



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

**RAPPORTO TRA ASSETTO IDROGEOLOGICO E RISCHIO IDRAULICO IN UN BACINO
IDROGRAFICO CAMPIONE**

**RELATIONSHIP BETWEEN HYDROGEOLOGICAL STRUCTURE AND HYDRAULIC RISK
IN A SAMPLE CATCHMENT AREA**

Relatore: Chiar.mo

Prof. Alberto TAZIOLI

Tesi di Laurea di:

Erica BIZZARRI

A.A. 2019 / 2020

Indice

Capitolo 1

INTRODUZIONE

1.1	Premessa	1
1.2	Rischio idrogeologico	2
1.3	Scopo della tesi	4

Capitolo 2

BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ASPIO

2.1	Inquadramento geografico	6
2.2	Climatologia	8
	2.2.1 Pluviometria	9
	2.2.2 Termometria	12
2.3	Inquadramento geologico e idrogeologico	14

Capitolo 3

BACINO SPERIMENTALE DEL RIO SCARICALASINO

3.1	Bacino sperimentale	22
3.2	Caratteristiche morfometriche	23

Capitolo 4

MATERIALI E METODI

Modalità operative di raccolta dati in campagna

4.1	Rilievo delle coperture	30
4.2	Idrometria e piezometria	37
	4.2.1 Rilievo topografico del fondo alveo	38
	4.2.2 Misura dei livelli idrometrici	41
	4.2.3 Ricognizione e quotatura dei pozzi e misura dei livelli piezometrici	44
	4.2.4 Costruzione di carte a curve isopiezometriche	84
	4.2.5 Misure piezometriche ed idrometriche in continuo e loro confronto	88

4.3	Rilievo delle sezioni fluviali	91
4.4	Modelli di calcolo applicati all'idraulica fluviale	101
4.4.1	Modello idraulico HEC – RAS	101
4.4.2	Modello idrologico HEC – HMS	104
4.4.2.1	Applicativo HEC – GeoHMS	107

Capitolo 5

ELABORAZIONE DEI DATI

5.1	Profilo longitudinale	109
5.2	Carte a linee isopiezometriche	114
5.3	Analisi della piezometria	117
5.4	Confronto tra piezometria e idrometria in un punto	122
5.5	Applicazione dei modelli	125
5.5.1	Modello idraulico HEC – RAS	125
5.5.2	Modello idrologico HEC – HMS	132

Capitolo 6

RISULTATI OTTENUTI

6.1	Rapporto tra falda di subalveo e corpo idrico superficiale – analisi del profilo	135
6.2	Livello delle acque sotterranee e caratteristiche dell'acquifero	139
6.3	Risultati della modellazione idrologica	146

Capitolo 7

CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

7.1	Considerazioni	150
7.1.1	Coperture	151
7.1.2	Rapporto tra la falda e il fiume	152
7.1.3	Rete di pozzi	154
7.1.4	Monitoraggio in continuo	155
7.1.5	Applicazione dei modelli	156
7.2	Conclusioni	157

	Bibliografia e sitografia	158
--	--	-----

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Argomento del presente lavoro è lo studio, in un “bacino idrografico campione”, dei caratteri fisici, litologici e idrogeologici del territorio, al fine di definire qualitativamente e quantitativamente il legame esistente tra le acque sotterranee e le acque superficiali e valutarne il rapporto in termini di rischio idraulico. Il bacino idrografico campione preso in esame, il cui territorio ricade all’interno della provincia di Ancona, è quello del Rio Scaricalasino, affluente in destra idrografica del Fiume Aspio, ed è un bacino tipico dei fiumi che scorrono nel versante adriatico dell’Italia centrale.

Si definisce, infatti, “bacino idrografico campione” o “sperimentale” un sottobacino che risulta rappresentativo dal punto di vista climatico e litologico di un bacino più grande o di altri che presentino le medesime caratteristiche.

Le analisi effettuate nel bacino campione, per le sue modeste dimensioni, sono più agevoli e, allo stesso tempo, i processi che lo riguardano sono indicativi dei fenomeni che si riscontrano anche ad una più ampia scala.

Il bacino del fiume Aspio è stato interessato negli ultimi anni da diversi eventi meteorologici che hanno provocato esondazioni, con conseguenti danni dal punto di vista economico e sociale per il territorio.

Il più rilevante è stato quello del 16-17 marzo 2006 che ha causato l’alluvione dell’abitato e della zona industriale e commerciale della località di Osimo Stazione.

In seguito a tale evento, la zona è divenuta oggetto di ricerca e studio dell’assetto del territorio, delle sue caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e idrauliche, con l’intento di quantificare e mettere in relazione tutti i fenomeni che concorrono alla definizione del rischio idrogeologico.

A tale scopo, gli studi effettuati hanno posto particolare attenzione:

- all’individuazione delle caratteristiche climatologiche della zona, costruendo una rete di acquisizione dei dati di maggiore dettaglio;
- allo studio dei processi di afflusso e deflusso delle acque meteoriche e alla loro variazione in relazione alle stagioni, alle condizioni di saturazione del terreno, all’interferenza tra acque superficiali e sotterranee, alla litologia, alle caratteristiche morfologiche del territorio;

- all’impatto dell’attività antropica, molto sviluppata, sui processi naturali.

1.2 Rischio idrogeologico

Il rischio geologico è definito (Bolt *et alii*, 1975) come “la combinazione della pericolosità geologica e della potenziale vulnerabilità antropica di un territorio, espresso in termini di rapporto tra i prevedibili eventi di pericolosità geologica, la loro intensità e frequenza e le relative interferenze con le attività antropiche”.

In questo senso il rischio geologico rientra nel più generale concetto di rischio ambientale, connesso a quello di pericolosità ambientale e vulnerabilità territoriale, le cui definizioni sono (Panizza, 1988):

- *pericolosità ambientale*: probabilità che un certo fenomeno, naturale o indotto più o meno direttamente dall’antropizzazione, si verifichi in un certo qual territorio, in un determinato intervallo di tempo;
- *vulnerabilità territoriale*: l’insieme complesso della popolazione, delle costruzioni, delle infrastrutture, delle attività economiche, dell’organizzazione sociale e degli eventuali programmi di espansione e di potenziamento di un certo territorio;
- *rischio ambientale*: la probabilità che le conseguenze economiche e sociali di un certo fenomeno di pericolosità superino una determinata soglia.

Nell’ambito della categoria del rischio ambientale, quindi, si parla di “rischio geologico” quando le sorgenti dello stesso sono: l’attività sismica, l’attività vulcanica e il dissesto idrogeologico.

Con il termine “dissesto idrogeologico”, o meglio, “dissesto geologico-idraulico” si intendono tutti quei fenomeni quali alluvioni, frane, fenomeni erosivi, valanghe, arretramento delle coste e subsidenza.

È noto che la gran parte del territorio italiano è caratterizzata da elevato rischio; per questo la normativa vigente in materia di difesa del suolo [D.lgs. 152/2006 - *Norme in materia ambientale*] richiede alle Amministrazioni competenti l’individuazione di metodologie di studio del rischio geologico-idraulico; l’adozione di strumenti di pianificazione attraverso i quali si preveda la perimetrazione di aree interessate da tali fenomeni, con l’indicazione di una scala di livelli di rischio; la sperimentazione di sistemi di controllo e di intervento per la tutela dei soggetti a rischio (popolazione, abitazioni, impianti produttivi, infrastrutture); la redazione di piani per l’emergenza.

Tuttavia l'analisi del rischio idrogeologico, nel nostro paese, risulta molto complessa a causa dell'estrema eterogeneità degli assetti geologico-strutturali, idrogeologici e geologico-tecnici e di un'ampia gamma di condizioni microclimatiche differenti anche in aree limitrofe o apparentemente simili.

