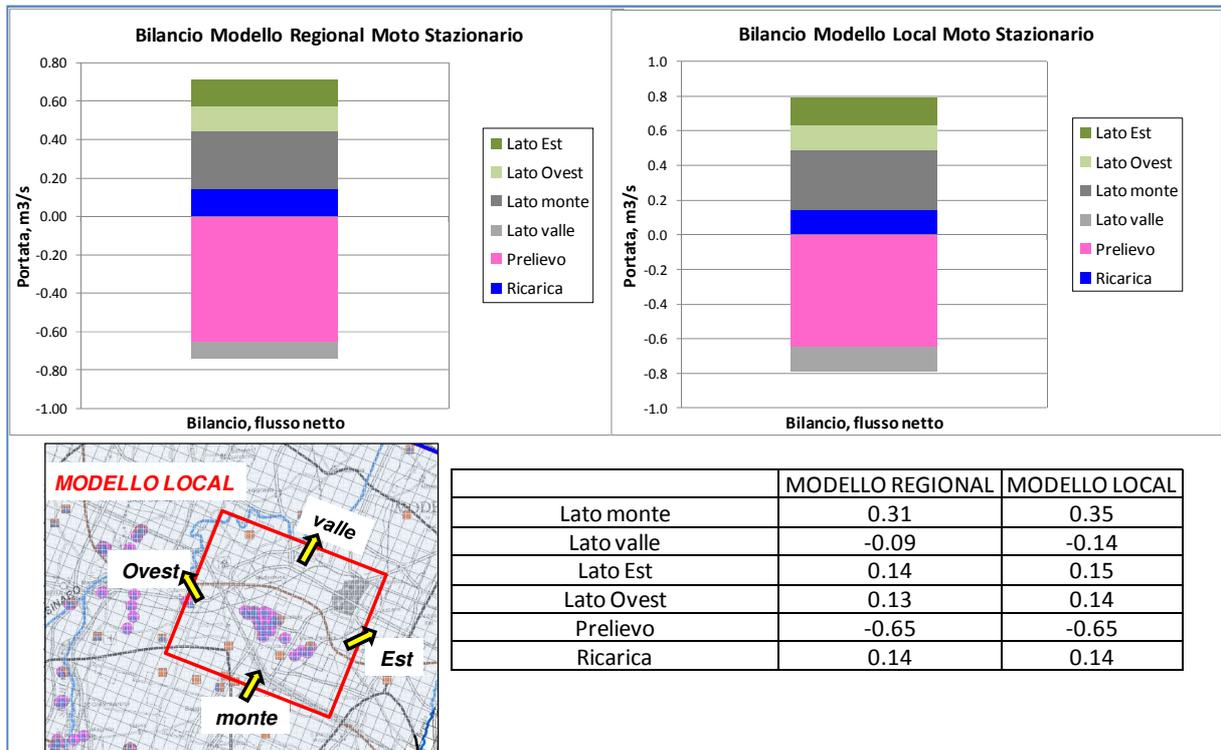


Figura 5.15: modello Tele-Cognento: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del bilancio idrogeologico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto stazionario per entrambi i modelli.



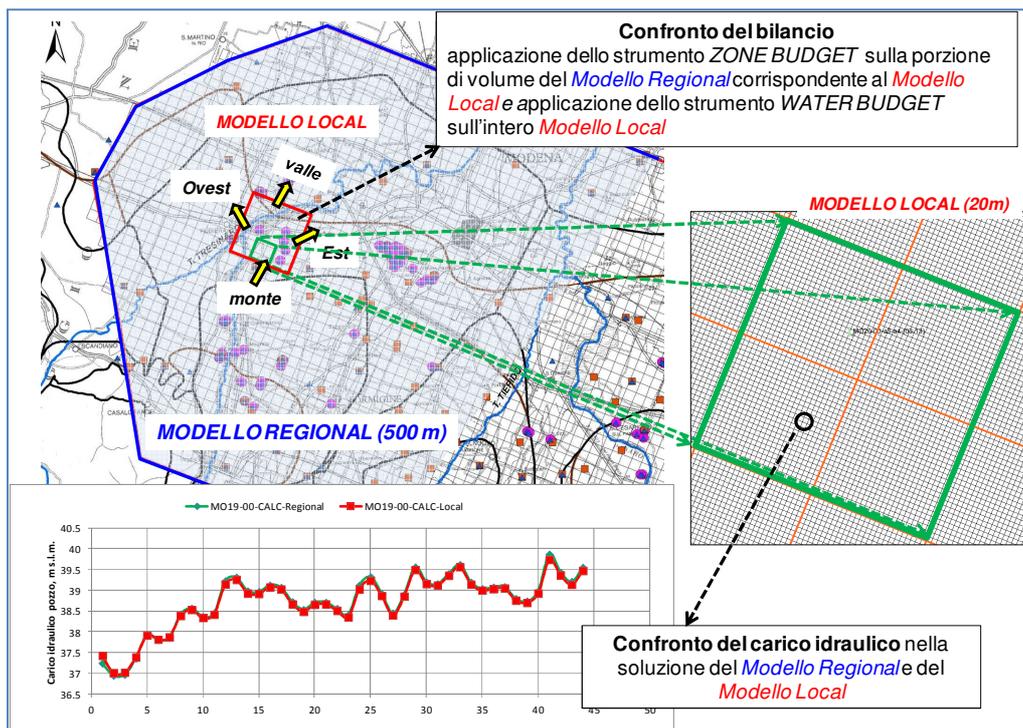
Dai confronti si nota che gli andamenti dei carichi idraulici sono i medesimi, con solo differenze assolute dei valori, variabili a seconda dei punti di controllo e comunque per lo più contenute entro il metro. Ciò anche in ragione della relativa distanza tra i pozzi in prelievo e i pozzi di controllo una volta proiettati sulla diversa discretizzazione spaziale.

Nelle precedenti figure (Figura 5.12, Figura 5.13 e Figura 5.15), i medesimi confronti vengono effettuati in termini di bilancio idrogeologico secondo lo schema di calcolo riportato in Figura 5.9 e si può notare la netta somiglianza nei due casi.

5.3.2 Verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local Tele-Marzaglia*

La Figura 5.16 evidenzia i rapporti dimensionali tra i due modelli. Il modello *Local* copre circa l' 1.2% dell'estensione del modello *Regional* che viene quindi ridefinito con una discretizzazione 1/25 rispetto a quella del modello di partenza. Anche in questo caso viene confermata un ottimo livello di sovrapposizione della distribuzione del carico idraulico ottenuta dalle soluzioni del modello *Local* e del modello *Regional* (Figura 5.16).

Figura 5.16: modello Tele-Marzaglia: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del carico idraulico e del bilancio calcolati dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli.



Nelle successive figure (Figura 5.17, Figura 5.18 e Figura 5.19) i medesimi confronti vengono effettuati in termini di bilancio idrogeologico secondo lo schema di calcolo riportato in Figura 5.16. In regime di moto transitorio (40 stress periods e media degli stessi) ed in regime di moto stazionario. Si può notare che tali bilanci sono molto simili tra loro.

Figura 5.17: modello Tele-Marzaglia: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del bilancio idrogeologico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli.

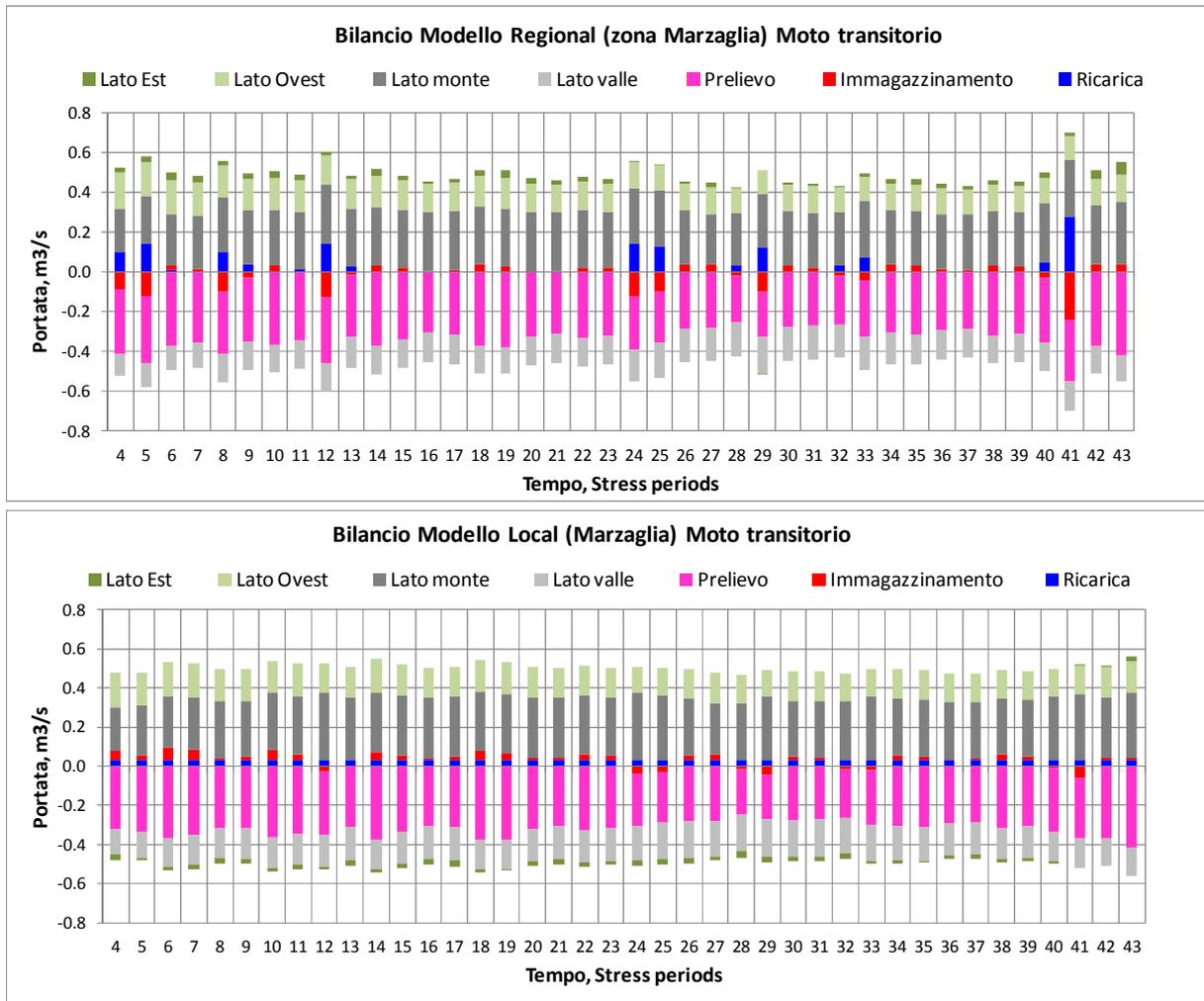


Figura 5.18: modello Tele-Marzaglia: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del bilancio idrogeologico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto transitorio per entrambi i modelli. Confronto dei valori mediati nel tempo.

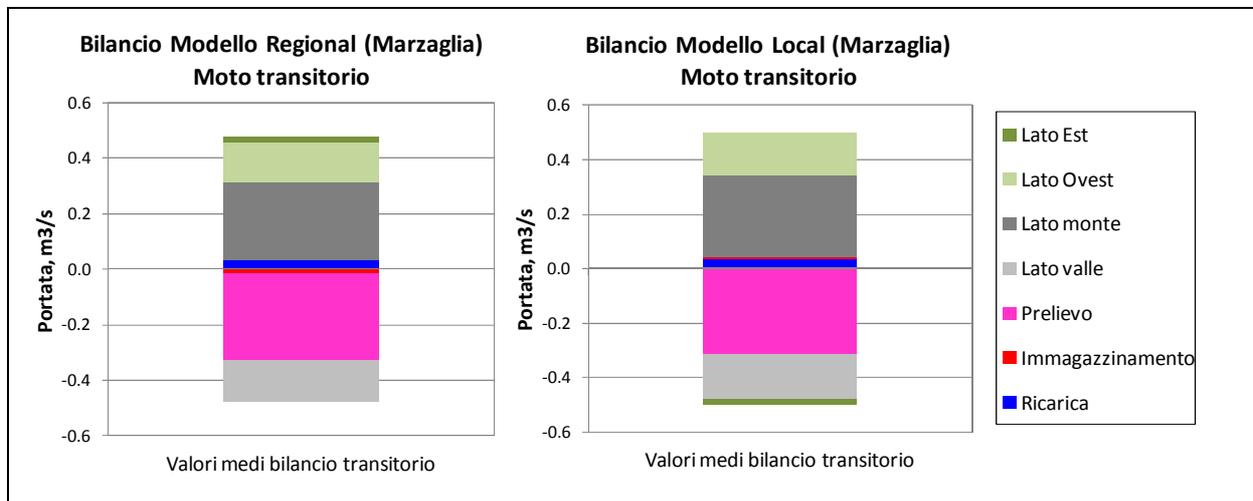
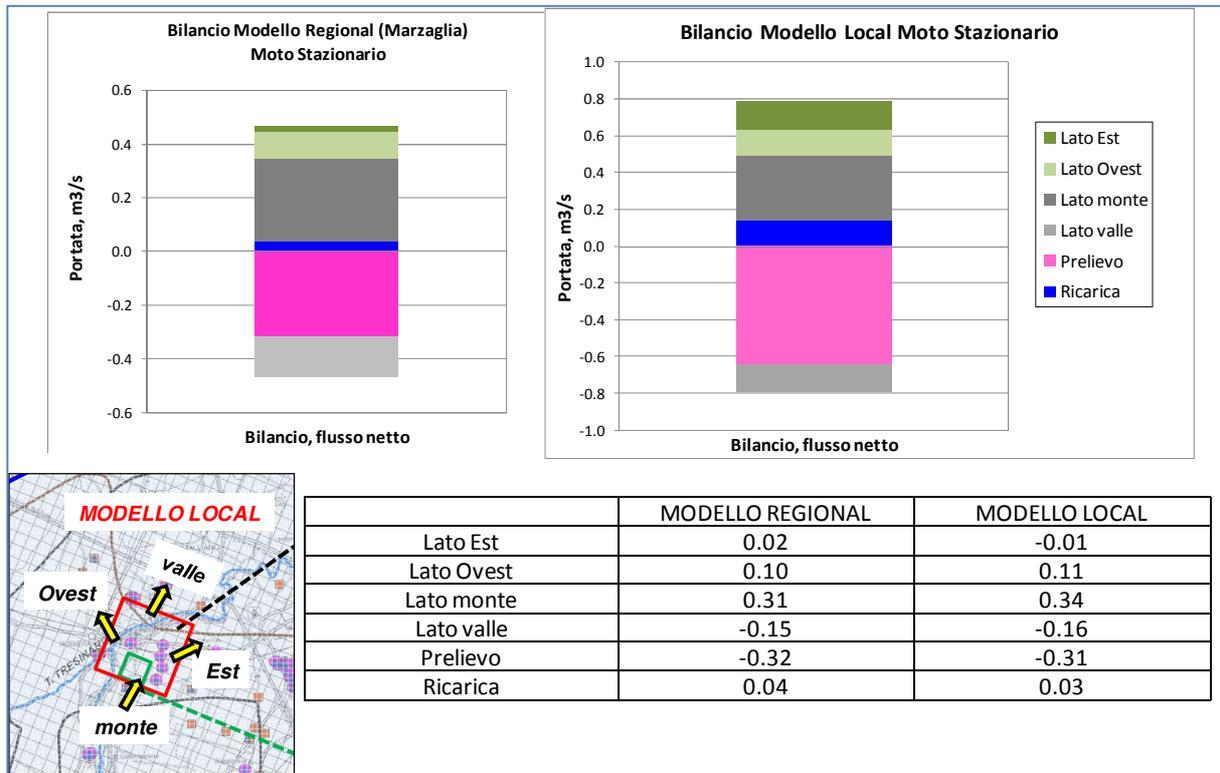


Figura 5.19: modello Tele-Marzaglia: verifica della consistenza tra il modello *Regional* ed il modello *Local*. Confronto del bilancio idrogeologico calcolato dal modello *Regional* e dal modello *Local*. Regime di moto stazionario per entrambi i modelli.



6 Esecuzione del *particle tracking* nella nuova configurazione del modello e tracciamento delle isocrone per i campi pozzi.

Le attività condotte e descritte nei precedenti paragrafi hanno portato alla implementazione di due modelli di tipo *Local*, quindi con una scala spaziale adeguata all'esecuzione del *particle tracking* (tracciamento delle particelle) finalizzato alla delimitazione delle isocrone relative ai pozzi e campi pozzi oggetto di studio. Viene qui richiamato nuovamente il fatto che i modelli di maggior dettaglio così ottenuti consentono ora di:

1. minimizzare l'approssimazione dovuta alla effettiva posizione del pozzo in prelievo all'interno del modello numerico;
2. mantenere distinti i pozzi in prelievo vicini tra loro e appartenenti ai campi pozzi oggetto di studio;
3. effettuare il tracciamento delle particelle dei pozzi in prelievo anche per tempi di percorrenza relativamente brevi (60 giorni nel nostro caso),

e quindi di superare le problematiche precedentemente evidenziate al paragrafo 2.1.1.

Sono quindi ora disponibili i due modelli numerici di flusso delle acque sotterranee denominati rispettivamente modello Tele-Cogmento e modello Tele-Marzaglia rappresentati nella precedente Figura 5.5 nella loro discesa di scala effettuata a partire dal modello degli acquiferi modenesi.

6.1 Modalità di esecuzione del tracciamento delle particelle

I due modelli sono stati utilizzati per il tracciamento delle particelle (esecuzione del *particle tracking*) in arrivo sui pozzi acquedottistici oggetto di studio facendo riferimento agli elementi che vengono di seguito riportati.

Le simulazioni sono state condotte in regime di moto stazionario. La condizione al contorno imposta sul bordo del modello *Local* deriva dalla soluzione del modello *Regional* condotta per le medesime condizioni di prelievo (si veda a tal proposito quanto descritto al precedente paragrafo 5.2.4.3).

