

**Valutazione dell'impatto sulla falda di due  
centrali idroelettriche ad acqua fluente  
tramite modellazione numerica  
Piana di Rieti**

*KC2016-OUT69  
Rev.0 08-06-2016*

Preparato per: LUSIOS srl  
Via della Martinicca, 36  
06132 S. Maria Rossa  
Perugia

Scritto da: Francesca Lotti  
Michele Dimasi  
Stefano Di Luca

Approvato da: Fabio Romani

## Indici

1	Introduzione e scopo del lavoro .....	4
2	Documenti di riferimento .....	4
3	Modello idrogeologico concettuale .....	5
4	Vulnerabilità idrogeologica .....	9
5	Sopralluogo idrogeologico .....	10
6	Modello numerico .....	12
6.1	Costruzione del modello.....	12
6.2	Approssimazioni e incertezze associate alla modellazione.....	16
7	Simulazioni.....	18
8	Conclusioni.....	23
9	Riferimenti.....	24
10	Allegato 1 – File di dati.....	25
11	Allegato 2 - Sopralluogo.....	26
	Tabella 5-1 Punti visionati durante il sopralluogo.....	11
	Tabella 6-1 Parametri di conducibilità idraulica (K) e di Ricarica .....	14
	Figura 3-1 Schema idrogeologico della Piana Reatina (Falcetti et al. 2015). Sorgenti principali: 1) Peschiera; 2) S. Susanna; 3) Cantaro; 4) S. Liberato; 5) Vicenna Riara; 6) Onnina.....	6
	Figura 3-2 Piezometria, da Martarelli et al., 2008 (quote piezometriche in m s.l.m.; equidistanza 1.0 m). .....	7
	Figura 3-3 Carta idrogeologica del Lazio (Capelli et al., 2012).....	8
	Figura 3-4 Carta idrogeologica della piana di Rieti (Manfredini, 1972).....	9
	Figura 4-1 Piano di Stralcio di assetto idrogeologico (P.A.I), dell'Autorità di Bacino del Tevere. Sono riportate le fasce di pericolosità alluvionale e le zone di rischio esondazione.....	10
	Figura 5-1 Percorso effettuato durante il sopralluogo (punti descritti in Tabella 5-1).....	11
	Figura 6-1 In alto la griglia del modello, in basso due sezioni significative EW e NS.....	12
	Figura 6-2 Raster relativo al bottom del modello e carta del tetto del substrato meso-cenozoico (Ciccolella et al., 1995).....	13
	Figura 6-3 A sinistra, la carta delle <i>initial heads</i> , A destra, le <i>boundary conditions</i> impostate nel Layer 1.....	13
	Figura 6-4 Zone di conducibilità idraulica assegnate al Layer 1 (sinistra) e Layer 2 (destra). .....	14
	Figura 6-5 Piezometria simulata dal modello (layer 1).....	15
	Figura 6-6 Bilancio idrogeologico ottenuto dalla modellazione; i valori sono espressi in m <sup>3</sup> /s.....	16
	Figura 6-7 Schema dei canali di drenaggio.....	17
	Figura 7-1 Altezze idrometriche <i>ante-operam</i> (W.S. 40 m <sup>3</sup> /s PAI) e <i>post-operam</i> (W.S. 40 m <sup>3</sup> /s progetto) in corrispondenza del salto Ponte Carpegna e lungo l'asta fluviale (Lusios, 2013).....	18
	Figura 7-2 Altezze idrometriche <i>ante-operam</i> (W.S. 40 m <sup>3</sup> /s PAI) e <i>post-operam</i> (W.S. 40 m <sup>3</sup> /s progetto) in corrispondenza del salto Casa Bianca e lungo l'asta fluviale (Lusios, 2013). .....	19
	Figura 7-3 Mappa degli innalzamenti piezometrici (differenza tra livelli piezometri <i>post-operam</i> e <i>ante-operam</i> ). .....	20
	Figura 7-4 Aree del modello che presentano allagamenti in condizioni stazionarie <i>post-operam</i> (celle celesti). .....	21
	Figura 7-5 Mappa della soggiacenza della falda (m da pc).....	22
	Figura 7-6 Bilancio <i>post-operam</i> .....	22
	Figura 11-1 Carta con ubicazione punti di misura sopralluogo Kataclima 11/05/2016.....	26

Figura 11-2 <i>Stazione Termopluviometrica e Idrometrica Idro Rieti</i> .....	26
Figura 11-3 <i>Misura livello statico su pozzo</i> .....	27
Figura 11-4 <i>Stratigrafia riportata sul sito ISPRA</i> .....	27
Figura 11-5 <i>Ubicazione del punto di misura sul Velino</i> .....	27
Figura 11-6 <i>Ponte Carpegna</i> .....	28
Figura 11-7 <i>Localizzazione del punto di misura</i> .....	28
Figura 11-8 <i>Misura della quota del pelo d'acqua sul Fiume Velino in corrispondenza del Ponte di Terria</i> ...	29
Figura 11-9 <i>Affioramento di una breccia di faglia in corrispondenza del Ponte di Terria</i> .....	29
Figura 11-10 <i>Assetto stratigrafico delle formazioni delle scaglie in prossimità del Ponte di Terria</i> .....	29
Figura 11-11 <i>A sinistra, alveo del Fiume Turano. A destra, in blu il punto di scatto della foto</i> .....	29
Figura 11-12 <i>A destra, foto del Fiume Velino. A sinistra, localizzazione del punto di scatto della foto</i> .....	30
Figura 11-13 <i>A sinistra, Lago di Ripasottile. A destra, stabilimento di localizzazione Idrovore</i> .....	30

## 1 Introduzione e scopo del lavoro

Il presente elaborato riporta i risultati preliminari di un modello numerico di flusso della falda superficiale presente nella Piana Reatina. Obiettivo del lavoro è quello di simulare gli effetti sui livelli della falda freatica della Piana Reatina, di due impianti idroelettrici ad acqua fluente progettati nelle località di Casa Bianca e Ponte Carpegna nel Comune di Rieti.

Al fine di raggiungere tali obiettivi, sono state considerate le conoscenze geologiche ed idrogeologiche più aggiornate riportate nella bibliografia tecnica e scientifica, in aggiunta ad un sopralluogo con misure idrogeologiche speditive.

Il lavoro è stato così organizzato:

- esame del contesto geologico e idrogeologico generale dell'area nel quale ricade il sito in esame;
- ricerca dati piezometrici presso enti preposti;
- revisione e aggiornamento del modello concettuale;
- raccolta dati esistenti e aggiornamento GIS-database: creazione database in ambiente GIS sulla base della letteratura esistente, rapporti tecnici forniti dalla Committenza e misure dirette;
- sopralluogo su campo: misure piezometriche su pozzo, altezze idrometriche del Fiume Velino;
- elaborazioni in ambiente GIS con definizione del modello concettuale di flusso;
- modello di flusso su interfaccia grafica Groundwater Vistas;
- simulazioni delle condizioni *ante* e *post-operam*;
- valutazione delle approssimazioni operate dalla modellazione;
- valutazione delle incertezze presenti allo stato attuale delle conoscenze;
- analisi dei risultati preliminari delle simulazioni.

## 2 Documenti di riferimento

Nell'ambito delle elaborazioni descritte nel presente elaborato, oltre ai riferimenti citati in bibliografia, si è fatto riferimento in particolare ai dati elencati in Allegato 1 e ai documenti elencati di seguito:

1. Relazione di Integrazione per lo Studio di Impatto Ambientale "Integrazioni richieste Istruttorie di VIA – ID VIP 2630 e ID VIP 2631 "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Ponte Carpegna" "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Casa Bianca" trasmesse all'A.C. in data 30.06.2015.
2. Studio di impatto ambientale (SIA) "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Ponte Carpegna.
3. Studio di impatto ambientale (SIA) "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Casa Bianca.
4. Report sulle misure di portata "Misure di portata sul fiume Velino Località Terria (RI) 03 dicembre 2013".
5. Relazione tecnica su sezioni topografiche "Verifica delle quote di alcune sezioni topografiche del PAI tracciate sul corso d'acqua Velino – Relazione tecnica".

### 3 Modello idrogeologico concettuale

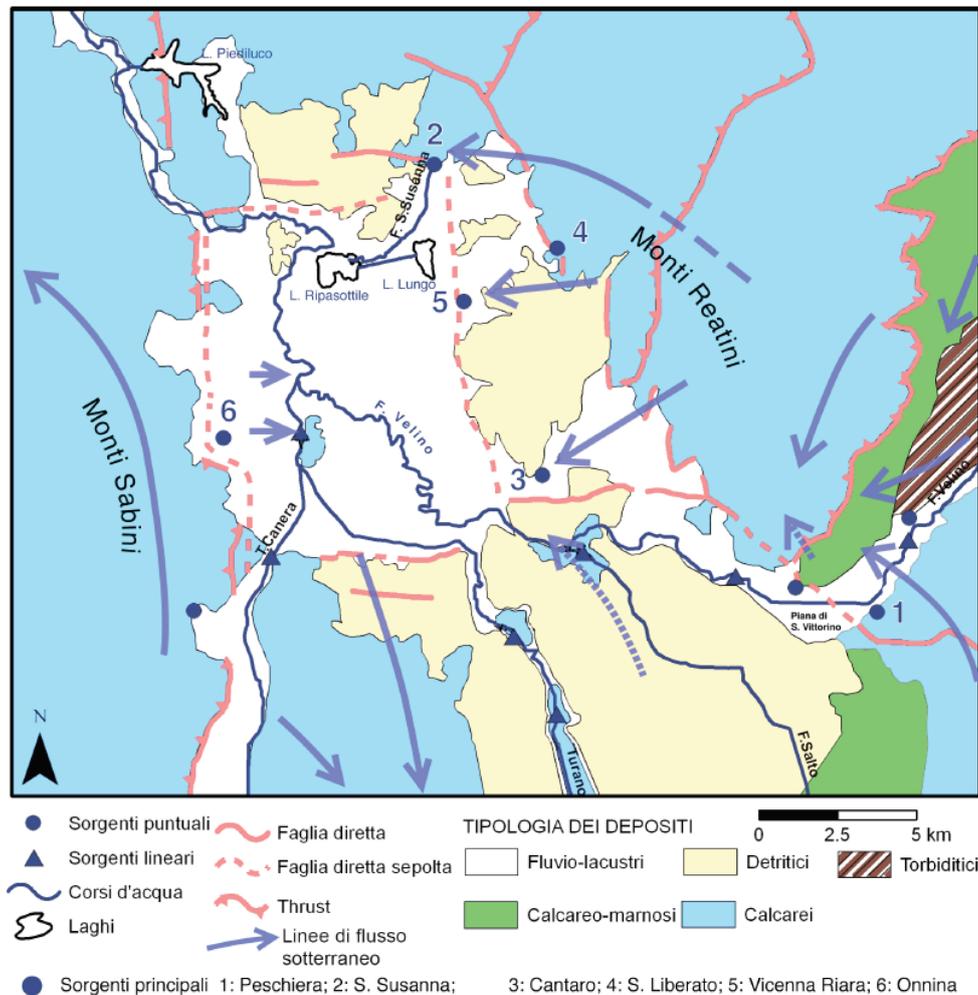
Sulla base delle conoscenze geologiche e idrogeologiche a grande scala e di quelle disponibili alla scala del sito, è possibile ipotizzare un modello idrogeologico concettuale, da utilizzare come base per la costruzione del modello di simulazione numerica.

L'idrografia superficiale è condizionata dal Fiume Velino che attraversa la Piana Reatina in direzione prima E-W e poi N-S con ripetuti e stretti meandri. La portata fluviale è incrementata dalle acque di alcune cospicue manifestazioni sorgentizie (Cantaro, S. Liberato, Vicenna Riara, S. Susanna) e dai fiumi Salto, Turano, Canera, Fiume e Canale S. Susanna ed altri corsi d'acqua minori.