I fenomeni di dissesto, inoltre, possono manifestarsi secondo diverse modalità, in relazione alle molteplici combinazioni di tutte le variabili in gioco; diventa di fondamentale importanza, allora, la conoscenza di tutti i fattori che contribuiscono alla determinazione del rischio.

Analiticamente la relazione più comunemente usata per la definizione di rischio è quella proposta nel rapporto UNESCO di Varnes & IAEG, 1984:

$$R = H * V * E \quad (\text{Equazione del rischio})$$

Dove

R = Risk (Rischio);

H = Hazard (Pericolosità);

V = Vulnerability (Vulnerabilità);

E = Element at risk (Elementi a rischio)

Pericolosità (H): è la probabilità che un fenomeno potenzialmente dannoso investa una determinata area, con una determinata intensità, in un determinato periodo di tempo. La definizione della pericolosità di un'area è funzione di tre componenti: valutazione della suscettività¹ dell'area; valutazione dell'intensità del fenomeno atteso, valutazione della frequenza del fenomeno ovvero del tempo di ritorno².

Vulnerabilità (V): è il grado di perdita prodotto su un certo elemento o un gruppo di elementi esposti a rischio (E) risultante dal verificarsi di un evento dannoso di una data intensità.

Si esprime in una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale).

Elementi a rischio (E): sono gli elementi o gli insiemi di elementi esposti alla probabilità che in un dato periodo di tempo possano essere investiti da un evento dannoso di una determinata intensità (popolazione umana, edifici, infrastrutture, attività economiche, servizi sociali, risorse naturali, ecc.).

La quantificazione del valore economico può essere espresso in termini monetari o di numero o quantità di unità esposte.

¹ Suscettività indica la stima della propensione al dissesto di un determinato territorio, calcolata sulla base di giudizi qualitativi.

² Tempo di ritorno indica il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi di entità uguale o superiore ad un valore di intensità assegnata o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Si parla poi di *Rischio Specifico (Rs)* come il grado di perdita atteso come conseguenza di un particolare evento di una data intensità, cioè con un certo tempo di ritorno, è espresso dal prodotto di $P \cdot V$; e di *Danno potenziale (D)* come l'entità potenziale delle perdite nel caso occorra un evento dannoso, è dato dal prodotto $V \cdot E$.

È evidente che una stima del rischio, presuppone l'esecuzione di complesse indagini per la determinazione della pericolosità di un evento, delle aree vulnerabili e, al loro interno, degli elementi a rischio, rendendo necessaria la collaborazione di diverse professionalità specifiche.

1.3 Scopo della tesi

Nell'ambito della ricerca che da anni si sviluppa all'interno del territorio del bacino idrografico del Fiume Aspio e dei suoi affluenti, si inserisce anche il presente lavoro che ha lo scopo di indagare le interazioni che regolano il comportamento del sistema idrico sotterraneo e superficiale nel suo insieme, di comprendere qual è la risposta del sistema idrico alle sollecitazioni e quali sono i fattori che maggiormente influenzano tale risposta.

Il sistema idrico fa parte di un sistema territoriale che muta nel tempo le sue caratteristiche per effetto delle modificazioni antropiche e climatiche, pertanto, la conoscenza degli aspetti che concorrono al superamento dei livelli idrometrici critici lungo la rete idrica, causando esondazioni, consente di produrre valutazioni utili ai fini della progettazione di interventi di manutenzione e difesa del territorio.

Emerge, allora, l'importanza dell'analisi diretta del territorio e degli eventi che lo hanno interessato; essa si realizza attraverso l'impiego di strumenti e di tecniche di osservazione che consentano, per un tempo rappresentativo, il reperimento di dati necessari a definire l'entità dei fattori che contribuiscono alla determinazione del rischio idraulico e la loro reciproca relazione.

In quest'ottica, si è voluto progettare e mettere in atto, in un bacino sperimentale, a seguito di un evento dannoso, l'implementazione di diversi sistemi di misura e di monitoraggio in campagna che permettano un'ampia acquisizione di dati, sia a livello spaziale sia temporale, fondamentale per applicare in concreto la valutazione del rischio.

Si è posta particolare attenzione al rilievo della litologia della parte più superficiale del territorio, all'indagine delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero ospitante la falda di subalveo e delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua.

Attraverso le successive elaborazioni e l'applicazione della modellazione idrologica e idraulica si è voluto definire, in una visione d'insieme, quali sono gli aspetti maggiormente influenti sulla valutazione del rischio idraulico, la loro evoluzione, le interazioni esistenti tra i caratteri indagati e in che modo tali interazioni contribuiscono a realizzare la risposta del bacino ad un evento meteorologico.

CAPITOLO 2

BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ASPIO

2.1 Inquadramento geografico

Il Fiume Aspio nasce nelle vicinanze di Polverigi, alle pendici del Monte Borgo (267 m s.l.m.) e si estende per circa 23,5 km; è un affluente in sinistra idrografica del fiume Musone nel quale confluisce a circa 2 km dal suo sbocco in mare Adriatico.

Il suo bacino idrografico, che si estende per una superficie di 163 km², è delimitato a Nord dalla città di Ancona, a Sud dal corso del Fiume Musone, ad Ovest dai centri abitati di Agugliano, Polverigi e Osimo, infine ad Est dal promontorio del Monte Conero (Figg. 2.1 e 2.2).

Morfologicamente l'area è prevalentemente collinare ad eccezione del Monte Conero (572 m s.l.m.) e della pianura alluvionale del corso d'acqua principale e degli affluenti maggiori.

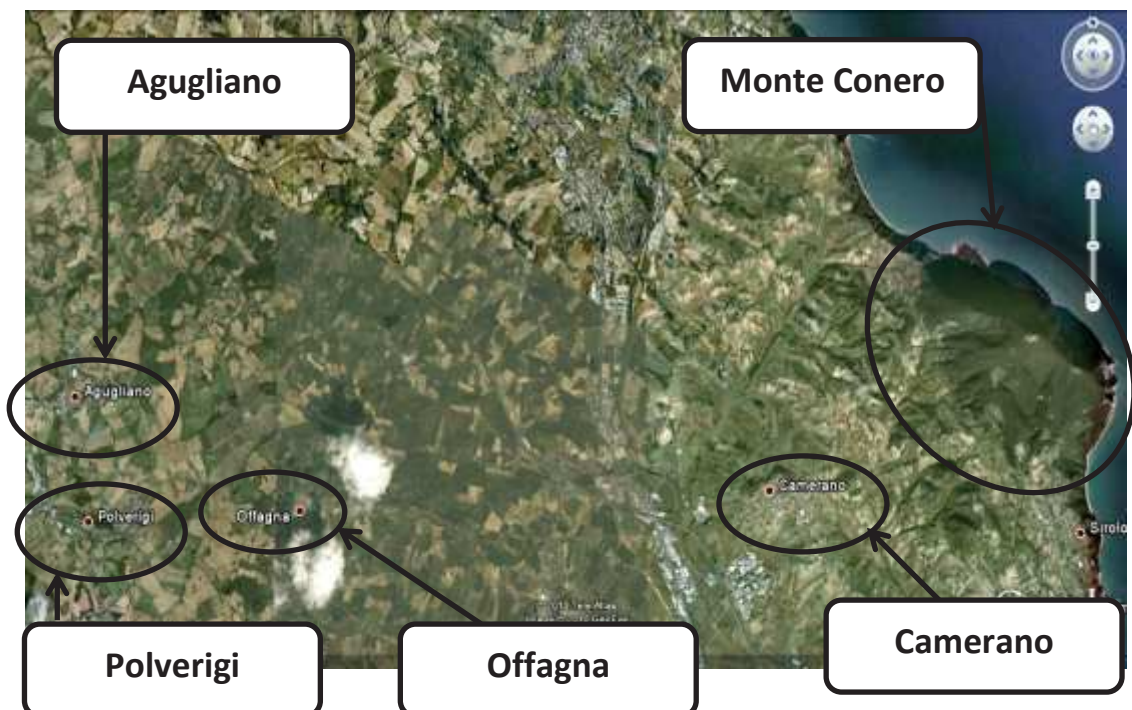


Fig. 2.1 – Immagine satellitare: bacino del Fiume Aspio e inquadramento dei principali centri abitati (Google Maps by Google LLC)

