

CASSA DI ESPANSIONE DEL TORRENTE BAGANZA NEI COMUNI DI FELINO, SALA BAGANZA, COLLECCHIO E PARMA (PR-E-1047)

PROGETTO ESECUTIVO

01	01/2020	Recepimento risultati modello fisico	BERSANO	BERTERO	BERTERO
00	07/2019	Prima emissione	BERSANO	BERTERO	BERTERO
REV.	DATA	MODIFICHE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZ.

GEOLOGIA, IDROGEOLOGIA E GEOTECNICA RELAZIONE IDROGEOLOGICA E MODELLI DI FLUSSO

ASSOCIAZIONE TEMPORANEA DI IMPRESE

MANDATARIA:

MANDANTI:



IL R.U.P.:

 Dott. Ing. Mirella Vergnani
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista responsabile integrazioni
 prestazioni specialistiche e Direttore Tecnico
 della mandataria.
 Hydrodata S.p.A.
 Ord. Ing. Torino N°7570L
 Dott. Ing. Roberto Bertero
 (documento firmato digitalmente)

 Progettista/Progettisti responsabili elaborato
 Hydrodata S.p.A.
 Ord. Geol. Piemonte N°247

 Dott. Geol. Marco Bersano Begey
 (documento firmato digitalmente)


CODICE ELABORATO:

B	A	G	3	0	3	G	E	O	R	R	E	0	2	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ID (1)

CAP. (2)

TIPO (3)

DOC. (4)

PROGR. (5-6) REV. (7)

SCALA

 GENNAIO
2020

INDICE

1. PREMESSA	2
2. CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO	3
3. IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO	4
4. SIMULAZIONE DI SCENARI PREVISIONALI (CONDIZIONI ANTEOPERAM E POSTOPERAM).....	10
4.1 SIMULAZIONI DELLE CONDIZIONI DI FALDA A VASCHE VUOTE	10
4.2 SIMULAZIONE EFFETTO SULLE CONDIZIONI DI FALDA DEL TRANSITO DI EVENTI DI PIENA A DIFFERENTE TEMPO DI RITORNO ($T_R=100$ ANNI, $T_R=1000$ ANNI)	13
4.2.1 Condizione anteoperam	15
4.2.2 Condizione postoperam.....	21
5. SINTESI DELLE MODIFICAZIONI TEMPORANEE E PERMANENTI DEI LIVELLI DI FALDA ED EFFETTI SULLE AREE ABITATE E INFRASTRUTTURE LIMITROFE	28

1. PREMESSA

La presente relazione idrogeologica, nell'ambito del Progetto Esecutivo della Cassa di espansione del torrente Baganza nei comuni di Felino, Sala Baganza, Collecchio e Parma, riguarda gli approfondimenti relativi al comparto acque sotterranee rispetto ai contenuti di cui alla relazione geologica di progetto (BAG3_03GEO_R_RE_01), specificamente finalizzati alla rivalutazione degli effetti indotti dall'opera sulla falda mediante modello numerico di flusso.

A riguardo è stata sviluppata un'analisi integrativa dell'interazione tra l'opera in progetto e le acque sotterranee, facendo seguito in particolare alle osservazioni riportate nella nota di conclusione VIA, DGR 544/2018.

Con riferimento alla nota sopracitata e alle relative richieste di integrazione (punto 20 della nota Regione ER prot. n. PG/2017/0344665 del 09/05/2017), si rileva come le valutazioni effettuate in ambito di Progetto Definitivo, supportate da modello di flusso, si basino su un set di dati piezometrici limitato agli esiti delle campagne di monitoraggio di giugno e luglio 2016 in corrispondenza con un periodo di magra del T. Baganza.

A riguardo, per la presente fase esecutiva di progettazione, è effettuata un'analisi idrogeologica e modellistica di maggiore dettaglio, basata sull'implementazione di un nuovo modello integrato acque superficiali – sotterranee, calibrato con i dati dei monitoraggi piezometrici effettuati sino ad oggi.

A riguardo, considerando la necessità di simulare gli effetti determinati dall'opera in relazione a differenti stati idrologici, incluso i regimi di portata "critici", nelle condizioni sia anteoperam che riferiti all'evento modulato dalla cassa di espansione, nella presente fase di progettazione esecutiva viene proposto un sistema basato sull'accoppiamento di modelli idraulici e di flusso sotterraneo, a partire dall'utilizzo del codice di calcolo FEFLOW (DHI-WASY) per la simulazione del flusso, direttamente interfacciato, via plugin, con l'output del modello idraulico InfoWorks ICM (Innovyze - HR Wallingford).

Mediante il sistema modellistico "accoppiato", sono state analizzate le variazioni di quota falda tramite simulazioni in regime transitorio dell'effetto indotto dall'onda di piena del corso d'acqua combinato alla gestione della cassa di espansione, fino alle condizioni estreme di progetto corrispondenti al transito e all'interazione con le opere in progetto della piena $Tr = 1000$ a del torrente Baganza. in riferimento a differenti eventi idrologici fino alle condizioni estreme di progetto.

Il confronto tra i livelli di falda per il medesimo evento nelle condizioni anteoperam e postoperam, è stato eseguito sia a livello di campo piezometrico complessivo, sia a livello puntuale, mediante il posizionamento di piezometri "virtuali" nel modello in corrispondenza di abitazioni, fabbricati, infrastrutture.

In riscontro anche alla richiesta documentazione integrativa di cui al punto 21 della citata nota prot. n. PG/2017/0344665 del 09/05/2017, è finalità specifica dell'attività il confronto tra le nuove valutazioni relative alla soggiacenza minima prevista e l'interferenza con eventuali locali in sotterranee in funzione anche delle criticità attese, alla definizione di un piano di monitoraggio della falda da attuare già nella fase anteoperam.

2. CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO

Le modellizzazioni si sono basate sul noto codice FEFLOW (DHI-WASY), tridimensionale con discretizzazione agli elementi finiti.

FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) è uno dei più sofisticati codici numerici ad oggi disponibili per la modellazione dei processi di flusso e trasporto in mezzi porosi e fratturati, in condizioni sia sature che insature. Tale ambiente di simulazione presenta funzionalità avanzate che lo collocano tra gli standard maggiormente accreditati per le simulazioni in siti contaminati e a supporto dei progetti di bonifica.

Rimandando in particolare per il dettaglio alla letteratura tecnica disponibile, si riportano le seguenti caratteristiche generali del modello, nella release attuale (FEFLOW 7.2, 2019):

- discretizzazione con mesh tridimensionale agli elementi finiti, triangolari o quadrangolari;
- discretizzazione con elementi totalmente destrutturati;
- simulazione in zona satura ed in zona non satura;
- simulazione in mezzi porosi e fratturati, con possibilità di assegnazione differenziata delle 3 componenti vettoriali dell'ellissoide di conducibilità idraulica;
- simulazione di elementi discreti (pozzi, fratture, tubazioni, condotti carsici, ecc.) con approccio idraulico alla Manning-Strichler all'interno del sistema di flusso per filtrazione.
- simulazione di trasporto con fluidi di densità diverse per temperatura o concentrazione salina, flusso "density dependent";
- flusso e trasporto di fluidi a viscosità variabile;
- simulazione dei processi di trasporto degli inquinanti, con integrazione di un'estesa tipologia di reazioni chimiche e meccanismi di degradazione;
- simulazione del flusso di calore, per conduzione, convezione, trasporto; simulazione di scambiatori di calore e sonde geotermiche.

L'applicazione di FEFLOW, è adatta a simulare ogni condizione riscontrabile per il sito in oggetto, includendo il codice di calcolo moduli per l'inserimento di pozzi di pompaggio, pozzi di iniezione, barriere lineari semipermeabili o impermeabili, strutture impermeabilizzate sotto falda.

Utilizzando gli strumenti in ambiente Feflow, tutte le strutture in sotterraneo (pozzi, diaframmi, setti impermeabili, trincee drenanti, ecc.) sono inseribili come elementi vincolanti di costruzione della mesh di calcolo ("supermesh elements"), direttamente dai layout di progetto. Pertanto la griglia agli elementi finiti viene costruita sulla base della geometria reale degli elementi geometrici e di modello concettuale, e non sulla base di approssimazioni e schematizzazioni. Analogamente la geometria degli strati e dei livelli a differente conducibilità idraulica, dove distinguibili, viene inserita tra gli elementi vincolanti per la costruzione della mesh consentendo la rappresentazione dell'andamento stratigrafico in assoluto aderente con il modello concettuale.

3. IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI FLUSSO

Il modello di flusso è stato realizzato sulla base di una griglia tridimensionale agli elementi finiti triangolari costituita da 125440 elementi distribuiti su 3 layer verticali.

L'area di modello è stata definita nell'ambito di un'estesa porzione di conoide del T.Baganza, sulla base della piezometria di larga scala derivante dall'elaborato "Carta di inquadramento geologico-idrogeologico" (BAG 3 03 GEO D PL 01 0), e alle conseguenti condizioni al contorno esterne. Con riferimento alla Figura 2, l'area è delimitata a monte e a valle idrogeologico da linee ad uguale carico idraulico, a cui corrispondono nel modello condizioni di carico imposto (Head BC); i limiti laterali sono stati definiti sulla base di linee di flusso, ovvero con andamento ortogonale a linee isopiezometriche. A ciò corrisponde nel modello l'assenza di condizioni al contorno, ovvero la condizione "no boundary = no flow" con assenza di flusso in entrata o in uscita dal modello lungo il limite suddetto.

Si tratta di un'area definita, come già per il modello di PD, a scala ampia, al fine di non vincolare il modello stesso assegnando condizioni al contorno prossime al settore di interesse, costituito dall'area di progetto e dai settori limitrofi a piezometria modificata dalla presenza e gestione delle vasche. Per la specifica area si è proceduto ad un affinamento locale della griglia di calcolo FE, con distanza internodale minima fino a 0.25 m, al fine di consentire la corretta rappresentazione degli elementi di progetto (argini, diaframmi, jet grouting).

Il corso del Baganza è stato simulato applicando condizione al contorno di "Fluid transfer" (cond. di Cauchy, o di III° tipo). La condizione prevede l'inserimento del corso d'acqua attribuendo ad ogni nodo un valore di carico idraulico o un idrogramma dei livelli. Alla condizione è associato un valore di "transfer rate" che consente a calibrazione degli interscambi tra acque superficiali e sotterranee. Rimandando per il dettaglio alla letteratura tecnica specialistica, la condizione di fluid transfer, rispetto alla condizione di carico, presenta il vantaggio di consentire l'inserimento di un "constraint" di flusso verticale, condizione adatta alla simulazione, come nel caso del T.Baganza e in generale dei corsi d'acqua in conoide di simulare corsi d'acqua disconnessi dal livello di falda stesso. La condizione di "transfer rate", parametro di calibrazione, è stata attribuita alla fascia di massima ampiezza della piena per gli scenari simulati dal modello ($Tr=1000$ a). La condizione stessa viene attivata in corrispondenza delle celle bagnate (con battente idrico, $water\ level > elevation$) per ogni passo di calcolo e relativo valore di quota idrometrica.

Al modello, sulla base della caratterizzazione idrogeologica di progetto, sono stati applicati i parametri idrodinamici riportati nella seguente Tabella 1.

Unità	Descrizione	Kx, Ky, Kz (conducibilità idraulica, ellissoide)	ne, S (porosità efficace / Storage)
UG1	G,S (Unità di Modena)	5E-4, 5E-4, 5E-5	0.25
UG2a	GS,LA (subsistema di Ravenna ghiaie e sabbie limoso argillose o in matrice limo-argillosa)	5E-5, 5E-5, 1E-5	0.15
UG2b	LA (limi e argille)	Base acquifero, slice 3 modello	

Tabella 1 - Parametri idrodinamici di riferimento¹.

Il modello è specificamente finalizzato a verifiche di scenario, in riferimento al transito di eventi di piena ad assegnato tempo di ritorno, a partire dall'accoppiamento con il modello idraulico, e al confronto tra le relative condizioni anteoperam e postoperam.

I risultati di tali verifiche risultano strettamente condizionati dallo stato iniziale della falda a inizio simulazione, ovvero al tempo $t=0$ dell'evento di riferimento.

La definizione della superficie iniziale a $t=0$, ha fatto riferimento alle quote piezometriche da monitoraggio 2012-2019, come da analisi nella relazione geologica-idrogeologica. A riguardo, viene fatto riferimento ai valori di misura che definiscono per il sito di progetto la massima quota media di falda freatica, corrispondenti, per l'intero periodo di misura, alla campagna di aprile 2013. Una "calibrazione" per questa e ogni altra condizione di falda non può essere svolta nel senso stretto del termine. Ciò in quanto la ricarica della falda in conoide risulta strettamente connessa all'alimentazione da parte del corso d'acqua, ovvero dei battenti e della "superficie bagnata" nel periodo medesimo delle misure, fattori estremamente variabili in un corso d'acqua con morfologia larga e ramificata. Per tale motivo la "calibrazione" del modello, in regime stazionario, è stata effettuata:

- verificando come elemento di controllo i livelli relativi alla campagna di aprile 2013 (massima quota media di falda freatica per il periodo di monitoraggio 2012-2019);
- assumendo come stato idrologico di riferimento l'output di modello idraulico al tempo $t=0$, e relativi battenti e superficie bagnata;
- calibrando il parametro di transfer rate per gli elementi d'alveo in funzione delle differenze tra carichi idraulici calcolati e misurati.