La Piana Reatina è disposta con un asse NNO-SSE rispetto alla confluenza dei fiumi Velino, Salto e Turano ed è costituita da una depressione tettonica colmata prevalentemente da sedimenti continentali di età plio-quadernaria con termini conglomeratici più antichi e più profondi e termini limoso-argillosi più recenti e superficiali (Figura 3-1 e Figura 3-2). Il complesso idrogeologico fluvio-lacustre della Piana Reatina (Olocene) è costituito in particolare da alternanze di sedimenti a granulometria variabile dalla ghiaia all'argilla, con prevalenza delle frazioni fini e con frequenti intercalazioni di livelli di torba e localmente di travertini. Lo spessore di tale complesso è variabile in funzione dell'articolazione del substrato, raggiungendo lo spessore massimo di 400 m (Martarelli et al., 2008). Il complesso fluvio-lacustre costituisce nel suo insieme un aquitard, caratterizzato da un grado di permeabilità relativa medio-bassa. Ciò nonostante la piana è sede di una falda freatica la cui superficie oscilla tra 1 e 4 m dal piano campagna nella zona centrale. La direzione principale di flusso è orientata da sud verso nord, con un gradiente medio di circa 1-2% (Manfredini, 1972; Martarelli et al., 2008). I depositi della piana essendo molto eterogenei verticalmente ed orizzontalmente danno luogo al frazionamento del corpo idrico sotterraneo in più falde sovrapposte (Martarelli et al., 2008).

In termini relativi, per il complesso fluvio-lacustre si assume una infiltrazione efficace piuttosto bassa, dovuta sia alla scarsa permeabilità d'insieme sia alla presenza di diffusi drenaggi superficiali che limitano l'aliquota che può costituire la ricarica dell'acquifero; il valore stimato è di circa 100 mm/anno. Ad ovest della piana affiora il Complesso dei depositi detritici (Pleistocene-Olocene) con grado di permeabilità media. Ad est affiora il Complesso conglomeratico-sabbioso (Pliocene sup. - Pleistocene) caratterizzato da permeabilità medio-scarso e il complesso dei Travertini (Olocene) con permeabilità media. Nella porzione a NW dell'area di studio e localmente all'interno della piana, affiora la Formazione della "Scaglia calcarea" con permeabilità medio-alta.

La struttura idrogeologica della piana riceve contributi di acque sotterranee provenienti prevalentemente dalle strutture carbonatiche dei Monti Reatini nel settore orientale (Figura 3-1) tramite travasi idrici sotterranei non quantificati, e determinati dal ridotto contrasto di permeabilità tra gli acquiferi carbonatici e i depositi detritici e di conoide. Nel bordo occidentale della piana, gli apporti sotterranei dalla dorsale carbonatica sono limitati e non esistono sorgenti basali di importanza regionale; la direzione di flusso è, in ogni caso, verso la piana. Un ulteriore apporto idrico sotterraneo, confermato da studi recenti, è caratterizzato dalla sorgente della S. Susanna, posta a NE della piana, la quale emerge all'interno depositi fluvio-lacustri recenti, andando ad alimentare la falda freatica affiorante in corrispondenza dei laghi Lungo e Ripasottile.



**Figura 3-1 Schema idrogeologico della Piana Reatina (Falcetti et al. 2015). Sorgenti principali: 1) Peschiera; 2) S. Susanna; 3) Cantaro; 4) S. Liberato; 5) Vicenna Riara; 6) Onnina.**

Per quanto riguarda il rapporto acque sotterranee-superficiali, il Fiume Velino è in continuo equilibrio con la falda e dalla città di Rieti fino a Terria tende ad alimentare le acque sotterranee, con entità non valutabili. Il Fiume Turano si trova in equilibrio dinamico con la falda nella zona orientale della piana, mentre, in prossimità della confluenza del Torrente Canera, risulta periodicamente sia drenante che alimentante. A valle della confluenza Velino-Turano e della stazione di Terria, i rapporti tra la falda e il Fiume Velino sono di sostanziale equilibrio. I laghi Lungo e Ripasottile svolgono una locale funzione di recapito della falda, che viene però sostanzialmente drenata nel settore NW dalle sorgenti e dall'emissario delle sorgenti di S. Susanna-Canapine (Martarelli et al., 2008). Sui laghi insistono inoltre i prelievi ad opera dell'impianto idrovoro gestito dal Consorzio di Bonifica.



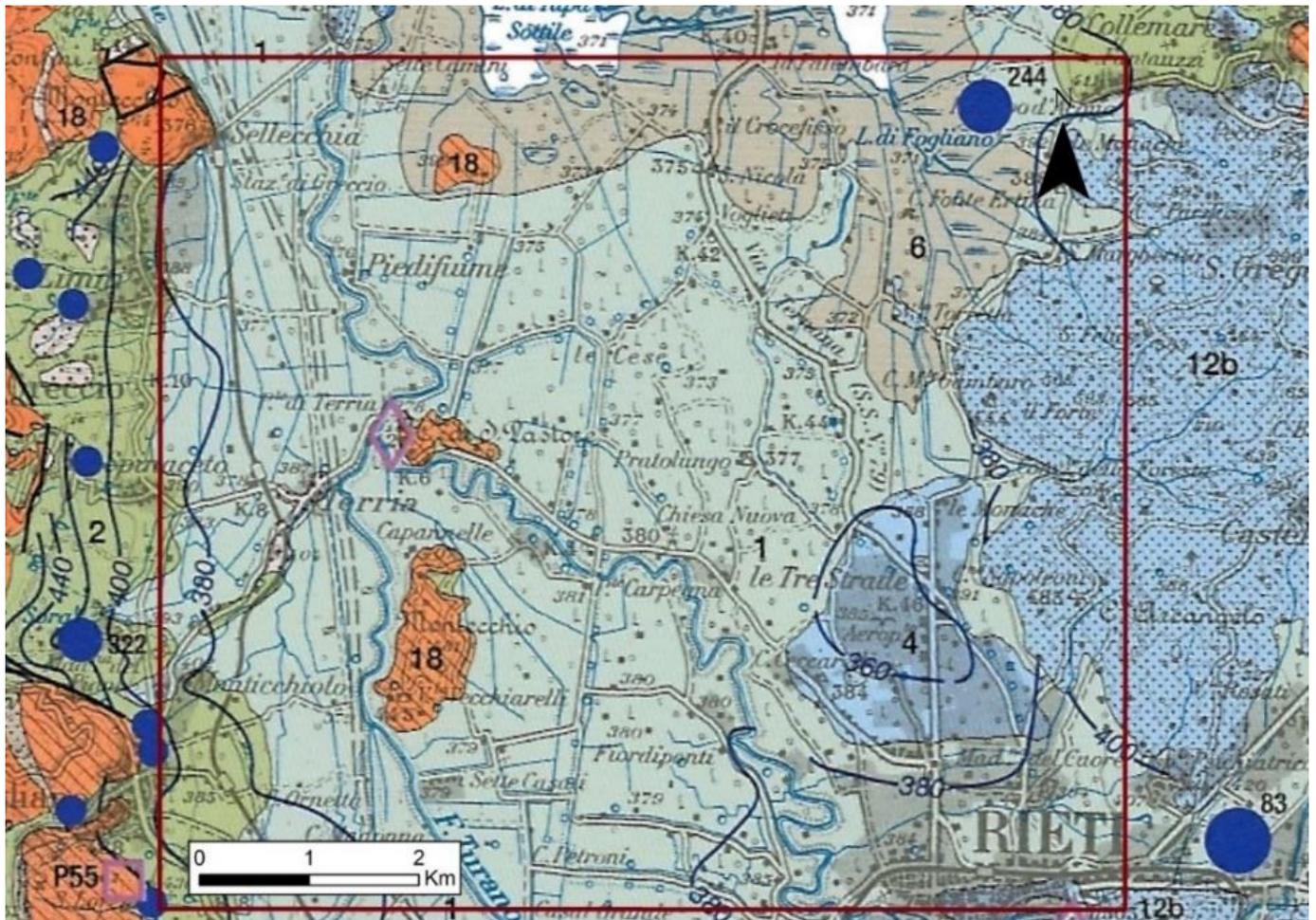


Figura 3-3 Carta idrogeologica del Lazio (Capelli et al., 2012).

Legenda: 1- Complesso dei depositi alluvionali recenti: Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazze e coperture eluviali e colluviali (Olocene). 2- Complesso dei depositi detritici: Detriti di falda e di pendio, depositi morenici, di conoide e di frana e terre rosse (Pleistocene-Olocene). 4- Complesso dei travertini: Travertini antichi, recenti ed attuali, concrezioni travertinose intercalate a depositi alluvionali e lacustri (Pleistocene-Olocene). 4- Complesso dei depositi fluvio palustri e lacustri: Depositi prevalentemente limo-argillosi in facies palustre, lacustre e salmastra con locali intercalazioni ghiaiose e/o travertinose (Pleistocene-Olocene). 12b- Complesso dei conglomerati: Conglomerati generalmente cementati (Pliocene-Pleistocene). 18- Complesso della scaglia calcarea: Calcarei micritici e calcari marnosi bianchi e rosa stratificati con intercalazioni detritico-organogene (Cretacico-Eocene).

Diversamente, il lavoro di Manfredini (1972) riporta un'interruzione della piezometria della piana in corrispondenza dei travertini (Figura 3-4), indicando l'assenza di correlazione tra i livelli piezometrici del complesso fluvio-lacustre con quello dei travertini. Il Fiume Velino viene considerato, per tutto il tratto ricadente all'interno della piana, alimentante la falda superficiale.

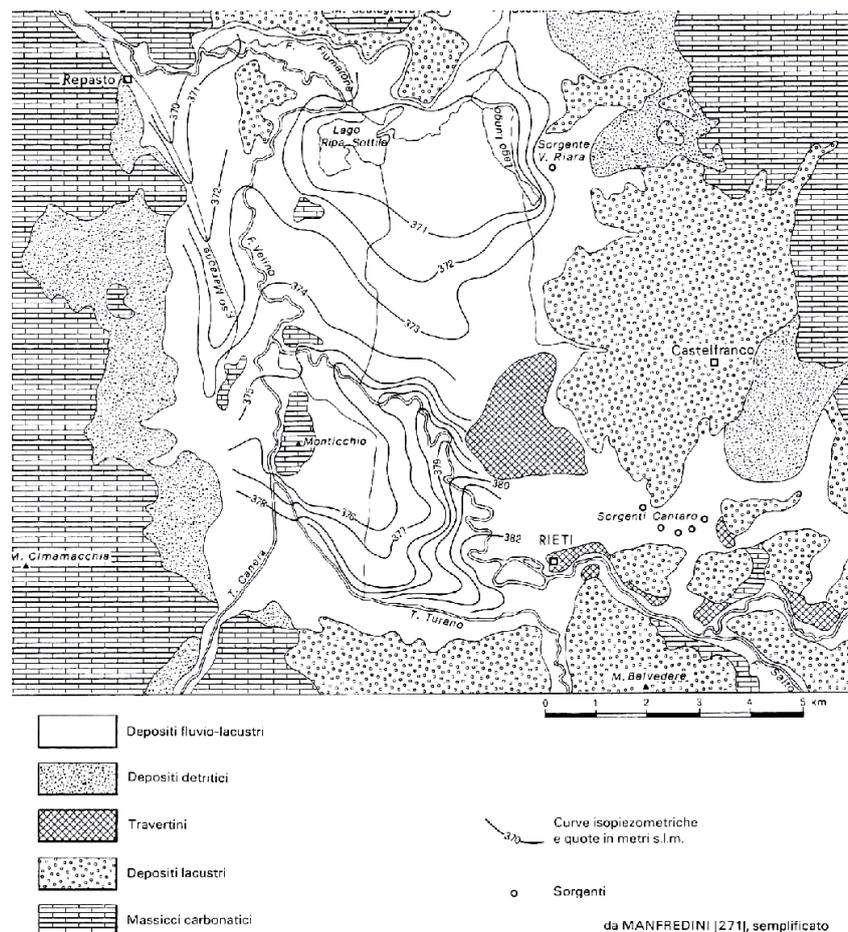


Figura 3-4 Carta idrogeologica della piana di Rieti (Manfredini, 1972).

#### 4 Vulnerabilità idrogeologica

L'analisi del territorio interessato dal presente lavoro ha visto la consultazione del "Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico" (P.A.I.), redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

Il P.A.I. è uno strumento tecnico-amministrativo di base finalizzato ad una corretta gestione del territorio in materia di difesa idrogeologica ed ambientale.

Il Piano ha previsto la realizzazione di un "Inventario dei fenomeni franosi" con la perimetrazione dei corpi di frana attraverso l'interpretazione fotogeologica multiscalare e multitemporale. In generale l'inventario costituisce un livello di attenzione di probabile dissesto che dovrà essere verificato sul terreno sulla base di indagini mirate.