I prelievi a livello di campo pozzi sono quelli indicati in Tabella 6.1, che riprende la precedente Tabella 4.9 già utilizzata per l'esecuzione del *particle tracking* sul modello a scala più ampia (modello *Regional*). I prelievi complessivi rimangono infatti inalterati nei due casi. Le simulazioni vengono condotte utilizzando il valore riportato nell'ultima colonna (PGest) che traduce in termini di portata (litri al secondo, L/s) il volume annuale posto in concessione. La tabella pone a confronto tale valore con il prelievo massimo (istantaneo per il campo pozzi derivante dalla somma dei prelievi massimi autorizzati sui singoli pozzi) ed un prelievo medio che in questo caso si riferisce ai 10 anni compresi tra il 2004 ed il 2013.

Tabella 6.1: Portate e volumi di riferimento complessivi per i campi pozzi di Cognento, Modena Sud e Marzaglia.

	Portata massima concessione Pmax (L/s)	Portata Media EM-MO-15 Pmed (L/s)	Volume Concessione PGest (L/s)
Pozzi Hera Cognento	678	272.9 75%PGest 40%Pmax	363 54%Pmax
Pozzi Aimag (esistenti)	533	294.6 96%PGest 41%Pmax	306.4 43%Pmax
Pozzi Aimag Nuove Triplette	185		
Pozzi Modena Sud	251	27.7 18%PGest 11%Pmax	153 61%Pmax
Pozzi Marzaglia	505	306.9 86%PGest 60%Pmax	380.5 75%Pmax

La suddivisione del prelievo (PGest) del campo pozzi sui singoli pozzi è stata definita dai Gestori (Hera ed Aimag) in accordo con Atersir, sulla base di specifiche considerazioni di tipo gestionale ed operativo; ai fini del tracciamento delle particelle e della definizione delle relative aree di influenza dei pozzi, si è ritenuto opportuno realizzare una seconda configurazione di prelievo di dettaglio sui singoli pozzi. Le due varianti denominate

rispettivamente PGest1 e PGest2 sono riportate nelle tabelle (da Tabella 6.2 a Tabella 6.6 per i singoli campi pozzi) ed occorre evidenziare come la seconda configurazione di prelievo PGest2, alternativa alla precedente PGest1, differisca dalla prima nel seguente modo:

1. per il campo pozzi Aimag di Cognento è prevista l'attivazione delle nuove triplette (supposte non attive nello scenario gestionale PGest1), quindi parte del prelievo complessivo viene ridistribuita anche sui nuovi pozzi di più recente costruzione; in egual misura vengono abbassati i prelievi inizialmente previsti nello scenario PGest1 sui pozzi Aimag di Cognento già esistenti; lo scenario inizialmente fornito da Aimag (di carattere puramente gestionale di utilizzo futuro delle nuove triplette all'interno dell'intero campo pozzi) prevedeva lo spostamento di circa 55 L/s sulle triplette pari a circa il 18% del prelievo in concessione (PGest). In accordo con le indicazioni fornite da Aimag è stata successivamente realizzata una seconda ripartizione del prelievo complessivo sui pozzi P di Aimag a Cognento riportata nella Tabella 6.2 e nella Tabella 6.3 per una portata complessiva trasferita sulle triplette pari a 100 L/s. Tali indicazioni hanno riguardato la necessità di mantenimento in funzione dei pozzi P1-P2, P3 e P4 che nell'esperienza acquisita garantiscono il rispetto della qualità delle acque estratte a livello di intero campo pozzi, e dei pozzi P11 e P13 caratterizzati dalla più bassa concentrazione di Nitrati. La ripartizione dei 100 litri/secondo sulle triplette ha tenuto invece conto della modulazione già fornita da Aimag e delle diverse potenzialità dei pozzi riconosciute a valle delle prove di portata eseguite sui singoli pozzi; di conseguenza i pozzi P5, P7, P8 e P12 sono stati considerati spenti nel nuovo scenario PGest2;
2. per il campo pozzi di Marzaglia le indicazioni fornite da Hera hanno previsto invece una diversa priorità di attivazione dei due pozzi posti più a Sud (pozzo C3 e pozzo C4) che funzionano quindi in modo alternativo; i pozzi principali C1 e C2 sono stati considerati con equal funzionamento nei due scenari gestionali.

Tabella 6.2: pozzi di Cognento Aimag pozzi esistenti: ripartizione del prelievo del campo pozzi sui singoli pozzi. Scenari gestionali PGest1 e PGest2 e confronto con le portate di riferimento (portata massima e portata media del decennio 2004-2013).

Campo pozzi	Pozzo	L/s	L/s	L/s	L/s
		Pmed	PGest1	PGest2	Pmax
Aimag pozzi esistenti	P1	38.6	53	44	54
	P2	16.7	18	15	20
	P3	28.1	50	40	65
	P4	15.5	15	14	55
	P5	18.4	13	0	45
	P6	0.0	0	0	0
	P7	8.6	0.4	0	69
	P8	39.6	34	0	74
	P9	0.0	0	0	0
	P10	23.0	0	0	0
	P11	50.4	49	49	60
	P12	42.9	30	0	31
	P13	12.8	44	44	60
Totale		294.6	306.4	206.0	533.0

Tabella 6.3: pozzi di Cognento Aimag nuove triplette: ripartizione del prelievo sui singoli pozzi. Scenari gestionali PGest1 (triplezze non attive) e PGest2 (triplezze attive) e confronto con la portata massima.

Campo pozzi	Pozzo	L/s	L/s	L/s	L/s
		Pmed	PGest1	PGest2	Pmax
Aimag nuove triplette	P14A	-	0.0	3.8	31
	P15A	-	0.0	9.4	31
	P16A	-	0.0	20.7	31
	P14B	-	0.0	24.5	22
	P15B	-	0.0	18.8	22
	P16B	-	0.0	18.8	22
	P14C	-	0.0	1	8
	P15C	-	0.0	2	8
	P16C	-	0.0	1	8
Totale		-	0.0	100.0	185

Tabella 6.4: pozzi di Cognento Hera: ripartizione del prelievo sui singoli pozzi. Scenario gestionale unico PGest (PGest1 coincidente con PGest2) e confronto con le portate di riferimento (portata massima e portata media del decennio 2004-2013).

Campo pozzi	Pozzo	L/s	L/s	L/s
		Pmed	PGest1 e PGest2	Pmax
Hera Cognento	A1	6.6	10.5	64
	A2	6.3	5.3	32
	A3	4.0	15.5	94
	A5	51.5	67.0	67
	A6	26.2	31.0	31
	A7	68.1	68.0	68
	A8	1.8	8.4	51
	A9	60.6	84.0	84
	A10	4.3	7.7	47
	A11	26.7	51.0	51
	A12	16.8	14.6	89
	Totale		272.9	363.0

Tabella 6.5: pozzi di Modena Sud: ripartizione del prelievo sui singoli pozzi. Scenario gestionale unico PGest (PGest1 coincidente con PGest2) e confronto con le portate di riferimento (portata massima e portata media del decennio 2004-2013).

Campo pozzi	Pozzo	L/s	L/s	L/s
		Pmed	PGest1 e PGest2	Pmax
Hera Modena Sud	B1	4.4	61.0	61
	B2	11.2	45.0	45.0
	B3	5.4	16.2	50.0
	B4	2.7	14.6	45.0
	B5	4.1	16.2	50.0
Totale		27.7	153.0	251.0

Tabella 6.6: pozzi di Marzaglia (Hera) e pozzo Marzaglia ripartizione del prelievo sui singoli pozzi. Scenari gestionali PGest1 e PGest2 (avvicendamento pozzi C3 e C4) e confronto con le portate di riferimento (portata massima e portata media del decennio 2004-2013).

Campo pozzi	Pozzo	L/s	L/s	L/s	L/s
		Pmed	PGest1	PGest2	Pmax
Hera Marzaglia	C1	163.7	200.0	200.0	200.0
	C2	72.2	118.4	118.4	200.0
	C3	67.3	56.2	0.0	95.0
	C4	3.7	0.0	56.2	
POZZO MARZAGLIA		0.0	5.9	5.9	10.0
Totale		306.9	380.5	380.5	505.0

La suddivisione del prelievo dei singoli pozzi all'interno del modello numerico (sia Tele-Cogmento sia Tele-Marzaglia) è stata realizzata secondo gli schemi di distribuzione percentuale già descritti al precedente paragrafo 4.2 (da Tabella 4.4 a Tabella 4.8). I risultati ottenuti in relazione ai due scenari gestionali realizzati sono riportati nella Tabella 6.7 e nella Tabella 6.8 per i pozzi dell'areale di Cogmento e Modena Sud, e nella Tabella 6.9 e nella Tabella 6.10 per i pozzi dell'area di Marzaglia.

Il tracciamento delle particelle è stato condotto per le celle riportate in Tabella 6.11 per tutti i campi pozzi oggetto di studio. Per confronto con la precedente Tabella 4.3 si nota ora come la nuova discretizzazione spaziale permetta di distinguere uno ad uno i singoli pozzi. In ogni tripletta (P14, P15 e P16) due pozzi risultano attribuiti alla stesse celle in pianta ma sono distinguibili in quanto attribuiti a layer diversi del modello. Il terzo pozzo viene invece attribuito alla cella limitrofa. Complessivamente il numero di celle oggetto di tracciamento è stato pari a 105: 31 per ciascun campo pozzi di Cogmento (Aimag ed Hera rispettivamente), 14 per il campo pozzi di Modena Sud e 29 per quello di Marzaglia (comprese le due celle del pozzo Marzaglia). All'interno di ciascuna di esse è stato adottato lo schema di Figura 2.4 (caso a) con un numero di particelle tracciate pari a 125 per ciascuna cella.

Nelle figure da Figura 6.1 a Figura 6.4 sono riportati i dati di conducibilità idraulica derivanti dalle prove di portata disponibili (compresi i dati sulle nuove triplette [2]), e caratterizzanti i principali litotipi presenti all'interno dei modelli numerici. I valori di riferimento utilizzati per le simulazioni sono i seguenti e rappresentano mediamente la parametrizzazione degli orizzonti poroso-permeabili principali sedi degli acquiferi oggetto di prelievo; un valore di porosità pari a 0.2 è stato ritenuto cautelativo in funzione del successivo tracciamento delle particelle.

Modello	Kh(m/s); Kv=1/10 Kh	Porosità
Tele Cogmento	3 E-3	0.2
Tele Marzaglia	1 E-3	0.2

I tempi di percorrenza utilizzati per il *particle tracking* sono stati fissati pari a 60, 180 e 365 giorni definendo così per ogni pozzo 3 principali isocrone di riferimento per tre diversi tempi di sicurezza; questi tempi di sicurezza possono poi essere associati alla definizione delle zone di rispetto ristrette (isocrona a 60 giorni) o allargate (180 o 365 giorni) a seconda del livello di protezione dell'acquifero. In ogni caso le linee isocrone possono essere utilizzate come linee di riferimento per la definizione della protezione dinamica dei campi pozzi.

Nelle elaborazioni che seguiranno si farà sempre riferimento ai tre tempi di sicurezza adottati.

Tabella 6.7: suddivisione dei prelievi acquedottistici lungo la verticale all'interno del modello Tele-Cognento. Scenario Gestionale PGest1.

Pozzo	Layer del modello														Totale
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
P1			53.0												53.0
P2			18.0												18.0
P3			50.0												50.0
P4			15.0												15.0
P5						2.1	6.2	2.8			1.9				13.0
P6											0.0				0.0
P7			0.4												0.4
P8			34.0												34.0
P9			0.0												0.0
P10						0.0					0.0				0.0
P11							18.5	16.6						13.8	49.0
P12						0.0	23.7					6.3			30.0
P13							14.8	29.2							44.0
P14A			0.0												0.0
P14B							0.0	0.0							0.0
P14C													0.0		0.0
P15A	0.0		0.0												0.0
P15B							0.0	0.0							0.0
P15C													0.0		0.0
P16A	0.0		0.0												0.0
P16B							0.0	0.0							0.0
P16C													0.0		0.0
Aimag Cognento	0.0	0.0	170.4	0.0	0.0	2.1	63.3	48.6	0.0	1.9	0.0	6.3	0.0	13.8	306.4
A1					5.3	5.2									10.5
A2						5.3									5.3
A3			5.2		2.7	2.2		2.0				1.7	1.7		15.6
A5					22.3			44.7							67.0
A6					15.5	15.5									31.0
A7					23.4	16.4		18.8					9.4		68.0
A8			2.1			2.8		3.5							8.4
A9						42.0		42.0							84.0
A10					1.5	3.1	3.1								7.7
A11						34.0	17.0								51.0
A12				4.9	3.1	3.1	3.5								14.6
Hera Cognento	0.0	0.0	7.3	4.9	73.9	129.6	23.5	111.0	0.0	0.0	0.0	1.7	11.1	0.0	363.1
B1				21.4	14.9	7.3	10.9					6.5			61.0
B2					17.1	9.4	18.5								45.0
B3				10.1		6.1									16.2
B4				7.3		7.3									14.6
B5					12.1	4.1									16.2
Hera Mo Sud	0.0	0.0	0.0	38.8	44.2	34.1	29.4	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	153.0

Tabella 6.8: suddivisione dei prelievi acquedottistici lungo la verticale all'interno del modello Tele-Cognento. Scenario Gestionale PGest2.

Pozzo	Layer del modello														Totale
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
P1			44.0												44.0
P2			15.0												15.0
P3			40.0												40.0
P4			14.0												14.0
P5						0.0	0.0	0.0			0.0				0.0
P6											0.0				0.0
P7			0.0												0.0
P8			0.0												0.0
P9			0.0												0.0
P10						0.0					0.0				0.0
P11							18.5	16.6						13.8	49.0
P12						0.0	0.0				0.0				0.0
P13							14.8	29.2							44.0
P14A			3.8												3.8
P14B							10.5	14.0							24.5
P14C													1.0		1.0
P15A	3.1		6.3												9.4
P15B							6.8	12.0							18.8
P15C													2.0		2.0
P16A	6.9		13.8												20.7
P16B							7.9	10.9							18.8
P16C													1.0		1.0
Aimag Cognento	10.0	0.0	136.8	0.0	0.0	0.0	58.5	82.8	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	13.8	306.0
A1					5.3	5.2									10.5
A2						5.3									5.3
A3			5.2		2.7	2.2		2.0				1.7	1.7		15.6
A5					22.3			44.7							67.0
A6					15.5	15.5									31.0
A7					23.4	16.4		18.8					9.4		68.0
A8			2.1			2.8		3.5							8.4
A9						42.0		42.0							84.0
A10					1.5	3.1	3.1								7.7
A11						34.0	17.0								51.0
A12				4.9	3.1	3.1	3.5								14.6
Hera Cognento	0.0	0.0	7.3	4.9	73.9	129.6	23.5	111.0	0.0	0.0	0.0	1.7	11.1	0.0	363.1
B1				21.4	14.9	7.3	10.9					6.5			61.0
B2					17.1	9.4	18.5								45.0
B3				10.1		6.1									16.2
B4				7.3		7.3									14.6
B5					12.1	4.1									16.2
Hera Mo Sud	0.0	0.0	0.0	38.8	44.2	34.1	29.4	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	153.0

Tabella 6.9: suddivisione dei prelievi acquedottistici lungo la verticale all'interno del modello Tele-Marzaglia. Scenario Gestionale PGest1.

Pozzo	C1	C2	C3	C4	P. MARZAGLIA	Totale	
layer del modello	6				2.2	2.2	
	7		8.9			8.9	
	8			3.2		6.9	
	9						
	10		15.2	8.0	0.0	23.2	
	11		11.3		0.0	11.3	
	12	19.3		4.9	0.0	24.2	
	13	19.6		7.2		26.8	
	14	42.9	15.2			58.0	
	15	1.6				1.6	
	16	22.2			0.0	22.2	
	17			10.9	0.0	10.9	
	18		26.9	5.8		32.7	
	19			7.4		7.4	
	20	21.9	11.3			33.1	
	21	33.7				33.7	
	22					0.0	
	23		38.7			38.7	
	24	38.9				38.9	
	Totale	200.0	118.4	56.2	0.0	5.9	380.5

Tabella 6.10: suddivisione dei prelievi acquedottistici lungo la verticale all'interno del modello Tele-Marzaglia. Scenario Gestionale PGest2.

Pozzo	C1	C2	C3	C4	P. MARZAGLIA	Totale	
layer del modello	6				2.2	2.2	
	7			0.0		0.0	
	8			0.0		3.7	
	9						
	10		15.2	0.0	14.1	29.2	
	11		11.3		11.7	23.0	
	12	19.3		0.0	11.7	31.0	
	13	19.6		0.0		19.6	
	14	42.9	15.2			58.0	
	15	1.6				1.6	
	16	22.2			9.4	31.6	
	17			0.0	9.4	9.4	
	18		26.9	0.0		26.9	
	19			0.0		0.0	
	20	21.9	11.3			33.1	
	21	33.7				33.7	
	22						
	23		38.7			38.7	
	24	38.9				38.9	
	Totale	200.0	118.4	0.0	56.2	5.9	380.5

Tabella 6.11: Campi pozzi di Aimag ed Hera a Cognento, di Modena Sud e di Marzaglia, celle attribuite ai pozzi all'interno del modello Tele-Cognento e relativi tracciamenti delle particelle.

Campo pozzi	I_tele_cognento	J_tele_cognento	Nome pozzo	K Modpath
Aimag Cognento	125	99	P1	5
	125	101	P2	5
	129	105	P3	5
	123	111	P4	5
	123	114	P5	8; 9-10; 12
	122	118	P7	5
	119	116	P8	5
	124	120	P10	8; 12
	125	102	P11	9-10; 16
	129	105	P12	9; 14
	126	99	P13	9-10
	123	92	P14A	5
	123	93	P14B	9-10
			P14C	15
	116	89	P15A	3-5
	116	90	P15B	9-10
			P15C	15
	111	88	P16A	3-5
110	89	P16B	9-10	
		P16C	15	
Hera Cognento	117	168	A1	7-8
	115	157	A2	8
	133	129	A3	5; 7-8; 10; 14-15
	113	139	A5	7; 10
	113	136	A6	7-8
	143	138	A7	7-8; 10; 15
	132	147	A8	5; 8; 10
	149	149	A9	8; 10
	144	161	A10	7-8; 9
	124	161	A11	8; 9
	160	153	A12	6-7-8; 9
	Hera Modena Sud	147	194	B1
143		248	B2	7-8; 9
170		225	B5	7-8
156		246	B3	6-8
159		234	B4	6-8
Campo pozzi	I_tele_marzaglia	J_tele_marzaglia	Nome pozzo	K Modpath
Hera Marzaglia e pozzo Marzaglia	52	48	POZZO MARZAGLIA	6-8
	27	104	C1	12-13-14-15-16; 20-21; 24
	51	109	C2	10-11-14; 18-20-23
	72	121	C3	7-8; 10-12-13; 17-18-19
	97	118	C4	10-11-12; 16-17

Figura 6.1: modello Tele-Cognento, dati disponibili relativamente alle prove di portata condotte sui pozzi del campo pozzi di Aimag a Cognento. Valori di conducibilità idraulica.