¹ Si precisa come per l'Unità di Modena UG1 sia stato preso a riferimento un valore di K (h,v) pari a 5E-4 m/s, inferiore al valore indicato nella relazione idrogeologica (1E-3 m/s) a seguito di migliore calibrazione del modello. Nelle simulazioni bidimensionali di filtrazione nei rilevati e nel terreno di fondazione, finalizzate alle verifiche al sifonamento, si è cautelativamente mantenuto il valore superiore di 1E-3 m/s (rif. Elaborato BAG3_07_ARG_R_RE_01_0.docx).

Il risultato della calibrazione è riportato in Figura 5. Si precisa come, in considerazione di quanto sopra riportato, non si è ritenuto di “forzare” il modello verso una maggiore riduzione dei differenziali. Tale condizione risulta infatti agevolmente ottenibile tramite autocalibrazione (es. con l'applicazione di codici tipo PEST), assegnando valori eterogenei al parametro di transfer rate ed eventualmente anche alla conducibilità idraulica, generando tuttavia soluzioni casuali che possono risultare rappresentative di punto di vista numerico, e dunque generare un miglior fitting dei dati sperimentali, ma non rappresentare una migliore descrizione della realtà fisica.

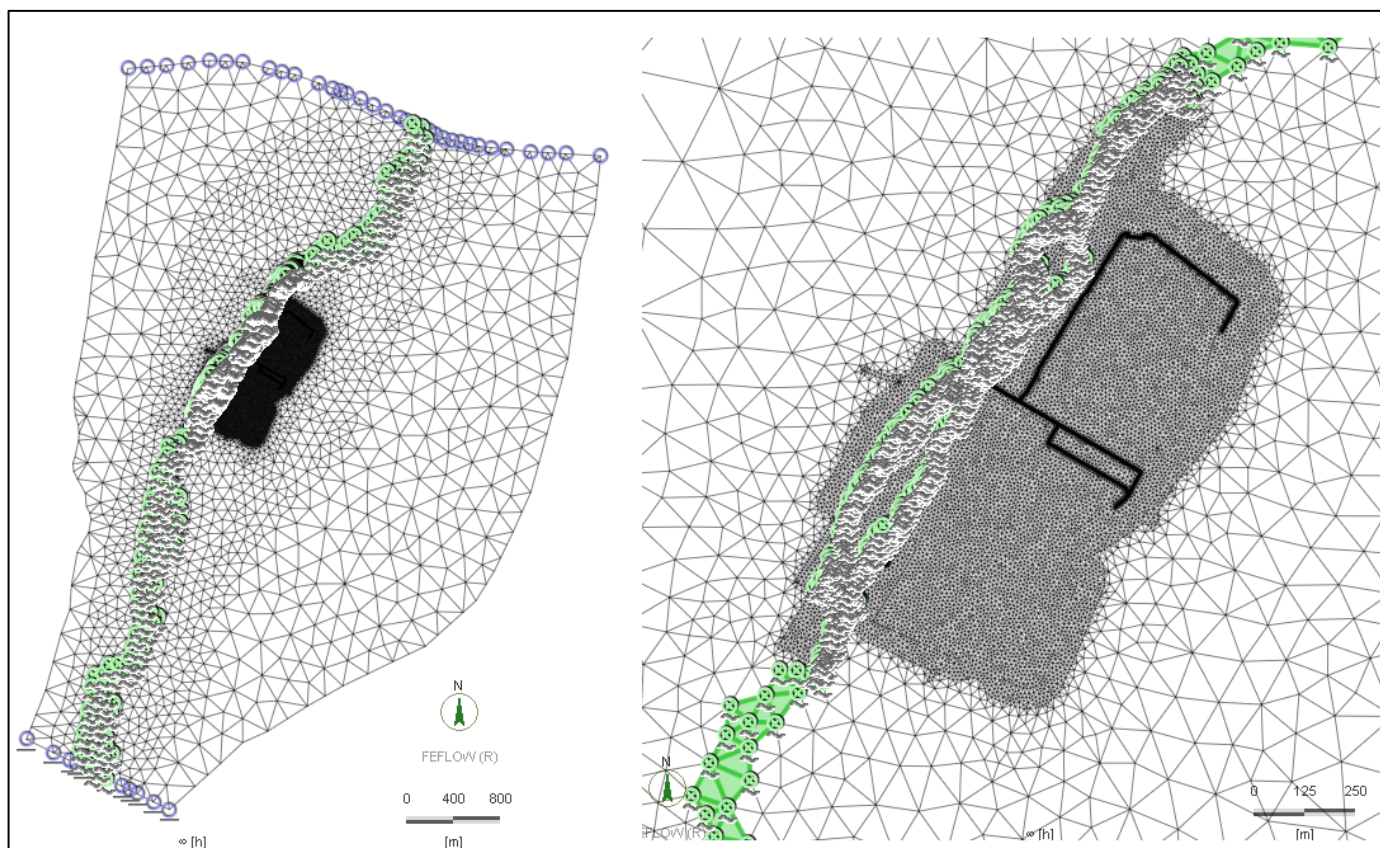


Figura 1 – Griglia di modello e condizioni al contorno (estensione complessiva e dettaglio area di progetto)

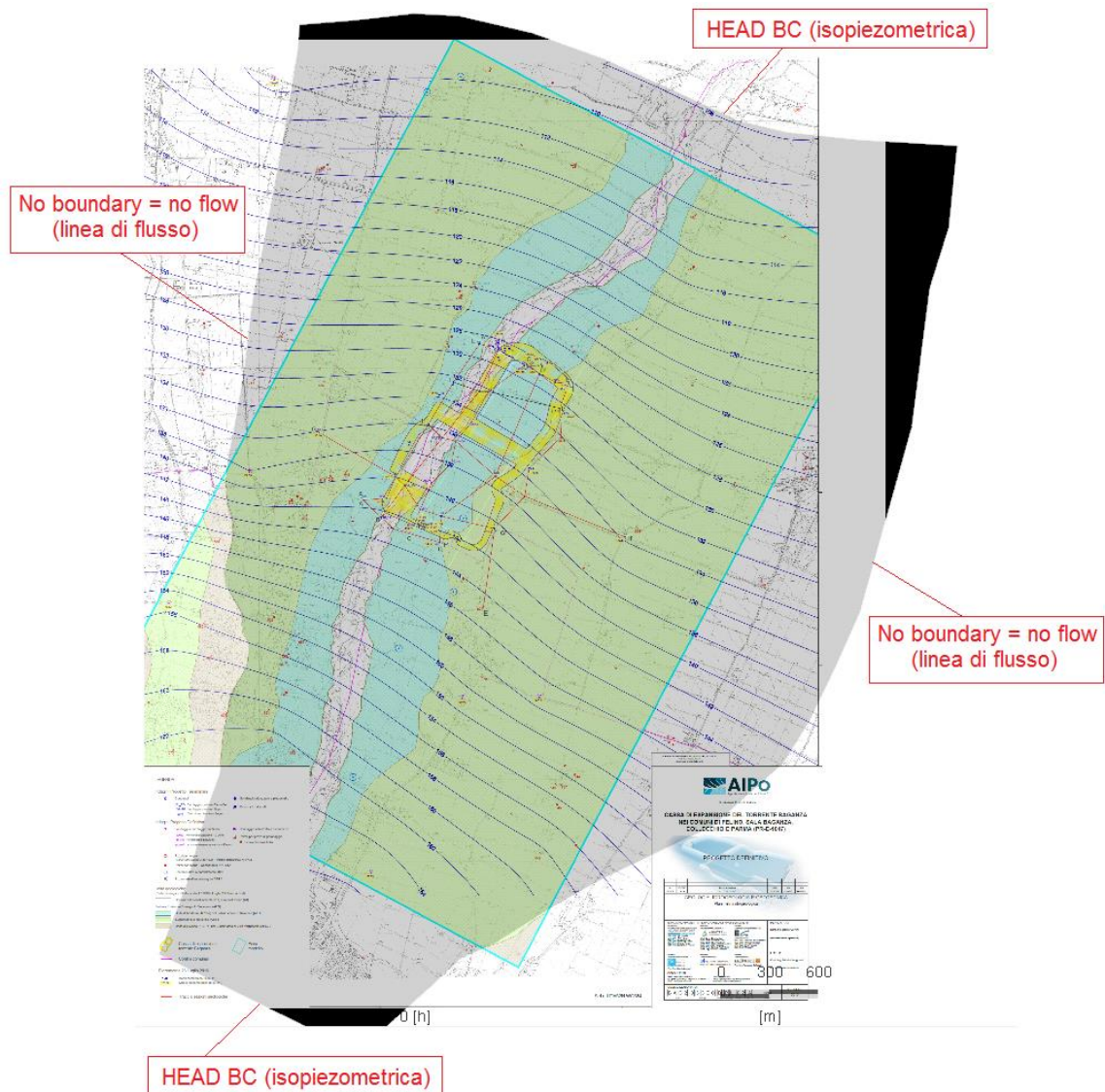


Figura 2 – Area di modello (in grigio), definita in base alle condizioni al contorno esterne: linee isopiezometriche (limiti di monte e valle idrogeologico), linee di flusso (limiti laterali)

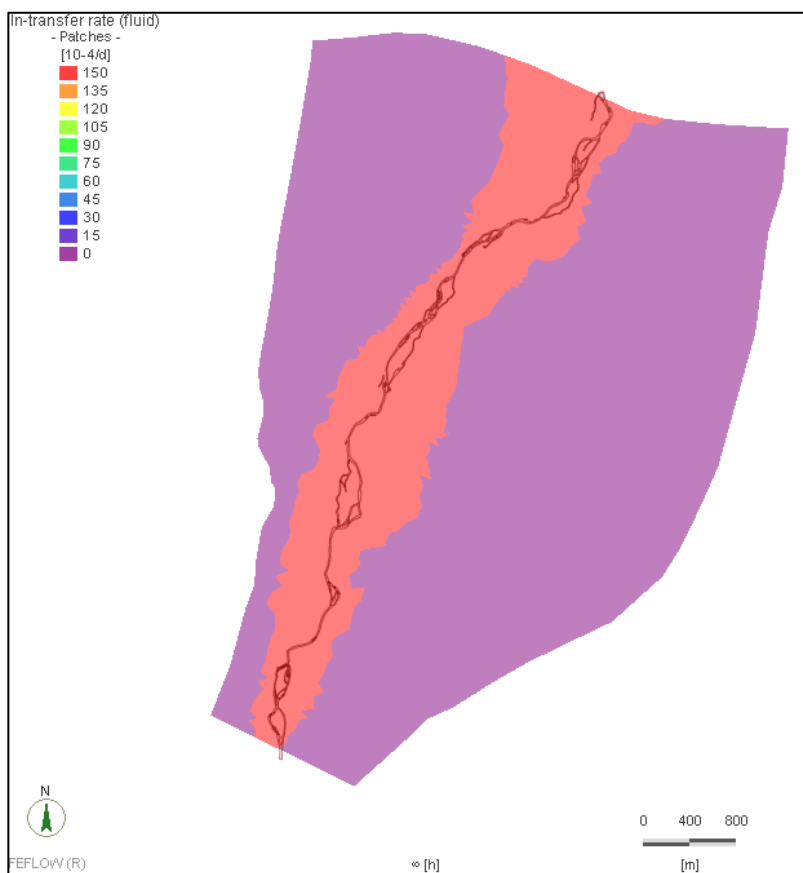


Figura 3 - Condizione di transfer rate, per l'interscambio tra corso del Baganza e acquifero. L'ampiezza dell'area è definita in funzione della massima ampiezza di riferimento del corso d'acqua ($Tr=1000$ a) da modello idraulico bidimensionale

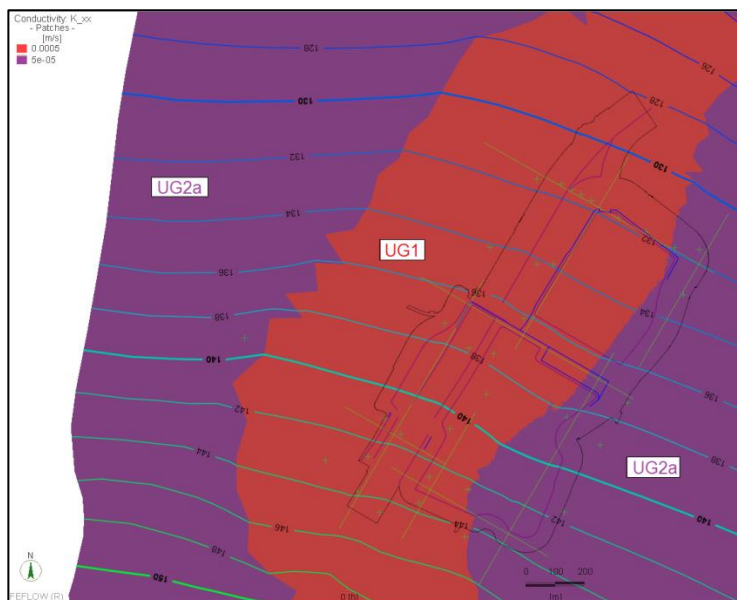


Figura 4 - Campo di conducibilità idraulica per le unità UG1 (prevalenti ghiaie e sabbie) e UG2a (ghiaie e sabbie limoso-argillose o in matrice limoso-argillosa)