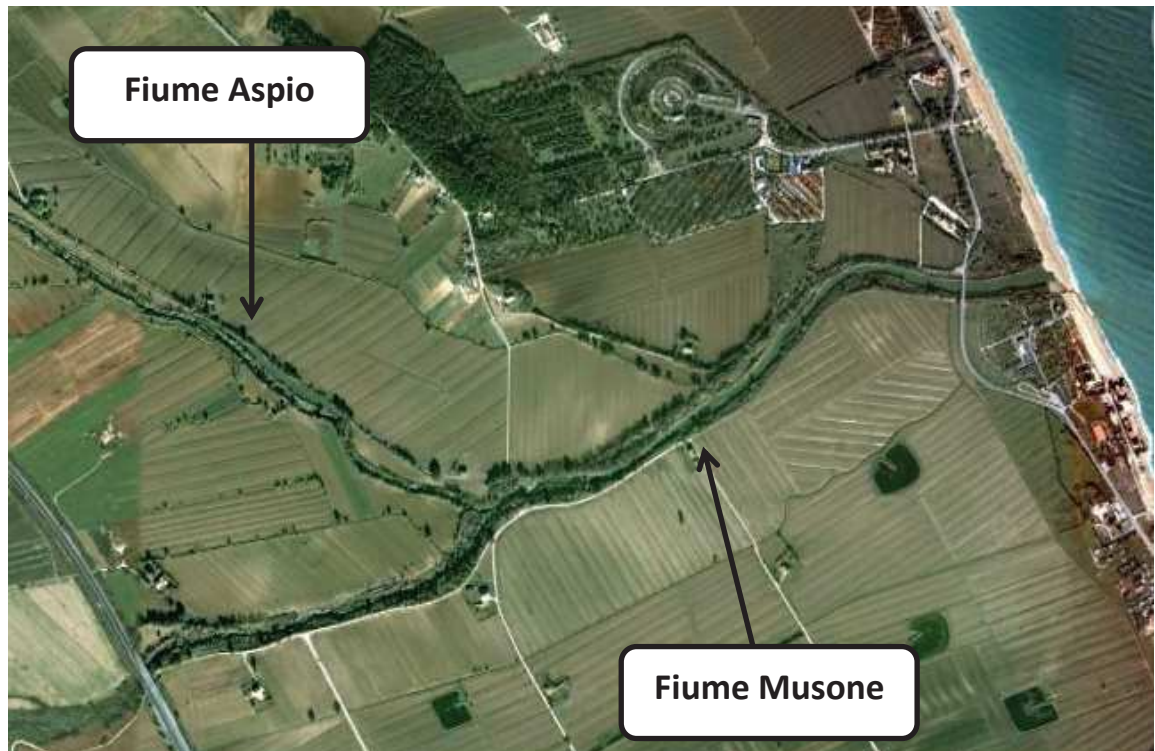


Fig. 2.2 – Immagine satellitare: confluenza del fiume Aspio nel fiume Musone (Google Maps)

L'idrografia del Fiume Aspio (Fig. 2.3) si costituisce di tre affluenti principali che sono: il Rio Boranico e il torrente Betelico, in sinistra idrografica, che nascono dalle pendici del Monte Conero e, in destra idrografica, il Rio Scaricalasino che confluisce nel Fiume Aspio nei pressi dell'abitato di Osimo Stazione. Affluenti minori sono il Rio Marganetto e il Fosso Rigo.

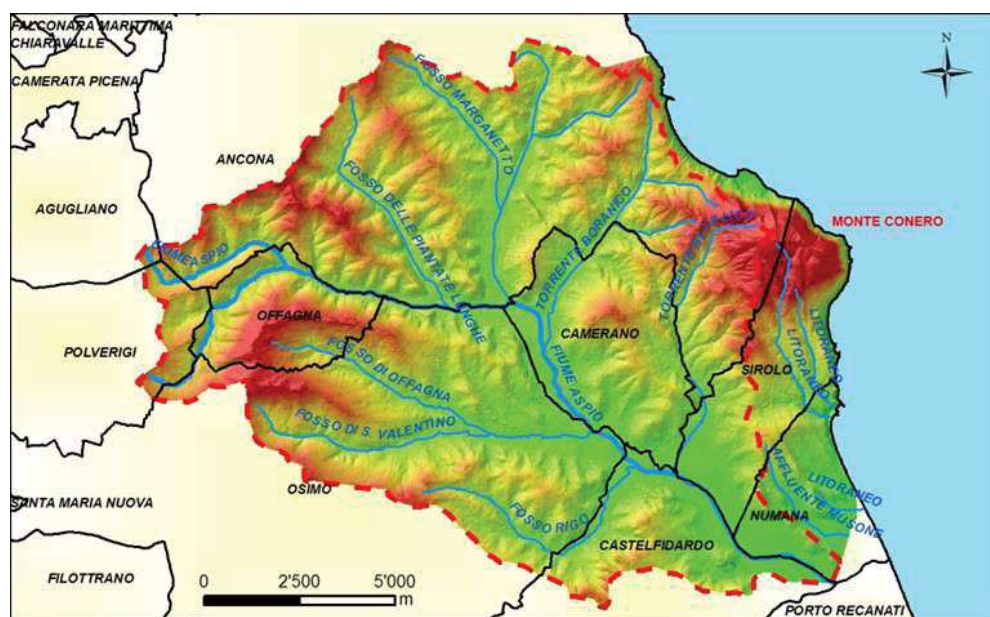


Fig. 2.3 – Modello digitale (DTM) del bacino e reticolo idrografico (Mattioli, 2014)

Affluente	Provenienza	Superficie (Km²)	Superficie (%)
Fosso della Costa del Lupo	destra idrografica	4.23	2.59
Fosso di Gallignano	sinistra idrografica	6.90	4.23
Fosso delle Piantate Lunghe	sinistra idrografica	14.11	8.65
Rio Marganetto	sinistra idrografica	26.07	15.98
Rio Boranico	sinistra idrografica	15.66	9.60
Torrente Betelico	sinistra idrografica	14.28	8.75
Rio Scaricalasino	destra idrografica	28.71	17.60
Fosso della Fonte del Maggio	sinistra idrografica	4.47	2.74
Fosso Rigo	destra idrografica	13.26	8.13

Tabella 2.1 - Affluenti Fiume Aspio

Tra i principali affluenti del Fiume Aspio, riportati in Tabella 2.1 (Coltorti, 1992), quello di maggiore rilevanza per dimensioni e caratteristiche è il Rio Scaricalasino.

Tale affluente, che si estende per oltre 10 Km e il cui bacino ricopre circa il 18% dell'area del bacino principale, sarà oggetto del presente studio.

2.2 Climatologia

Per ottenere un inquadramento climatico del bacino del F. Aspio, si fa riferimento ai dati pluviometrici e termometrici consultabili dagli Annali Idrologici forniti dal Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico della Regione Marche – Servizio Protezione Civile (www.regione.marche.it).