Dal punto di vista della stabilità geomorfologica, nell'area in esame, si evidenziano alcuni dissesti gravitativi classificati attivi e quiescenti che interessano prevalentemente i settori bordieri della piana reatina.

Relativamente all'assetto idraulico il P.A.I. persegue, attraverso le norme d'uso del territorio e la programmazione delle relative azioni, l'obiettivo di conservare, difendere e valorizzare il suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato, garantendo al territorio del bacino del Fiume Tevere un livello di sicurezza idraulica adeguato rispetto agli eventi storici e probabili.

Per il settore d'interesse sono state individuate aree di pericolosità idraulica e zone di rischio lungo il reticolo principale e secondario. (Figura 4-1). In particolare gran parte del territorio della Riserva Naturale, ricade all'interno di aree a rischio esondazione, comprese nelle fasce fluviali A, B e C:

- fascia A, per la sua vicinanza al corso d'acqua, è caratterizzata dalla massima pericolosità ed è definita dal limite delle aree di esondazione diretta della piena di riferimento con Tempo di ritorno (Tr) di 50 anni;
- fascia B è compresa tra il limite delle aree di esondazione diretta ed indiretta delle piene con Tr 50 e 200 anni;
- fascia C comprende le porzioni di territorio inondabili comprese tra le piene relative a Tr da 200 e 500 anni e le aree marginali della piena con Tr 200 anni.

L'intera area della Piana reatina rientra all'interno della fascia A, i bordi della stessa sono caratterizzati da fascia B e C; in prossimità delle sponde del Fiume Velino inoltre sono presenti delle aree considerate ad alto rischio (R4), descritta nel PAI come: "zona a rischio idraulico molto elevato R4" per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche" (per la sua gestione è necessario realizzare opere di difesa)".

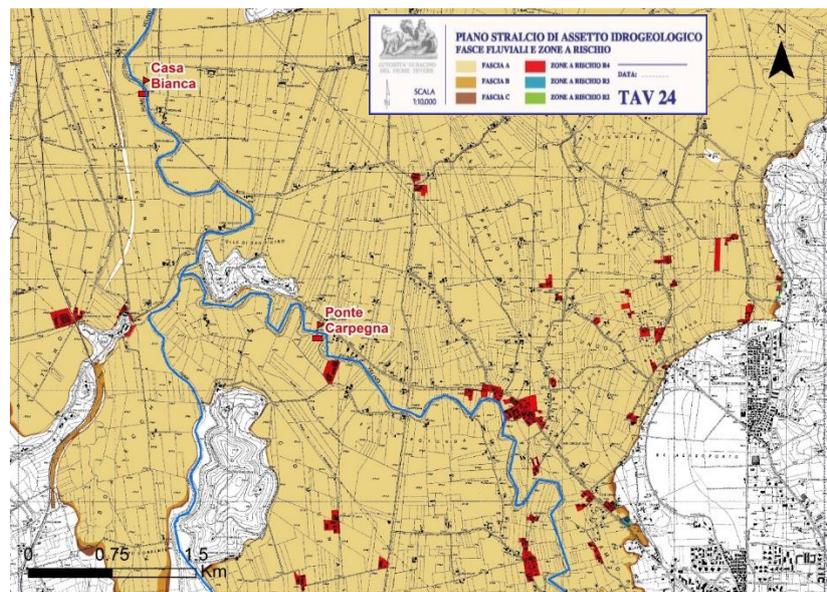


Figura 4-1 Piano di Stralcio di assetto idrogeologico (P.A.I), dell'Autorità di Bacino del Tevere. Sono riportate le fasce di pericolosità alluvionale e le zone di rischio esondazione.

## 5 Sopralluogo idrogeologico

In data 11-05-2016 è stato effettuato un sopralluogo nell'area di studio (Paragrafo 11, Allegato 2), finalizzato all'acquisizione di ulteriori elementi a conforto e completamento del modello concettuale ricostruito. Sono state eseguite delle misure speditive, tra cui, alcuni rilievi dei livelli statici della falda superficiale e delle altezze idrometriche del Fiume Velino. Lo scopo è stato quello di comprendere meglio le relazioni idrauliche esistenti tra il fiume e l'acquifero superficiale.

La ricerca dei dati è stata concentrata nell'intorno del tratto di fiume interessato dal progetto (Figura 5-1), limitatamente alla sponda destra.

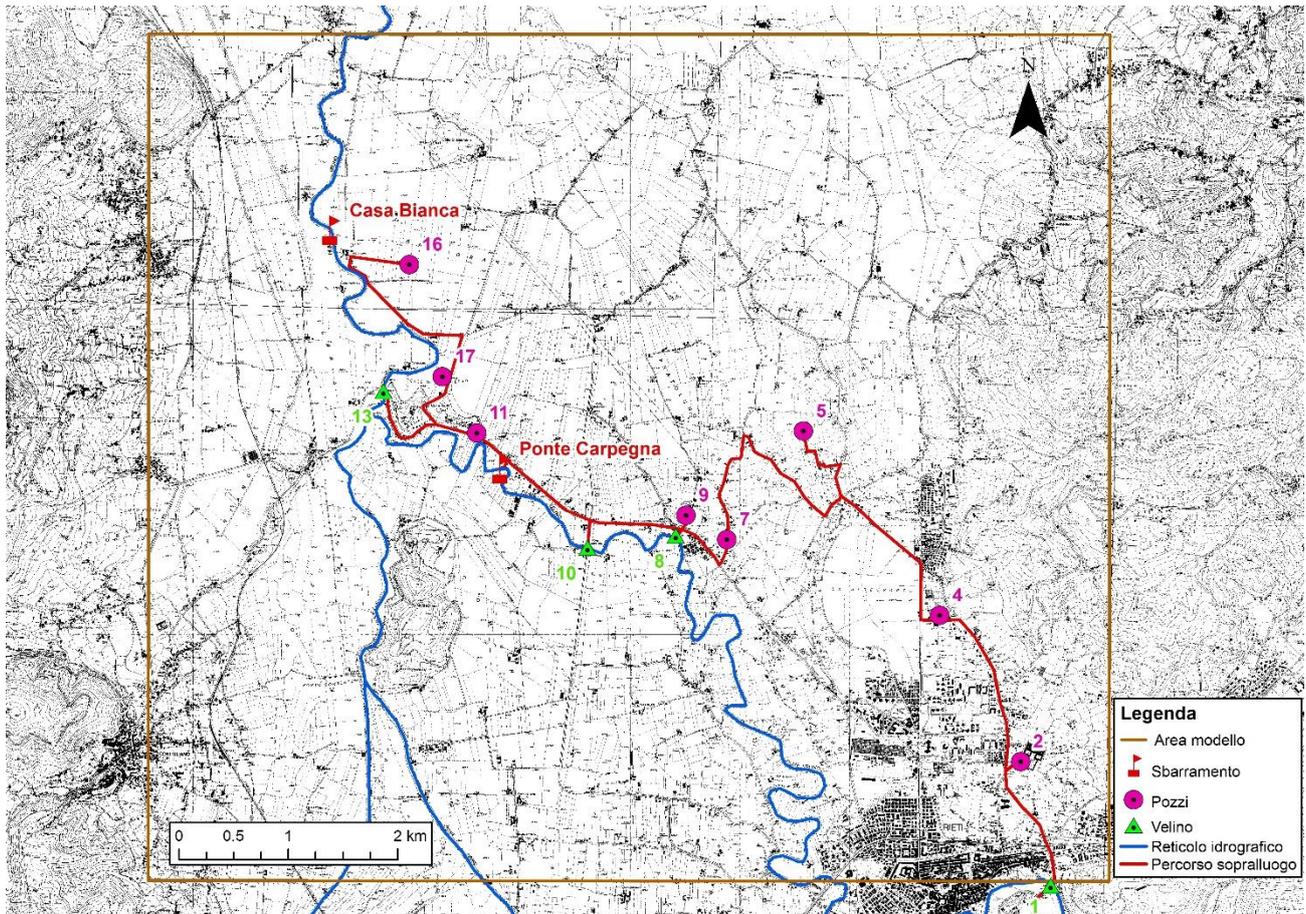


Figura 5-1 Percorso effettuato durante il sopralluogo (punti descritti in Tabella 5-1).

Nella Tabella 5-1 sono rappresentati la localizzazione ed i dati relativi ai punti misurati. La quota piezometrica più bassa riscontrata ricade nell'area dei travertini (n. 4 in Tabella 5-1) e, compatibilmente con la profondità del pozzo (circa 50-60 m) e gli elevati spessori dei depositi alluvionali in quel settore (circa 240 m), si ritiene che il pozzo intercetti un livello acquifero diverso da quello freatico più superficiale del complesso fluvio-lacustre, non raccordabile quindi a quest'ultimo.

Num. Riferimento	Misura	X	Y	Quota PC m slm	Soggiacenza m da p.c.	Carico idraulico m slm
1	Fiume	324906.77	4696866.82	385.70	0.58	385.12
2	Pozzo	324631.33	4698009.76	395.00	11.14	383.86
4	Pozzo	323891.17	4699357.85	392.00	34.66	357.34
5	Pozzo	322643.69	4701055.21	378.40	1.43	376.97
7	Pozzo	321942.77	4700053.97	379.00	1.34	377.66
8	Fiume	321476.45	4700090.22	379.18	1.88	377.30
9	Pozzo	321569.71	4700277.55	377.00	0.35	376.65
10	Fiume	320667.53	4699978.65	381.30	4.07	377.23
11	Pozzo	319655.45	4701038.49	378.40	2.79	375.61
13	Fiume	318801.00	4701421.78	380.00	5.40	374.60
16	Pozzo	319037.91	4702587.89	374.60	1.65	372.95
17	Pozzo	319341.12	4701554.69	375.20	2.21	372.99

Tabella 5-1 Punti visionati durante il sopralluogo.



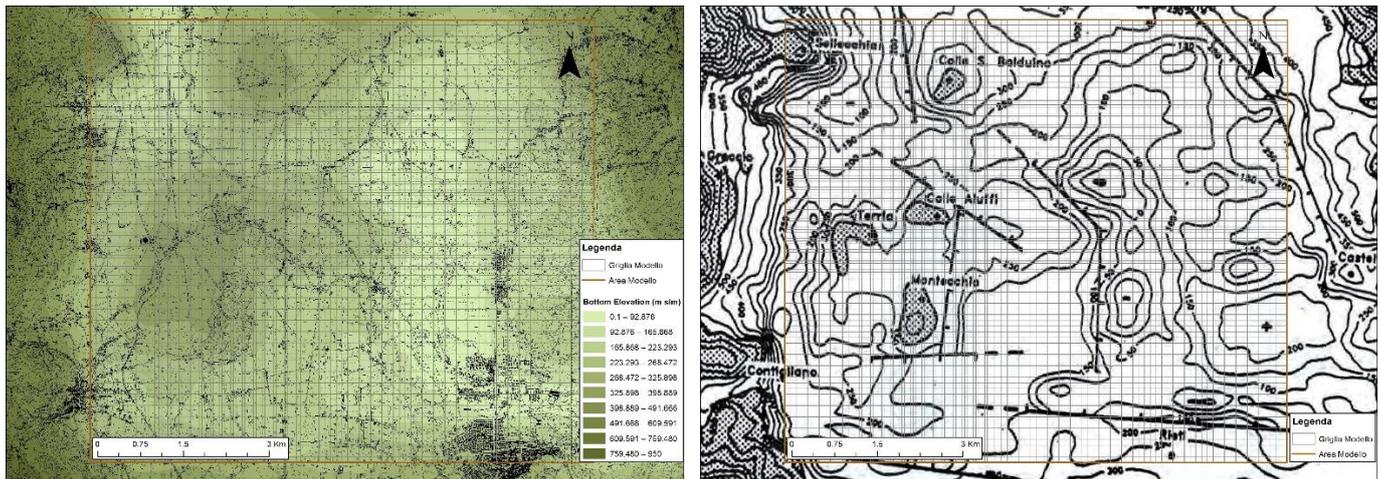


Figura 6-2 Raster relativo al bottom del modello e carta del tetto del substrato meso-cenozoico (Ciccolella et al., 1995).

Le *Initial Heads* sono state impostate assegnando una soggiacenza del livello di falda pari ad 1 metro dal p.c. (Figura 6-3). I confini del modello nel primo layer sono riportati in Figura 6-3.