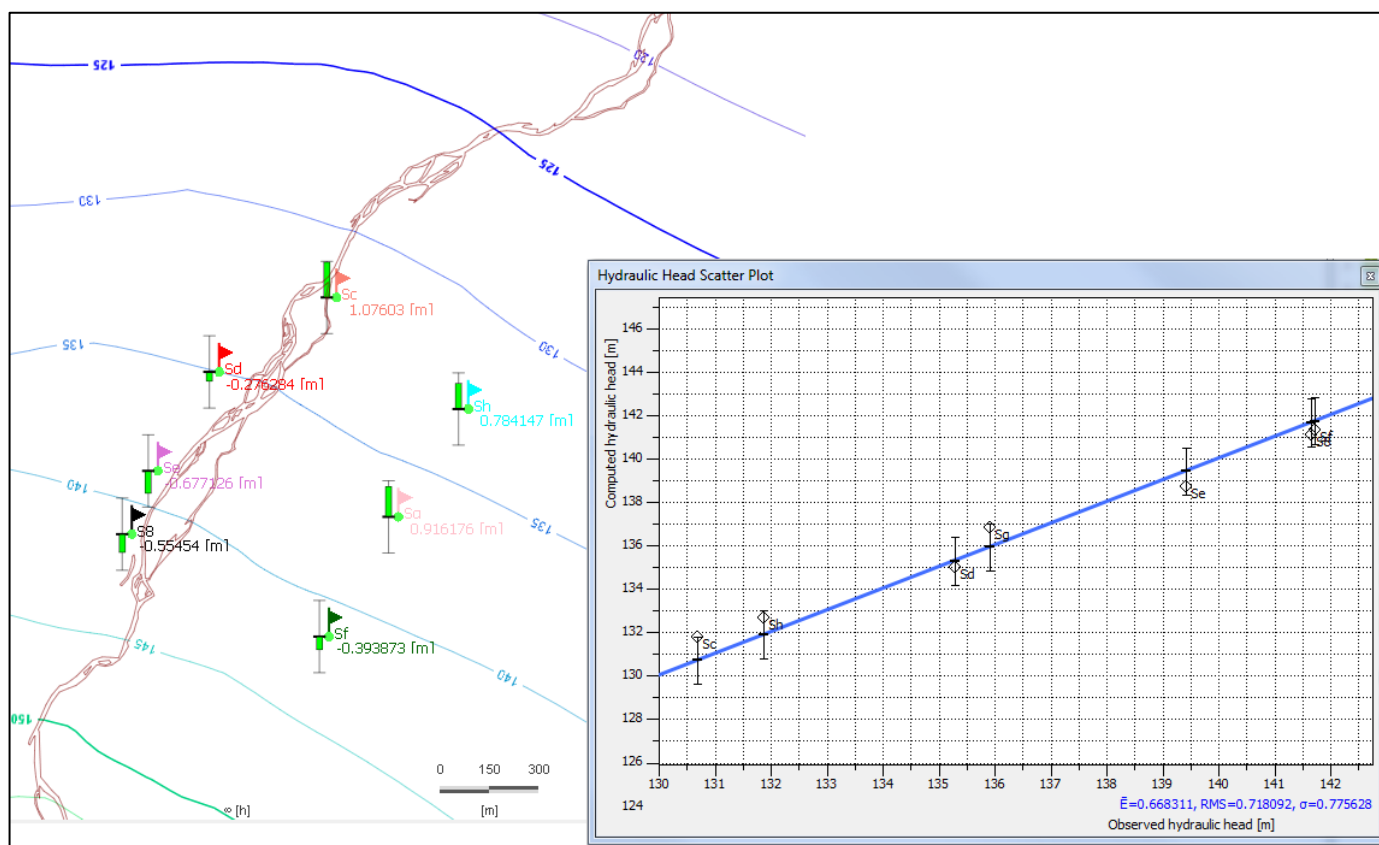


Figura 5 - Scatter plot di calibrazione del modello, in riferimento alla misura piezometrica aprile 2013 (massima quota piezometria media periodo di monitoraggio 2012-2019)

4. SIMULAZIONE DI SCENARI PREVISIONALI (CONDIZIONI ANTEOPERAM E POSTOPERAM)

Mediante il modello di flusso, e a partire dalla piezometrica di calibrazione, sono stati verificati i seguenti scenari:

- in regime stazionario “a vasche vuote”, ovvero con simulazione dell'effetto permanente di drenaggio nelle condizioni postoperam “ordinarie”, in assenza di invaso per laminazione;
- in regime transitorio, con simulazione degli idrogrammi di piena per gli eventi $Tr=100$ anni e $Tr=1000$ anni.

4.1 SIMULAZIONI DELLE CONDIZIONI DI FALDA A VASCHE VUOTE

La condizione “a vasche vuote” è stata simulata assegnando condizioni di carico imposto *Head BC* ai nodi interni ai bacini pari alle quote fondo di progetto, e un constraint ai nodi medesimi per imporre flusso unidirezionale in uscita dal modello (drenaggio da tutti i nodi della condizione).

Per l'abbattimento del carico idraulico a fondo vasca il modello calcola una portata in uscita di circa 90 l/s, di cui oltre 70 dal comparto 1 (rif. finestra di budget in Figura 6).

Tale valore si ritiene cautelativo, in quanto:

- riferito alla condizione iniziale anteoperam di calibrazione, relativa come detto alla massima quota falda misurata nel periodo 2012-2019;
- calcolato sulla base del campo di conducibilità idraulica dell'unità intercettata dal fondo vasche (UG2a, 5E-5 m/s, Tabella 1) cautelativamente incrementato rispetto ai valori da PD (rif. PE, Addendum alla Relazione Geologica, par. 3.3).

Nelle seguenti Figura 7 e Figura 8 è riportato il confronto tra la soggiacenza e il campo piezometrico nelle condizioni anteoperam e postoperam.

L'inserimento dell'opera determina un incremento della soggiacenza fino a oltre 4 m rispetto alle condizioni anteoperam nella fascia in destra idrografica in fregio alle vasche con effetti a decrescere sulla quota falda fino a circa 1.5 km dalle vasche stesse, mentre la condizione tende a riequilibrarsi a valle idrogeologico del sistema di vasche. In sinistra Baganza si osservano effetti molto contenuti, anche se si ritiene, in condizioni di magra ovvero di ridotti apporti dal corso d'acqua verso il subalveo, la carenza di alimentazione potrebbe verosimilmente determinare effetti di estensione ed entità simile anche in sinistra, condizione difficilmente modellizzabile in assenza di una specifica calibrazione dei valori di transfer rate nelle specifiche condizioni, che dovranno pertanto essere verificate in fase di monitoraggio.

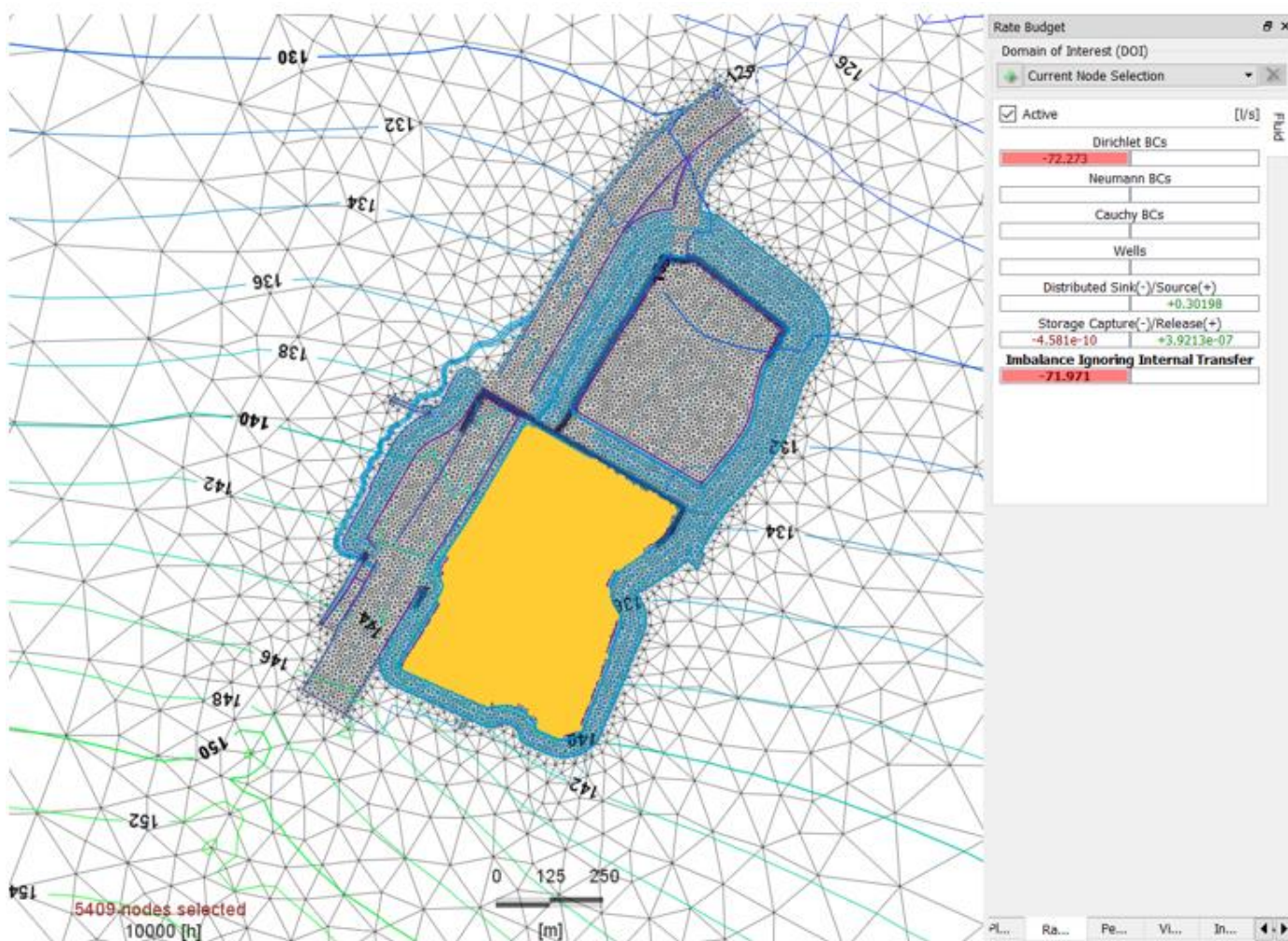


Figura 6 – Bilancio di modello relativo al comparto 1 (circa 70 l/s, a fronte di un drenaggio totale di circa 90 l/s)

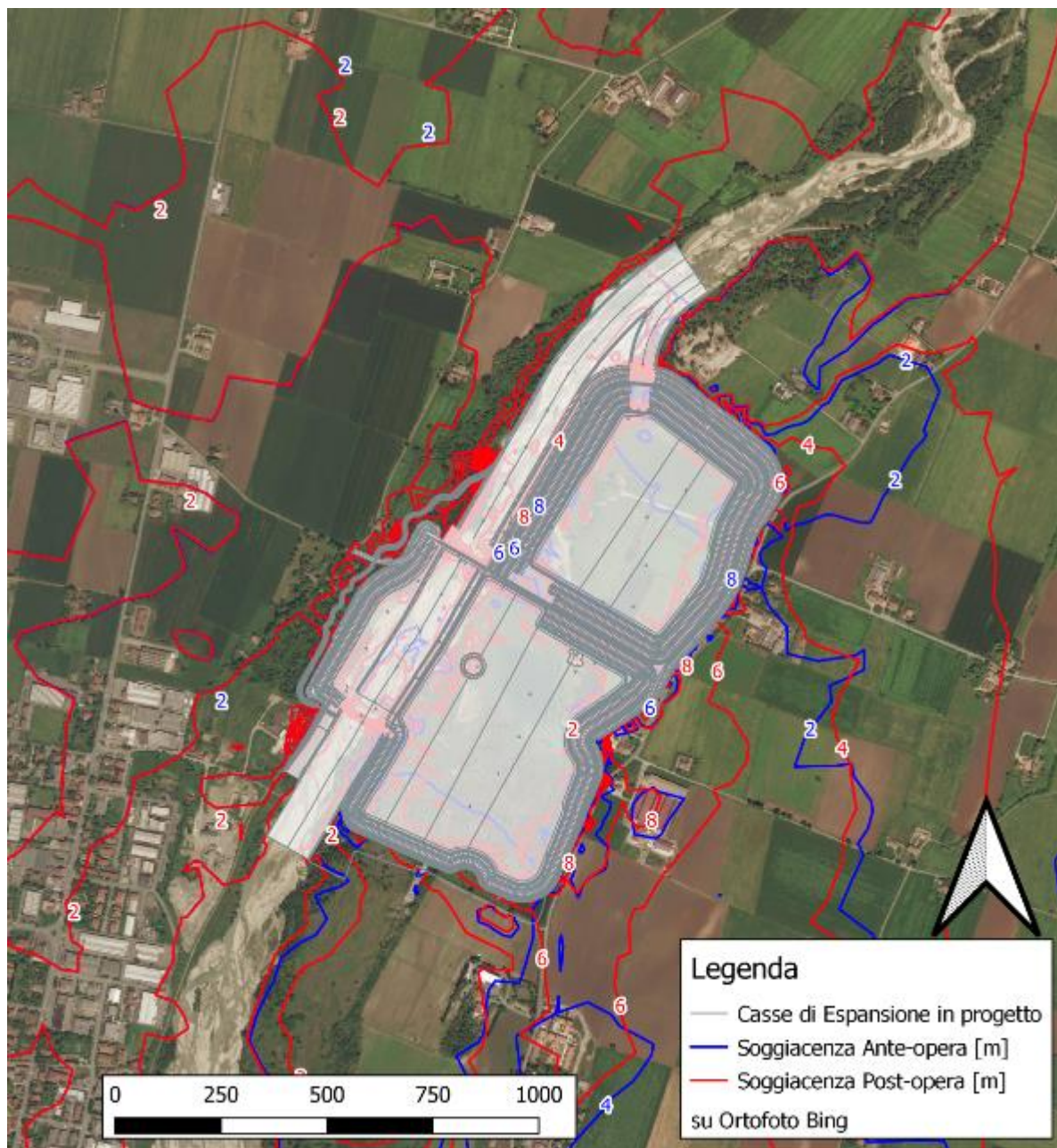


Figura 7 – Soggiacenza falda calcolata nelle condizioni anteoperam e postoperam (condizione “vasche vuote”)