Per quanto riguarda la pluviometria, si fa riferimento alle stazioni di Baraccola, Osimo e Osimo Monteragolo, situate tutte all'interno del bacino.

Al fine di osservare l'evoluzione delle precipitazioni insistenti sul territorio in esame nel corso degli anni, si sono scelte le stazioni che hanno attività di registrazione più lunga, seppure all'interno del bacino ne siano presenti altre. Queste ultime saranno considerate in seguito per calcolare il volume degli afflussi durante un particolare evento studiato per la taratura di un modello idrologico.

Caratteristiche delle stazioni:

Stazione *Baraccola* – Longitudine 13° 30'
Latitudine 43° 33'
Quota 37 m s.l.m.
Anno di inizio osservazioni 1936
Dal 2009 ad oggi sono riportati i dati registrati da apparecchio in telemisura

Stazione *Osimo* – Longitudine 13° 29'
Latitudine 43° 29'
Quota 265 m s.l.m.
Anni osservazioni dal 1951 al 2014

Stazione *Osimo*

Monteragolo – Longitudine 13° 30'
Latitudine 43° 33'
Quota 123 m s.l.m.
Anno inizio osservazioni 2007

Per quanto riguarda, invece, lo studio dell'andamento delle temperature medie, si fa riferimento ai dati registrati nella stazione di Ancona Torrette; questa ricade all'esterno del bacino del F. Aspio ma nelle immediate vicinanze. Tale scelta è dovuta al fatto che le stazioni interne, fornendo dati termometrici relativi solo all'ultimo decennio, non forniscono un numero di osservazioni rappresentativo per lo studio delle variazioni suddette.

Stazione *Ancona Torrette* – Longitudine 13° 26'
Latitudine 43° 36'
Quota 5 m s.l.m.
Anno inizio osservazioni 1947

2.2.1 Pluviometria

A partire dai dati contenuti nella Tabella II sez. B (Pluviometria) degli Annali Idrologici, in cui sono riportati i "Totali annui e riassunti dei totali mensili delle quantità delle precipitazioni"; per ogni anno e per ogni stazione si è riportata di seguito, in Tabella 2.2, l'altezza di precipitazione totale annua e si è calcolata l'altezza media di precipitazione registrata dal 1991 ad oggi, il valore minimo e il valore massimo.

Per ogni stazione, inoltre, sono riportate graficamente (Fig. 2.4) la precipitazione media progressiva, ovvero la media delle precipitazioni relativa a tutti gli anni precedenti ad un anno i-esimo. Questo tipo di rappresentazione consente di osservare in che modo la precipitazione media di ogni anno si discosti dalla media relativa agli anni precedenti ad esso e permette, inoltre, di studiare il trend seguito dalla piovosità.

Tabella 1.2 - precipitazioni totali annue

Anno	totale annuo (mm pioggia)		
	Baraccola	Osimo	Osimo Monteragolo
1991	780.8	752	
1992	575	521.2	
1993	636.6	551	
1994	631.8	561	
1995	1117	811	
1996	1060	812.4	
1997	614.6	532.4	
1998	803.8	660.2	
1999	940.6	813.8	
2000	509.2	484.4	
2001	721	628.6	
2002	747.2	770.4	
2003	464	460.8	
2004	724	738.6	
2005	842.8	871	
2006	783.2	825	
2007	660.8	537	
2008		724.8	661.2
2009		708.6	797.6
2010	1079.6	954.6	800
2011	562.2	576.8	670.6
2012	295.2(*)	801.8	572.2
2013	559.4	906.4	1034.6
2014	919.4		1057.6
2015	956.8	805	871.8
2016	987.4	743.4	800.4
2017	1009.6	736.6	780.2
2018	911.4	699.2	776.8
2019	861.4	795.4	741.2
MEDIA	768.7	706.6	797.0
VALORE MIN	464 nel 2003	460.8 nel 2003	572.2 nel 2012
VALORE MAX	1117 nel 1995	954.6 nel 2010	1057.6 nel 2014

(*) dato incompleto e perciò non considerato nel computo del valore minimo

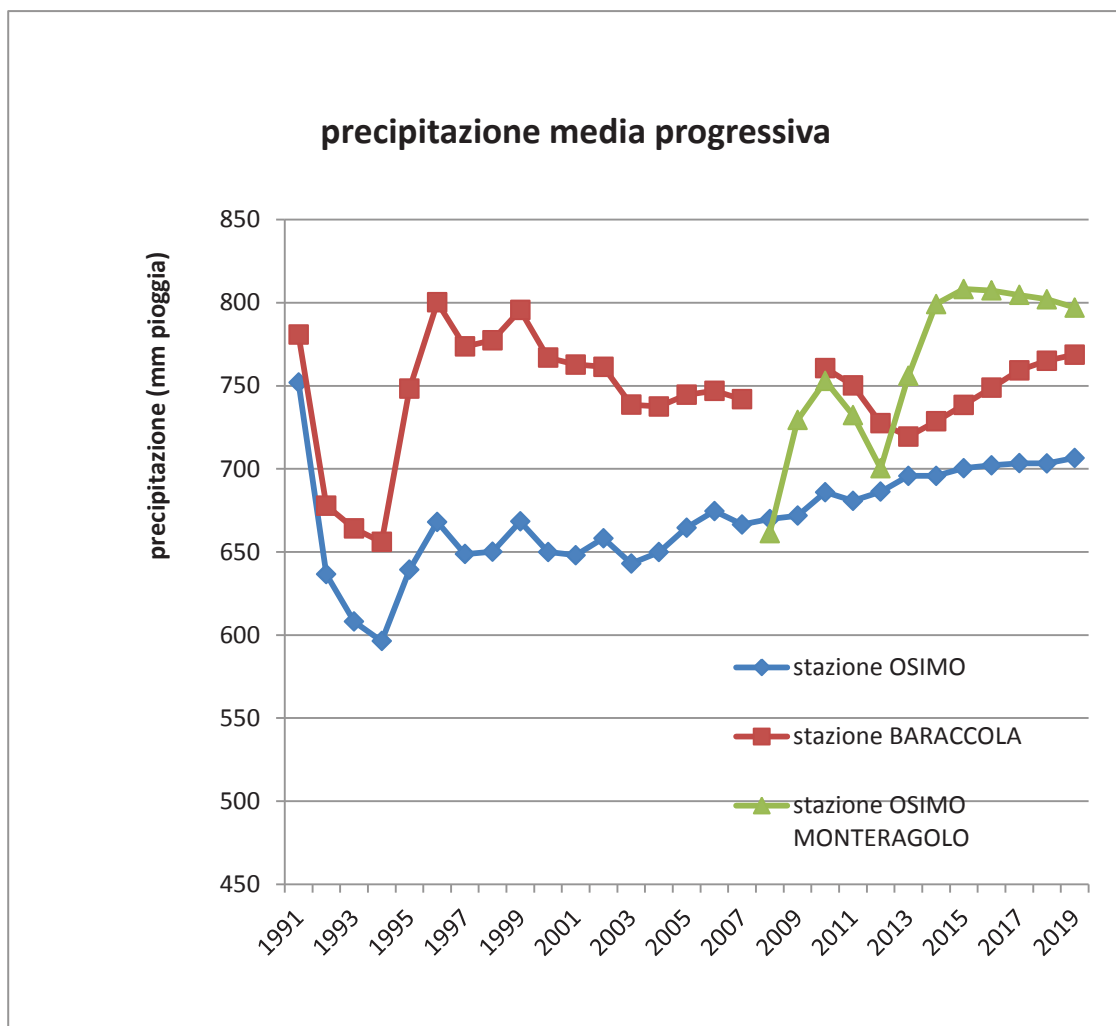


Fig. 2.4 – Grafico delle precipitazioni medie progressive

Ciò che si nota in Fig. 2.4 è che, per entrambe le stazioni di Osimo e Baraccola, si registra un brusco calo delle precipitazioni medie nei primi anni del decennio 1990 per poi avere un picco nel 1995 -1996, un secondo calo nel 2003 per poi risalire in maniera altalenante fino al 2010, anno in cui si registrano i totali maggiori o prossimi al valore massimo. Infine la tendenza della seconda metà dell’attuale decennio è quella di un costante aumento della piovosità media.