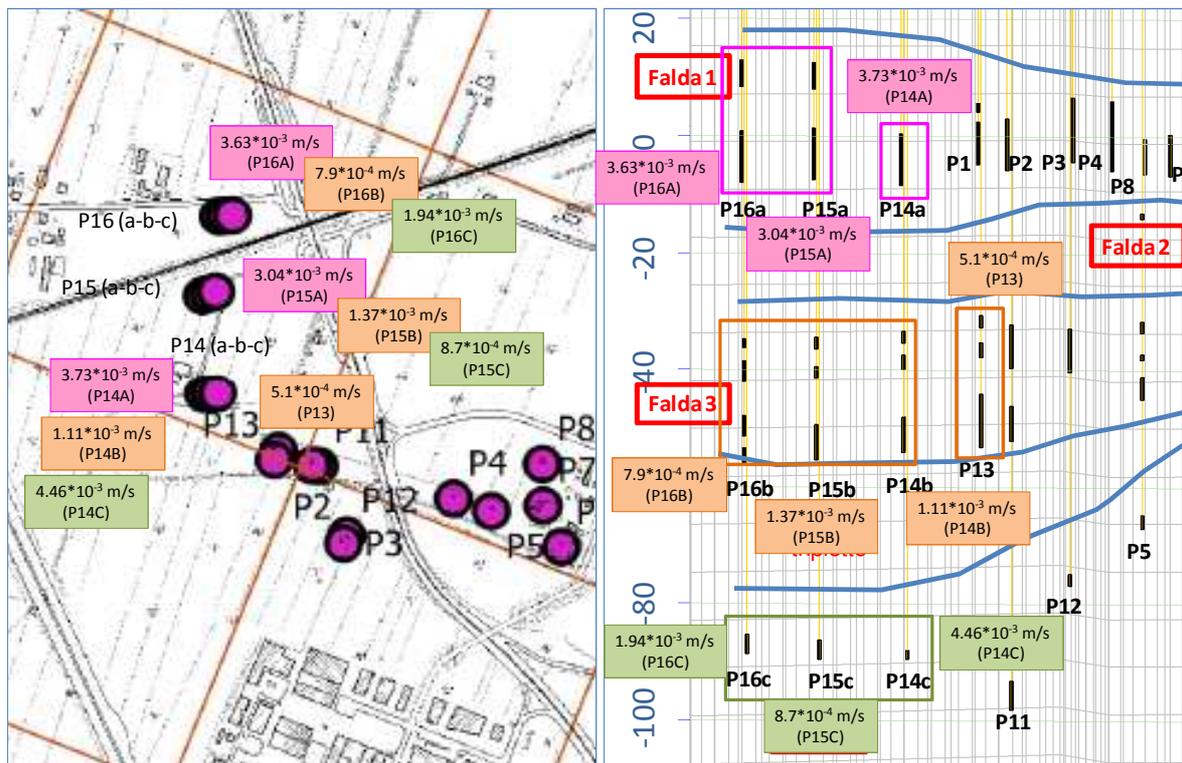


Figura 6.2: modello Tele-Cognento, dati disponibili relativamente alle prove di portata condotte sui pozzi del campo pozzi di Hera a Cognento. Valori di conducibilità idraulica.

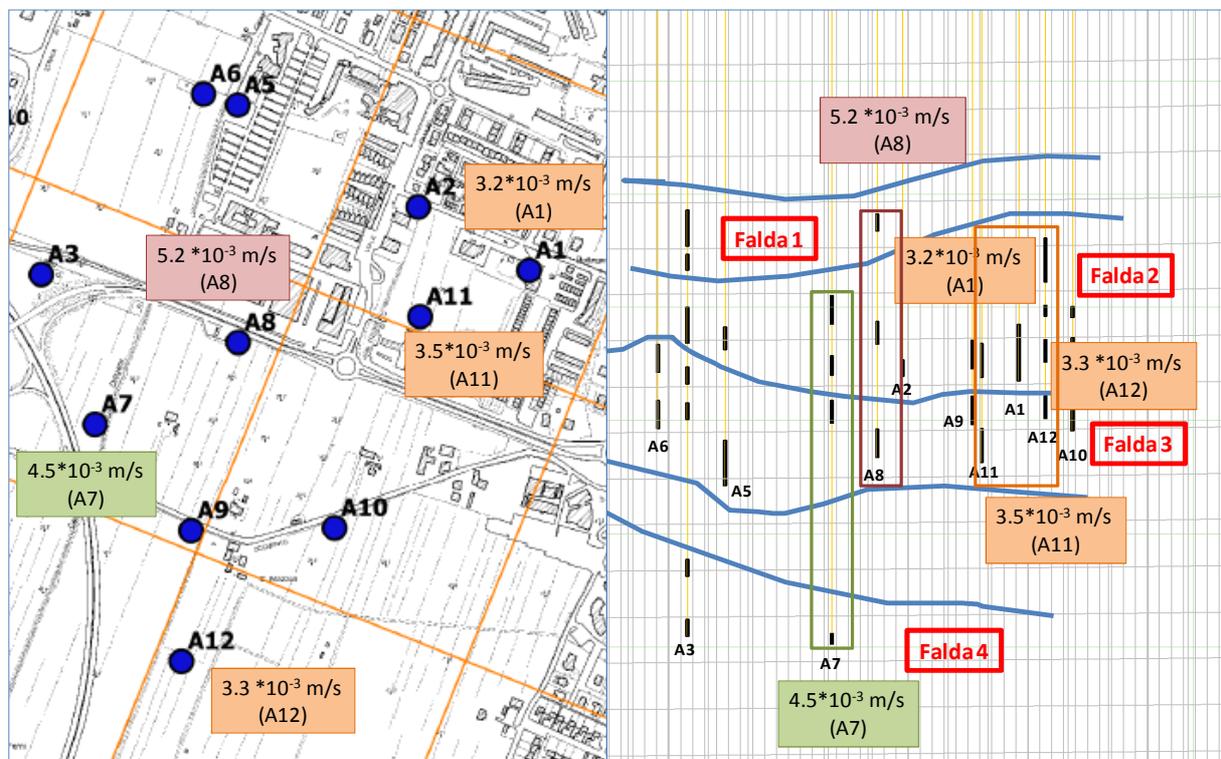


Figura 6.3: modello Tele-Cognento, dati disponibili relativamente alle prove di portata condotte sui pozzi del campo pozzi di Hera a Modena Sud. Valori di conducibilità idraulica.

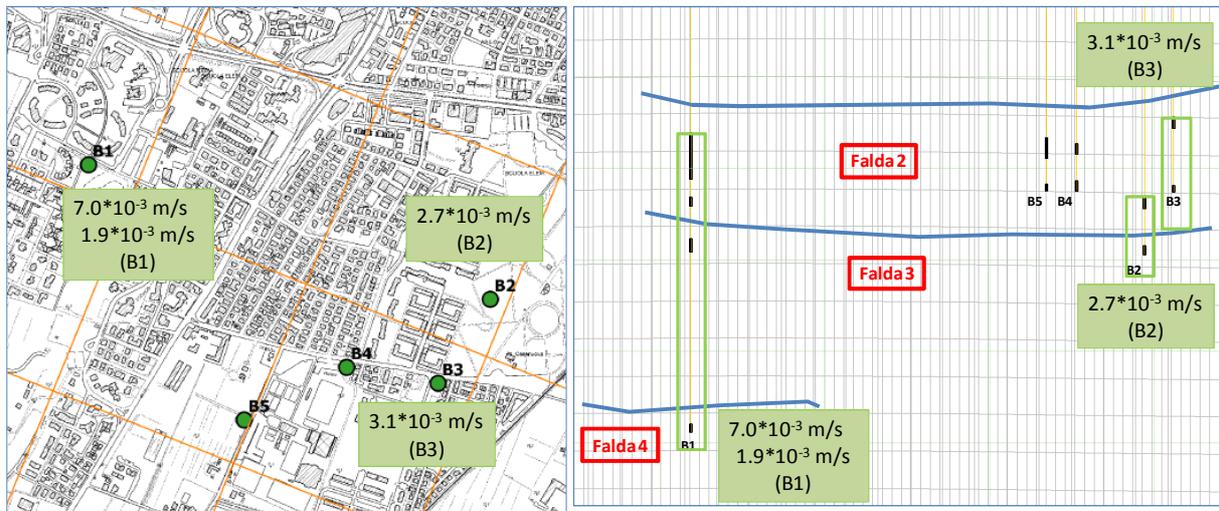
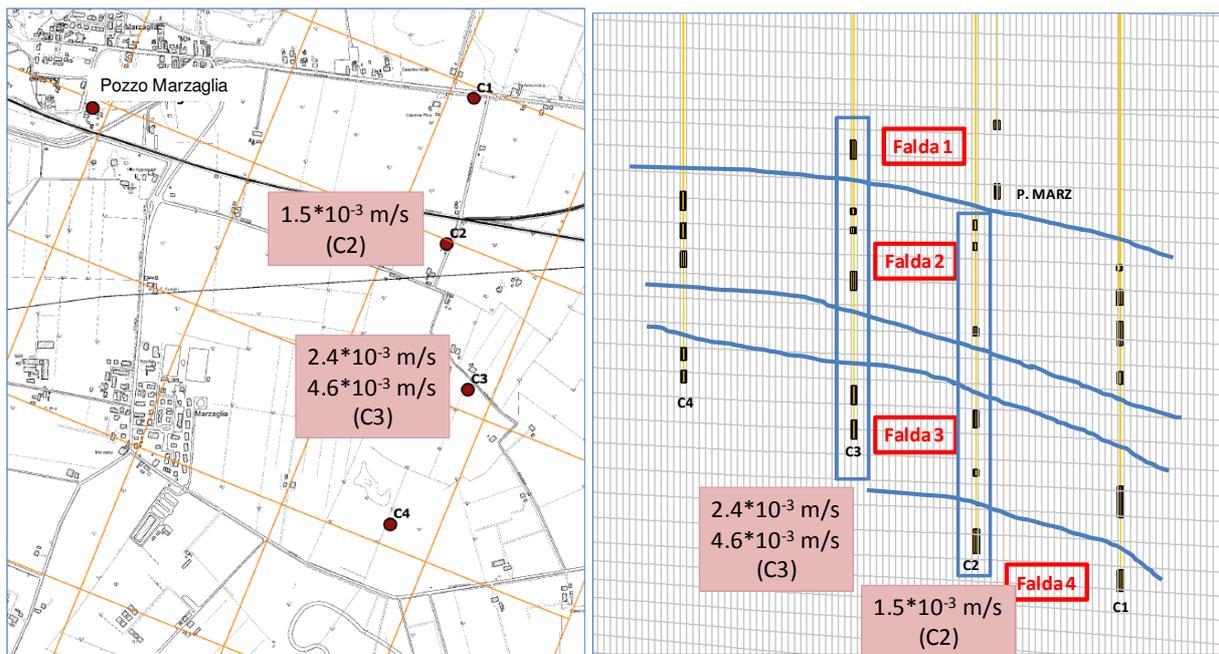


Figura 6.4: modello Tele-Marzaglia, dati disponibili relativamente alle prove di portata condotte sui pozzi del campo pozzi di Hera a Marzaglia. Valori di conducibilità idraulica.



6.2 Il risultato delle simulazioni

I risultati ottenuti dal tracciamento delle particelle in arrivo sui pozzi in prelievo è riportato nelle successive figure relativamente:

1. alla esecuzione delle simulazioni numeriche con i modelli Tele-Cognento e Tele Marzaglia nelle diverse configurazioni di prelievo ipotizzate (PGest1 e PGest2);
2. al tracciamento delle particelle in arrivo su tutti i singoli pozzi appartenenti ai campi pozzi oggetto di studio: Cognento (Hera ed Aimag), Modena Sud e Marzaglia;
3. al percorso compiuto dalle particelle in arrivo sui pozzi in relazione ai tre tempi di sicurezza utilizzati per l'analisi (60, 180 e 365 giorni).

Figura 6.5: modello Tele-Cognto, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 365 giorni. Campi pozzi Aimag Cognento, Hera Cognento e Modena Sud. Scenario gestionale PGest1.

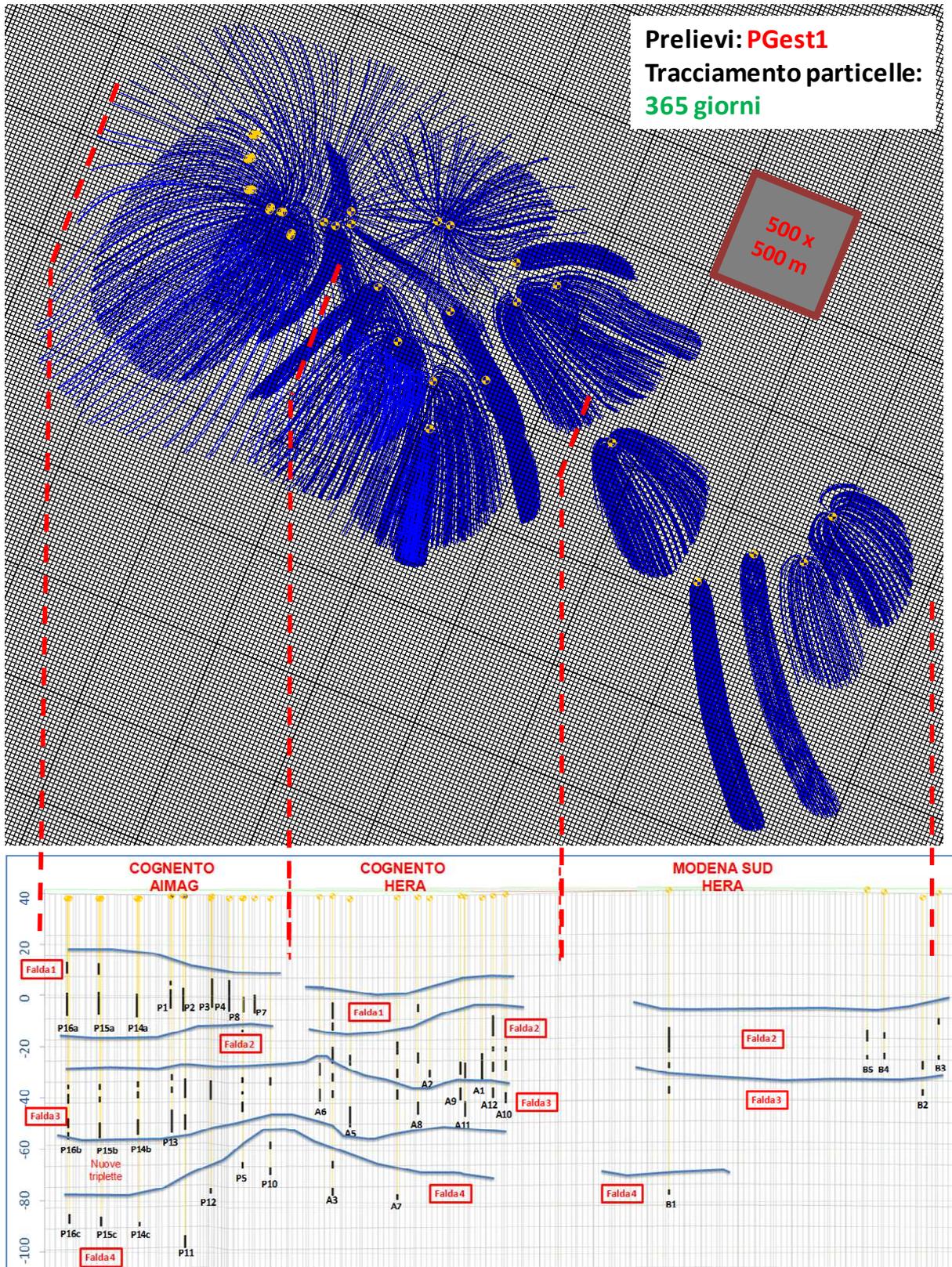


Figura 6.6: modello Tele-Cognto, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 180 giorni. Campi pozzi Aimag Cognento, Hera Cognento e Modena Sud. Scenario gestionale PGest1.