Al limite Est del modello, in corrispondenza dei depositi detritici a NE e nella porzione a SE della piana fluvio lacustre, sono state assegnate delle condizioni di *Constant Head Boundary* (CHB), con carico idraulico ricavato da Martarelli et al., 2008; sul limite Ovest, in corrispondenza dei depositi detritici, è stata assegnata una condizione di *General Head Boundary* (GHB). All'interno della piana sono stati inseriti dei dreni (*Drains*), che rappresentano la rete di canali di drenaggio gestiti dal Consorzio di Bonifica. Riguardo al Fiume Velino e del suo affluente (F. Turano) è stata assegnata la condizione di *River*. Le specifiche impostate derivano da:

- carichi idraulici ripresi dagli studi di impatto ambientale per i progetti "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Ponte Carpegna" e "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Casa Bianca", nei capitoli "Ambiente idrico", riferiti alla portata di 40 m<sup>3</sup>/s, corrispondente al limite massimo di portata previsto per il funzionamento dei due impianti;
- conduttanza assegnata ai depositi costituenti il letto del fiume. Il parametro conduttanza è funzione della conducibilità idraulica dei depositi del letto del fiume, del loro spessore e delle dimensioni della cella.

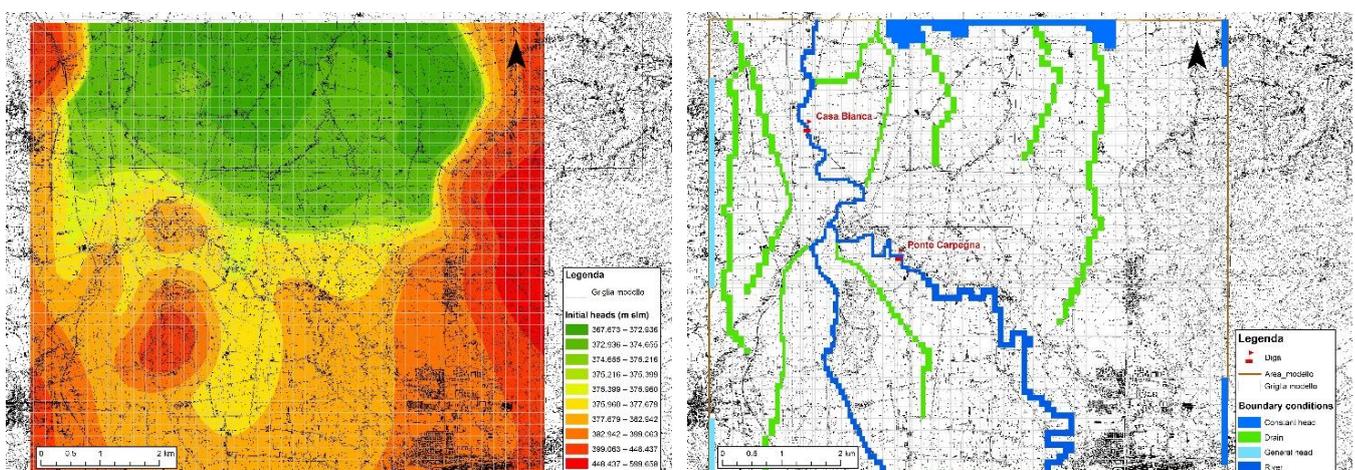


Figura 6-3 A sinistra, la carta delle *initial heads*, A destra, le *boundary conditions* impostate nel Layer 1.

Ad ogni layer del modello sono stati assegnati valori di conducibilità idraulica (K) supponendo il mezzo isotropo nel piano orizzontale ( $K_x=K_y$ ). La distribuzione areale dei parametri inseriti sono quelli desunti dalla zonazione dei complessi idrogeologici riportati in Martarelli et al, (2008); mentre i valori assegnati di conducibilità idraulica assegnati ai diversi complessi sono sintetizzati in Tabella 6-1 e rientrano nei range disponibili in bibliografia per i complessi idrogeologici presenti nell'area (Civita & De Maio, 2000), non essendo disponibili indagini di dettaglio sito-specifiche in merito ai parametri idraulici. I complessi considerati sono il Complesso fluvio-lacustre (zona 1); il Complesso dei depositi detritici (zona 4); il Complesso dei travertini (zona 2); il Complesso conglomeratico-sabbioso (zona 5); il Complesso dei depositi fluvio-lacustri e palustri (zona 6); il Complesso calcareo-marnoso (zona 3); il Complesso dei depositi detritici (zona 7). La tabella riporta anche i valori di infiltrazione efficace (*Ricarica*) assegnati per ogni zona.

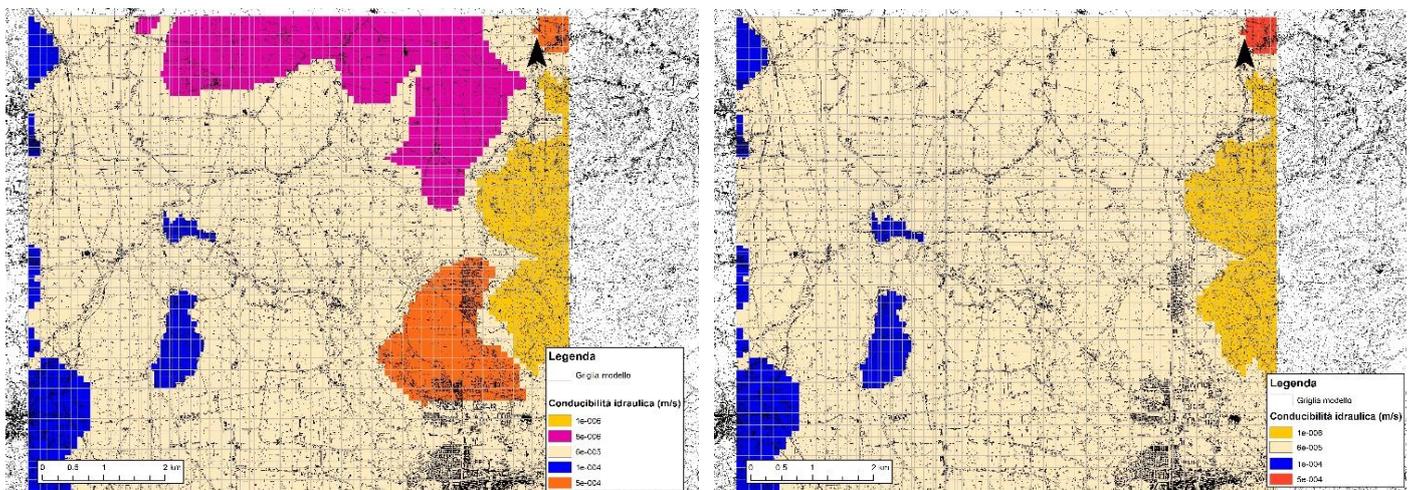


Figura 6-4 Zone di conducibilità idraulica assegnate al Layer 1 (sinistra) e Layer 2 (destra).

Layer	Zona	Complesso	K (m/s)	Ricarica (mm/anno)
1-2	1	Complesso fluvio-lacustre della Piana Reatina	6e-005	100
1	2	Complesso dei Travertini	5e-004	500
1-2	3	Complesso calcareo marnoso	1e-004	750
1-2	4	Complesso dei depositi detritici	1e-004	500
1-2	5	Complesso fluvio-lacustre conglomeratico-sabbioso	1e-006	200
1	6	Complesso dei depositi fluvio lacustri e palustri	8e-006	200
1-2	7	Complesso dei depositi detritici	5e-004	500

Tabella 6-1 Parametri di conducibilità idraulica (K) e di Ricarica.

I carichi idraulici ottenuti nell'area modellata in condizioni stazionarie sono riportati in Figura 6-5 e riproducono, nelle grandi linee, le direzioni di flusso e i gradienti idraulici individuati in bibliografia. Purtroppo l'assenza di punti di monitoraggio dei livelli piezometrici nell'area non consente di operare un confronto quantitativo tra carichi idraulici simulati e reali.

Il modello così costruito è stato fatto girare in regime stazionario, rappresentativo di condizioni medie. I risultati sono espressi in termini di bilancio medio Figura 6-6 e di andamento della superficie piezometrica (Figura 6-5). La variazione dei parametri, in particolare ricarica e conducibilità idraulica, necessaria alla

raccomandazione dello stato attuale, ha considerato i range disponibili in letteratura. L'acquifero freatico di interesse ospitato nel primo layer, in connessione con fiumi e canali, mostra una direzione del flusso orientata S-N e gradiente pari a 0.1-0.2 %. Escludendo gli apporti laterali dalle dorsali, all'interno della piana i carichi idraulici vanno da 410 m slm fino a 369 m slm, limite imposto dalla regolazione artificiale del livello dei laghi a nord. In Figura 6-5 sono riportate le equipotenziali ottenute dalla modellazione, confrontabili con le curve isopiezometriche disponibili in letteratura.

La piezometria ricostruita riproduce nelle grandi linee quanto descritto in letteratura, rimanendo fortemente influenzata dai livelli idrici del fiume. Le altezze del livello del fiume utilizzate nella presente simulazione sono riportate in e SIA Ponte Carpegna e SIA Casa Bianca, Lusios 2013), e sono relativi ad una portata di 40 m<sup>3</sup>/s.

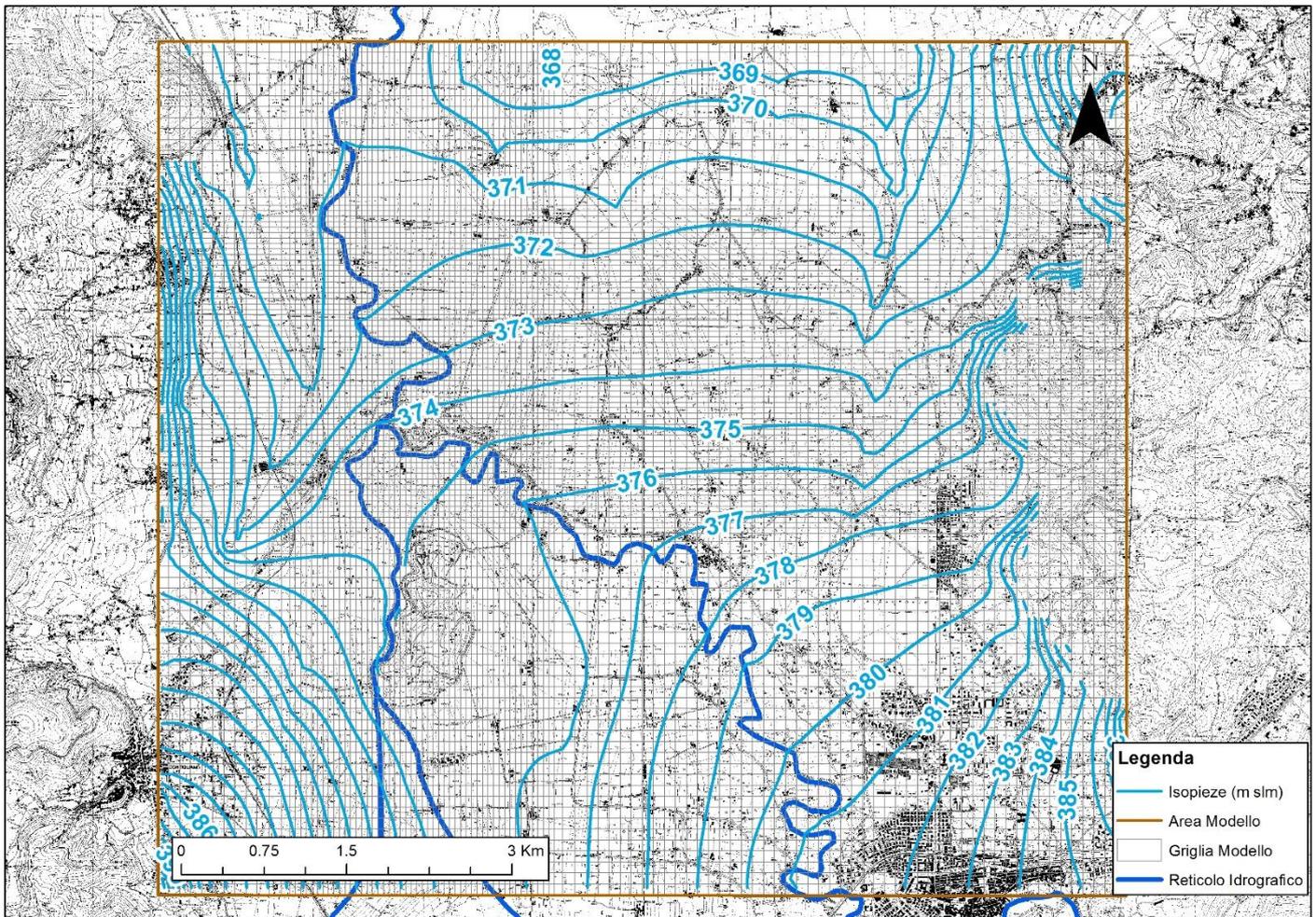


Figura 6-5 Piezometria simulata dal modello (layer 1).