Analizzando invece i totali mensili riportati dagli Annali Idrologici, è possibile osservare l’andamento delle precipitazioni nell’arco dell’anno. Si è proceduto al calcolo delle precipitazioni medie per ogni mese nel periodo 1991-2013 per quanto riguarda la stazione di Osimo e nel periodo 1991-2019 per la stazione di Baraccola. Quello che emerge dal relativo grafico, riportato in Fig. 2.5, è un andamento medio caratterizzato dalla presenza di due massimi e due minimi, con massimo principale in autunno, precipitazioni abbondanti anche in primavera e minimo principale in estate, mediamente nel mese di luglio.

Il clima si classifica dunque di tipo “sublitoraneo” (Eredia, 1934).

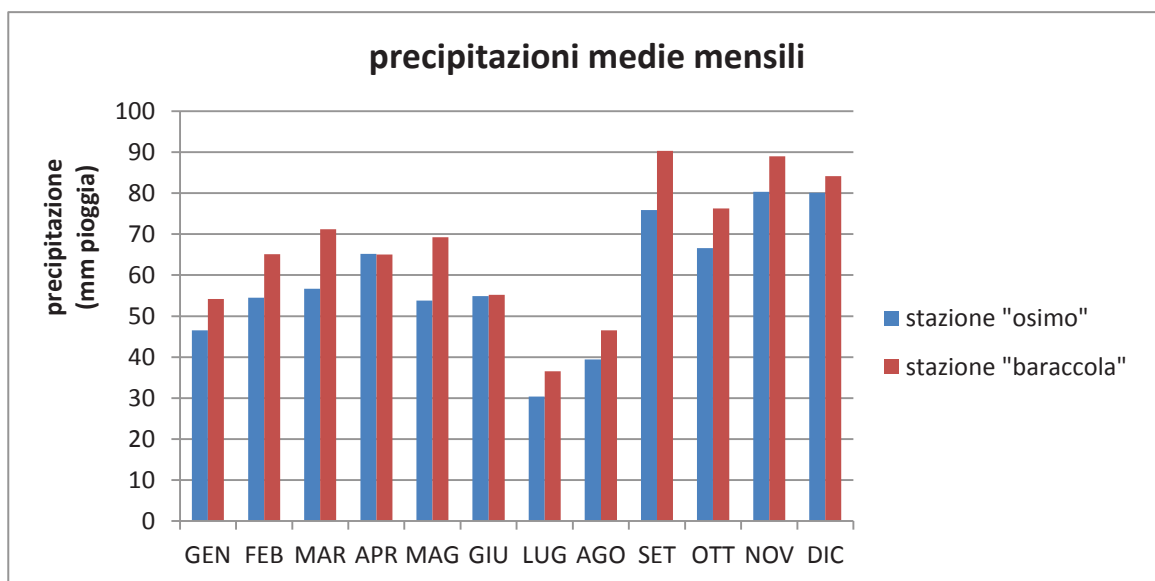


Fig. 2.5– Grafico delle precipitazioni medie mensili

2.2.2 Termometria

Analogamente allo studio della pluviometria, si è proceduto con l'analizzare i dati termometrici pubblicati sugli Annali Idrologici messi a disposizione dal Servizio di Protezione Civile (www.regione.marche.it).

In particolare dalla Tabella II sez. A – Termometria, contenente i “Valori medi ed estremi delle Temperature”, sono stati presi, per ogni mese di ogni anno di registrazione, a partire dal 1992, le temperature medie calcolate come semi-somma delle temperature minime e massime medie mensili.

La temperatura media mensile più alta è quella di 29.9°C registrata nell'agosto 2003, la più bassa, invece, è di 4.4°C del gennaio 2006.

Per ogni anno si è considerata, quindi, la temperatura media annua, riscontrando il valore maggiore nel 2008 in cui si è registrata una media annua di 18.4°C; il valore minore, invece, corrisponde a 14.7°C del 1996.

Anche per la termometria si è proceduto all'analisi della temperatura media progressiva, cioè la temperatura calcolata come media relativa agli anni precedenti ad un anno *i*-esimo. Il grafico in Fig. 2.6 mostra proprio questi due andamenti.

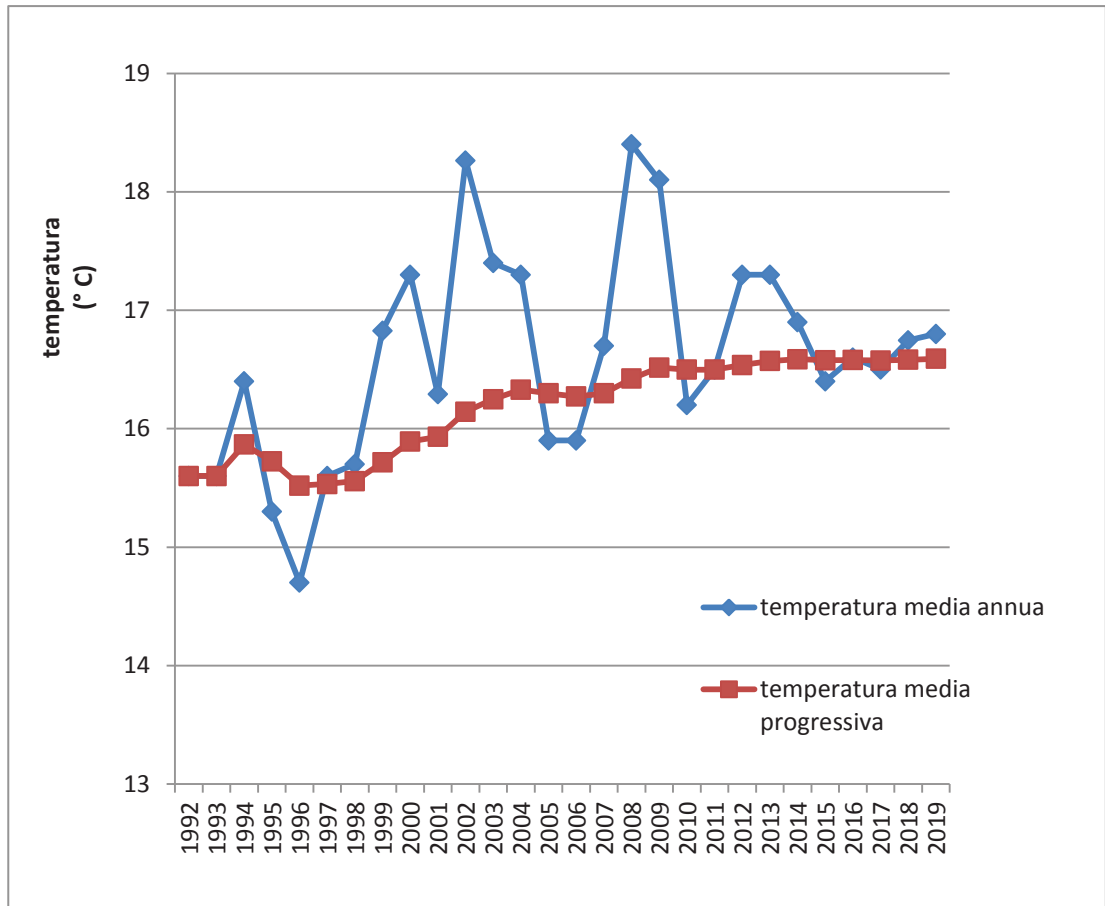


Fig. 2.6– Grafico delle temperature medie annue e della media progressiva

Si può notare, dopo un primo picco nel 1994, un progressivo aumento della temperatura media a partire dal 1998, fino ad un andamento pressoché stabile registrato dal 2013 ad oggi.