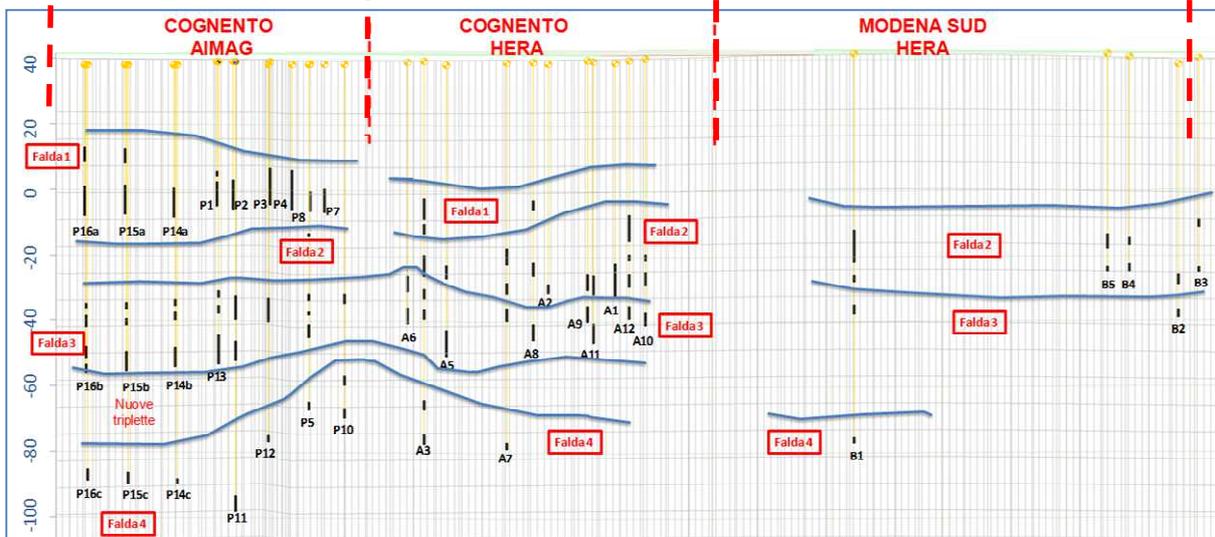
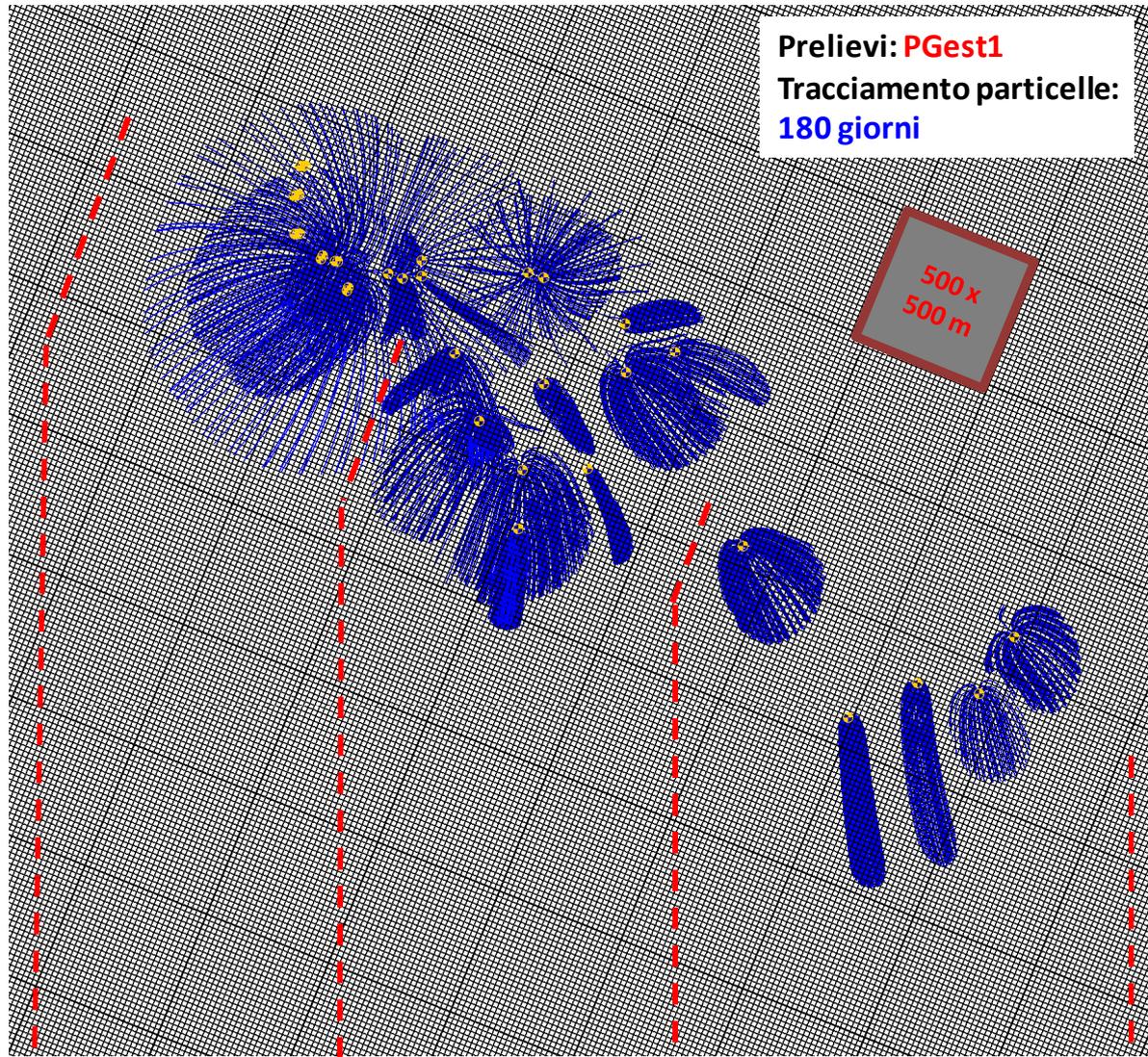


Figura 6.7: modello Tele-Cognto, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 60 giorni. Campi pozzi Aimag Cognento, Hera Cognento e Modena Sud. Scenario gestionale PGest1.

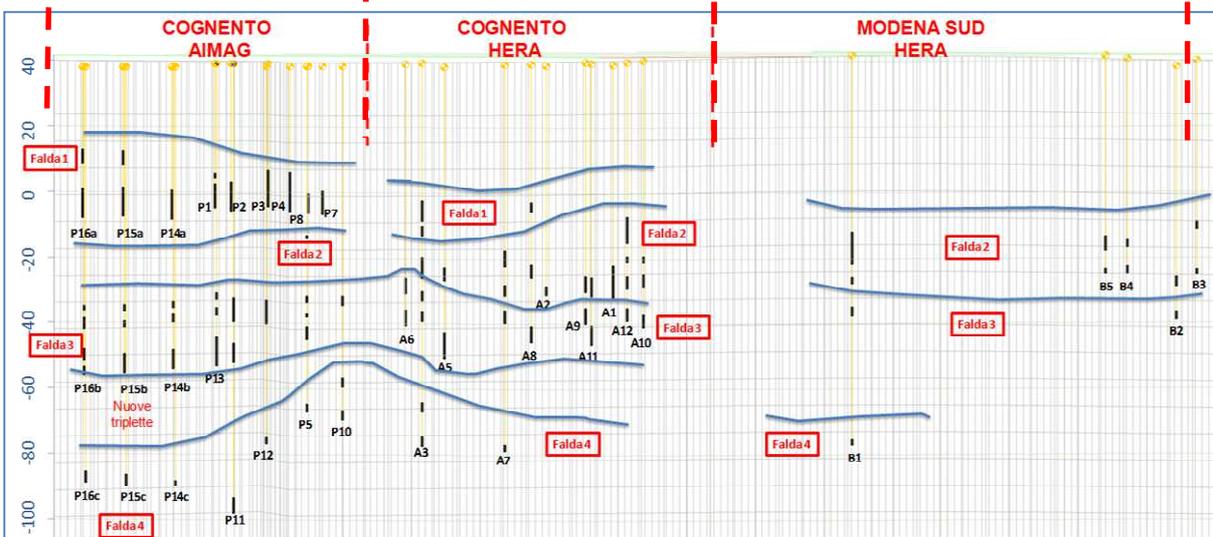
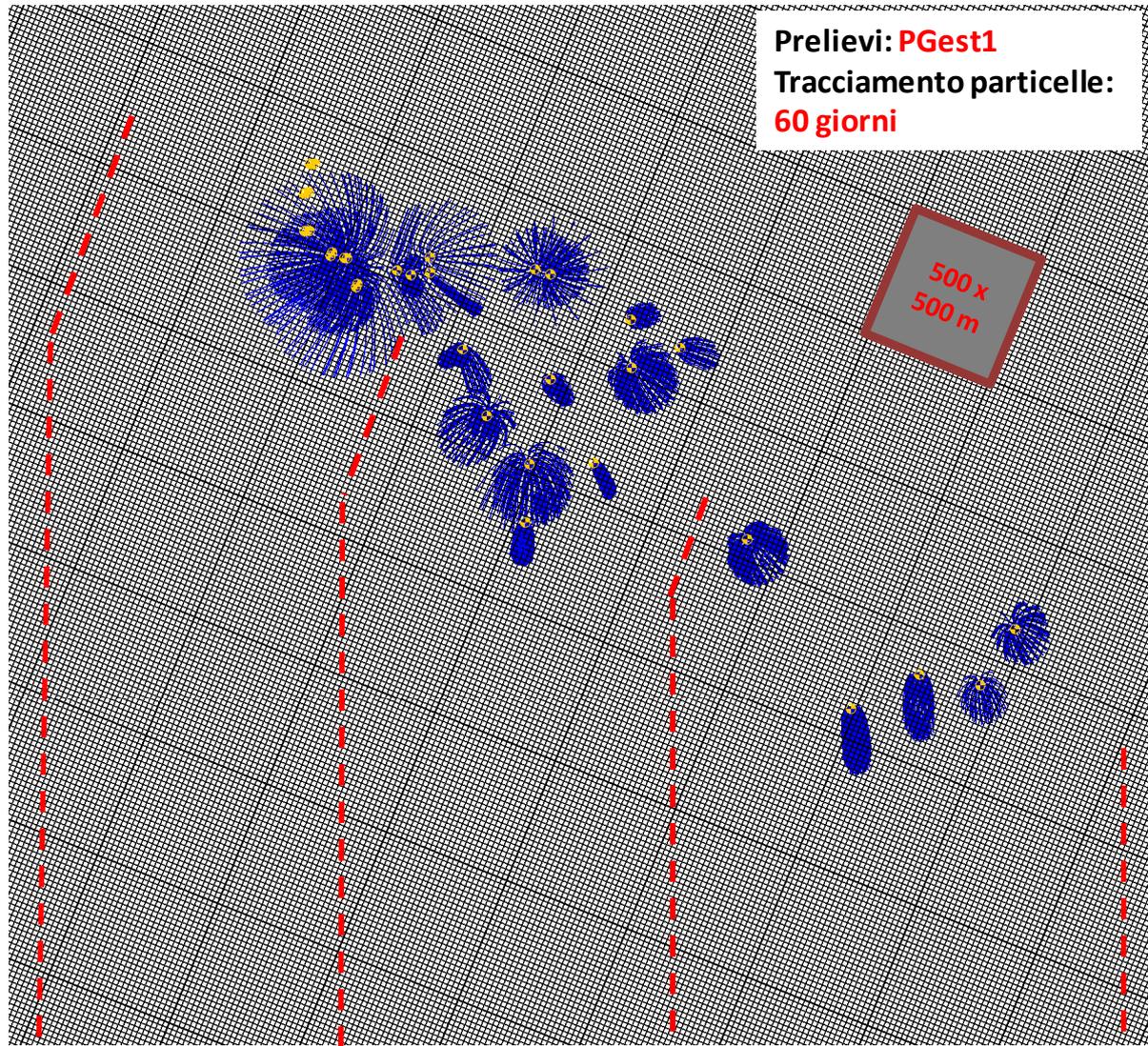


Figura 6.8: modello Tele-Cognento, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 365 giorni. Campi pozzi Aimag Cognento, Hera Cognento e Modena Sud. Scenario gestionale PGest2.

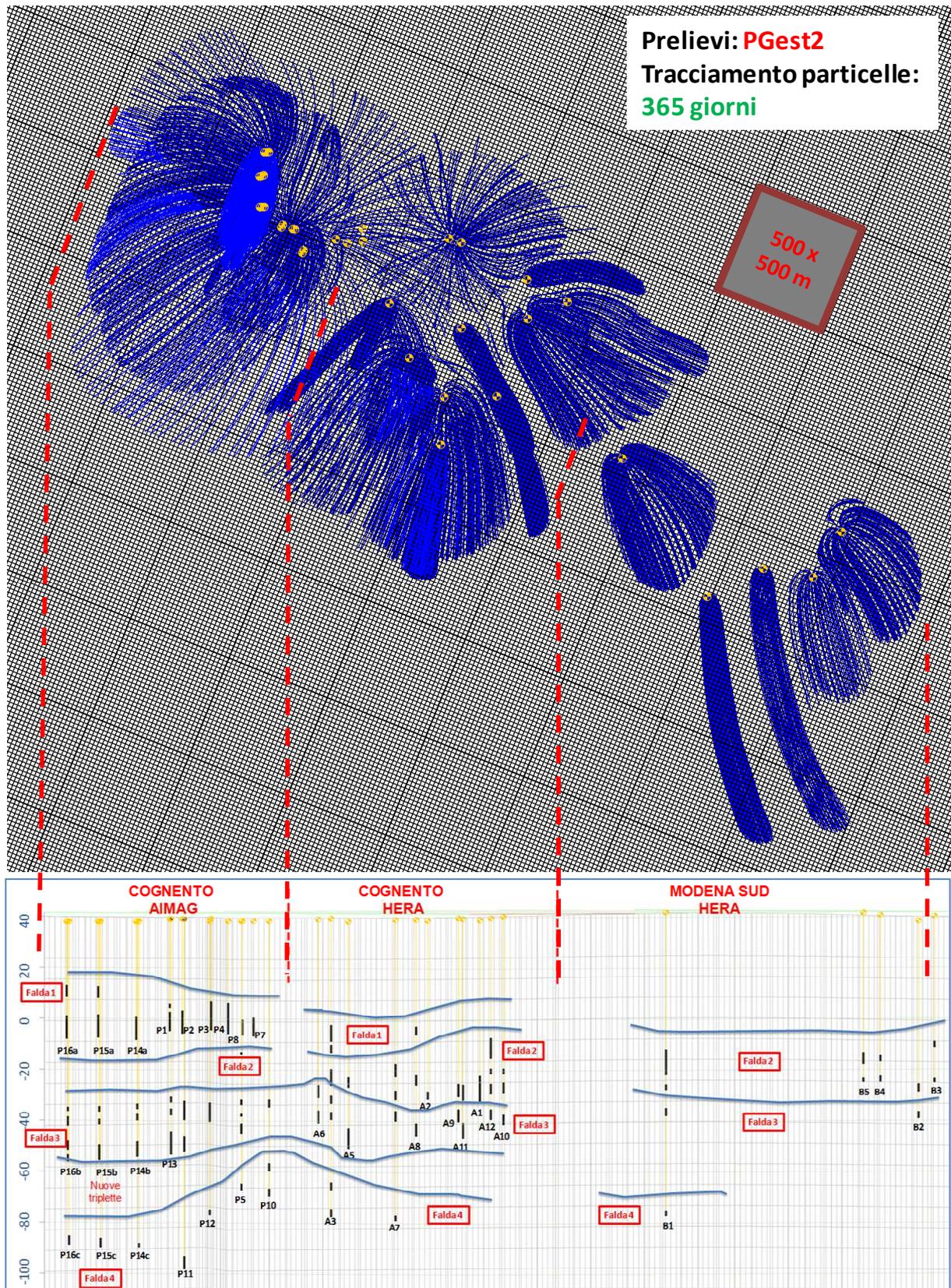


Figura 6.9: modello Tele-Cognento, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 180 giorni. Campi pozzi Aimag Cognento, Hera Cognento e Modena Sud. Scenario gestionale PGest2.

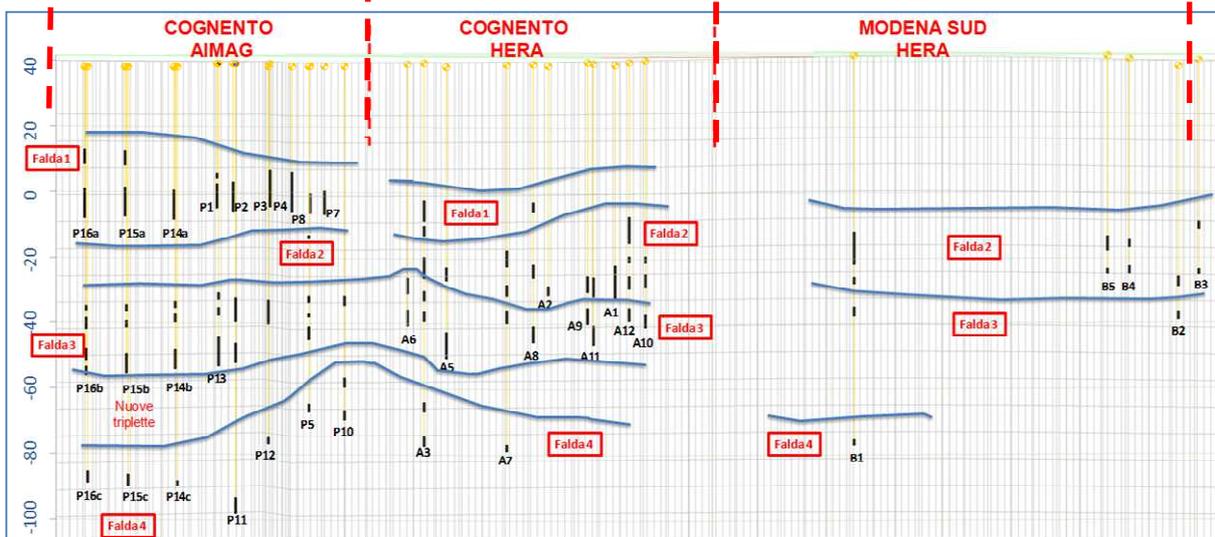
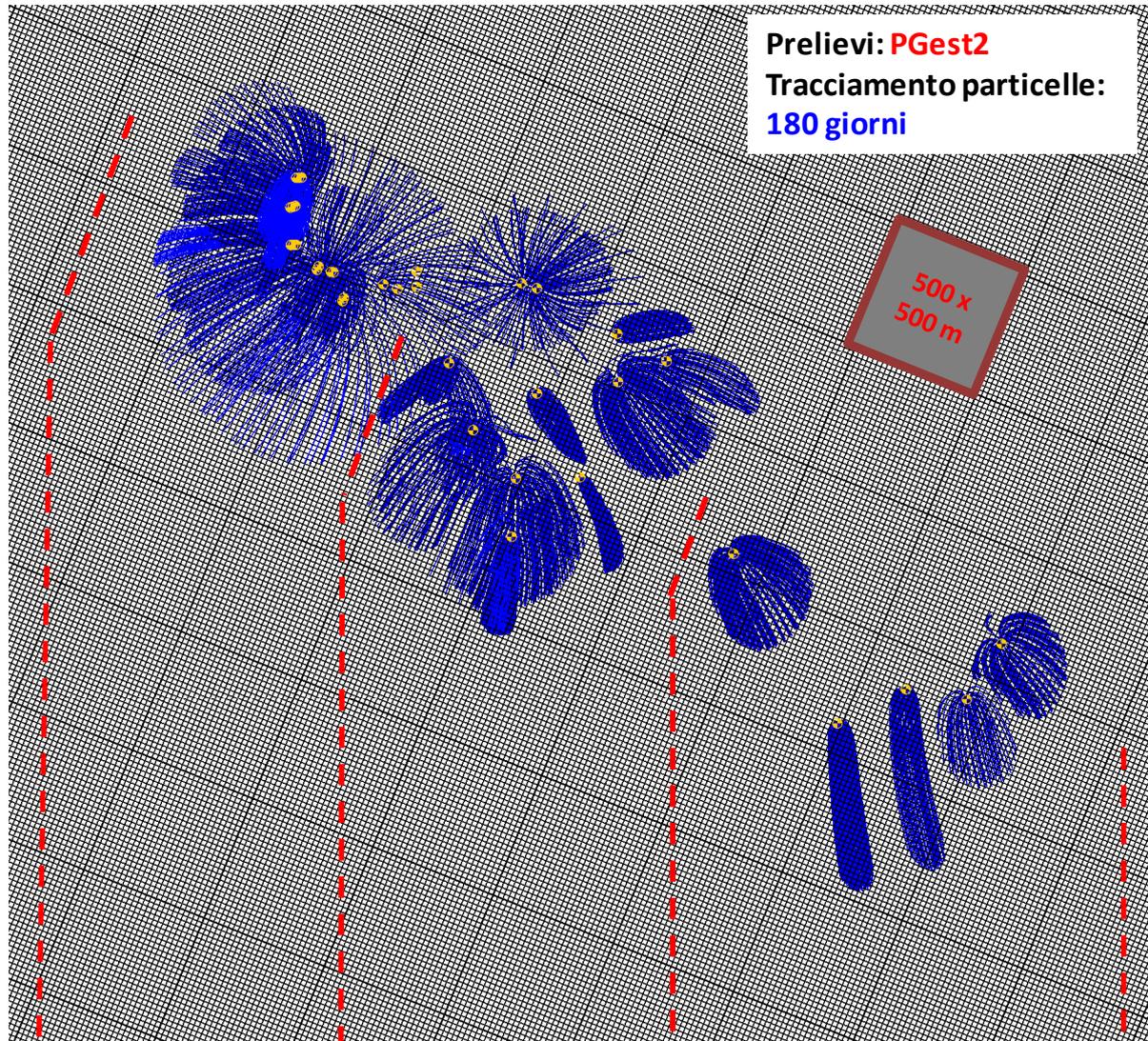


Figura 6.10: modello Tele-Cogento, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 60 giorni. Campi pozzi Aimag Cognento, Hera Cognento e Modena Sud. Scenario gestionale PGest2.