Oltre che essere funzionale per effettuare un confronto qualitativo, il bilancio permette di verificare l'affidabilità numerica del modello. La percentuale di scarto tra entrate e uscite rappresenta una misura indiretta della stabilità numerica del modello, che convenzionalmente si considera stabile per errori percentuali inferiori a 1 %. La presente versione del modello, utilizzata poi per le successive elaborazioni, presenta un errore percentuale pari al 0.54 %.

MODFLOW Mass Balance										
From Column	1	To Column	112	Graph	OK					
From Row	1	To Row	108	Export...						
In Layer	0				INFLOWS	OUTFLOWS	INFLOWS	OUTFLOWS		
Storage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X max	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y max	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Top	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bottom	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Well	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.H.	0.153336020273855	0.10390427958373	0	0	0	0	0	0	0	0
GHB	0.545181403402239	0	0	0	0	0	0	0	0	0
River	0.115478172234475	0.151996759651183	0	0	0	0	0	0	0	0
Drain	0	0.886818667560874	0	0	0	0	0	0	0	0
Stream	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Recharge	0.334966817538771	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ET	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lake	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Percent Error										
TOTAL	1.14896735672039	1.14271970679579	0.545244595046695							

Figura 6-6 Bilancio idrogeologico ottenuto dalla modellazione; i valori sono espressi in  $m^3/s$

## 6.2 Approssimazioni e incertezze associate alla modellazione

I carichi idraulici in condizioni stazionarie ottenuti dal modello sono stati messi a confronto sia con le informazioni bibliografiche che con le indagini di campo. Non è stato però possibile sottoporre il modello ad un vero e proprio processo di calibrazione su carichi misurati. Si è cercato comunque di operare un setting del modello coerente con le informazioni disponibili in letteratura, riproducendo i principali canali drenanti e rispettando i gradienti idraulici e le quote piezometriche laddove note.

Rispetto ad alcune ricostruzioni piezometriche (ad esempio, Martarelli et al. 2008) il modello non simula la depressione presente in corrispondenza della placca di travertini. Tale depressione non è considerata neanche da Manfredini (1972). In base alle evidenze di campo ed in base alla natura del sistema acquifero multifalda della piana, si ritiene che la depressione non sia dovuta a presenza di cospicui emungimenti o campi pozzi, ma che il livello piezometrico di circa 360 m slm (rilevato anche durante il sopralluogo, cfr. paragrafo 5 e Allegato 2) sia dovuto all'intercettazione di uno degli orizzonti acquiferi sottostanti quello freatico di interesse. Il pozzo nel quale è stato rilevato il livello ha infatti una profondità superiore a 40 m, nettamente superiore rispetto a tutti gli altri pozzi indagati (5-8 m).

La semplificazione della rete dei canali esistenti che si è resa necessaria a causa della discretizzazione del modello (celle di dimensioni minime di 50 m), rappresenta i canali principali trascurando la fitta rete di canali minori capillarmente distribuiti nella Piana (Figura 6-7), con l'effetto di sovrastimare l'impatto sui canali simulati, oltreché di sottostimare la capacità drenate degli stessi.

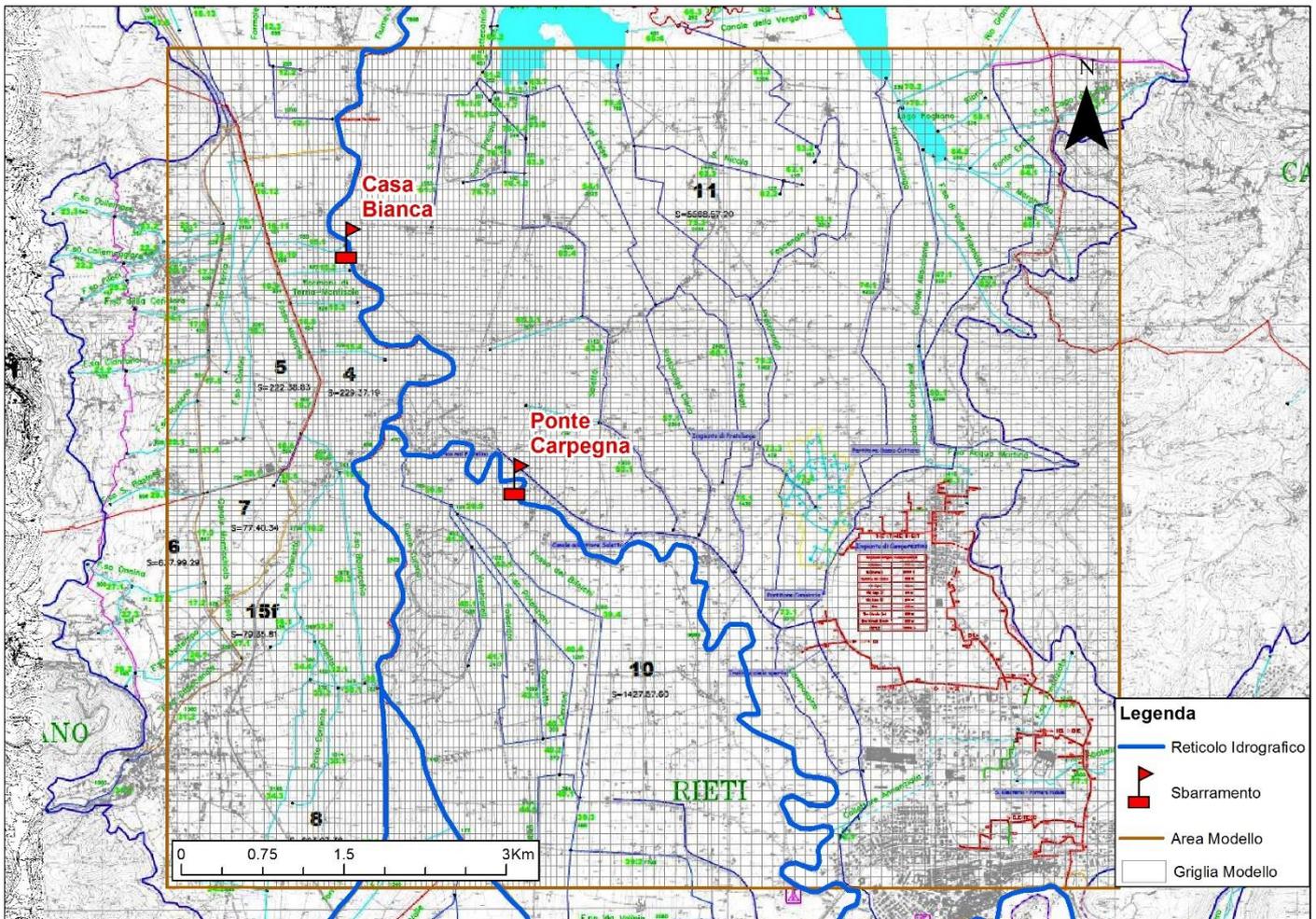


Figura 6-7 Schema dei canali di drenaggio.

La presente versione del modello è da considerarsi pertanto preliminare ed affetta da incertezze. A seguire si elencano i principali fattori che possono influenzare i risultati, in particolare laddove il modello venga utilizzato a scopo previsionale:

- la discretizzazione del modello restituisce i carichi idraulici in celle di dimensioni comprese tra 50x50 e 100x100 m;
- i carichi idraulici vengono messi in relazione con il modello digitale del terreno (DEM) avente maglia 20x20 m;
- il modello risolve le equazioni del flusso in regime stazionario, non tiene conto quindi della variabile tempo, ossia della variabilità stagionale delle precipitazioni e delle portate fluviali;
- il modello assume una unica zona omogenea di conducibilità idraulica nella piana, con caratteristiche medie rispetto all'effettiva eterogeneità locale dei depositi alluvionali;
- il modello riproduce nelle grandi linee l'andamento piezometrico di letteratura, ma non è calibrato su osservazioni piezometriche e di livelli fluviali reali.

Come ampiamente dibattuto in letteratura, fare previsioni attraverso la modellazione numerica implicherebbe non solo un rigoroso processo di calibrazione su serie storiche di carichi idraulici e flussi osservati (Hill & Tiedeman, 2007), ma anche un confronto dei risultati di diverse versioni del modello ugualmente calibrate, in modo tale da esprimere le previsioni in termini probabilistici (ad esempio tramite metodo Null-Space Monte Carlo; Doherty, 2015).

Purtroppo per l'area in questione non esiste né un monitoraggio piezometrico nel tempo, né un database di misure piezometriche nello spazio. Molti dei pozzi presenti non sono censiti presso le autorità competenti interpellate. Tali condizioni hanno reso inattuabile in questa fase il completamento del processo di calibrazione a regola d'arte.

## 7 Simulazioni

Nonostante i chiari limiti della presente modellazione, è stata provata la simulazione delle condizioni *post-operam*. Questa ha previsto la ricostruzione dei carichi idraulici del fiume previsti dal progetto relativamente alla portata di 40 m<sup>3</sup>/s e dei relativi gradienti (Figura 7-1 e Figura 7-2; Lusios, 2013).

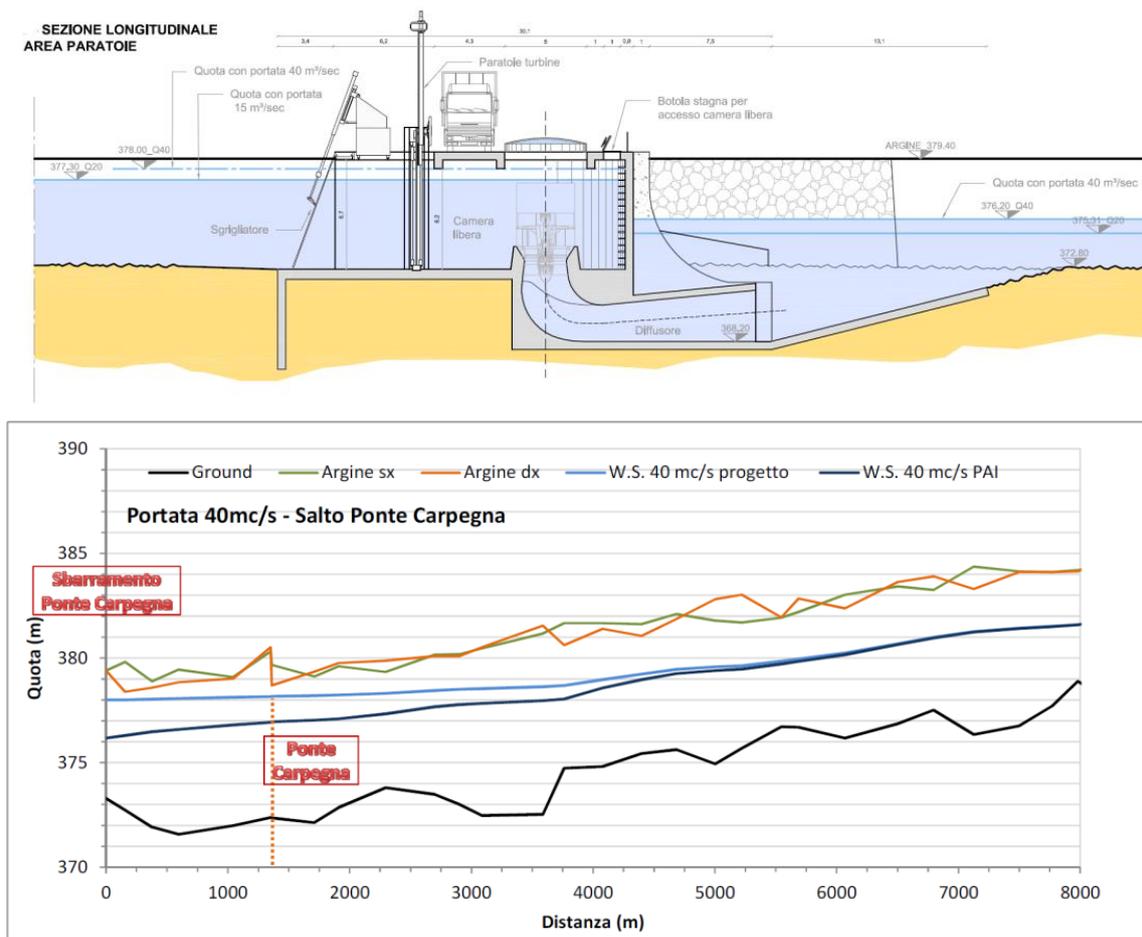


Figura 7-1 Altezze idrometriche *ante-operam* (W.S. 40 m<sup>3</sup>/s PAI) e *post-operam* (W.S. 40 m<sup>3</sup>/s progetto) in corrispondenza del salto Ponte Carpegna e lungo l'asta fluviale (Lusios, 2013).