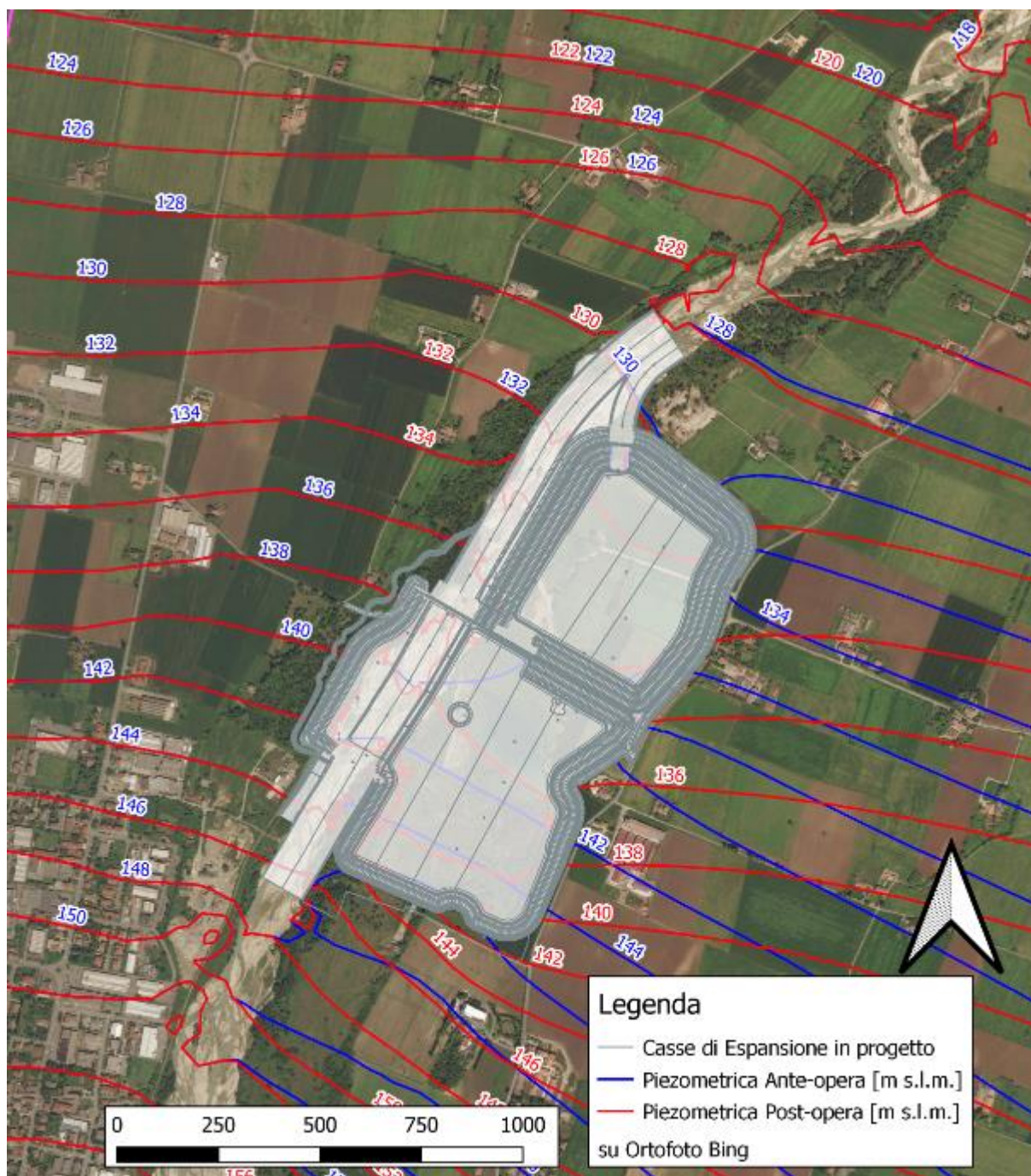


Figura 8 – Piezometria calcolata nelle condizioni anteoperam e postoperam (condizione “vasche vuote”)

4.2 SIMULAZIONE EFFETTO SULLE CONDIZIONI DI FALDA DEL TRANSITO DI EVENTI DI PIENA A DIFFERENTE TEMPO DI RITORNO ($Tr=100$ ANNI, $Tr=1000$ ANNI)

A partire dalla superficie piezometria di riferimento definita attraverso la fase di elaborazione e calibrazione in regime stazionario, il modello di flusso è stato utilizzato per la simulazione in regime transitorio degli effetti sulla falda per gli idrogrammi di piena con $Tr=100$ anni, e $Tr = 1000$ anni, e gli scenari:

- anteoperam;
- postoperam (con vasche di laminazione operative).

In riferimento alla metodologia di analisi idrologica e idraulica del T.Baganza e delle interazioni con le opere di laminazione, si rimanda integralmente agli Elaborati BAG 3 02 IDR R RE 01 0 Relazione idrologica, BAG 3 02 IDR R RE 01 0 Relazione idraulica.

Il modello di flusso in ambiente FEFLOW è stato accoppiato via plugin con l'output del modello idraulico realizzato in ambiente InfoWorks ICM (Innovyze - HR Wallingford).

Il modello di flusso acquisisce pertanto dati di livello idrometrico per ogni nodo della maglia agli elementi finiti, che vengono interpolati nel tempo in riferimento ad ogni passo di calcolo del modello stesso. Ne deriva che ad ogni nodo è associato un idrogramma di livello, che il modello acquisisce come condizione al contorno di Cauchy (Fluid transfer).

L'evento di input descrive pertanto in regime transitorio la traslazione dell'onda di piena lungo il corso d'acqua nelle condizioni anteoperam e postoperam, comprensivo, per la condizione postoperam medesima, degli idrogrammi di livello interni alle vasche di laminazione.

Per lo specifico settore delle opere di laminazione, in Figura 9 sono riportati gli idrogrammi di riferimento inseriti nel modello per i livelli interni alle vasche 1 e 2, derivanti dallo studio idraulico.

Gli eventi simulati hanno durata 100 h. E' stata presa a riferimento la condizione di massima cautelatività, in cui sono mantenuti i livelli massimi a seguito del riempimento della vasca 2.

Per le simulazioni del transito della piena di riferimento, si è assunta la massimizzazione del valore di transfer rate. Tale condizione, rimandando alla letteratura tecnica specifica riferita alle due condizioni al contorno, è cautelativa, in quanto si ha una transizione dinamica da una condizione al contorno di fluid transfer BC a una condizione di carico (Head BC), in cui il flusso dal corso d'acqua è calcolato in funzione del battente idraulico e della conducibilità idraulica dell'alveo, senza introdurre fattori di bedload-resistance. Tale condizione, oltre a risultare cautelativa per l'interscambio di flusso tra corpi idrici superficiali e falda, è motivata dal profilo di saturazione verticale continua che si instaura nel corso dell'evento di piena, in alveo e nella porzione sottostante le vasche.

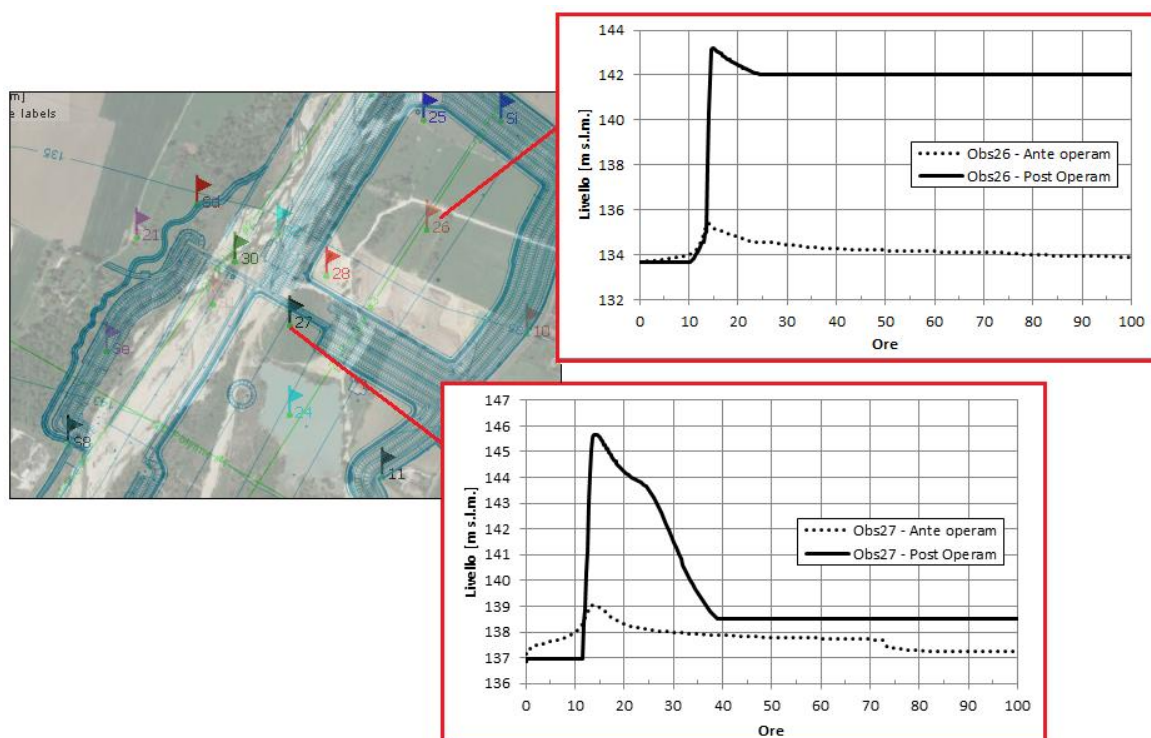


Figura 9 - Quote idrometriche da modello idraulico, di riferimento per le simulazioni di flusso settori vasca 1 e vasca 2 (anteoperam e postoperam / operativa)

4.2.1 Condizione anteoperam

La simulazione rende disponibile la simulazione delle condizioni di falda conseguenti al transito dell'evento di piena per ogni passo di calcolo del modello di simulazione.

Nelle successive Figura 10÷Figura 15 sono estratte le condizioni relative agli istanti $t = 14$ h (\approx picco idrometrico), 30, 50 h, per i due eventi di riferimento.

Relativamente ai "punti di osservazione" indicati nelle figure, vengono a seguire riportati i diagrammi completi dei carichi piezometrici calcolati ai relativi nodi di modello, in raffronto anche alle quote di p.c..

E' importante osservare come nell'incertezza sulla struttura ed efficienza della rete di drenaggio superficiale, i settori "allagati" da falda sono riferiti all'insieme dei nodi in cui il modello calcola carico idraulico $>$ quota p.c. (Head>Elevation). Non è dunque previsto il trasferimento di flussi in superficie, risultando pertanto massimizzati i battenti di falda su p.c..

Nella condizione più gravosa $Tr=1000$ anni, anteoperam, si riscontrano diffusi settori di falda affiorante al margine della fascia di allagamento dalle acque del Baganza.

I settori di affioramento della falda, nell'insieme con le aree allagate dal Baganza, riguardano una fascia di ampiezza massima superiore a 1000 m, in destra e sinistra idrografica. I medesimi settori permangono sostanzialmente allagati da falda, seppure con battenti massimi in riduzione, per tutti gli scenari temporali rappresentati fino a $t=50$ h, ovvero successivamente al picco idrometrico di piena a partire da $t=14$ h.

I settori con allagamento da falda riguardano tra gli altri l'area produttiva di Sala Baganza in sinistra idrografica, e marginalmente settori abitati in destra idrografica, risultando la fascia con falda a p.c. sostanzialmente contenuta entro il limite esterno costituito dalla S.P.56.

Per lo scenario Tr100 si osserva un'ampiezza significativamente inferiore della fascia allagata e dei settori a falda affiorante, che non giungono interessare, come dettagliato nel seguito, settori con infrastrutture ed edifici significativi.