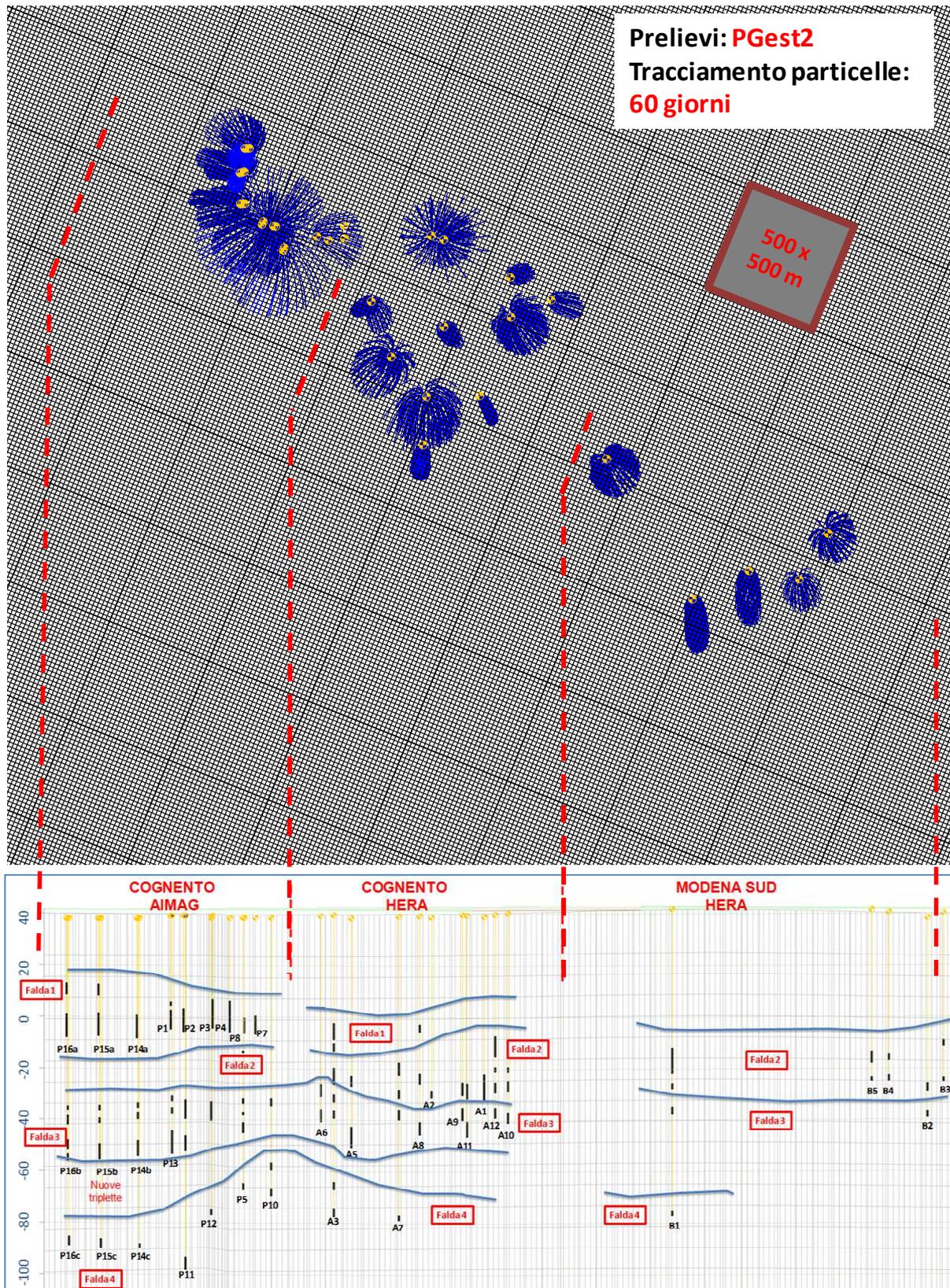


Figura 6.11: modello Tele-Marzaglia, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 365, 180 e 60 giorni. Campo pozzi Marzaglia e pozzo Marzaglia. Scenario gestionale PGest1.

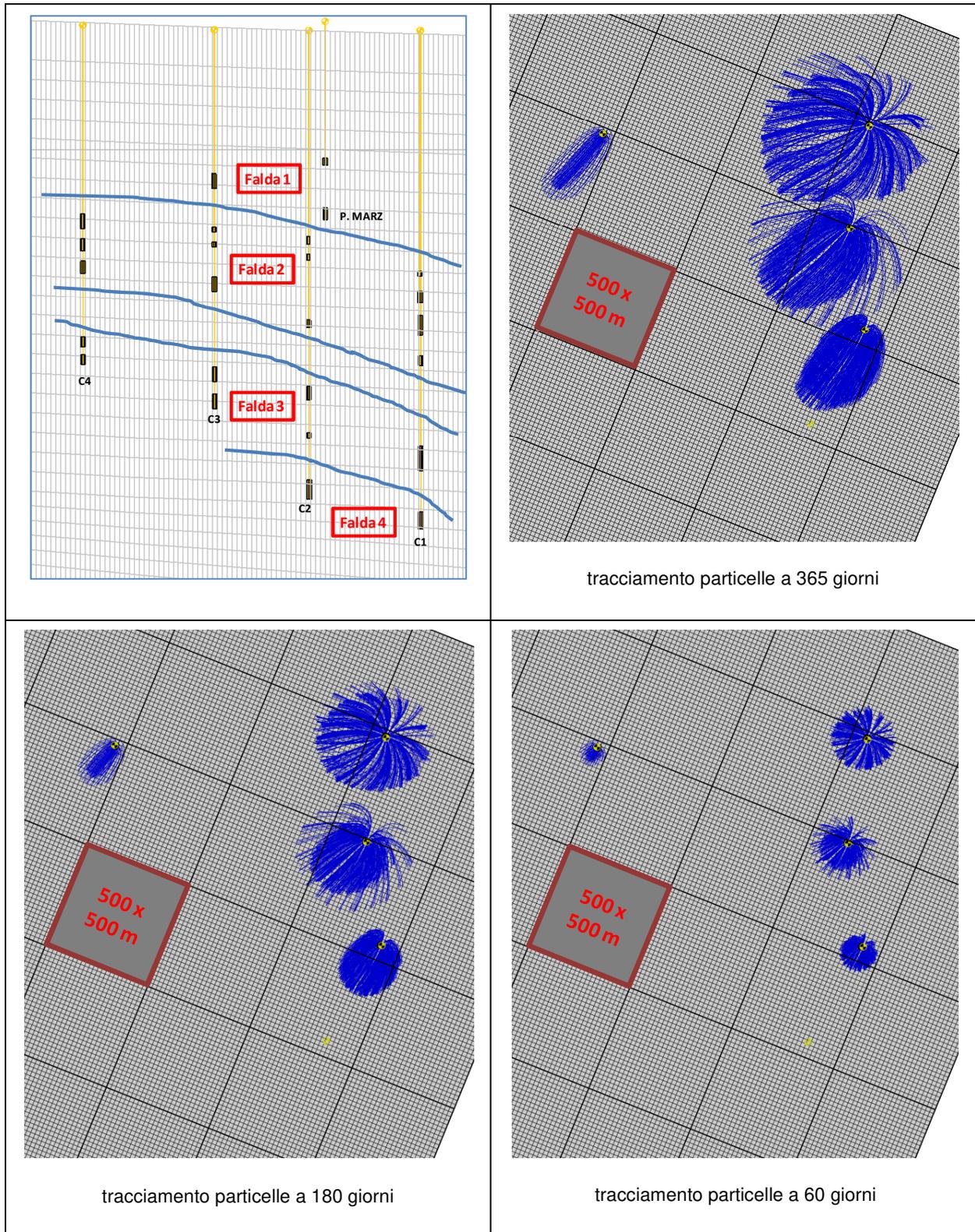
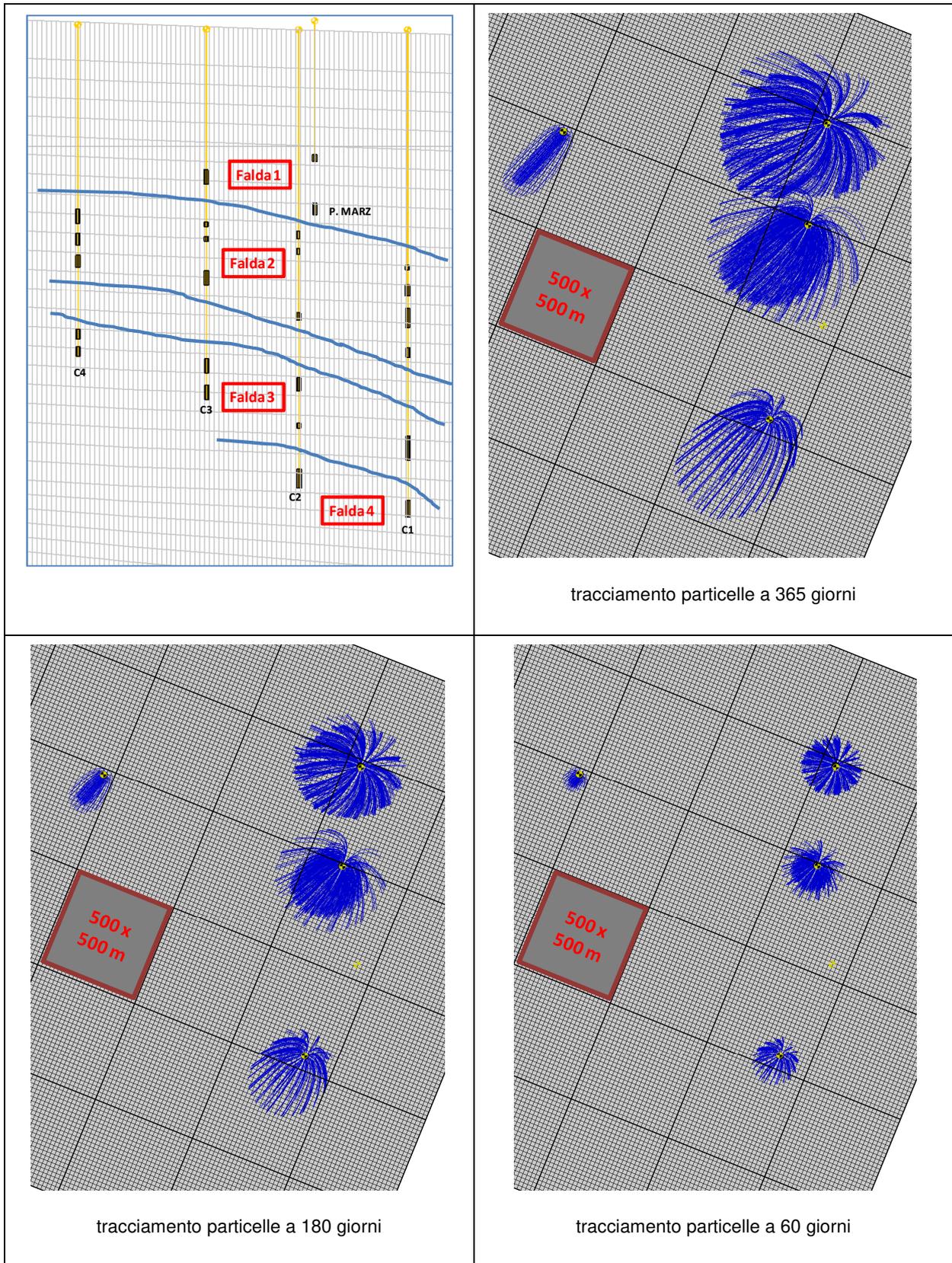


Figura 6.12: modello Tele-Marzaglia, tracciamento delle particelle con tempo di percorrenza pari a 365, 180 e 60 giorni. Campo pozzi Marzaglia e pozzo Marzaglia. Scenario gestionale PGest2.



Nella Figura 6.5, nella Figura 6.6 e nella Figura 6.7 sono riportati rispettivamente i tracciamenti delle particelle a 365, 180 e 60 giorni, in arrivo sui pozzi della zona di Cognento

(Aimag ed Hera) e del campo pozzi Modena Sud relativamente allo scenario gestionale PGest1. Nelle figure vengono sovrapposti i tracciamenti di tutte le celle sulle quali viene attribuito il prelievo di un singolo pozzo il cui sviluppo filtri è schematizzato nella parte bassa di ogni figura. Le celle del modello sulle quali è attribuito il prelievo di ogni pozzo sono quelle riportate nella precedente Tabella 6.11 ed è il sovrapporsi lungo la verticale dello sviluppo dei filtri che determina la maggior densità di linee tracciate in alcune zone.

Nelle figure (Figura 6.8, Figura 6.9, Figura 6.10) i medesimi tracciamenti sono invece riportati in relazione allo scenario di prelievo gestionale PGest2. Risulta evidente in questo secondo caso, in funzione dell'attivazione delle nuove triplette, con conseguente spostamento di parte del prelievo in posizione più esterna, un allargamento verso Nord/Nord-Ovest dell'areale di influenza complessivo dei pozzi e contemporaneamente una contrazione dell'areale di influenza dei pozzi in prelievo in tutte le altre direzioni. Ciò risulta evidente dalla sovrapposizione dei tracciamenti delle particelle in questi due casi come mostrato nelle figure riportate nel paragrafo 6.3.2 (Figura 6.16, Figura 6.17 e Figura 6.18).

Analogamente i tracciamenti delle particelle relativamente ai due scenari PGest 1 e PGest 2 per i pozzi di Marzaglia sono riportati nelle successive figure, rispettivamente in Figura 6.11 ed in Figura 6.12. Come già ribadito in questo caso la principale differenza risiede nell'utilizzo alternativo dei pozzi C3 e C4 con conseguente tracciamento delle particelle del pozzo solamente quando questo risulta essere in funzione.

6.3 Tracciamento delle isocrone ed inviluppo degli areali di influenza dei campi pozzi

Partendo dai tracciamenti delle particelle relativamente ai 3 tempi di sicurezza individuati per l'analisi (60, 180 e 365 giorni) si è provveduto a tracciare le isocrone (linea ad ugual tempo di arrivo sul pozzo in prelievo) relative ai singoli pozzi o a gruppi di pozzi limitrofi operando nell'ordine seguente:

1. per ciascuno pozzo come sovrapposizione delle isocrone relative a ciascun tratto filtrante del pozzo stesso;
2. per ciascun pozzo sovrapponendo le isocrone di cui al punto precedente e relative ai due scenari di prelievo ipotizzati (PGest1 e PGest2);
3. inviluppando le isocrone ottenute al punto precedente per i singoli pozzi tenendo conto del loro eventuale livello di sovrapposizione.

Nei paragrafi seguenti sono riportati alcuni casi esemplificativi del metodo di elaborazione utilizzato. Tale metodo adottato per tutti i pozzi oggetto di studio ed appartenenti ai tre campi pozzi di Hera (Cognento, Modena Sud e Marzaglia) ed al campo pozzi di Aimag (Cognento) ha condotto alle cartografie complessivamente riportate nel successivo paragrafo 6.3.4.

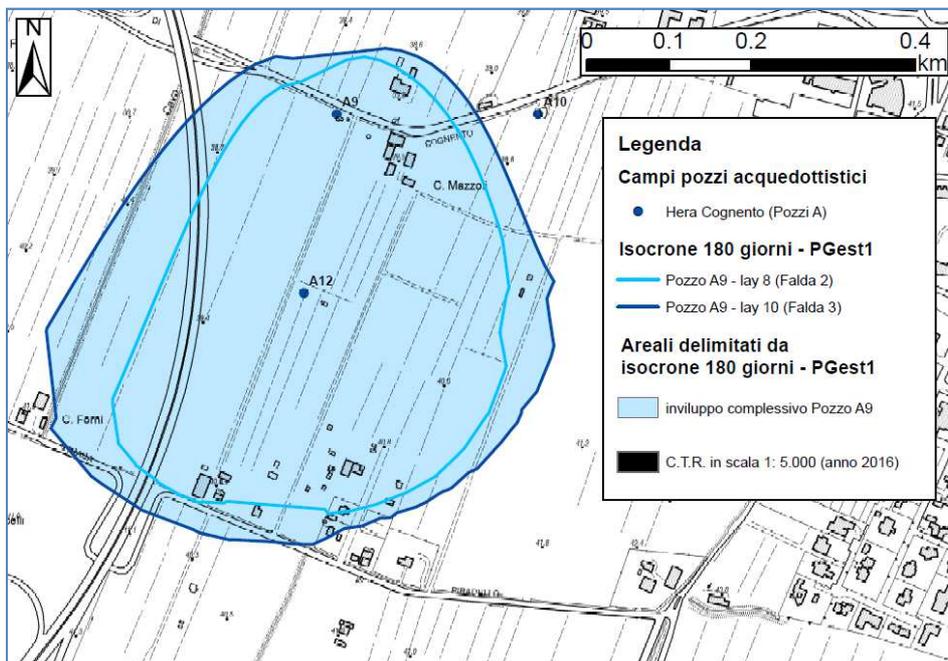
6.3.1 Inviluppo delle isocrone relative a ciascun tratto filtrante del pozzo

Per ogni pozzo è stata effettuata la sovrapposizione delle isocrone relative al prelievo di acqua da ciascun tratto filtrante del pozzo stesso; il modello numerico 3D permette infatti questa distinzione in funzione dell'ampiezza e della diversa profondità dei filtri del pozzo che vengono attribuiti a diverse celle lungo la stessa verticale (Tabella 6.11). Si può quindi ottenere una diversa forma ed estensione delle relative isocrone a causa della specifica ripartizione del prelievo lungo la verticale e dello specifico acquifero captato (diversa litologia e dinamica locale).