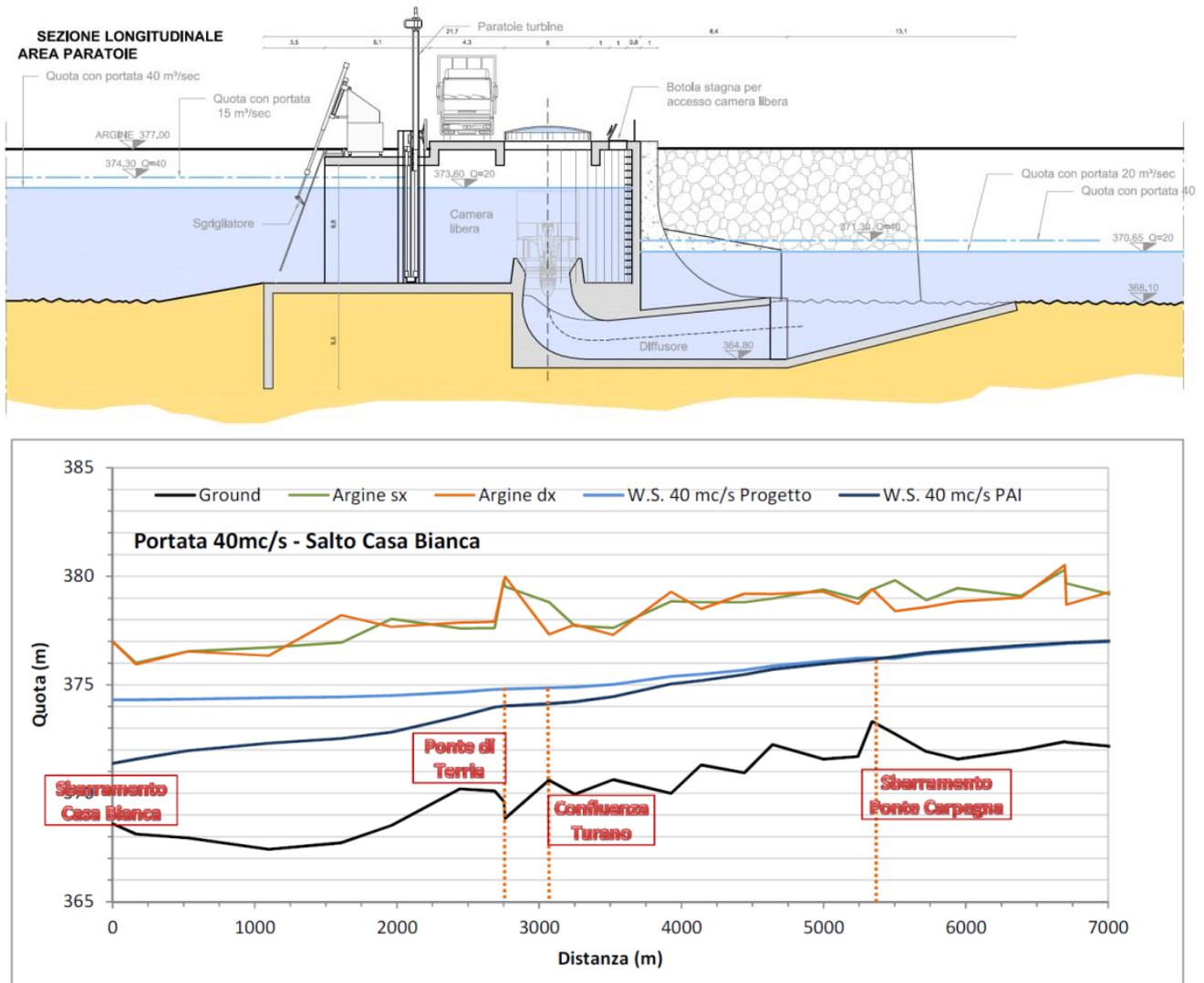


Figura 7-2 Altezze idrometriche *ante-operam* (W.S. 40 m<sup>3</sup>/s PAI) e *post-operam* (W.S. 40 m<sup>3</sup>/s progetto) in corrispondenza del salto Casa Bianca e lungo l’asta fluviale (Lusios, 2013).

L’aumento del livello piezometrico della falda indotto dalla realizzazione dell’impianto di Ponte Carpegna e Casa Bianca è espresso come differenza in metri tra i carichi *post* e i carichi *ante*, ed è mostrato in Figura 7-3.

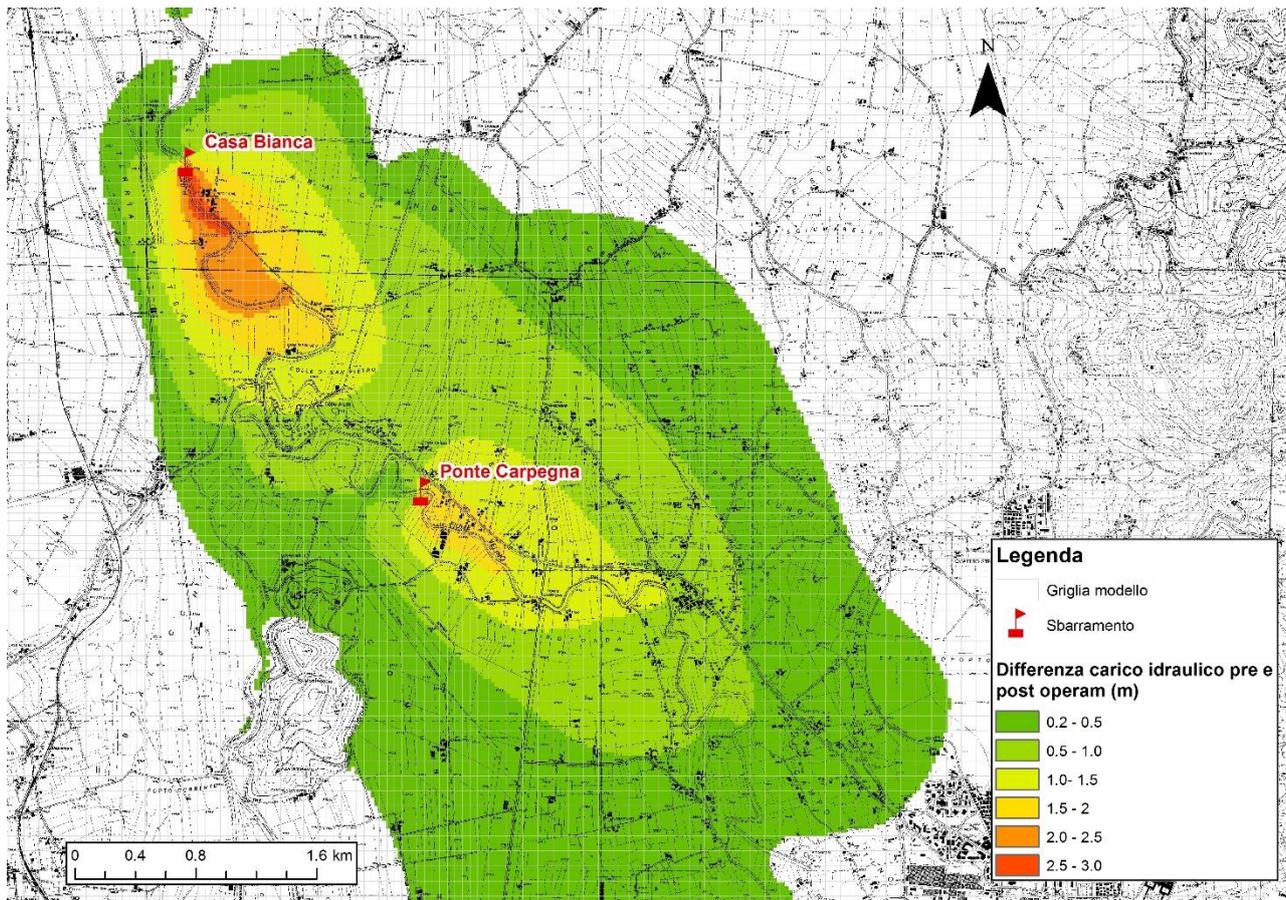


Figura 7-3 Mappa degli innalzamenti piezometrici (differenza tra livelli piezometri *post-operam* e *ante-operam*).

La Figura 7-4 individua le aree di maggiore criticità, ovvero dove la falda freatica supera il piano campagna generando allagamenti. Fatta eccezione dell'area prossima ai laghi, dove la falda è perennemente sub-affiorante, si rileva la presenza di allagamenti per un'area di circa 90.000 m<sup>2</sup> ad Est del salto Ponte Carpegna, con altezze sopra piano campagna che vanno da 25 cm a massimo 67 cm (data l'incertezza sulla quota di pc e la discretizzazione della griglia si trascurano le altezze inferiori a 25 cm). Per quanto riguarda l'impianto di Casa Bianca la falda risulta sempre più profonda di 2 m dal piano campagna, tranne che nelle immediate vicinanze dell'impianto, dove è comunque a profondità maggiore di 0.5 m (Figura 7-5). L'area di Figura 7-5 (esclusa zona dei laghi) in cui la soggiacenza della falda è uguale o inferiore a 0.5 m, presenta una estensione di circa 1 km<sup>2</sup>. In Figura 7-6 si riporta il bilancio idrico del modello *post-operam*.

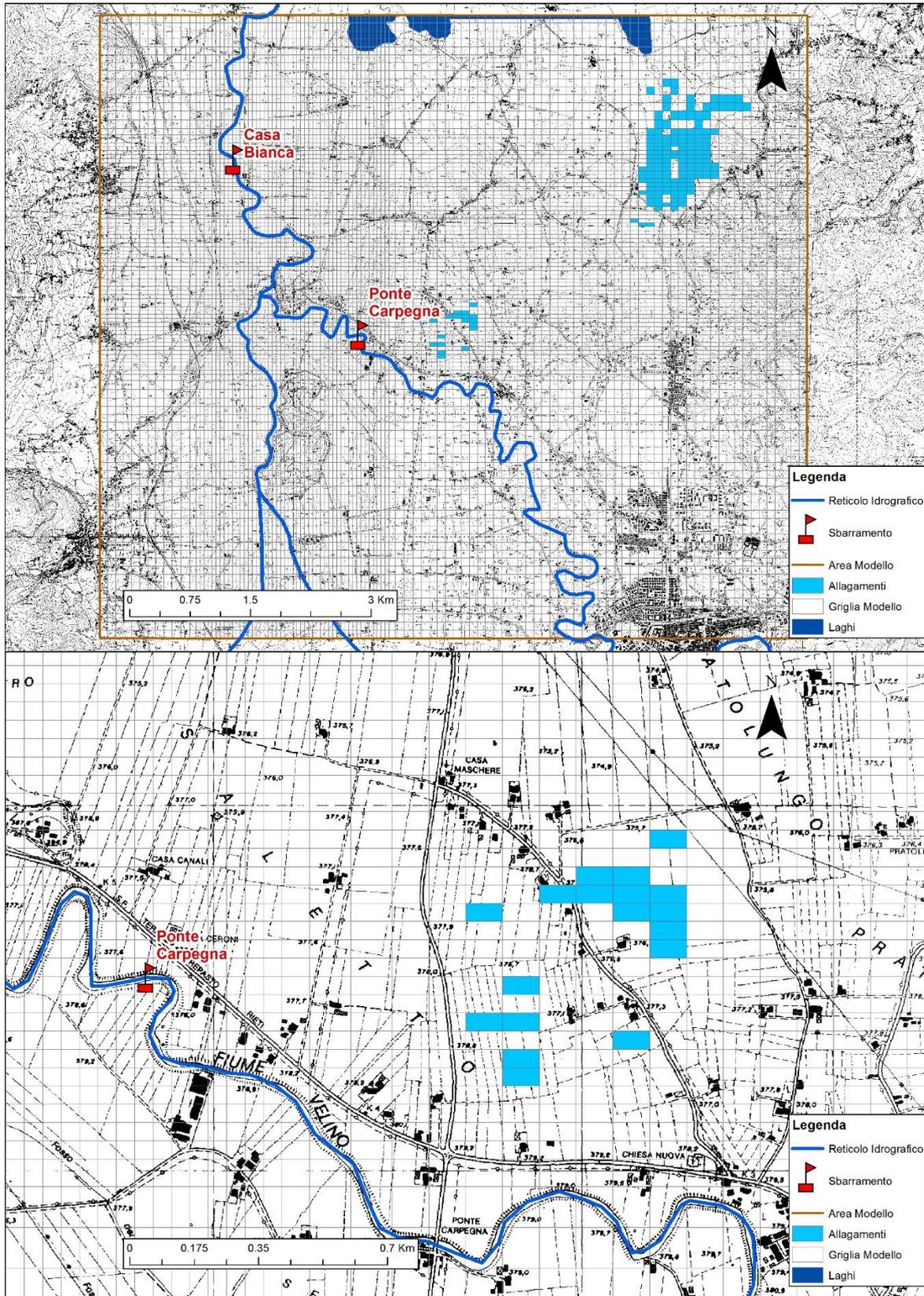


Figura 7-4 Aree del modello che presentano allagamenti in condizioni stazionarie *post-operam* (celle celesti).