Infine, i dati riportati dalla stazione di Ancona Torrette sono stati messi a confronto con quelli registrati, all'interno del bacino del fiume Aspio, dalle stazioni di Osimo Monteragolo e Baraccola. In particolare, si sono considerate le temperature medie annue degli ultimi 10, per i quali queste ultime stazioni forniscono registrazioni. Il grafico di Fig. 2.7 è relativo alle medie progressive: si nota che il trend si va stabilizzando su valori costanti negli ultimi 6 anni per tutte le stazioni, e che le temperature medie differiscono di circa 1°C tra le diverse stazioni ubicate in diversi punti del bacino e a diverse quote (Ancona Torrette 5 m s.l.m., Baraccola 37 m s.l.m., Osimo Monteragolo 123 m s.l.m.).

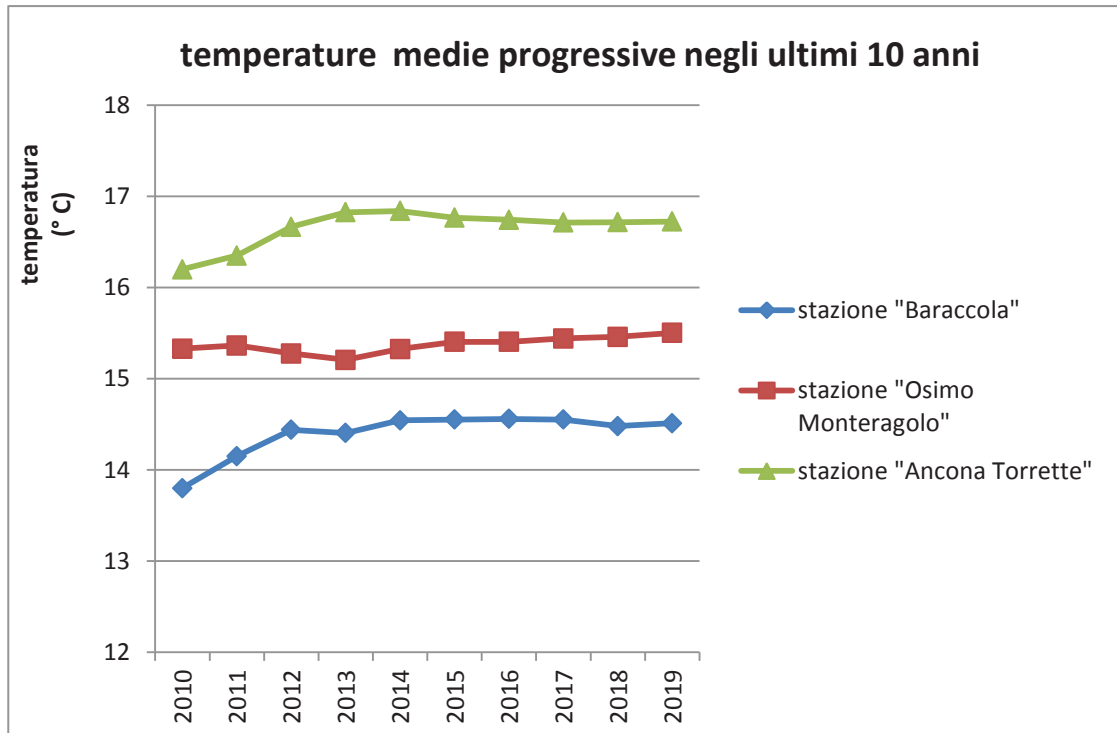


Fig. 2.7– Grafico delle temperature medie progressive per le diverse stazioni

2.3 Inquadramento geologico e idrogeologico

L'area oggetto di studio, dal punto di vista geologico, presenta elementi caratteristici di gran parte del territorio marchigiano e più estesamente dell'area adriatico-centrale.

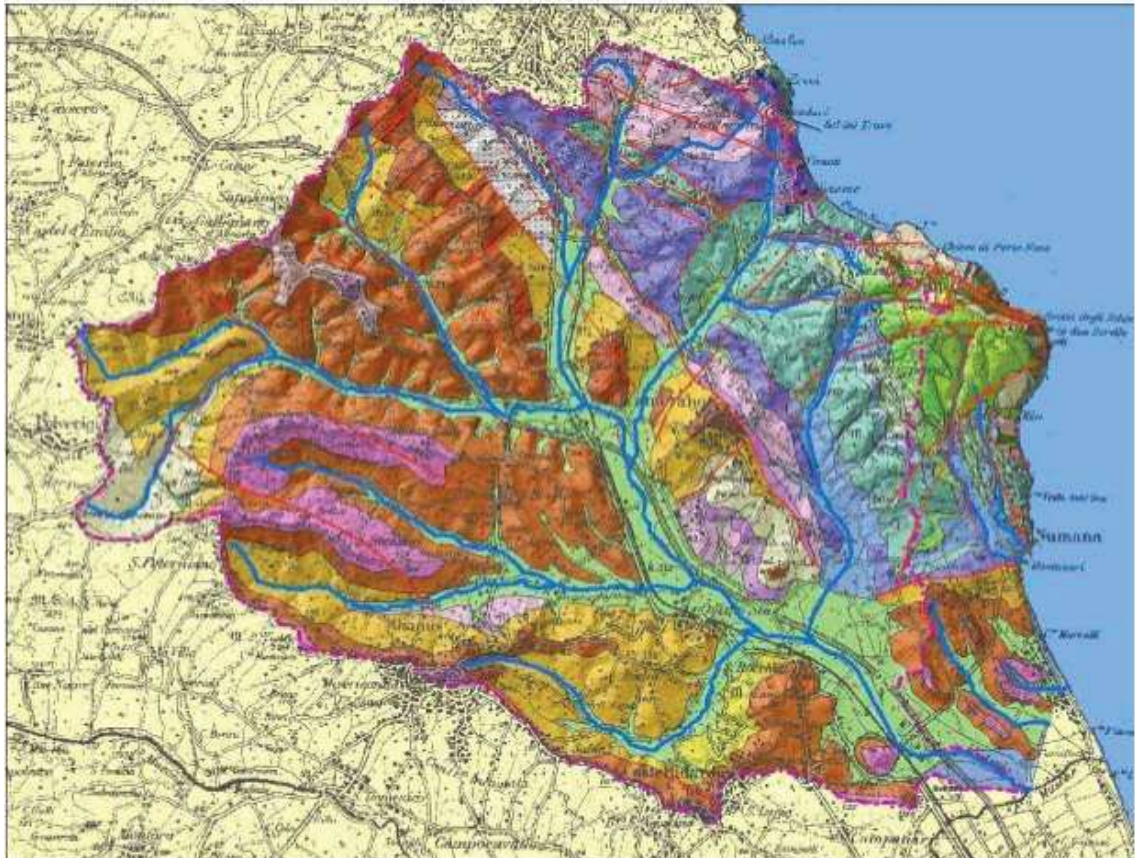
In essa sono rappresentati i termini tipici carbonatici e silicoclastici della successione umbro-marchigiana, a partire dalla sequenza cretacico-oligocenica affiorante nella dorsale del Monte Conero che delimita ad Est il bacino in esame, fino alla successione plio-pleistocenica, tipica dell'avanfossa marchigiana esterna che occupa la restante parte.