Si vedano a tal proposito i due esempi riportati nelle figure seguenti che mostrano le possibili modalità di sovrapposizione delle isocrone lungo la verticale. A seconda del livello di prelievo del pozzo (ma anche della presenza di pozzi limitrofi insistenti sullo stesso acquifero) e delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero stesso, le isocrone possono sovrapporsi o meno ed avere diversa ampiezza e in alcuni casi anche diversa direzione di arrivo delle particelle di acqua convergenti sul pozzo.

Nell'esempio di Figura 6.13 è riportato un caso di sovrapposizione piuttosto semplice. Il pozzo A9 capta la falda 2 e la falda 3 con un filtro ad egual spessore di 5 metri in ciascuna di esse. Il prelievo dell'intero pozzo (84 L/s) viene ripartito al 50% su ciascun filtro anche in ragione della medesima litologia caratterizzante le 2 falde in gioco nell'intorno del pozzo. In figura vengono riportate a titolo esemplificativo le isocrone a 180 giorni derivanti dall'unione dei punti ad ugual tempo di percorrenza sulle linee di flusso (*particle tracking*) tracciate nella precedente Figura 6.6 e relative alle 2 celle tracciate per il pozzo A9 (posizionate sul layer 8 e sul layer 10). La forma e l'estensione delle isocrone così ottenute testimoniano una morfologia della superficie piezometrica molto simile per i due acquiferi (Falda 2 e Falda 3), in entrambi i casi con linee di flusso convergenti in una zona di richiamo idealmente posta a Nord Est di Cognento tra lo svincolo della tangenziale ed il tracciato ferroviario quindi in posizione intermedia tra i due campi pozzi Aimag ed Hera di Cognento.

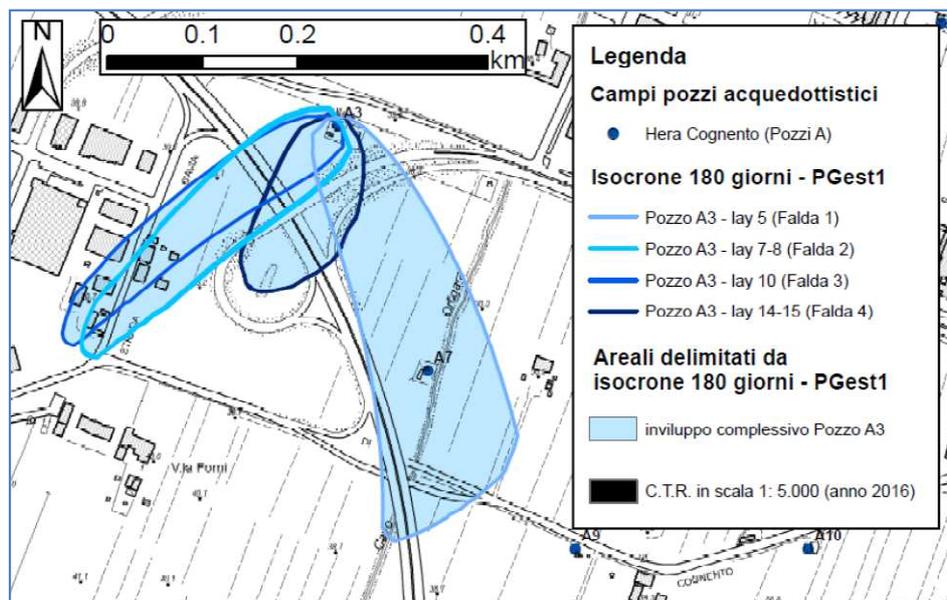
Figura 6.13: modello Tele-Cognento, delimitazione della isocrona a 180 giorni per il pozzo A9. Sovrapposizione del contributo dei due acquiferi intercettati dal pozzo (Falda 2 e Falda 3).



La sovrapposizione degli areali così ottenuti è riportata con la campitura in azzurro che in questo caso coincide con l'isocrona di estensione maggiore tra le due tracciate, corrispondente a quella della falda 3 che ricomprende completamente quella della sovrastante falda 2. L'estensione maggiore della isocrona in falda 3 deriva, a parità di prelievo, da un minore spessore complessivo dell'acquifero captato (come del resto confermato dalla stratigrafia dello stesso pozzo A9), che tende quindi ad allargare in senso planimetrico l'area di influenza.

Il secondo esempio (riguardante il pozzo A3) è decisamente più complesso dal punto di vista dell'interpretazione dei risultati ottenuti ed è riportato in Figura 6.14. Il livello complessivo di prelievo è pari a circa 16 L/s quindi notevolmente inferiore a quello del caso precedente (pozzo A9). Quello che risulta interessante è che i 7 filtri che caratterizzano costruttivamente il pozzo intercettano tutte e 4 le falde acquifere riconosciute in questa zona. La figura mostra quindi 4 linee isocrone, una per ciascuna falda captata.

Figura 6.14: modello Tele-Cogento, delimitazione della isocrona a 180 giorni per il pozzo A3. Sovrapposizione del contributo dei quattro acquiferi intercettati dal pozzo (Falde da 1 a 4).

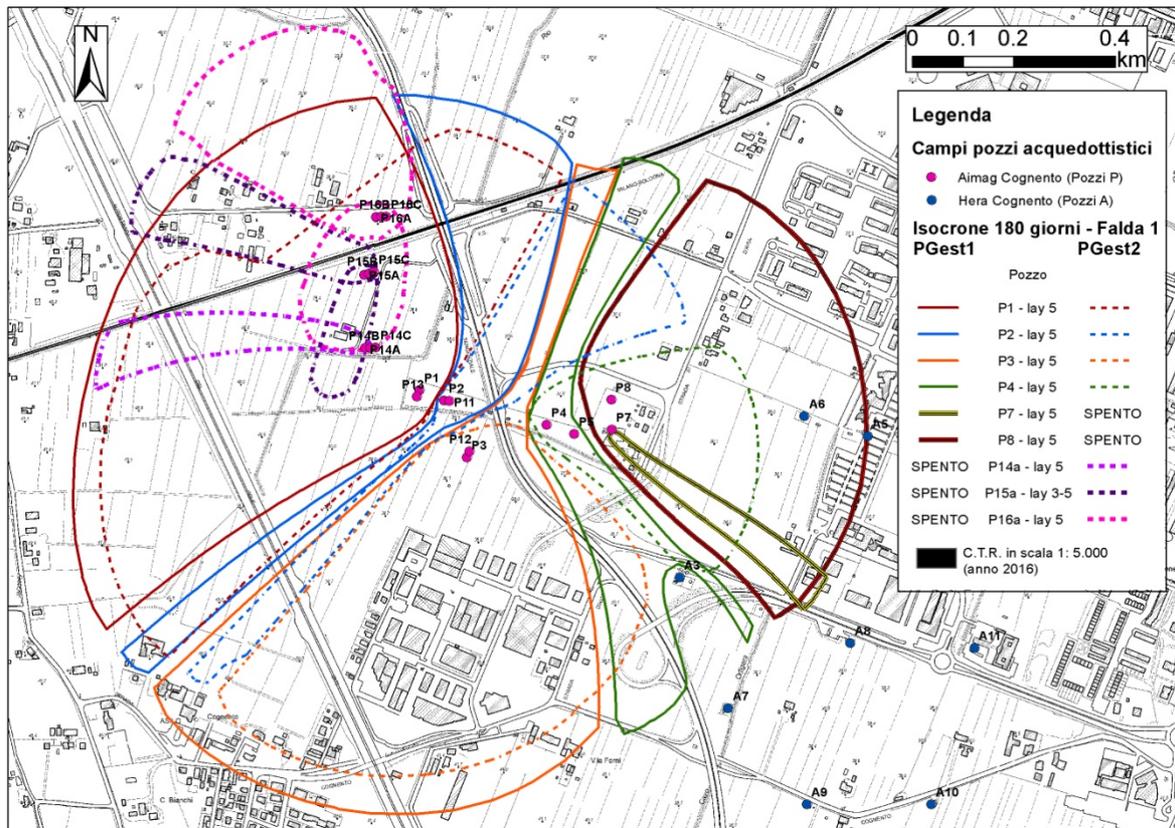


Per le falde 2 e 3 vale quanto affermato nell'esempio precedente per la direzione principale del flusso diretto verso Nord-Est. Lo sviluppo prevalentemente longitudinale delle isocrone deriva invece dal modesto prelievo imputato al pozzo. Le acque estratte dalla falda 1 hanno invece direzione e verso di arrivo completamente diversi dai precedenti in quanto si inseriscono nella dinamica complessiva del primo acquifero che è governata dai più forti prelievi insistenti nei pozzi di Aimag (P1, P2, P3, P4, P7 e P8), con conseguente basso piezometrico di convergenza delle linee di flusso posto 750 m più ad Ovest rispetto a quello precedentemente evidenziato per le Falde 2 e 3. Infine le acque provenienti invece dalla falda 4 più profonda hanno direzione intermedia alle due precedenti in quanto parte di una dinamica di flusso meno condizionata da altri prelievi e quindi maggiormente significativa di un normale deflusso naturale monte valle delle acque sotterranee ospitate in questa falda.

6.3.2 Inviluppo delle isocrone relative ai due scenari gestionali proposti

Come già indicato nei paragrafi precedenti sono stati sviluppati due scenari gestionali differenti relativi alla diversa ripartizione del prelievo in concessione (PGest) di Tabella 6.1. Ciò al fine di sovrapporre i relativi tracciamenti delle particelle in modo da ottenere areali di influenza comprensivi e significativi del maggior numero possibile di situazioni differenti di gestione del prelievo di acque sotterranee.

Figura 6.15: modello Tele-Cognento, fasi di lavoro ai fini della delimitazione della isocrona a 180 giorni complessiva per tutti i pozzi Aimag della prima falda dell'acquifero di Cognento. Sovrapposizione dei diversi contributi in relazione ai due scenari gestionali PGest 1 e PGest2.



Vengono quindi in questo caso sovrapposte le isocrone relative a diverse condizioni di sfruttamento dei singoli pozzi all'interno del campo pozzi.

Analizzando la sovrapposizione delle figure riportate al precedente paragrafo 6.2 (Figura 6.6 e Figura 6.9) relativamente all'areale di Cognento si riscontrano le maggiori differenze a livello complessivo con l'estensione in direzione Nord-Nord-Ovest delle isocrone del campo pozzi Aimag a Cognento (Figura 6.15, relativa al tempo di percorrenza pari a 180 giorni) dovuta all'entrata in funzione delle nuove triplette con uno spostamento di 100 L/s in posizione più esterna rispetto alla posizione dei pozzi già esistenti. Tale spostamento comporta anche una contrazione degli areali di influenza dei pozzi da P1 a P4 che rimangono attivi nello scenario PGest2 anche se con prelievo minore rispetto allo scenario PGest1. Nella stessa falda 1, nello scenario PGest2 è previsto lo spegnimento dei pozzi P7 e P8, cosa che permette ai pozzi da P1 a P4 di intercettare acque che prima venivano prelevate da questi pozzi. Complessivamente le variazioni degli areali di influenza dei pozzi di Aimag a Cognento dovuta all'attivazione delle nuove triplette sono meglio evidenziate nelle figure seguenti (Figura 6.16, Figura 6.17 e Figura 6.18) dove per tutti e tre i tempi di sicurezza adottati vengono sovrapposte le isocrone relative allo scenario di prelievo PGest1 ai tracciamenti delle particelle ottenute dallo scenario di prelievo alternativo PGest2.

L'attivazione delle triplette comporta quindi un ampliamento della zona di influenza nella parte Nord-Nord-Ovest del campo pozzi (dove i tracciamenti delle particelle in blu oltrepassano la isocrona in colore nero) mentre a Nord ed a Sud si assiste invece ad un restringimento (dove i tracciamenti delle particelle in blu rimangono più arretrate rispetto al limite posto dall'isocrona in colore nero).

Figura 6.16: modello Tele-Cognento, confronto tra gli Scenari gestionali PGest1 e PGest2 per il tempo di percorrenza delle particelle di 365 giorni.

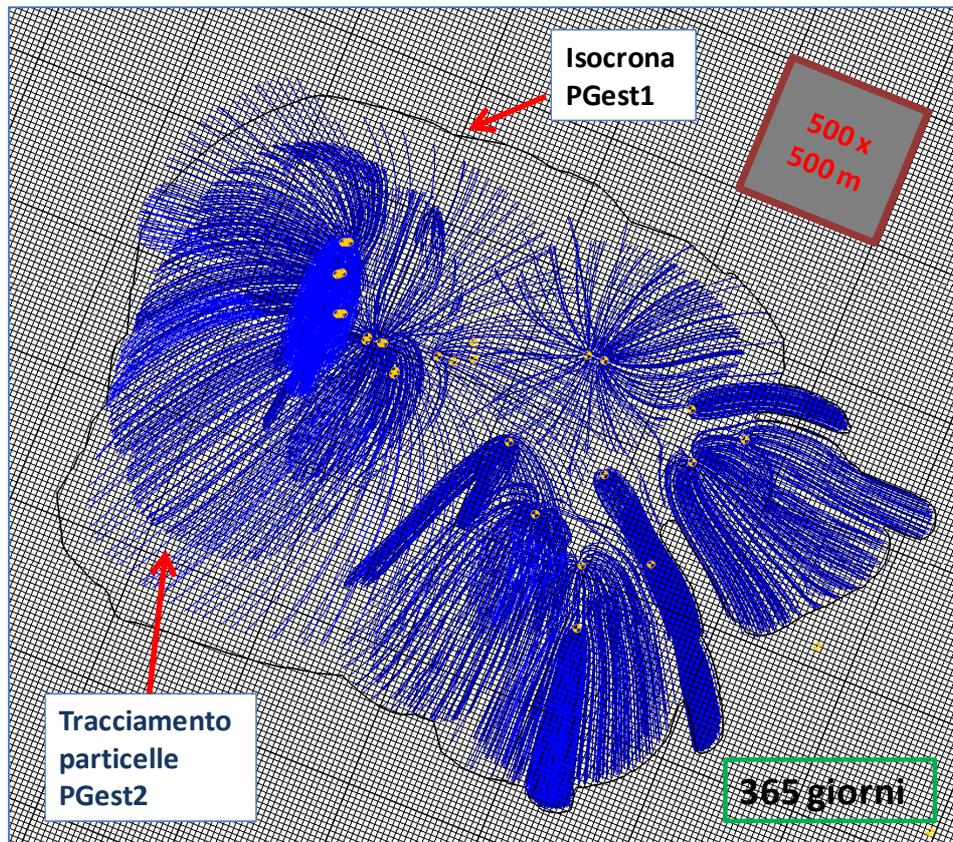


Figura 6.17: modello Tele-Cognento, confronto tra gli Scenari gestionali PGest1 e PGest2 per il tempo di percorrenza delle particelle di 180 giorni.