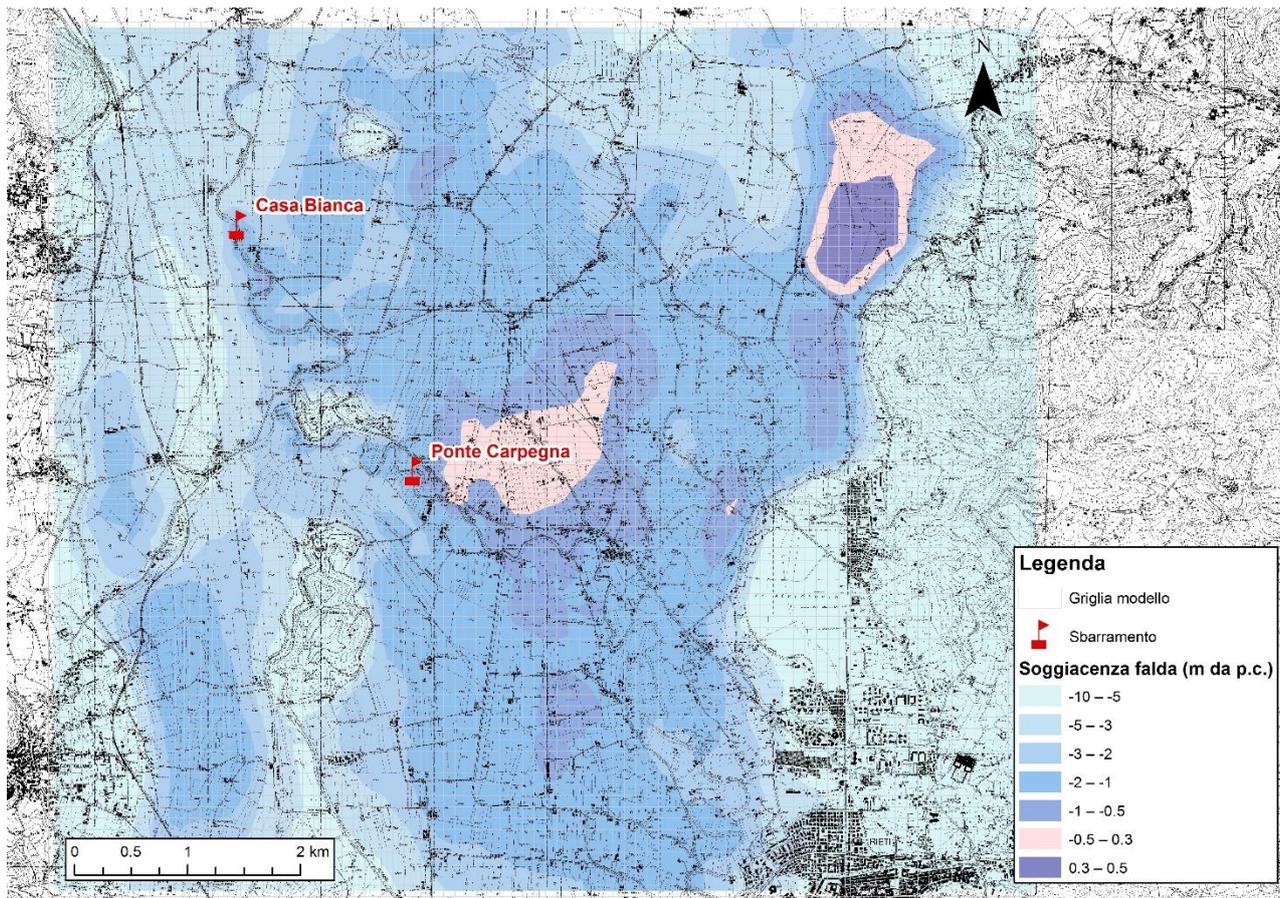


Figura 7-5 Mappa della soggiacenza della falda (m da pc).

Le simulazioni consentono una prima stima qualitativa dell’impatto delle opere sulle portate confluenti nei canali drenanti gestiti dal Consorzio di Bonifica. Il confronto in termini percentuali degli effetti sul bilancio, si traduce in un incremento di circa il 12 % sulla portata che i canali devono drenare dalla piana e far confluire nei laghi. Tale percentuale corrisponde anche all’incremento percentuale dell’acqua che dai laghi deve essere captata attraverso le idrovore per mantenere costante il livello.

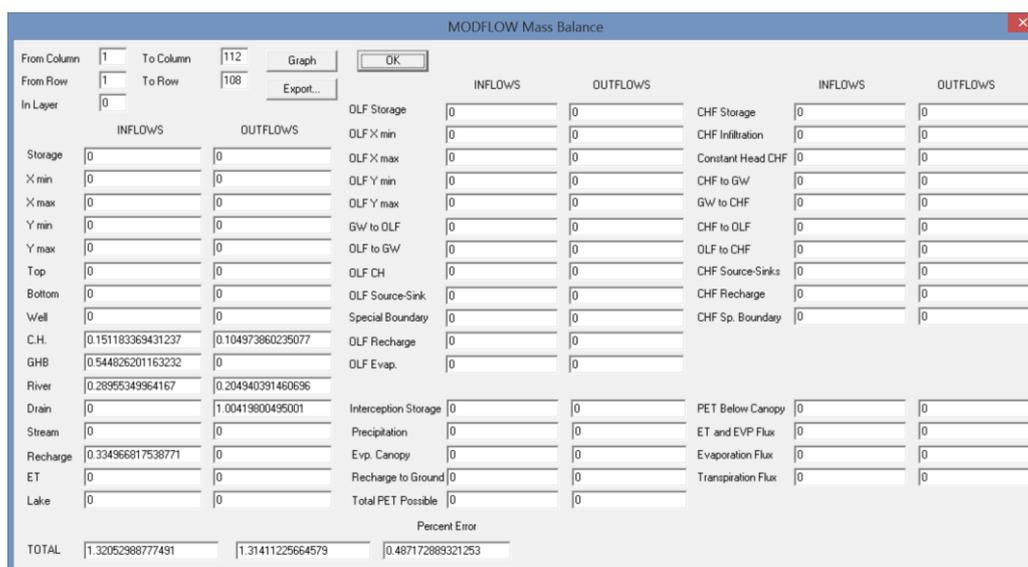


Figura 7-6 Bilancio post-operam

## 8 Conclusioni

Sono state eseguite delle simulazioni numeriche preliminari del flusso idrico sotterraneo nella Piana Reatina, nell'area comprendente i due impianti idroelettrici ad acqua fluente progettati in località Casa Bianca ed in località Ponte Carpegna, in condizioni statiche *pre* e *post-operam*. Il modello ricostruito non è stato sottoposto ad un rigoroso processo di calibrazione e validazione dei risultati a causa dell'assenza di dati storici/database riguardanti i livelli piezometrici. Tale processo è indispensabile per poter utilizzare il modello numerico a scopo previsionale.

Nonostante i chiari limiti della presente versione del modello numerico, si è effettuata una simulazione applicando i carichi idraulici *post-operam* del Fiume Velino. In tale contesto, i risultati in condizioni statiche mostrano un aumento del livello piezometrico della falda più superficiale, indotto dalla realizzazione degli impianti, che raggiunge i 3 m; la falda supera il pc (con una approssimazione di 0.25 m) per 90.000 m<sup>2</sup>.

Le simulazioni consentono una prima stima qualitativa dell'impatto delle opere sulle portate confluenti nei canali drenanti gestiti dal Consorzio di Bonifica. La semplificazione della rete dei canali esistenti che si è resa necessaria a causa della discretizzazione del modello (celle di dimensioni minime di 50 m), rappresenta i canali principali trascurando la fitta rete di canali minori capillarmente distribuiti nella Piana, con l'effetto di sovrastimare l'impatto sui canali simulati.

Il confronto in termini percentuali degli effetti sul bilancio, si traduce in un incremento di circa il 12 % sulla portata che i canali devono drenare dalla piana e far confluire nei laghi. Tale percentuale corrisponde anche all'incremento percentuale dell'acqua che dai laghi deve essere captata attraverso le idrovore per mantenere costante il livello.

Come specificato, i risultati del modello, espressi come estensione delle aree soggette ad allagamento ed incremento della portata nei canali drenati, è puramente indicativa ed affetta da incertezze.

Il modello descritto costituisce tuttavia un primo inquadramento generale del contesto in cui ricadono i due impianti e fornisce indicazioni su quali siano i parametri che maggiormente influenzano i risultati. Eventuali fasi successive finalizzate ad una migliore comprensione del sistema dovrebbero prevedere:

- mappatura di dettaglio dei canali del Consorzio, con associata informazione su larghezza e profondità del singolo canale;
- acquisizione DEM con dettaglio 1x1 m;
- esecuzione di misure di livelli statici, livelli e portate del Fiume Velino, livelli e portate canali drenanti;
- esecuzione di almeno 8 prove di emungimento (4 per il salto Ponte Carpegna e 4 per Casa Bianca);
- *sub-model* area Ponte Carpegna con prima calibrazione in regime transitorio su prove di emungimento e seconda calibrazione su cariche e portate fiume e canali;
- *sub-model* area Casa Bianca con prima calibrazione in regime transitorio su prove di emungimento e seconda calibrazione su cariche e portate fiume e canali;
- restituzione dei risultati in termini probabilistici tramite analisi dell'incertezza e simulazioni Null-Space Monte Carlo.

Documento redatto da:

Francesca Lotti – Idrogeologo

Michele Dimasi – Geologo

Stefano Di Luca – Geologo

Documento approvato da:

Fabio Romani – Amministratore unico Kataclima

**KATACLIMA S.r.l.**  
L.go Francesco Baracca, 18  
01019 Vetralla (VT) - Italy  
C.F. e P.I.: 01936920501  
info@kataclima.com



## 9 Riferimenti

### Idrogeologia regionale

- Capelli G., Mastrocillo L., Mazza R., Petitta M., Baldoni T., Banzato F., Cascone D., Di Salvo C., La Vigna F., Taviani S. & Teoli P. (2012) – Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio, scala 1:100000 (4 fogli). Regione Lazio, S.EL.CA., Firenze.
- Civita M. & De Maio M. (2000). Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico-SINTACS R5-A new parametric system for the assessment and automatic mapping of ground water vulnerability to contamination. Vol. 72, 226-226. Pitagora editore.
- Piano stralcio di assetto Idrogeologico, Tav. 24 - 25; Autorità di Bacino del Tevere.