- Scenario Tr100 anni

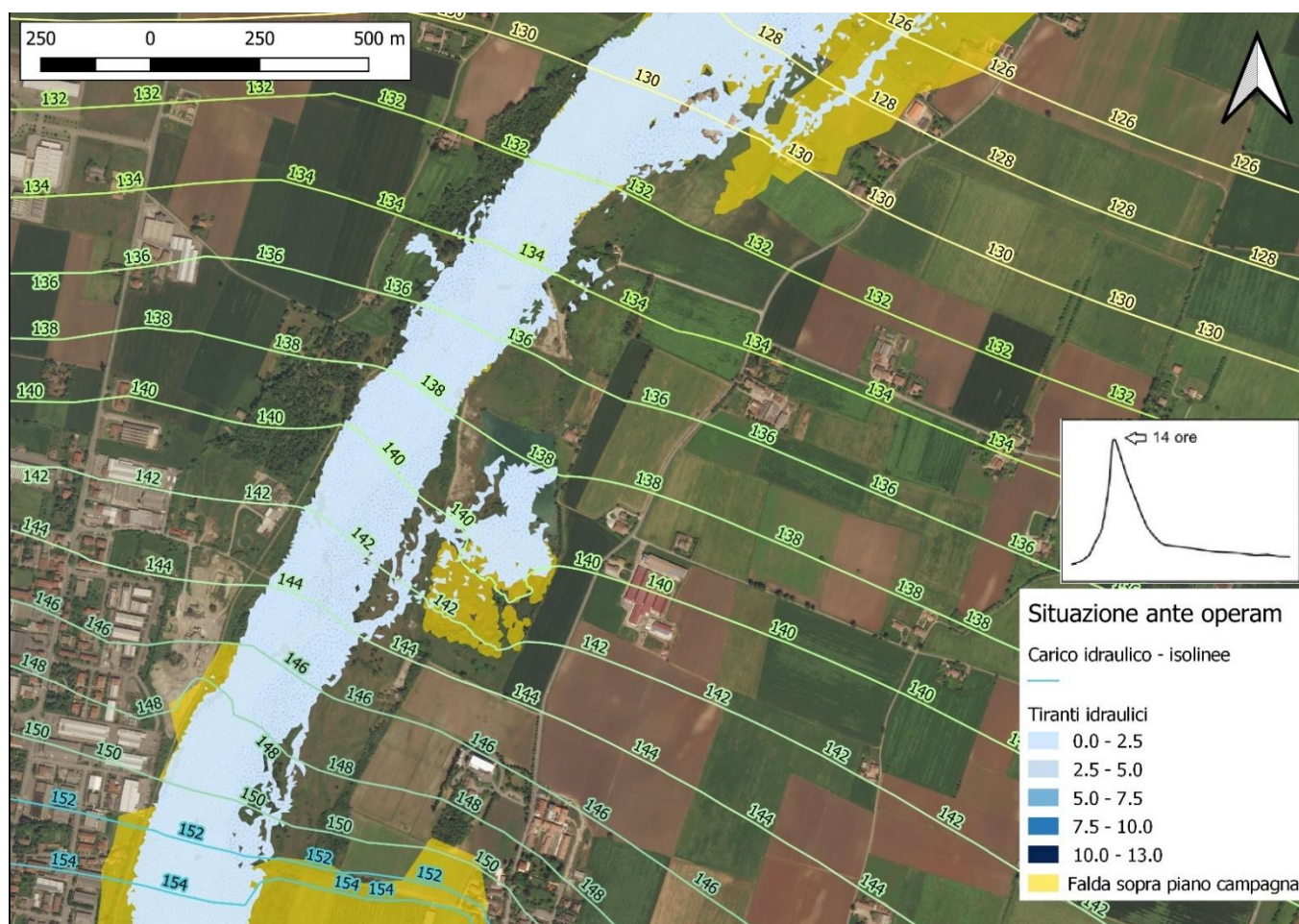


Figura 10 – Output di modello, Tr = 100 a, t = 14 h (Qmax), anteoperam



Figura 11 – Output di modello, $Tr = 100$ a, $t = 30$ h, anteoperam

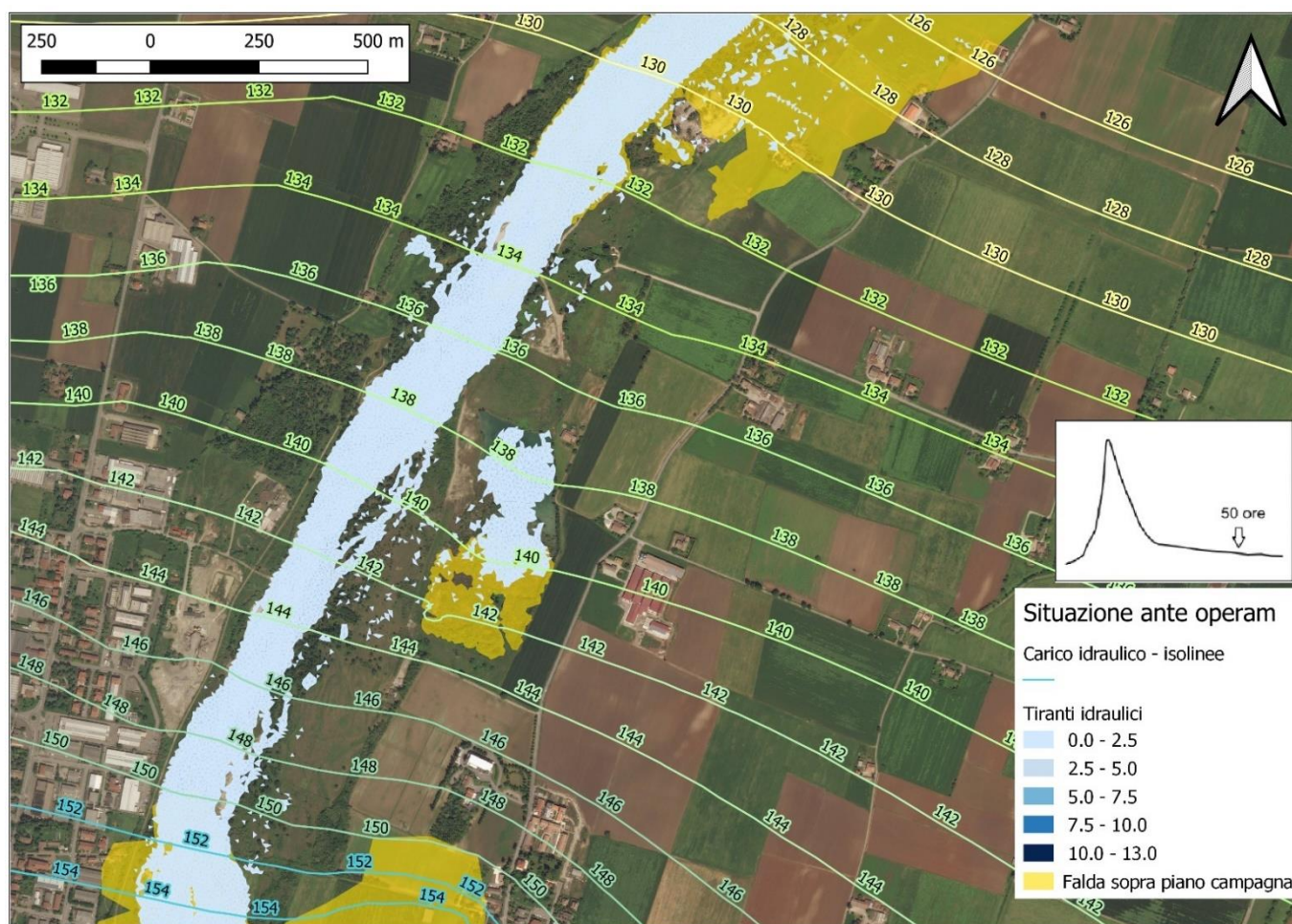


Figura 12 – Output di modello, $T_r = 100$ a, $t = 50$ h, anteoperam

- Scenario Tr1000 anni

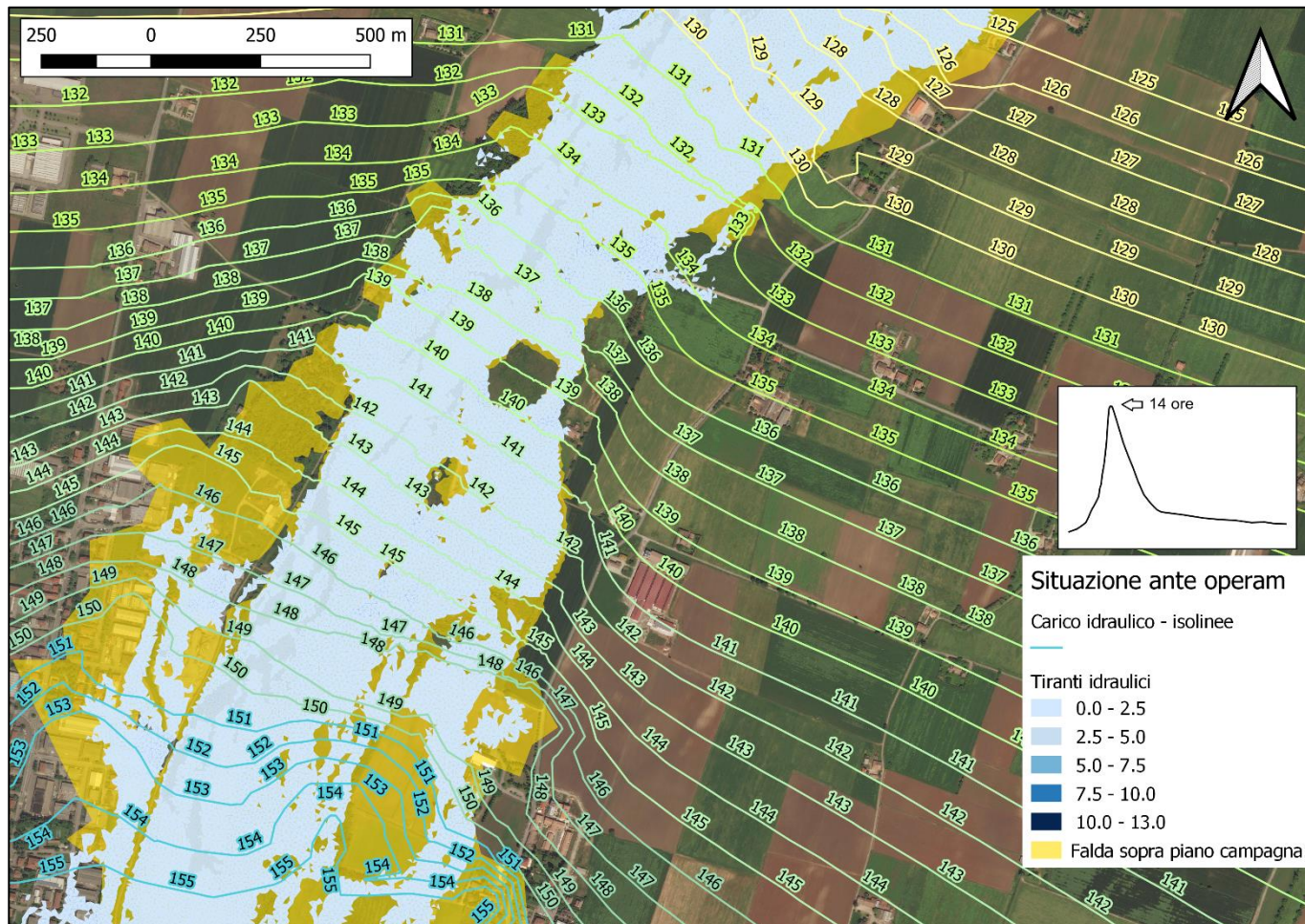


Figura 13 – Output di modello, Tr = 1000 a, t = 14 h (Qmax), anteoperam

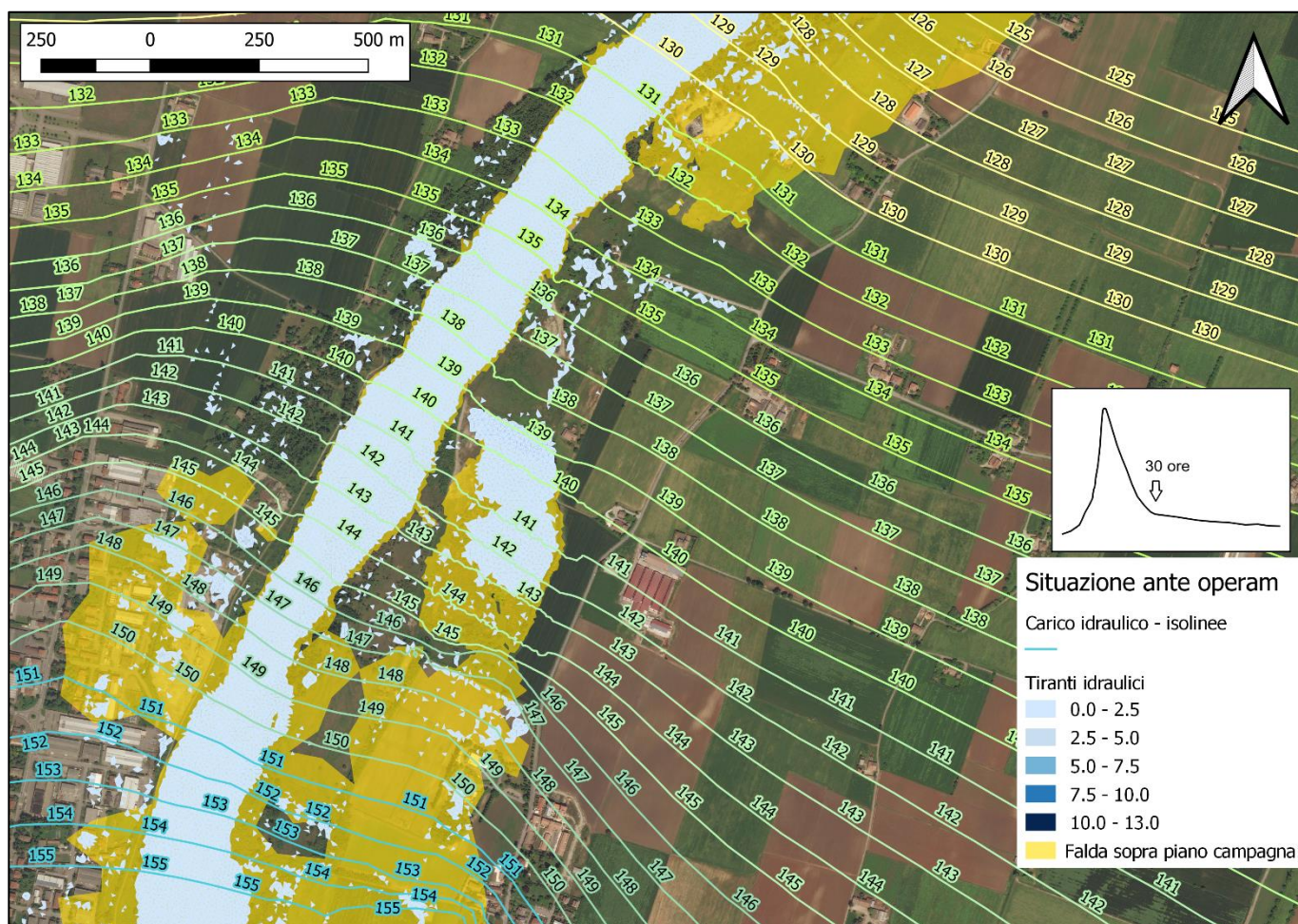


Figura 14 - Output di modello, $T_r = 1000$ a, $t = 30$ h, anteoperam



Figura 15 - Output di modello, $Tr = 1000$ a, $t = 50h$, anteoperam.