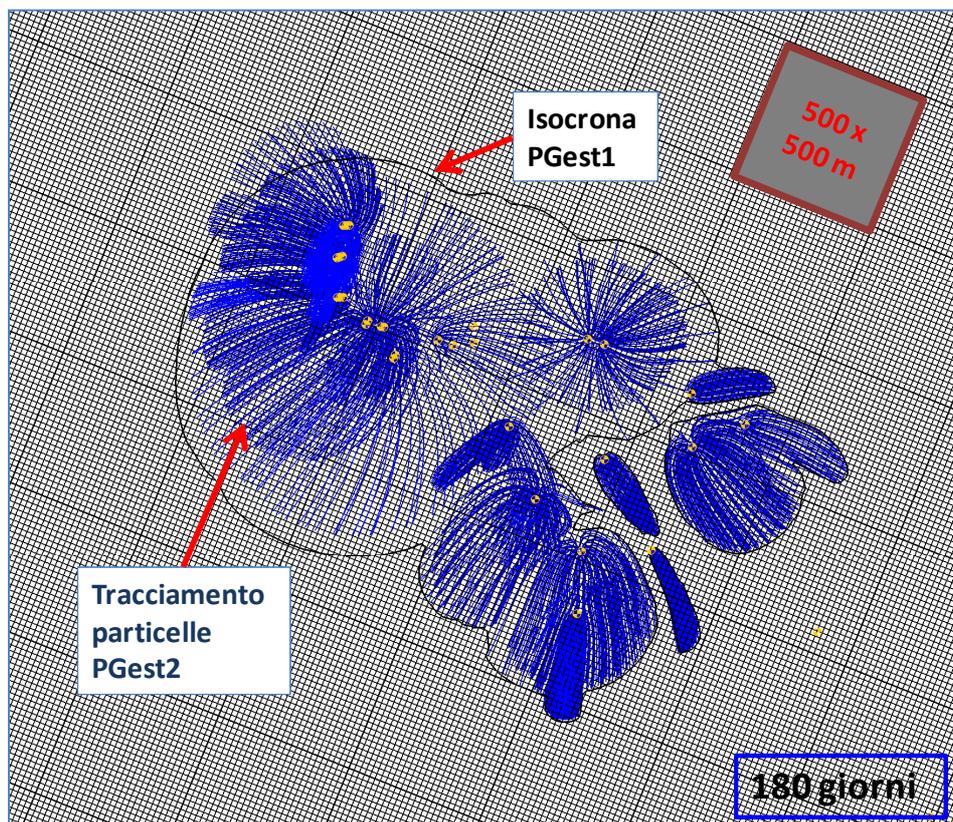
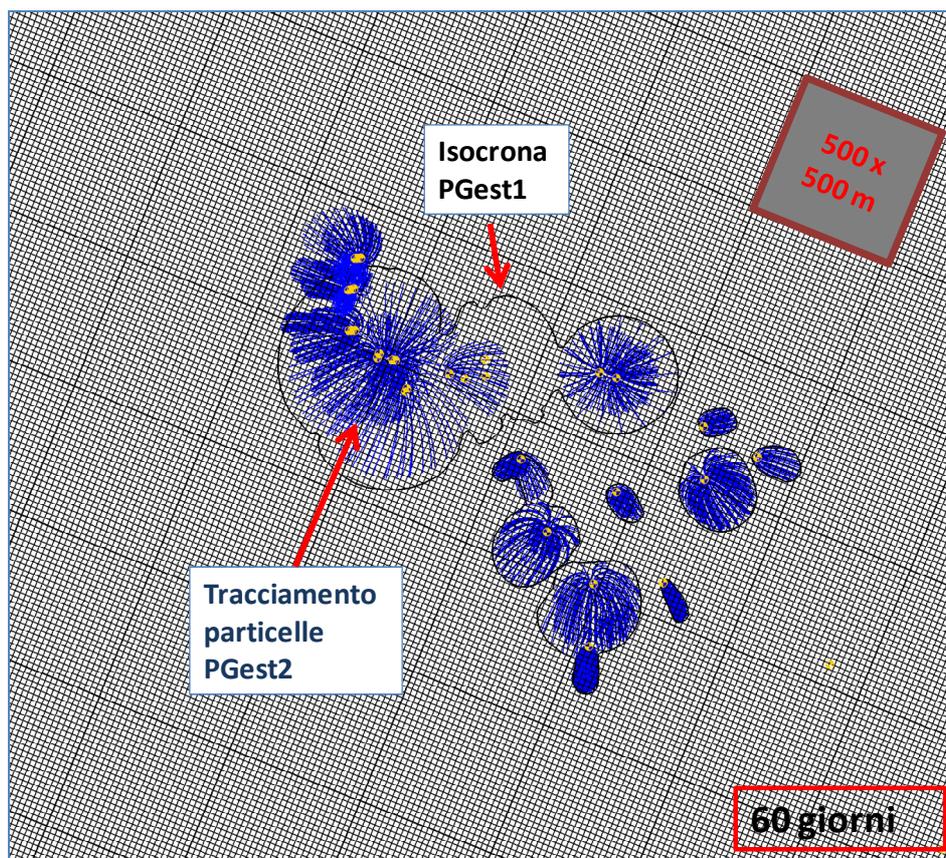


Figura 6.18: modello Tele-Cognento, confronto tra gli Scenari gestionali PGest1 e PGest2 per il tempo di percorrenza delle particelle di 60 giorni.



La sovrapposizione delle isocrone per i due scenari gestionali del campo pozzi di Marzaglia è ancora più semplice in quanto i pozzi C1 e C2 lavorano allo stesso modo nei due scenari gestionali mentre i pozzi C3 e C4 lavorano in modo alternato. Complessivamente la sovrapposizione degli effetti consiste nel considerare simultaneamente le isocrone dei pozzi C3 e C4 di Marzaglia come riportato nella Figura 6.19 (pagina 70). In questo caso le isocrone si riferiscono ai 365 giorni.

6.3.3 Inviluppo delle isocrone di pozzi vicini in funzione del loro livello di sovrapposizione

L'ultimo livello di sovrapposizione delle aree di influenza dei pozzi in prelievo riguarda i casi di pozzi limitrofi con areali di influenza totalmente o parzialmente sovrapposti. Il livello di sovrapposizione in questi casi ovviamente cresce in funzione del tempo di sicurezza utilizzato per la definizione della relativa isocrona.

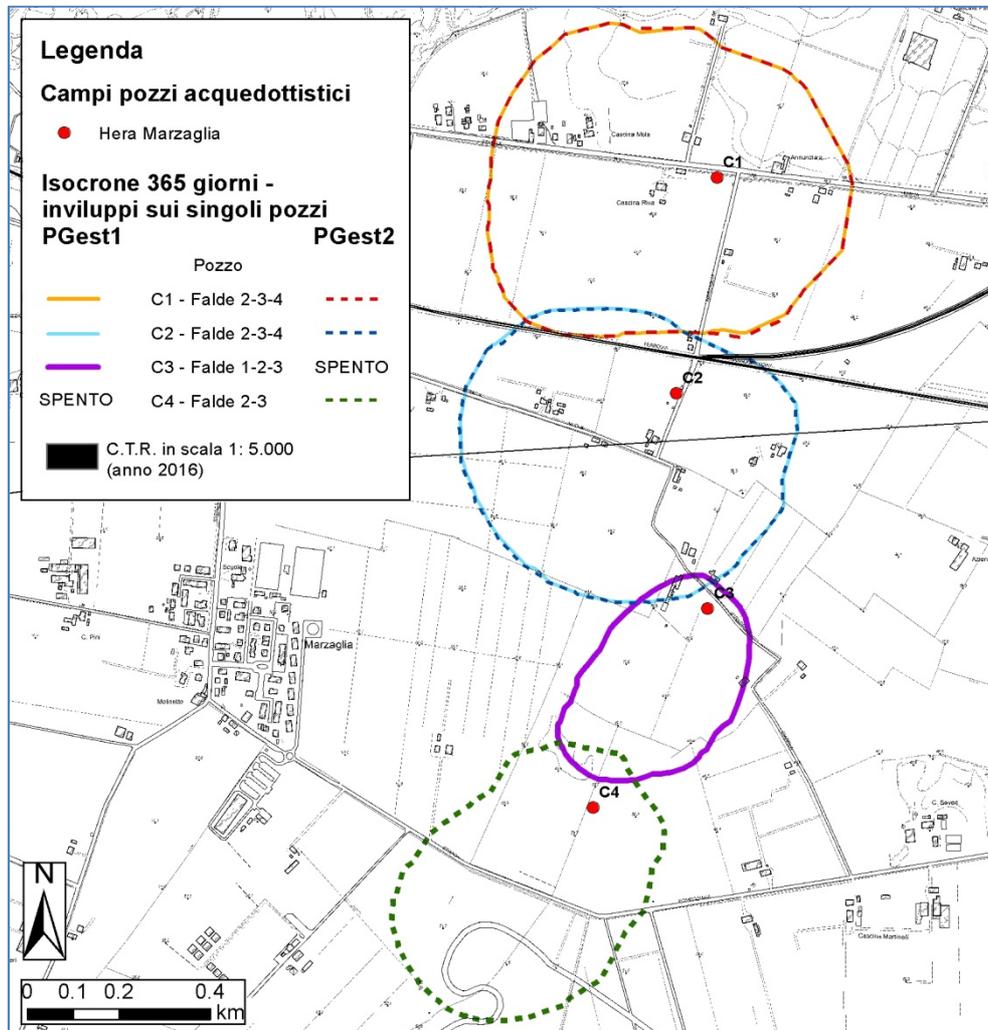
In alcune situazioni gli areali di influenza dei due pozzi seppur risultando separati sono stati comunque uniti inglobando le zone di separazione eventualmente presenti tra loro. Vengono di seguito riportati alcuni esempi facendo riferimento ai tracciamenti delle particelle relative ai 180 giorni.

Il primo esempio è riportato nella successiva Figura 6.20 che riguarda l'inviluppo delle aree di influenza a 180 giorni dei pozzi A9 e A12 parzialmente sovrapposti tra loro.

I due pozzi prelevano entrambi dalle falde 2 e 3 con una maggiore estensione dei filtri del pozzo A12 sulla prima delle due falde intercettate. I prelievi del pozzo A9 sono pari ad 84 L/s, mentre di più modesta entità sono i prelievi imposti al pozzo A12 (14.6 L/s), situato 220

m più a Sud del pozzo A9. Per questi pozzi i due scenari gestionali PGest 1 e PGest2 coincidono.

Figura 6.19: modello Tele-Marzaglia, fasi di lavoro ai fini della delimitazione della isocrona a 365 giorni per i pozzi del campo pozzi di Marzaglia. Sovrapposizione dei diversi contributi in relazione ai due scenari gestionali PGest1 e PGest2.



L'isocrona a 180 giorni del pozzo A12 si inserisce quasi totalmente all'interno di quella del pozzo A9, più estesa lateralmente in ragione dei prelievi più consistenti, mostrando però un maggior prolungamento verso Sud.

L'involuppo delle aree così ottenute è mostrato in Figura 6.20 dove l'isocrona del pozzo A9 viene allargata verso monte in modo da ricomprendere interamente quella del pozzo A12 e gli areali di raccordo posti in destra e sinistra di questa (campiture in azzurro).

Il secondo esempio riguarda invece i pozzi situati nella parte nord-orientale del campo pozzi Hera di Cognento. La Figura 6.21 mostra le isocrone a 180 giorni per i pozzi A11, A1 e A2 che prelevano portate diverse dalle Falde 2 e 3 simultaneamente (51, 10.5 e 5.3 L/s rispettivamente) generando isocrone distinte, una per ciascun pozzo, ciò in ragione del prelievo imposto e del tempo di sicurezza adottato. Accorciando il tempo di sicurezza a 60 giorni le isocrone risultano ancora di più isolate tra loro mentre a 365 risultano tra loro completamente integrate in un unico areale più ampio. Per questo motivo si è deciso di unire comunque gli areali di influenza a 180 giorni ricomprendendo in un unico areale anche le

zone di territorio che inizialmente separavano i vari areali (campiture in azzurro chiaro di Figura 6.21).

Figura 6.20: modello Tele-Cogmento, delimitazione della isocrona a 180 giorni complessiva per i pozzi limitrofi A9 e A12 di Hera. Sovrapposizione degli areali già parzialmente sovrapposti tra loro.

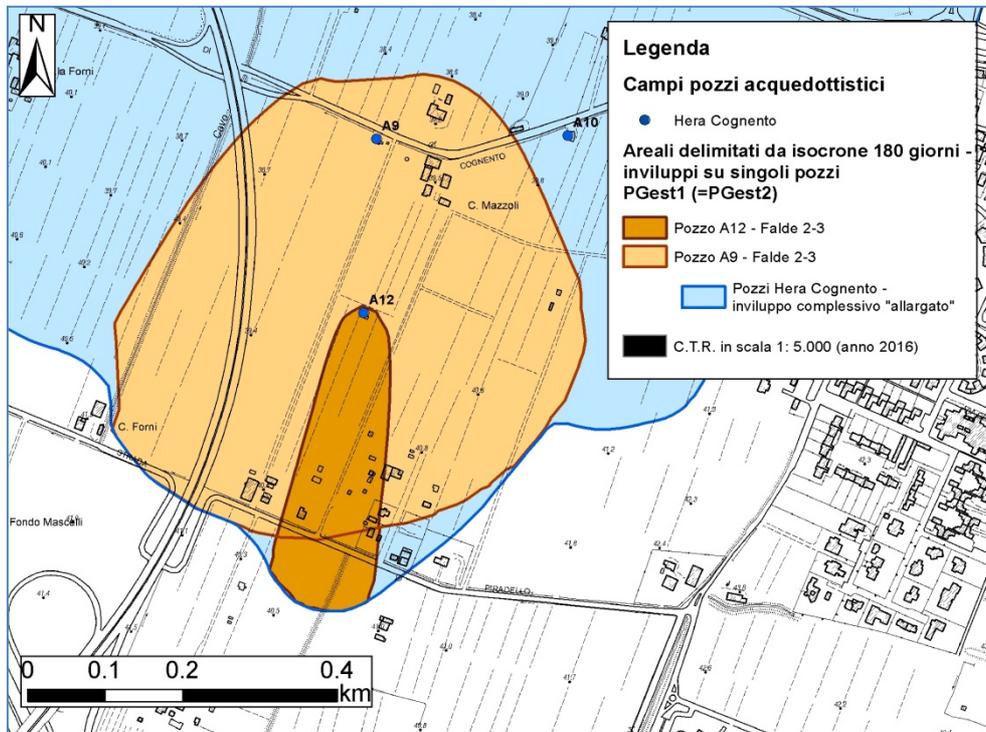
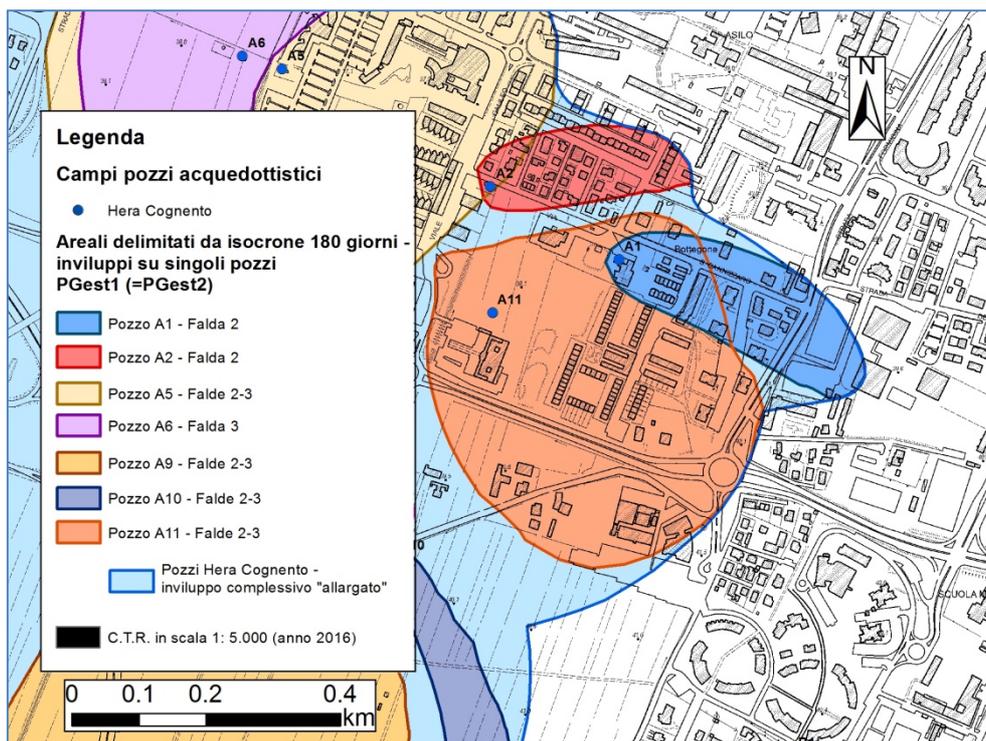
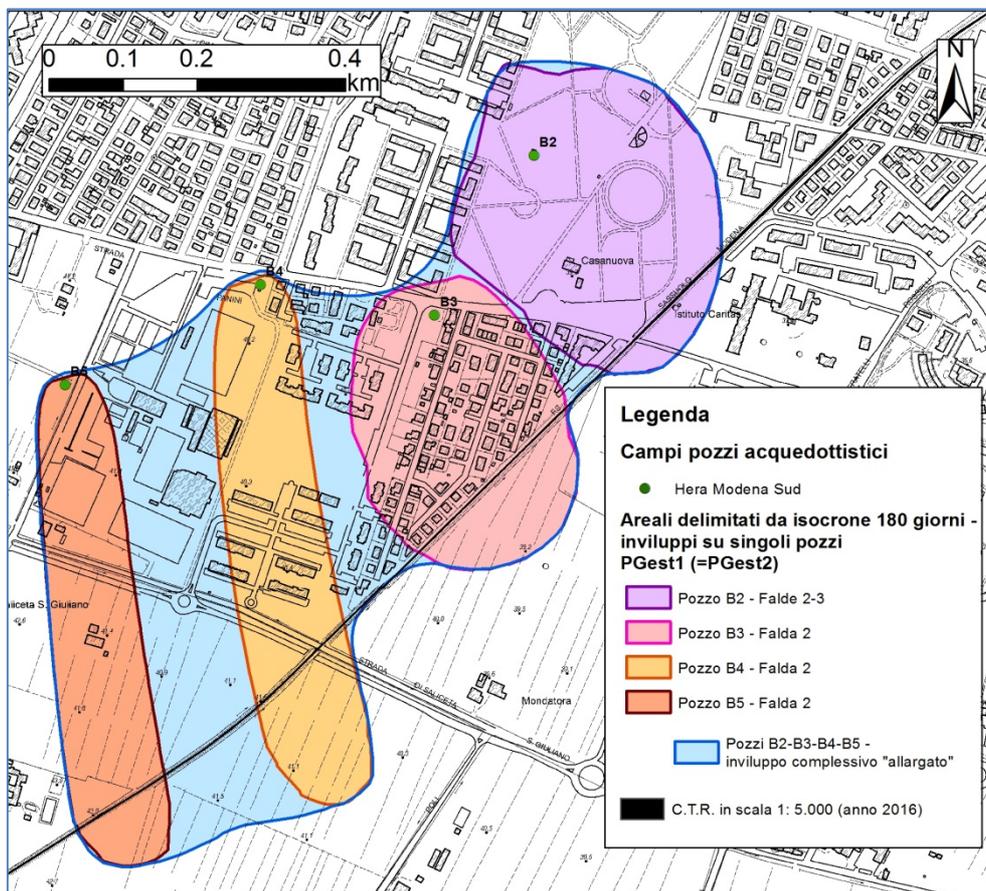


Figura 6.21: modello Tele-Cogmento, delimitazione della isocrona a 180 giorni complessiva per i pozzi limitrofi A1, A2 ed A11. Unione degli areali non sovrapposti tra loro ricomprendendo comunque le zone intermedie.



Un esempio analogo al precedente è riportato nella Figura 6.22 che mostra il lavoro di sovrapposizione degli areali di influenza per i pozzi B2, B3, B4 e B5 del campo pozzi Modena Sud di Hera. I 4 pozzi prelevano complessivamente 92 L/s dei quali l'80 % in falda 2 ed il 20% in falda 3 (il solo pozzo B2 posto più a Nord-Est). La diversa morfologia delle isocrone (a maggior sviluppo longitudinale nella direzione principale del flusso dell'acqua per i pozzi B3 e B4 posti più a Ovest deriva sia dalla minor entità del prelievo, sia dalle diverse caratteristiche litologiche presenti nella zona, che permettono una maggior velocità di circolazione dell'acqua. In questo caso si è ritenuto opportuno creare un inviluppo complessivo per l'isocrona a 180 giorni (come del resto anche per quella a 365 giorni) come mostrato in figura. Relativamente al tempo di sicurezza pari a 60 giorni le aree sono state mantenute invece separate.