### Idrogeologia della Piana di Rieti

- Barberi R., Cavinato G. P., Gliozzi E., & Mazzini I. (1995). Late Pliocene-Early Pleistocene paleoenvironmental evolution of Rieti basin (Central Apennines). *Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences* 8 (2), 515 – 534.
- Boni, C. F., Capelli, G., & Petitta, M. (1995). Carta idrogeologica dell'alta e media Valle del F. Velino. Elaborazione cartografica e stampa System Cart, Roma.
- Calderini G., Calderoni G., Cavinato G. P., Gliozzi E. & Paccara P., (1998). The upper Quaternary sedimentary sequence at the Rieti basin (Central Italy): a record of sedimentation response to climate changes. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 140, 97 – 111.
- Cavinato G. P., Chiaretti F., Cosentino D. & Serva L. (1989). Caratteri geologico-strutturali del margine orientale della conca di Rieti. *Boll. Soc. Geol. It.*, 108 (1989), 207 – 218.
- Ciccolella A., Di Filippo M., Iacovella S. & Toro B. (1995). Prospezione ed analisi gravimetrica della Piana di Rieti. *Il Quaternario*, 8 (1): 141 -148, Verona.
- Falcetti S., Guerrieri L., Marino M., Martarelli L., Menotti R.M, Millesimi F., Moretti P., Scalise A.R. (2015) La città di Rieti e la piana reatina. Lineamenti geologici e idrogeologici, tra storia, archeologia e patrimonio naturalistico "The Rieti Town and the Rieti Plain. Geological and hydrogeological outlines among history, archeology and natural heritage". *Atti ISPRA 5° Congresso Nazionale Geologia e Turismo (poster)*, Bologna, Giugno 2013. 8: 628-632.
- Manfredini, M. (1972). Studio idrogeologico della Piana di Rieti. *Quad. Ist. Ric. Acque, CNR*, 6, 87-122.
- Martarelli L., Petitta M., Scalise A.R., Silvi A. (2008) - Cartografia idrogeologica sperimentale della Piana Reatina (Lazio). *Mem. Descr. Carta Geol., d'It.*, 137-156.
- Mellini F. & Petitta M. (2013). Indagini idrogeologiche per la valutazione della risorsa idrica nella media valle del fiume Turano (Italia Centrale). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 02/2013.
- Petitta, M. (2009). Idrogeologia della media valle del Fiume Velino e della piana di S. Vittorino (Rieti, Italia Centrale). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, 1, 161-184.

### Modellazione numerica idrogeologica

- Hill M.H. and Tiedeman C. ( )
- Doherty J. (2015) *Calibration and Uncertainty Analysis for Complex Environmental Models*. Watermark Numerical Computing, Brisbane, 227 pp.

**Documentazione di progetto**

- Relazione di Integrazione per lo Studio di Impatto Ambientale "Integrazioni richieste Istruttorie di VIA – ID VIP 2630 e ID VIP 2631 "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Ponte Carpegna" "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Casa Bianca" trasmesse all'A.C. in data 30.06.2015.
- Studio di impatto ambientale (SIA) "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Ponte Carpegna.
- Studio di impatto ambientale (SIA) "Realizzazione di una centrale idroelettrica ad acqua fluente sul fiume Velino in loc. Casa Bianca.
- Report sulle misure di portata "Misure di portata sul fiume Velino Località Terria (RI) 03 Dicembre 2013".
- Relazione tecnica su sezioni topografiche "Verifica delle quote di alcune sezioni topografiche del PAI tracciate sul corso d'acqua Velino – Relazione tecnica".

**10 Allegato 1 – File di dati**

Nome file	Formato	Descrizione	Fonte
Livelli idrometrici giornalieri 2015	csv	Altezze idrometriche Velino monte e valle	Ufficio idrografico e mareografico di Roma
Terria livelli idrometrici giornalieri h 12 1986-1987	csv	Livelli idrometrici Velino su Terria	Ufficio idrografico e mareografico di Roma
Terria portate medie giornaliere 1986_1987	csv	Portate medie giornaliere Velino su Terria	Ufficio idrografico e mareografico di Roma
Velino a Terria portate medie giornaliere 2015	csv	Portate medie giornaliere Velino su Terria	Ufficio idrografico e mareografico di Roma
Sezioni Velino PAI	Cartella con DWG	Sezioni tecniche Velino	Lusios S.r.l.
Velino punti arginali	Cartella con DWG	Punti quotati argine Velino	Lusios S.r.l.
PLANIMETRIA antro_0 GRASSI 02	DWG	Planimetria sezioni alveo fiume Velino	Lusios S.r.l.
PUNTI MISURATI 02 GB	xls	Punti quotati per controllo sezioni PAI	Lusios S.r.l.
Velino_topo	DWG	Sezioni quotate Velino	Lusios S.r.l.
Bottom gravimetrico	jpg	Carta tetto substrato meso-cenozoico	Ciccolella et alii, 1995
CTR-Model	wetransfer-11b765	Rete canali di drenaggio	Consorzio della bonifica reatina
sezioni velino BIS	Cartella con DWG	Sezioni Velino	Lusios S.r.l.
sezioni velino TRIS	Cartella con DWG	Sezioni Velino	Lusios S.r.l.
Velino_topo x dom	DWG	Planimetria sezioni Velino	Lusios S.r.l.

**Allegato 1. Elenco file di dati.**

## 11 Allegato 2 - Sopralluogo

Il sopralluogo effettuato in data 11/05/2016 ha avuto lo scopo di effettuare rilevati ed alcune misure idrogeologiche nelle aree di maggiore interesse, al fine di meglio comprendere il complesso assetto idrogeologico della piana. I punti rilevati sono riportati in Figura 11-1.

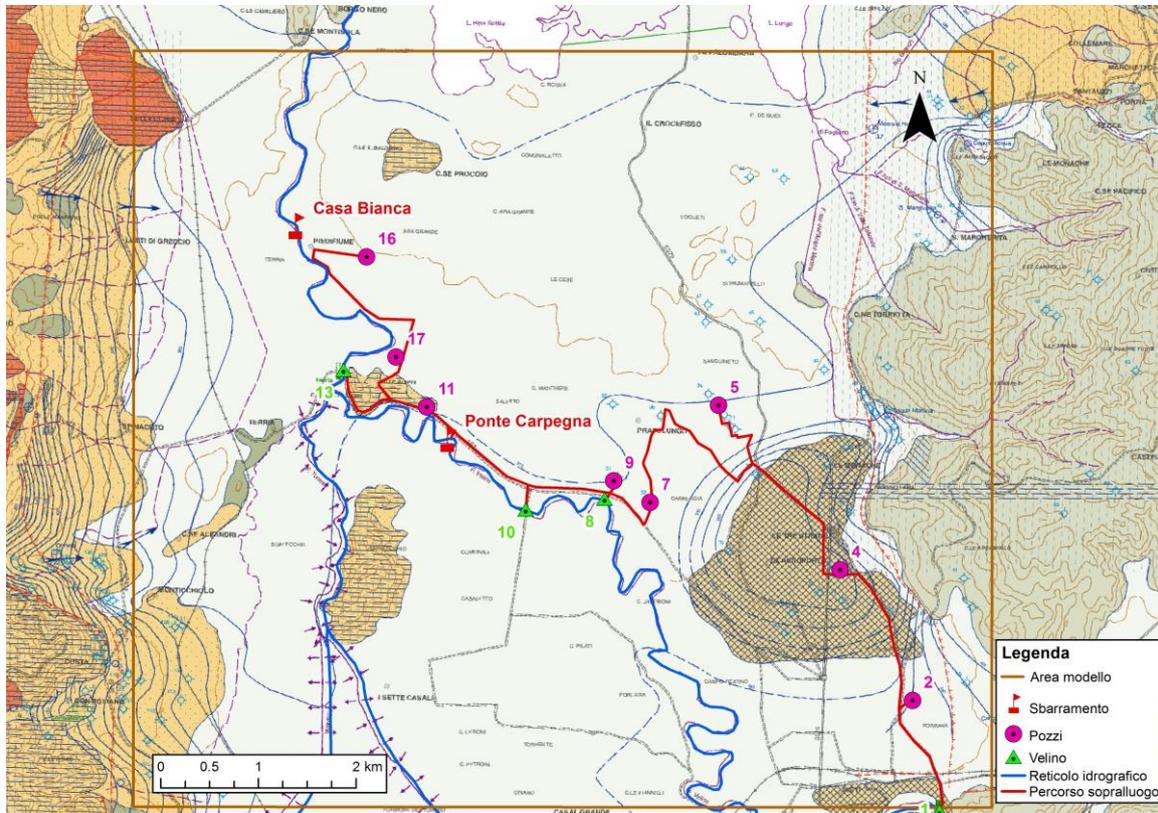


Figura 11-1 Carta con ubicazione punti di misura sopralluogo Kataclima 11/05/2016.

A seguire si riportano i punti di misura effettuati durante il sopralluogo, con riferimento alla numerazione della carta precedente:

### 01\_“Campo irriguo Campo reatino”

Stazioni “Idrometrica” e “Termo-pluviometrica” sul Velino: “Idro Rieti”.  
Livello Velino: 0.58 m. (lettura da scala verticale sulla sponda del fiume).



Figura 11-2 Stazione Termopluviometrica e Idrometrica Idro Rieti.

### 02\_Pozzo cimitero (codice ISPRA: 153781)

Liv. Statico: 11.14m da p.c.



Figura 11-3 *Misura livello statico su pozzo.*

#### STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0.00	20.00	20.00		TRAVERTINI DA LITOIDI A SABBIOSI
2	20.00	76.00	56.00		LIMI ED ARGILLE GRIGIASTRE CON RARE INTERCALAZIONI SABBIOSE
3	76.00	86.00	10.00		ARGILLE GRIGIE MOLTI CONSISTENTI

Figura 11-4 *Stratigrafia riportata sul sito ISPRA.*

#### 04\_Vivaio "Golden Garden"

Prof. Pozzo: 45 – 50 m. da p.c.;

Liv. Statico: 34.66 m. da p.c.

Dalla carta idrogeologica all'interno dei travertini

#### 05\_Pozzo privato

Prof. Pozzo: 5 m. (dato fornito dal proprietario).

Liv. Statico: 1.43 da p.c.

#### 07\_Pozzo privato

Prof. Pozzo. 5 m.

Liv. Statico: 1.34 m. da p.c.

Presenza di acqua stagnante lungo i canali del consorzio

#### 08\_Punto misura Velino

Soggiacenza da p.c. (Sponda riva dx Velino, in corrispondenza della scalinata che scende sul fiume): 1,88 m. da p.c.



Figura 11-5 *Ubicazione del punto di misura sul Velino.*

L'abitante di una casa a ridosso della sponda del Velino: "L'acqua nei periodi di piena risale fino a ca. 0.10 m. in più punti? del corrimano presente". Se consideriamo come battente d'acqua del fiume, oggi, in corrispondenza della sponda l'altezza d'acqua è di ca. 2 m. Secondo quanto attesta il signore, l'altezza max si aggira intorno ai 2.70 m, corrispondente ad una soggiacenza da pc di 1.20 m circa.

### 09\_Pozzo privato

Prof. Pozzo: 3.50 m dal p.c.

Liv. Statico: 0.35 m da p.c.

### 10\_Ponte Carpegna – Misura Velino

Misura effettuata dal ponte (livello strada): 4.07 m da p.c.



Figura 11-6 *Ponte Carpegna.*

### 11\_Pozzo Ristorante "Colle Aluffi"

Liv. Statico: 2.79 m. da p.c.



Figura 11-7 *Localizzazione del punto di misura.*

### 13\_Stazione idrometrica e pluviometrica "Terria"

Misura effettuata dal ponte (livello strada): 5.40 m. da p.c.



**Figura 11-8 Misura della quota del pelo d'acqua sul Fiume Velino in corrispondenza del Ponte di Terria.**

Affioramento "Scaglia Rossa" Colle S. Pastore, della sulla curva in prossimità del Ponte di Terria.



**Figura 11-9 Affioramento di una breccia di faglia in corrispondenza del Ponte di Terria.**



**Figura 11-10 Assetto stratigrafico delle formazione delle scaglie in prossimità del Ponte di Terria.**

#### 14\_F. Turano



**Figura 11-11 A sinistra, alveo del Fiume Turano. A destra, in blu il punto di scatto della foto.**

**15\_ Località “Piedifiume”**

Figura 11-12 *A destra, foto del Fiume Velino. A sinistra, localizzazione del punto di scatto della foto.*

**16\_ Piezometro Casagrande**

Liv. Statico: 1.65 m. da p.c.

**17\_ Piezometro Casagrande**

Liv. Statico: 2.21 m. da p.c.

**18\_ Lago di Ripasottile**

Figura 11-13 *A sinistra, Lago di Ripasottile. A destra, stabilimento di localizzazione Idrovore.*