4.2.2 Condizione postoperam

Nelle successive Figura 16÷Figura 21 sono estratte per gli scenari postoperam ($Tr = 100$ a, $Tr = 1000$) le condizioni relative agli istanti $t=14$ h (\approx picco idrometrico), 30, 50 h.

A livello complessivo nella condizione postoperam con laminazione dell'evento di piena, si osserva, a monte delle vasche, un andamento dei settori a falda subaffiorante, per entrambi gli eventi di riferimento $Tr100$ e $Tr1000$, comparabile con quello anteoperam, sia in destra che in sinistra idrografica. A valle del sistema di vasche, in corrispondenza del picco di piena $t=14h$ si osserva una significativa riduzione delle aree allagate dal Baganza conseguente alla laminazione, da cui una iniziale riduzione delle aree a falda subaffiorante.

Successivamente al picco di piena, la permanenza dell'acqua nella vasca 2, con un battente massimo superiore a 10 m da p.c. determina la risalita della falda, in tutto il settore in fregio al lato ESE.

Nello scenario considerato, ovvero di permanenza del tirante idraulico massimo in vasca 2, le condizioni di massima estensione delle aree con falda affiorante si osservano a fine simulazione.

Il dettaglio degli effetti postoperam sui settori interessati da abitati e infrastrutture è oggetto dell'analisi nel successivo punto 5, a cui si rimanda. In termini generali si osserva come per l'evento Tr100 non si determinino nella condizione postoperam condizioni di falda affiorante in corrispondenza di nuclei abitati, pure in condizioni di falda prossima al p.c., rilevandosi invece interferenze, come nel seguito descritto e da rappresentazioni grafiche nelle seguenti figure, per l'evento estremo Tr1000.