Figura 6.22: modello Tele-Cognento, delimitazione della isocrona a 180 giorni complessiva per i pozzi limitrofi B2, B3, B4 e B5 di Modena Sud. Unione degli areali non sovrapposti tra loro ricomprendendo comunque le zone intermedie,



6.3.4 Elaborati finali

Sulla base dei passaggi metodologici descritti nei precedenti paragrafi sono state tracciate le isocrone a 60, 180 e 365 giorni e così definiti gli areali ricompresi all'interno di queste per tutti i campi pozzi oggetto di studio (Campi pozzi Hera ed Aimag di Cognento, Campi Pozzi di Modena Sud e di Marzaglia). Essi derivano dal lavoro di sovrapposizione, integrazione ed inviluppo degli areali definiti inizialmente a livello di ciascun singolo pozzo. Il lavoro è stato

condotto in maniera indipendente per le isocrone riferite ai tre tempi di sicurezza adottati: il tempo di percorrenza delle particelle più lungo pari a 365 giorni ha determinato infatti un più elevato livello iniziale di sovrapposizione dei singoli areali riferiti ai singoli pozzi. Il tempo più corto, pari a 60 giorni ha generato invece areali che sono rimasti comunque maggiormente isolati tra di loro.

Gli elaborati prodotti riportano il tracciamento delle linee isocrone per tutti e tre i tempi di sicurezza adottati per l'analisi e potranno essere utilizzati:

1. a supporto della definizione della **protezione dinamica** dei campi pozzi in quanto rappresentano le tre linee temporali di riferimento sulle quali impostare i punti della rete di monitoraggio e controllo posta a protezione del campo pozzi;
2. a supporto della definizione della **protezione statica** dei campi pozzi scegliendo gli opportuni tempi di sicurezza di riferimento utili alla perimetrazione delle zone di rispetto (ristretta ed allargata) per i singoli campi pozzi in funzione del livello di vulnerabilità assegnato (acquifero protetto o non protetto).

Il risultato complessivo viene quindi presentato all'interno dei due elaborati cartografici seguenti che vengono rappresentati nelle due tavole allegate alla presente relazione:

1. TAVOLA 1: proposta di delimitazione delle zone di rispetto dei campi pozzi di Cognento (Hera ed Aimag) e di Modena Sud (Hera), cartografia in scala 1:5000 su CTR 2016;
2. TAVOLA 2: proposta di delimitazione delle zone di rispetto del campo pozzi di Marzaglia e del pozzo Marzaglia (Hera), cartografia in scala 1:5000 su CTR 2016.

All'interno delle stesse tavole sono riportate in forma tabellare sia le caratteristiche costruttive (profondità e sviluppo filtri) di tutti i pozzi appartenenti ai campi pozzi oggetto di studio sia i valori corrispondenti alle portate estratte dai singoli pozzi nei due scenari gestionali utilizzati per il tracciamento delle particelle e delle relative isocrone. Ciò permette di elevare il grado di autonomia di lettura ed interpretazione degli elaborati cartografici prodotti.

Tali elaborati sovrappongono gli areali definiti sulla base del criterio cronologico e dei tempi di sicurezza, agli areali che rappresentano ad oggi le zone di rispetto per i campi pozzi, definite con criterio geometrico (200 m di raggio rispetto al punto di captazione) in base all'Art.94, comma 6 del DLgs 152/2006. In entrambe le tavole l'inviluppo complessivo di questi ultimi areali viene evidenziato col tratteggio. Si nota come il criterio geometrico tenda a definire zone di influenza in maniera del tutto indipendente sia dal campo di moto della falda e quindi dalla direzione prevalente di arrivo dell'acqua e dalla sua velocità di movimento, sia dall'entità del prelievo insistente sul pozzo. Rispetto al criterio geometrico il criterio cronologico evidenzia invece areali di influenza di ampiezza dipendente dalla portata estratta e con estensione maggiore nella direzione di arrivo dell'acqua e minore estensione nella direzione del deflusso della falda a valle dell'opera di captazione.

La TAVOLA 1 e la TAVOLA 2 possono quindi essere utilizzate per la progettazione della protezione statica e dinamica dei campi pozzi oggetto di studio.

Gli elementi cartografici presenti nelle due tavole vengono più sinteticamente riproposti nelle successive figure, Figura 6.23 e Figura 6.24, dove per i due areali rispettivamente di Cognento e di Marzaglia vengono evidenziate le porzioni di territorio ricomprese all'interno delle isocrone relative ai tre tempi di sicurezza adottati. Nel dettaglio le aree con campitura in rosso delimitano l'intorno dei pozzi/campi pozzi con tempo di arrivo dell'acqua pari a 60

giorni, gli areali in azzurro quelle con tempo di arrivo compreso tra i 60 ed i 180 giorni, e quelle in verde con tempo di arrivo da 180 a 365 giorni.

Nella Tabella 6.12 sono riportate le estensioni, espresse in ettari (ha) dei suddetti areali. I valori sono riportati per i singoli pozzi o per i raggruppamenti di questi in funzione del livello di sovrapposizione o integrazione delle singole aree. Così ad esempio per il pozzo B1 di Modena Sud o per il pozzo Marzaglia le isocrone rimangono isolate tra loro indipendentemente dal tempo di sicurezza utilizzato. Alcuni pozzi dell'areale di Cognento (tutti i pozzi di Aimag ed i pozzi A5 ed A6 di Hera) formano invece una unica area di influenza già per il tempo di sicurezza di 60 giorni. Tale areale si unisce via via a quelli degli altri pozzi di Hera Cognento già a 180 giorni formando un unico involucro per tutti i pozzi della zona (isocrona a 180). Tale areale si amplia ulteriormente per il tempo di sicurezza pari a 365 giorni. Le misure degli areali riportati in tabella sono da ritenersi al netto degli areali relativi al tempo di sicurezza direttamente inferiore.

Figura 6.23: modello Tele-Cognento, delimitazione degli areali ricompresi tra le isocrone a 365, 180 e 60 giorni per i campi pozzi Aimag ed Hera di Cognento e per il campo Pozzi Hera di Modena Sud.

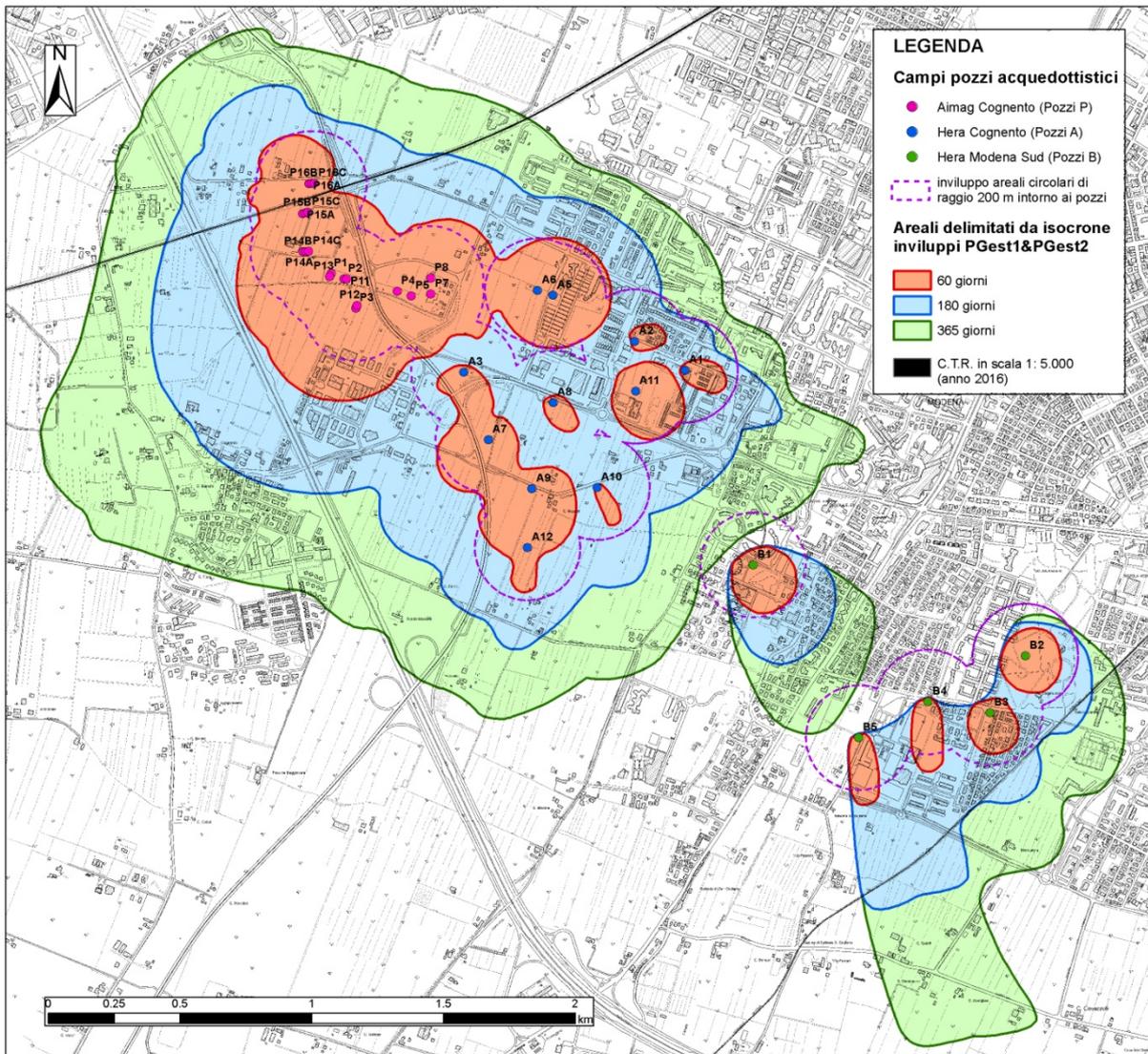


Figura 6.24: modello Tele-Marzaglia, delimitazione degli areali ricompresi tra le isocrone a 365, 180 e 60 giorni per il campo pozzi Hera a Marzaglia e per il pozzo Marzaglia.

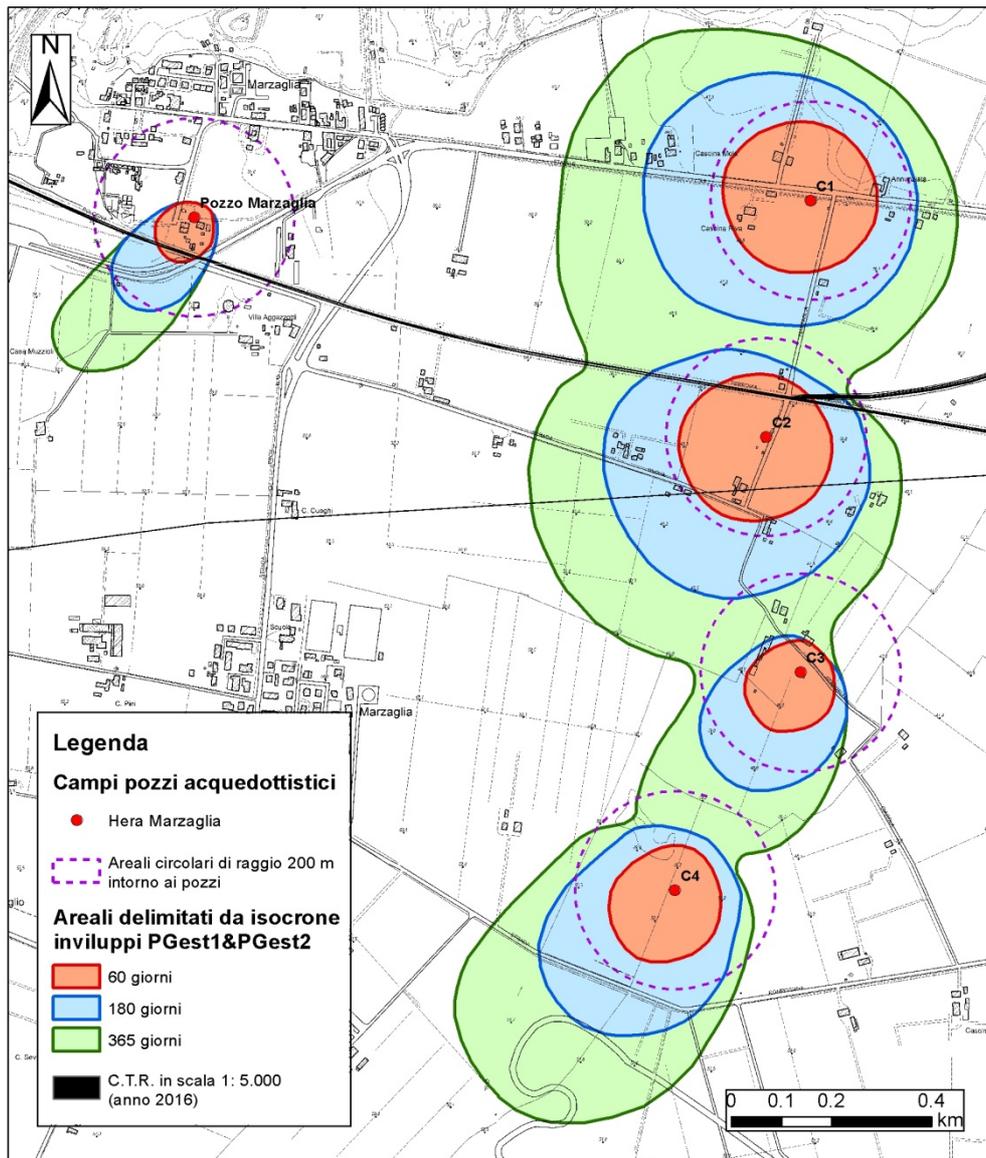


Tabella 6.12: campi pozzi di Cognento, Modena Sud e Marzaglia: estensione (ha) degli areali delimitati dalle isocrone per i tre tempi di sicurezza adottati (60, 180 e 365 giorni).

		Estensione degli areali delimitati dalle isocrone (ha)		
Campo pozzi	Pozzo	isocrona 60 giorni	da isocrona 60 giorni a isocrona 180 giorni	da isocrona 180 giorni a isocrona 365 giorni
AIMAG COGNENTO	P1	77.7	187.7	210.2
	P2			
	P3			
	P4			
	P5			
	P7			
	P8			
	P11			
	P12			
	P13			
	P14 (A,B,C)			
	P15 (A,B,C)			
	P16 (A,B,C)			
HERA COGNENTO	A5	21.5	187.7	210.2
	A6			
	A3			
	A7			
	A9			
	A12			
	A1			
	A2			
	A8			
	A10			
	A11			
TOTALE POZZI COGNENTO		110.5	187.7	210.2
HERA MODENA SUD	B1	4.9	9.4	15.0
	B2	4.5	39.1	48.3
	B3			
	B4			
	B5	2.6		
TOTALE POZZI MODENA SUD		18.0	48.5	63.3
HERA MARZAGLIA	C1	7.3	14.8	59.3
	C2			
	C3			
	C4			
Pozzo Marzaglia		1.1	2.1	3.2
TOTALE POZZI MARZAGLIA		22.2	43.5	62.5

7 Bibliografia

- [1] Aquaveo. *The New Groundwater Modeling System*. <http://www.aquaveo.com/gms>.
- [2] Arkigeo, *Perforazione di n. 3 triplette di pozzi idropotabili (nn. 14A, B, C; 15A, B, C; 16A, B, C) nel Campo Acquifero AIMAG di "COGNENTO" di Modena (MO): assistenza ed interpretazione delle prove di emungimento - relazione illustrativa*. Bastiglia (MO), marzo 2018.
- [3] Atersir, Arpa (2013). Implementazione della modellistica di flusso delle acque sotterranee della provincia di Modena a supporto della pianificazione e gestione della risorsa idrica. Rapporto tecnico.
- [4] Atersir, Arpa (2016). Applicazione della modellistica delle acque sotterranee della provincia di Modena: aggiornamento del modello di flusso, implementazione del modello di trasporto dei nitrati e loro applicazione a supporto di specifici obiettivi di pianificazione e gestione della risorsa idrica. Rapporto tecnico.
- [5] Beretta et Al. (1996). Protezione statica e dinamica nelle aree interessate dalla captazione di acque sotterranee dell'A.M.C.M. di Modena mediante modello numerico.
- [6] Deliberazione Della Giunta Regionale n° 1677/2001. Delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi del campo acquifero di San Cesario sul Panaro.
- [7] Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n°2112/2002. Individuazione delle aree di salvaguardia dei pozzi di via Loda a Castelfranco Emilia, Modena.
- [8] Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n°1099/2014. Individuazione delle aree di salvaguardia dei pozzi di via Loda a Castelfranco Emilia, Modena. Aggiornamento e modifica della DGR n° 2112/2002
- [9] EG Engineering Geology, ATO 4 MO Agenzia d'Ambito per i Servizi Pubblici di Modena (2007). *Piano d'Ambito del Servizio Idrico Integrato. Risorse idriche sotterranee della pianura modenese. Fase I- Revisione e omogeneizzazione degli studi idrogeologici. Relazione tecnica*.
- [10] Harbaugh A.W., Banta E.R., Hill M.C. & McDonald M.G. (2000). *MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-water model – User Guide to Modularization concepts and the Ground-water Flow Process*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-92.
- [11] Lake S.A., Claar D.V. , Procedures and Computer Programs for Telescopic Mesh Refinement Using Modflow- Open file report 99-238. Tucson 1999
- [12] Mc Donald M.G. e Harbaugh A.W. (1988). *A modular three-dimensional finite difference ground water flow model*. Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 6, chapter A1.
- [13] Norton G.A., Leahy P.P., (2005). Modflow 2005, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model – Documentation of Shared Node Local Grid Refinement (LGR) and Boundary Flow and Head (BFH) Package. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A12, 68p
- [14] Pollock, D.W. (2012). *User Guide for MODPATH Version 6 - A Particle Tracking Model for MODFLOW*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A41, 58p.
- [15] Regione Emilia-Romagna e ENI-AGIP (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio, Selca, Firenze.

8 ALLEGATI

TAVOLA 1: proposta di delimitazione delle zone di rispetto dei campi pozzi di Cognento (Hera ed Aimag) e di Modena Sud (Hera), cartografia in scala 1:5000 su CTR 2016;

TAVOLA 2: proposta di delimitazione delle zone di rispetto del campo pozzi di Marzaglia e del pozzo Marzaglia (Hera), cartografia in scala 1:5000 su CTR 2016.