In particolare, la carta geologica, riportata in figura, descrive:

- nella zona Nord-Est del bacino, la presenza delle unità pelitiche del Pleistocene terminale costituite da argille siltoso-sabbiose ed alternanza di arenarie e sabbie in strati di 20-100 cm con argille laminate a volte caoticizzate, le unità del Pleistocene basale e del Pliocene superiore sommitale costituite da argille marnoso-siltose, le unità del Pliocene inferiore e medio costituite da alternanze di argille marnose con intercalate arenarie in strati e corpi canalizzati ed argille marnose con intercalati livelli sabbiosi in strati lenticolari di spessore variabile

da pochi centimetri ad oltre un metro, argille a Colombacci costituite da argille marnose con alcune sottili intercalazioni arenacee e due caratteristici livelli di calcare marnoso di origine chimica, le unità Mioceniche costituite da marne calcaree e calcari marnosi in strati di 10-40cm, e depositi eluvio colluviali a delimitare la pianura alluvionale; (De Bernardi, 2017)

- nella zona Nord-Ovest del bacino affiorano in modo predominante le unità del Pleistocene terminale formate per lo più da argille con arenarie in strati lenticolari, in questa porzione inoltre sono presenti depositi eluvio-colluviali e accumuli di frana limoso-argilloso-sabbiosi di spessore superiore ai 2 m che delimitano la pianura alluvionale;
- la zona del Monte Conero è prevalentemente costituita dai calcari come: Scaglia bianca, rossa e variegata con noduli di selce , sono presenti poi delle unità del Miocene come l'alternanza di calcari marnosi, marne calcaree, marne argillose ed argille marnose di colore bianco-grigiastro e affioramenti di Schlier;
- nella zona Sud-Est sono presenti le unità pelitiche del Pliocene terminale, le unità del Pleistocene basale e superiore sommitale, i depositi di transizione arenaceo- conglomeratici, ed infine le unità del Pliocene inferiore e medio costituite da argille marnose azzurre con intercalari livelli sabbiosi in strati lenticolari di spessore variabile da pochi cm ad oltre un metro;
- nella zona Sud-Ovest del bacino possiamo riscontrare le unità del pliocene terminale costituite da argille con arenarie in strati lenticolari con corpi arenacei canalizzati, i depositi di transizione arenaceo-conglomeratici composti da arenarie e sabbie ocracee a stratificazione incrociata con livelli argilloso-siltoso-sabbiosi, le unità del Pleistocene basale e del Pliocene superiore sommitale composte da argille marnoso-siltose azzurrine ed ocracee e da argille;
- la zona della pianura alluvionale è costituita da depositi alluvionali, terrazzati e non, costituiti da ghiaie siltoso-sabbiose con intercalazioni sabbioso-limose. (Tazioli et al., 2010, Tazioli et al., 2015)



Legenda

- Corpo di frana
- Depositi colluviali argilloso-sabbiosi (Numana)
- Detrito di falda prevalentemente calcareo (Mt. Conero)
- Alluvioni recenti terrazzate ghiloso-sabbiose e depositi di spiaggia ghiaioso sabbiosi
- Alluvioni recenti argilloso-sabbiose e spiagge
- Alternanza di argille sabbiose giallastre a grana media poco cementate con livelli di ghiaia.
- Argille marnose verdastre stratificate (pleistocene IV ciclo-pleistocene)
- Alternanza di argilla marnosa siltoso-sabbiosa ocracea con stratarelli di arenaria poco cementata (pleistocene IV ciclo-pleistocene)
- Alternanza di lenti di sabbia con argille marnose azzurre Rocce organogene e sabbiose (pleistocene III ciclo-pleistocene)
- Alternanza di lenti di sabbia ocracea e argille marnose azzurre (pleistocene III ciclo-pleistocene)
- Argille marnose ocracee alla base e azzurre nella parte alta (pleistocene II ciclo-pleistocene)
- Alternanza di argille marnose azzurro chiaro e sabbie ocracee. Nella parte intermedia sabbie (pleistocene II ciclo-pleistocene)
- Argille marnose bluastre a stratificazione mai distinta (pleistocene II ciclo-pleistocene)
- Argille marnose bluastre ben stratificate (pleistocene I ciclo-pleistocene)
- Argille marnose azzurro bluastre e color tabacco in strati da 3 a 30 cm (pliocene medio p.p-pleiocene)
- Alternanza di argille marnose azzurro scuro e sabbie grigiastre. (pliocene inferiore-pleiocene)
- Orizzonte del Trave: calcareniti, calcari marnosi, arenarie, sabbie di color giallastro (miocene superiore-miocene)
- Formazione a Colomacci-Marne, marne argillose di color grigio tabacco (miocene superiore-miocene)
- Formazione gessosa soffera (miocene superiore-miocene)
- Schlier-marne e marne calcaree grigiastre, biancastre in strati di spessore variabile (miocene medio-miocene)
- Bisciaro-marne calcaree e calcari arenacei grigio giallastro biancastri (miocene inferiore-miocene)
- Scaglia Cinerea-calcari marnosi in strati di 5-15 cm e marne di 20-40 cm (oligocene-oligocene)
- Calcari rosati a grana fine in strati di 5-30 cm di spessore alternati a marne calcaree (eocene)
- Scaglia Bianca-calcari bianchi compatti in strati di 10-40 cm di spessore (cretaceo superiore-cretaceo)
- Marne a fucoidi-argilliti, siltiti e marne color bluastro, verdastre, violacee, rosate, giallastre (cretaceo superiore-cretaceo)
- Maiolica-calcari compatti grigio chiari a grana finissima. Spessori di strati 10-40 cm (cretaceo inferiore-cretaceo)

Fig. 2.8 - Carta geologica bacino Fiume Aspio (De Bernardi, 2017)

In relazione alle caratteristiche litostratigrafiche sopra elencate, che si individuano nelle diverse aree del bacino, si possono descrivere complessi idrogeologici di diversa natura, al fine di ricostruire le modalità di circolazione delle acque nel sottosuolo e definire l'**assetto idrogeologico** dell'area di studio.

Complesso dei depositi eluvio-colluviali e di fondovalle: è costituito da limi e argille limoso-sabbiose generalmente a bassa permeabilità; in particolare i depositi di fondovalle del Rio Scaricalasino sono costituiti da limi sabbiosi localmente con ghiaie e limi argilloso-sabbiosi. Nel complesso sono presenti numerose falde con notevole escursione stagionale che alimentano la rete drenante e numerosi pozzi. L'alimentazione è prevalentemente dovuta alle piogge.

Complesso dei depositi detritici della dorsale del Monte Conero: è formato da ghiaie poco cementate con variabile percentuale di matrice argillosa e limoso-sabbiosa, ha permeabilità elevata e l'alimentazione è dovuta essenzialmente alle piogge. Sono presenti falde che originano sorgenti anche a regime annuale.

Complesso delle pianure alluvionali: si riscontra a partire dal tratto medio del F. Aspigo e nelle aree terminali dei suoi affluenti principali. Nell'Aspigo è principalmente costituito da depositi argilloso-limosi con lenti sabbioso-limose e ciottoli calcarei e selciferi; nel tratto terminale, sono presenti lenti di ghiaia calcarea e sabbioso-limose dovute agli apporti del T. Betelico, che drena il versante occidentale carbonatico del M. Conero. Il substrato è costituito dalla successione delle argille plio-pleistoceniche, localmente dalle sabbie del Pliocene inferiore e del Pleistocene.