- **Scenario Tr100 anni**

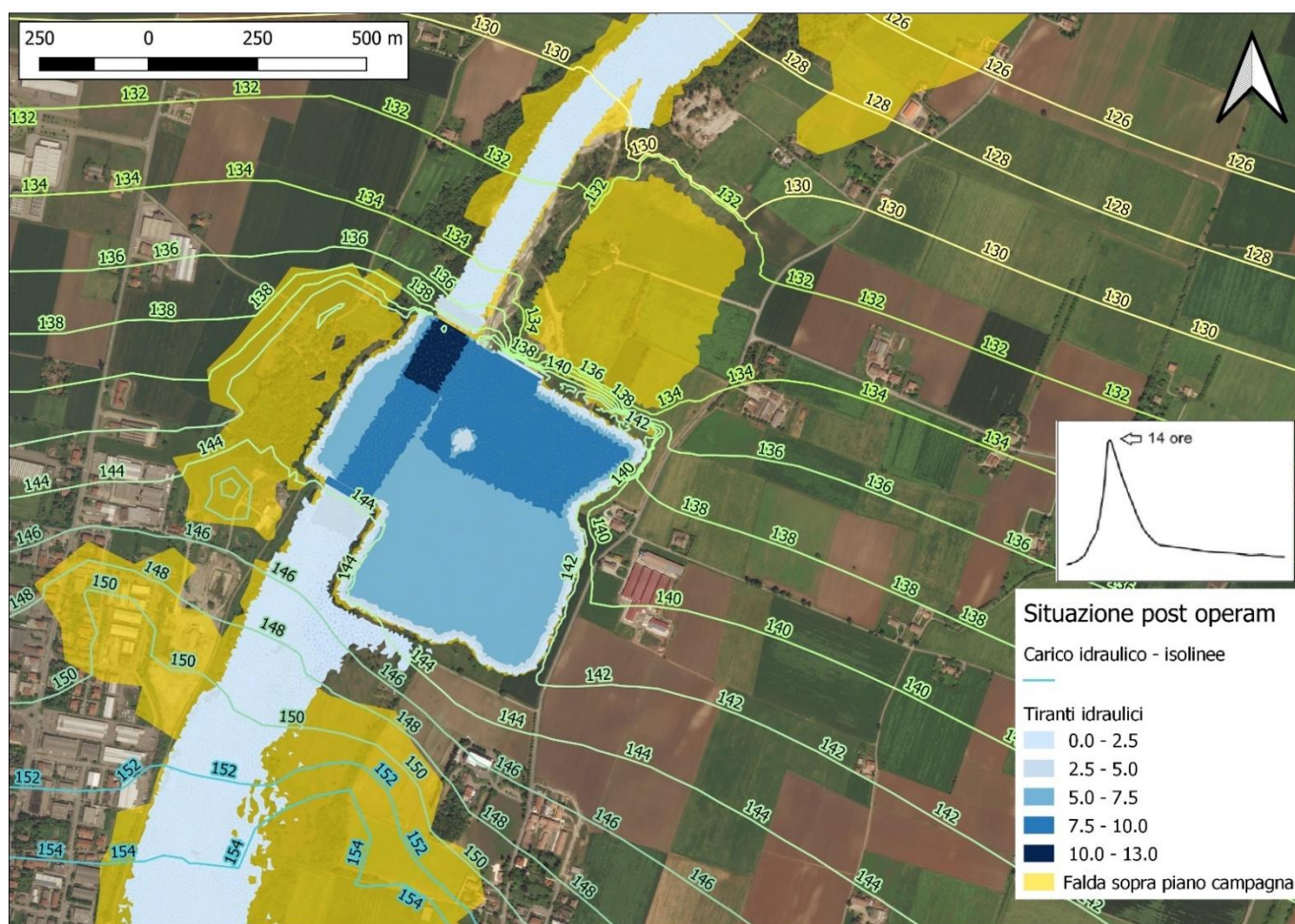


Figura 16 - Output di modello, Tr = 100 a, t = 14 h (Qmax), postoperam

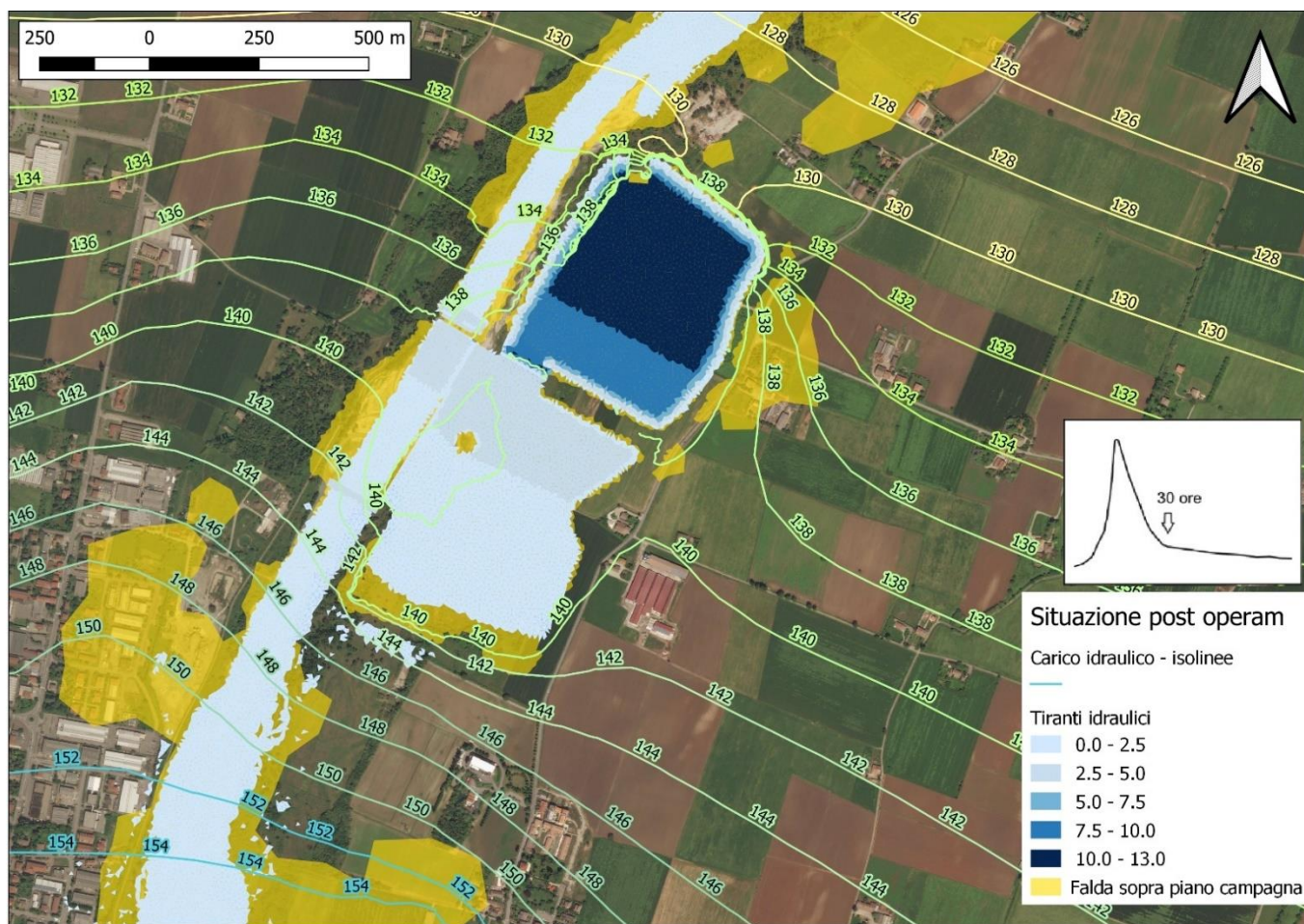


Figura 17 - Output di modello, $Tr = 100$ a, $t = 30$ h, postoperam

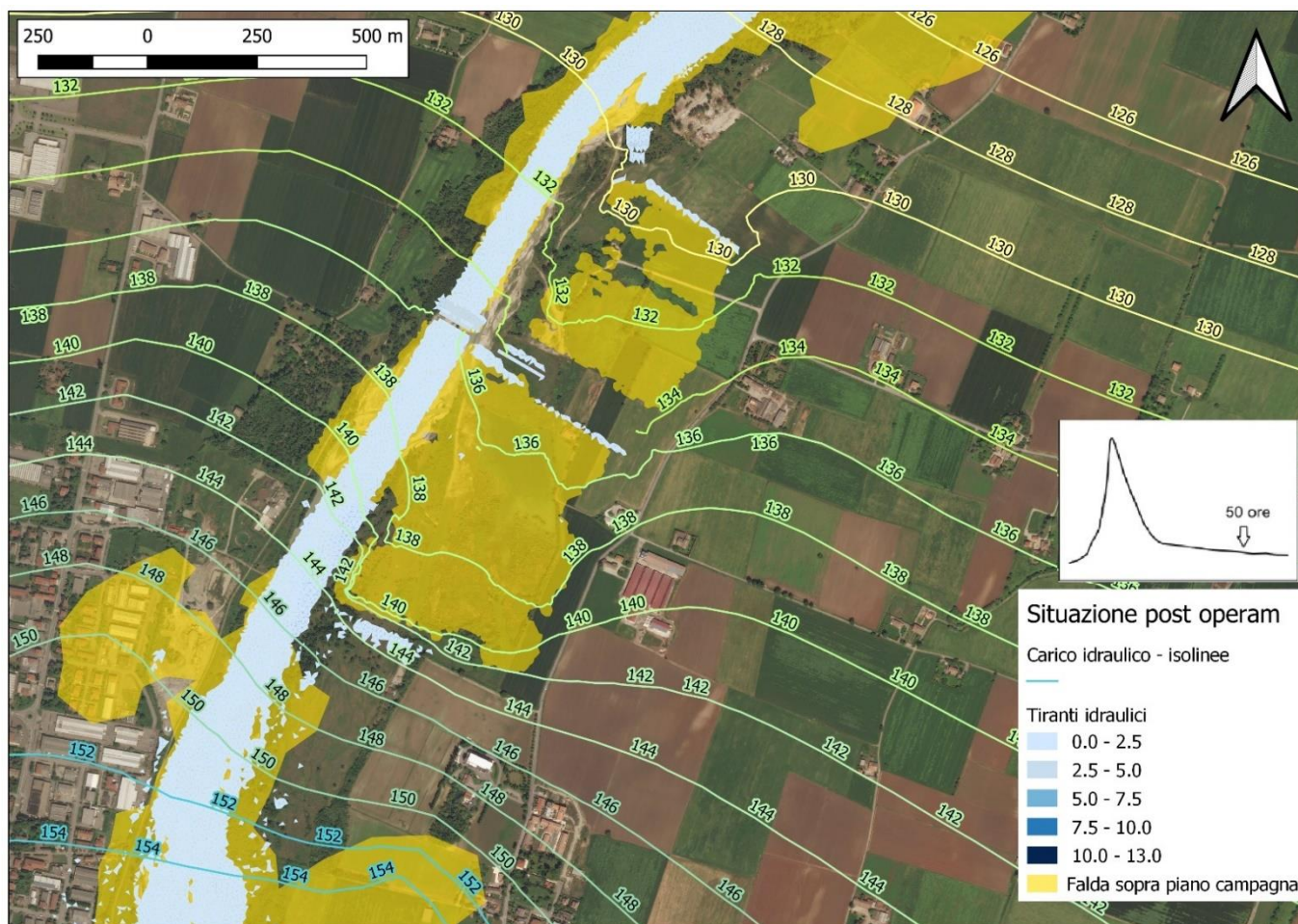


Figura 18 - Output di modello, $T_r = 100$ a, $t = 50$ h, postoperam

- Scenario Tr1000 anni

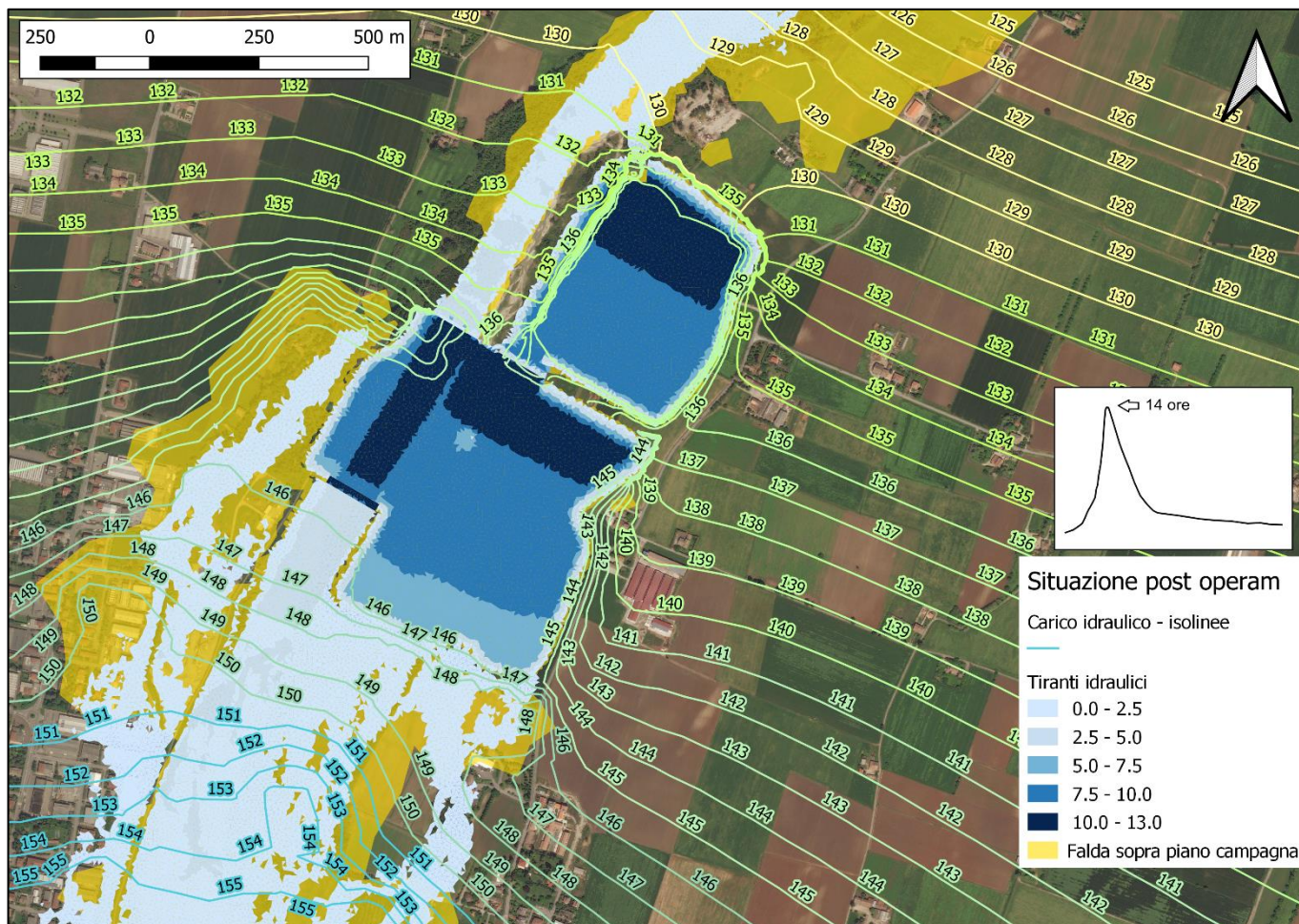


Figura 19 - Output di modello, Tr = 1000 a, t = 14 h (Qmax), postoperam

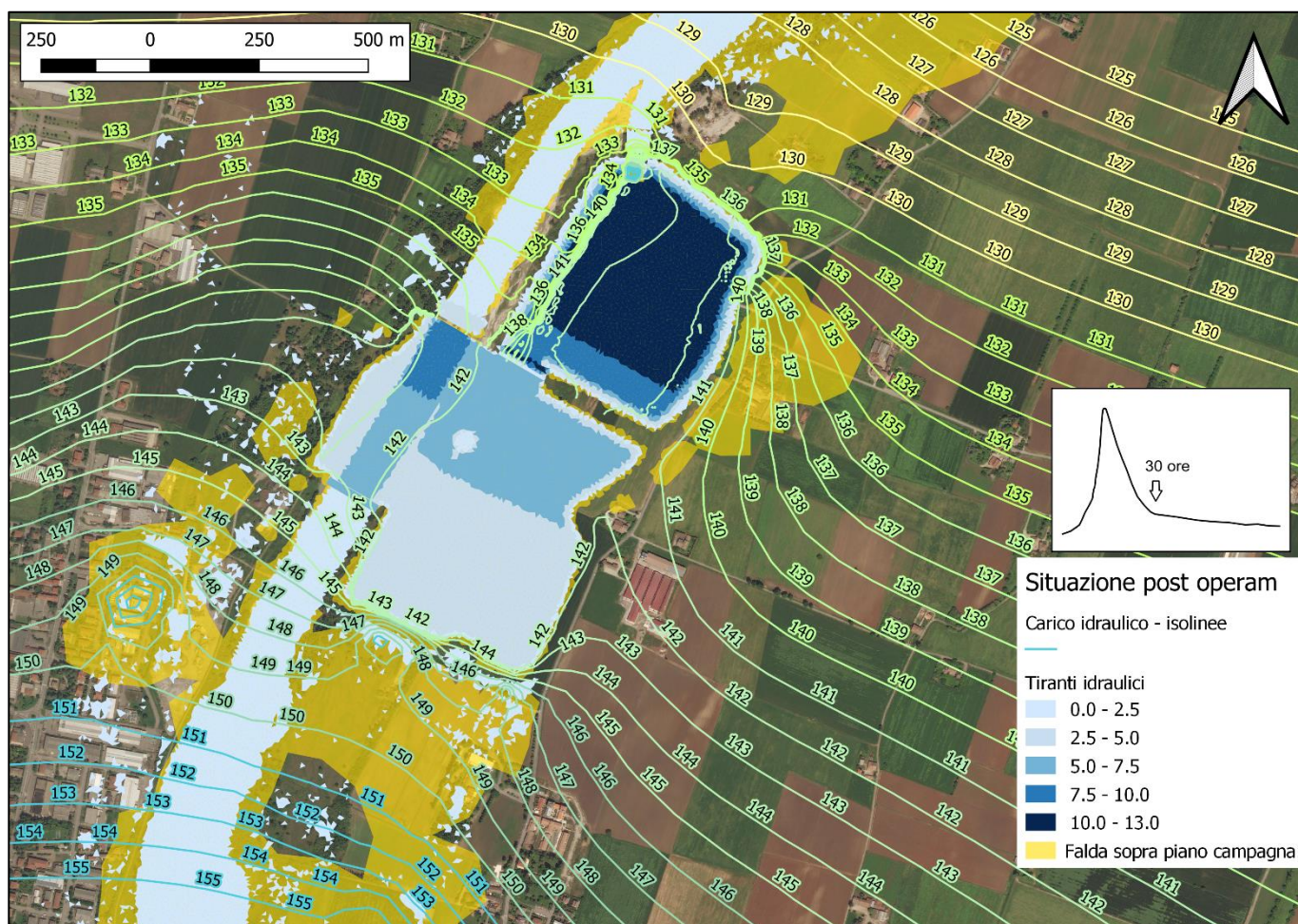


Figura 20 - Output di modello, $Tr = 1000$ a, $t = 30$ h, postoperam

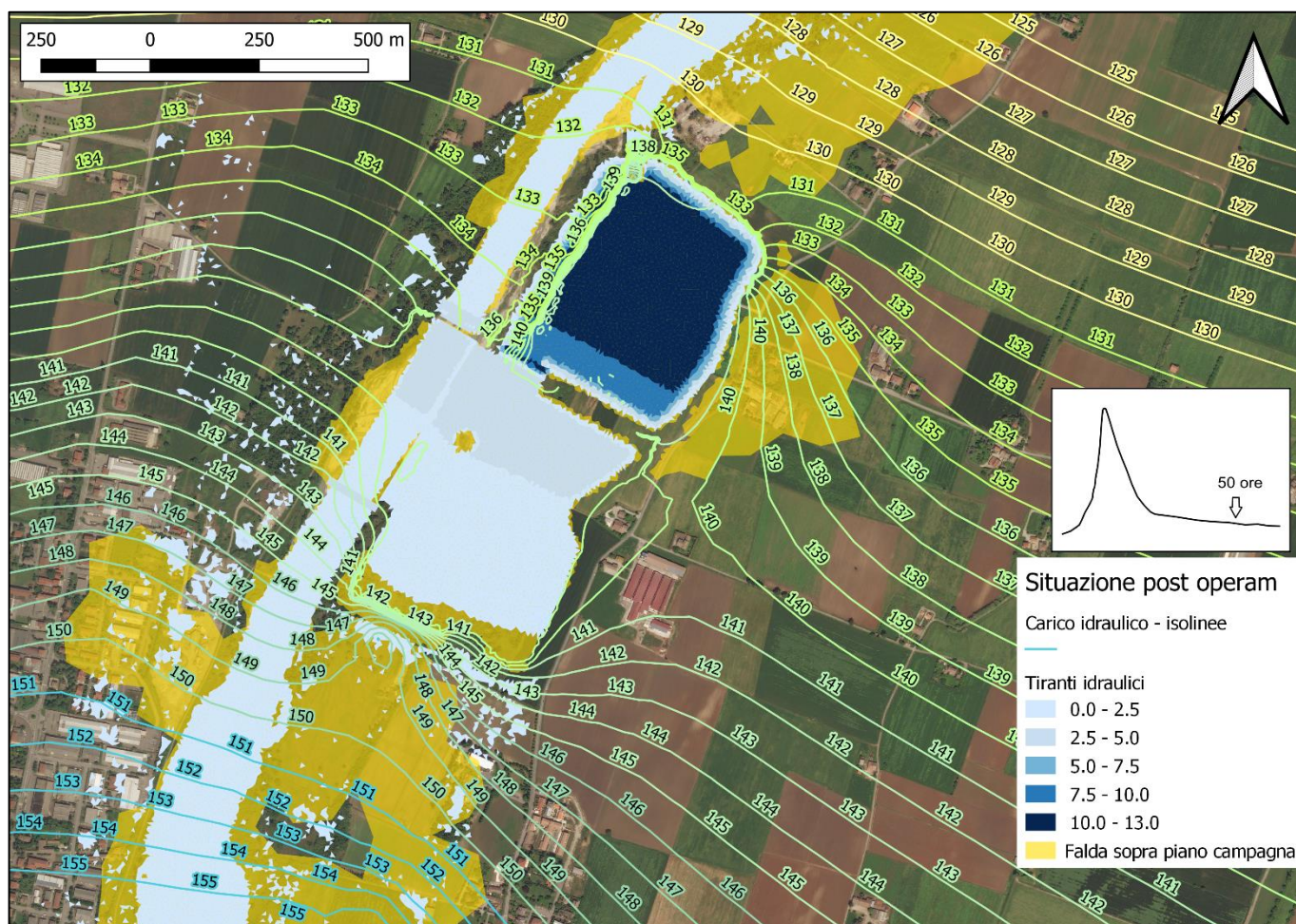


Figura 21 - Output di modello, $Tr = 1000$ a, $t = 50h$, postoperam

5. SINTESI DELLE MODIFICAZIONI TEMPORANEE E PERMANENTI DEI LIVELLI DI FALDA ED EFFETTI SULLE AREE ABITATE E INFRASTRUTTURE LIMITROFE

Mediante il modello di flusso sono stati analizzati due differenti e opposti set di scenari postoperam. La condizione “ordinaria” con bacini vuoti, e drenaggio della falda alla quota di fondo delle vasche, e la condizione operativa per la laminazione delle portate di piena (con riferimento ad eventi con Tr 100 e Tr 1000 anni), con alimentazione della falda per condizioni di maggior carico nei bacini di laminazione stessi. .

Nelle condizioni ordinarie, a bacini vuoti, le strutture risultano drenanti, con portate calcolate dal modello dell'ordine di 90 l/s. La riduzione della quota falda ovvero incremento della soggiacenza da piano campagna, come da Figura 7, risulta dell'ordine massimo di 4 m, in corrispondenza dei settori abitati in destra, in fregio alle vasche, indicati con “A”- “B”-“C” in Figura 22 e Figura 23.

Tale incremento della soggiacenza, nei termini quantitativi calcolati dal modello, ha come effetto complessivamente positivo su settori con soggiacenza anteoperam <2-4 m, e in particolare sulle aree edificate “A”, “B” dove la soggiacenza anteoperam risulta minima.

L'entità della riduzione di quota falda risulta peraltro di ordine comparabile con le oscillazioni naturali della falda che risultano di circa 2 m nella rete piezometrica di osservazione per il PE (Piezometri AS1÷AS10, rif. Addendum alla Relazione Geologica, Elab. BAG_03GEO_R_RE_01_0), e ampiamente ricompreso nell'ambito di oscillazioni pluriennali rilevate a più ampia scala nell'acquifero di conoide del Baganza, come da analisi storica in ambito delle fasi preliminare e definitiva di progettazione.

La riduzione massima di quota falda, dell'ordine di 4 m, comporta la riduzione di spessore del livello saturo (circa 20 m nella condizione anteoperam dell'ordine di circa il 20%, e pertanto un'analogia riduzione della trasmissività T dell'acquifero stesso. Considerando la relazione tra la trasmissività T e la portata specifica Qsp di pozzi di prelievo, $T(m^2/s) \approx Qsp(m^3/s \cdot m)$, è prevista per pozzi completi ovvero sviluppati nell'intera falda freatica una analoga riduzione della portata specifica, ovvero dell'ordine del 20% circa.

Nelle condizioni operative di laminazione, dal confronto tra i differenti scenari risulta:

- l'assenza di significative differenze ante-post in sinistra Baganza, e in particolare nel settore produttivo di Sala Baganza (settore “E” in Figura 22);
- analoga assenza di significative differenze ante-post, a monte del sistema di vasche, nei settori con costruzioni isolate in prossimità della strada S.P.56 (“D” in figura);
- significativo incremento delle quote di falda, rispetto alle condizioni anteoperam, per i settori a ESE e a valle della vasca 2 (“A”, “B”, “C”); per tali settori si osserva un affioramento diffuso della falda per l'evento Tr1000, mentre nella condizione Tr100 anni i suddetti settori risultano dai risulterebbero ai margini del settore interessato da falda al p.c..

Le strutture identificate nei suindicati settori “A”, “B”, “C” (Figura 23), rappresentano prevalentemente recuperi funzionali di edifici rurali storici, e dall'osservazione esterna non sono rilevabili evidenze di locali in sotterraneo, condizione che consegue alla ridotta soggiacenza già evidenziata dai modelli anteoperam in condizioni di piena.

La simulazione delle condizioni di falda contestuali all'operatività dei bacini di laminazione, presenta peraltro un inevitabile margine di alea, anche per condizioni non definibili a priori (es. livello piezometrico di riferimento al tempo $t=0$ di inizio evento).

Risulta dunque necessario il mantenimento in attività di una rete di monitoraggio attraverso le fasi di anteoperam, corso d'opera, e postoperam, con specifico focus, nell'immediato postoperam, sulla fase di collaudo con riempimento delle vasche di laminazione).

La rete di monitoraggio, per risultare significativa, deve possibilmente disporre di set di dati anteoperam significativamente estesi. Si ritiene pertanto opportuno per quanto possibile costituire la rete di monitoraggio a partire o comunque integrando punti di misura pregressi della rete monitoraggio di supporto alle diverse fasi di progetto.

In particolare, con riferimento alla Figura 24, si propone:

- in sinistra Baganza, il mantenimento del monitoraggio ai piezometri AS1, AS10, AS6, rete di controllo PE, attualmente in monitoraggio continuo con sensori di pressione e teletrasmissione dei dati;
- in destra idrografica, il mantenimento per quanto possibile dei punti codice AS2, AS7, AS8, AS4, AS9 (eventualmente attrezzando i punti stessi con pozzetti interrati e chiusini carrabili), e, quando non mantenibili a seguito dell'interferenza con le attività di cantiere la riperforazione in posizione analoga, al margine esterno dei rilevati, in modo da consentire la prosecuzione di serie rappresentative ed equivalenti di dati piezometrici.
- la realizzazione di ulteriori 4 piezometri, con analoghe caratteristiche, ovvero a tubo aperto con profondità 20 m circa, in posizione circa al centro delle aree A÷E.

Tutti i piezometri, analogamente all'attuale rete PE, dovranno essere attrezzati con sensori di pressione e teletrasmissione dei dati. La frequenza di acquisizione dovrà essere con cadenza oraria nella fase anteoperam e di corso d'opera, e incrementata a non meno di una misura ogni 10 minuti nella fase di collaudo e riempimento delle vasche oltre che in qualsiasi fase operativa dei bacini stessi nel corso di eventi di piena.

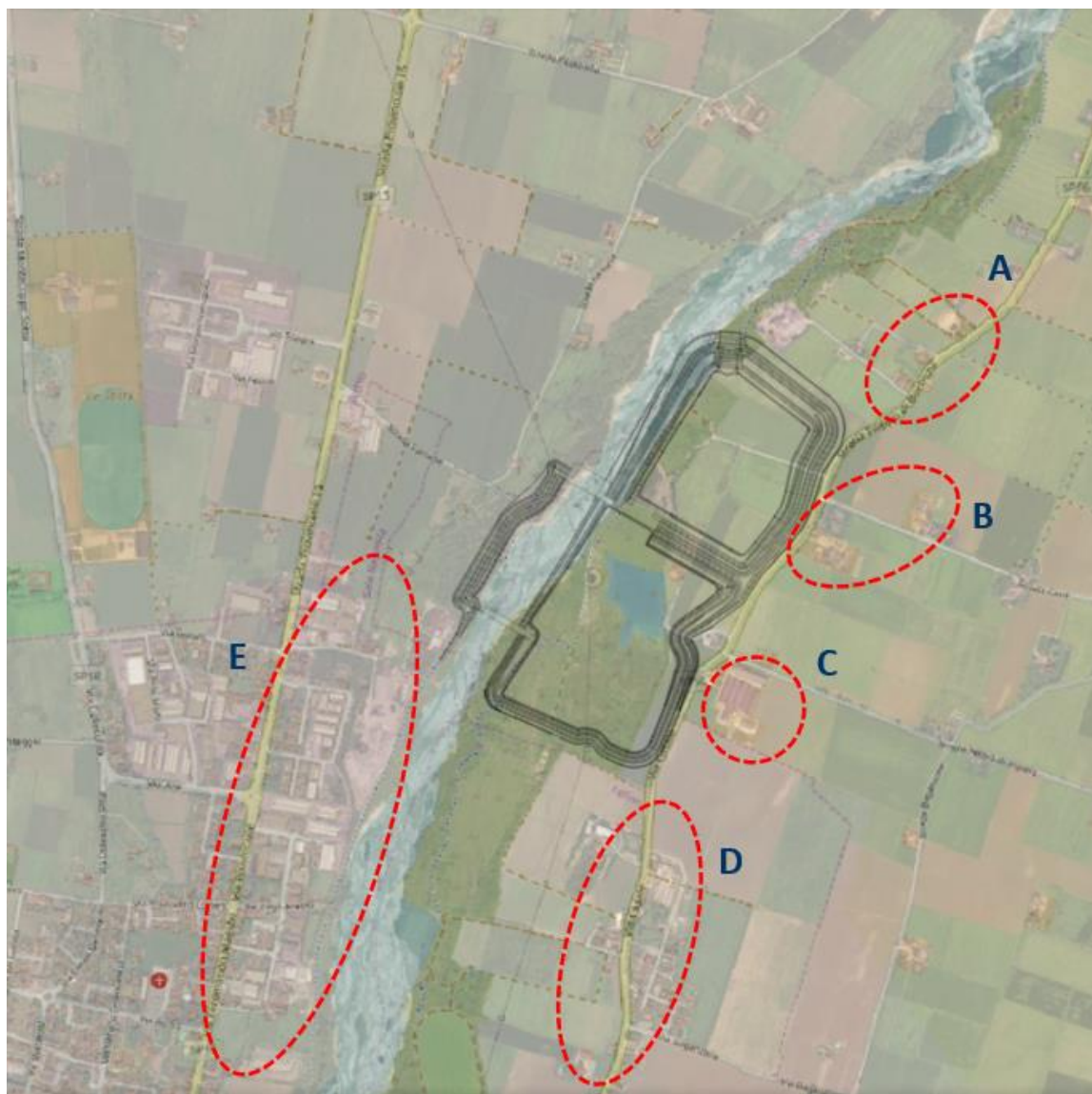


Figura 22 – Settori con infrastrutture ed abitati nell'area di intervento (rif. commenti nel testo)



Figura 23 – Dettaglio delle infrastrutture presenti nelle aree di massima interferenza delle opere in progetto con i livelli di falda

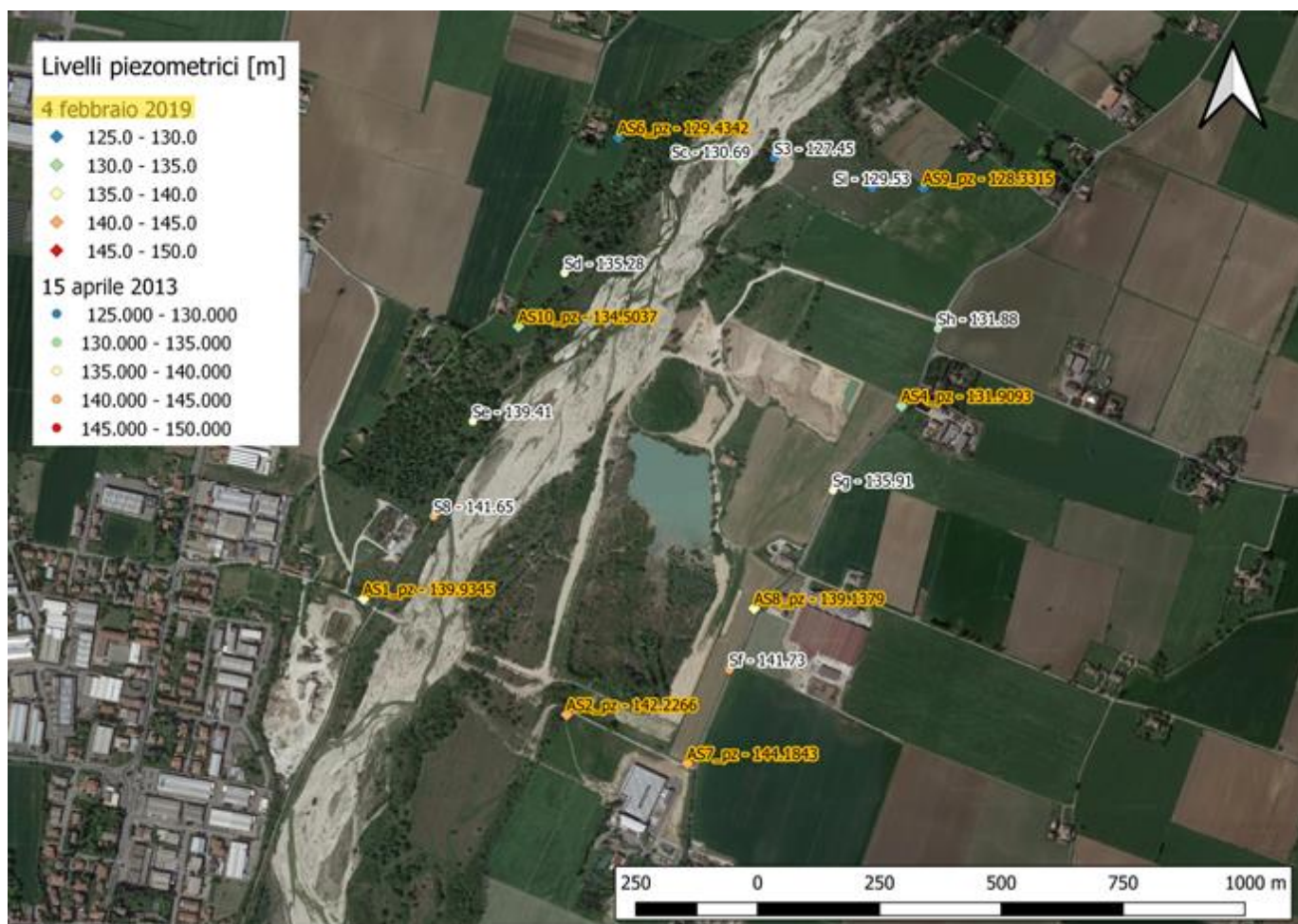


Figura 24 – Piezometri rete PE (cod. AS, etichette in giallo, misure in continuo 2018-2019), e PP+PD (cod. S, etichette in bianco misure per campagne 2012-2016)