Complesso dei depositi arenacei, arenaceo conglomeratici, arenaceo-pelitici di chiusura della sequenza quaternaria: la permeabilità è elevata ma l'estensione è piuttosto limitata ed affiora nella parte interna del bacino sulle creste dei rilievi collinari dove sorgono i centri abitati di Montesicuro, Sappanico, Offagna, Osimo, Castelfidardo e Camerano. Questo complesso, alimentato dalle piogge, origina numerose sorgenti, fonti di approvvigionamento idrico molto utilizzate, soprattutto in passato.

Complesso costituito da una fitta alternanza di argille sabbiose e corpi arenacei ed arenaceo-pelitici, calcarenitici e organogeni pleistocenici: la permeabilità è variabile, in funzione del grado di cementazione delle arenarie, e l'estensione limitata per la geometria spesso lenticolare dei corpi arenacei. E' presente nei versanti collinari dell'area interna del bacino. Gli acquiferi sono alimentati dalle piogge e costituiscono, insieme al complesso dei depositi eluvio-colluviali, l'alimentazione dei fossi e dei torrenti.

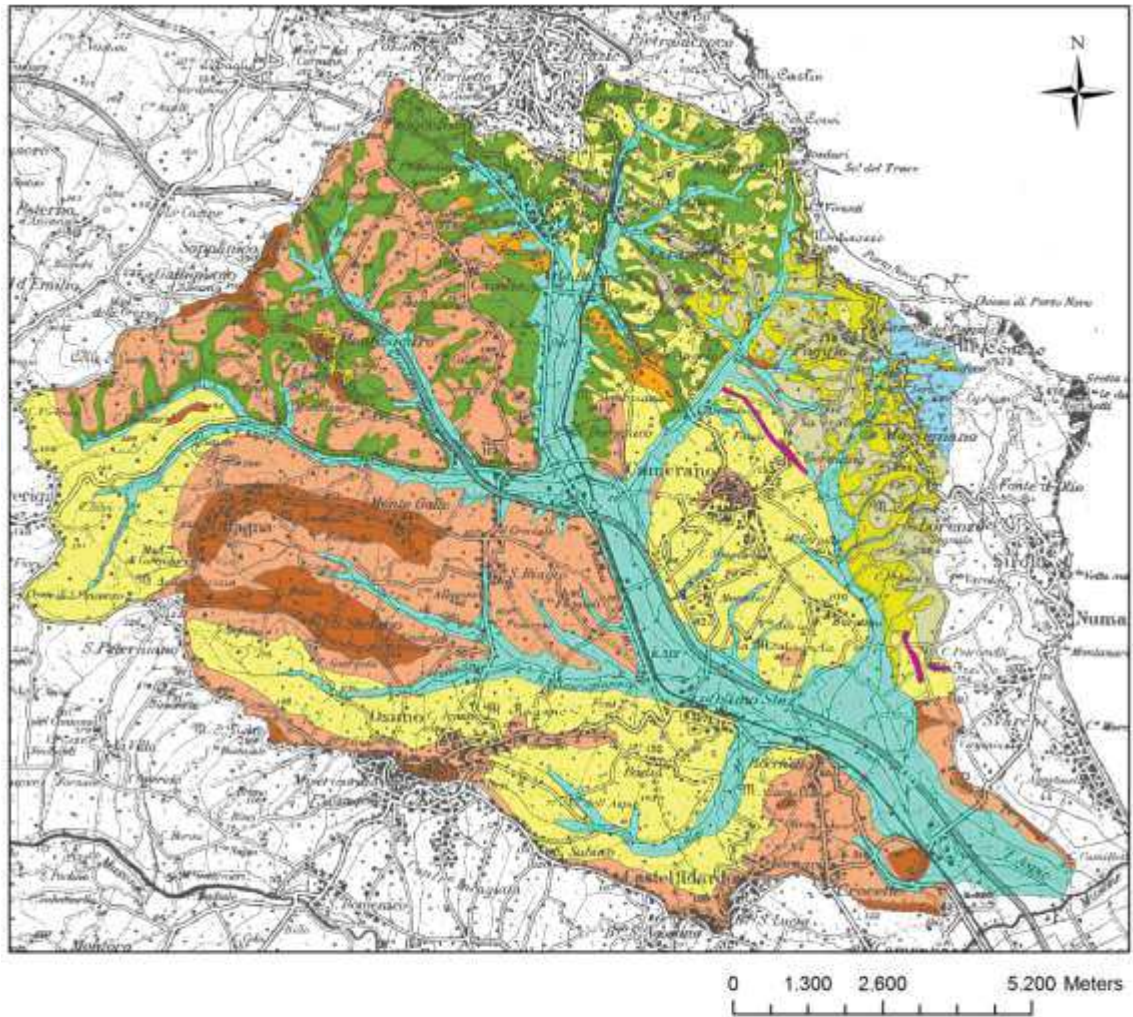
Complesso dei corpi arenacei e arenaceo-pelitici intercalati dalle argille del Pliocene inferiore e del Miocene pre-evaporitico: ha permeabilità elevata e falde che nell'area limitrofa a quella in esame alimentano sorgenti a regime annuale. Nei depositi della

sequenza Pliocenica, sono presenti acque a facies cloruro-sodico-magnesiaca che alimentano le sorgenti salate associate a vulcanelli di fango presenti a Polverigi e Aspigo Terme.

Complesso delle argille, argille-marnose mio-plio-pleistoceniche: è caratterizzato da bassissima permeabilità, funge da acquiclude e costituisce il substrato dell'acquifero di subalveo del F. Aspigo e del Rio Scaricalasino. Le argille, pur essendo sostanzialmente impermeabili dal punto di vista idrogeologico, sono comunque dotate di permeabilità per microfessurazione e sono potenziali conduttori di inquinanti. Questo complesso affiora in una vasta area della porzione terrigena del bacino.

Complesso delle marne, marne calcaree e calcari marnosi dello Schlier, Bisciario e Scaglia cinerea: presenta una circolazione idrica molto limitata e associata alla fessurazione dei livelli più carbonatici; funge da acquiclude per gli acquiferi carbonatici.

Complesso carbonatico della dorsale del Monte Conero: in esso si distinguono un complesso più superficiale costituito dai litotipi di Scaglia bianca, rossa e variegata e un complesso di base, costituito dalla Maiolica, separati dall'acquiclude delle Marne a Fucoidi. In entrambi gli acquiferi la circolazione idrica è doppia: veloce per carsismo e microfessurazione e lenta per microfessurazione. Il deflusso è quindi condizionato dall'assetto strutturale ed è guidato dalle principali linee tettoniche. (Mattioli, 2014)



Legend

compl_idro

info_idro

- il complesso delle argille, argille mamose mio-plio-pleistoceniche
- complesso costituito da una fitta alternanza di argille sabbiose e corpi arenacei ed arenaceo-pellici, calcarenitici e organogeni pleistocenici
- complesso dei corpi arenacei e arenaceo-pellici intercalati alle argille del Pliocene inferiore e del Miocene pre-evaporitico
- complesso dei depositi arenacei, arenaceo conglomeratici, arenaceo-pellici di chiusura della sequenza quaternaria
- complesso dei depositi detritici della dorsale del M. Conero
- complesso dei depositi eluvio-colluviali e di fondovalle
- complesso dei gessi
- complesso idrogeologico delle pianure alluvionali
- il complesso carbonatico della dorsale del M. Conero
- il complesso delle mame, mame calcaree e calcari mammosi dello Schlier, Bisciaro e Scaglia cinerea

Fig. 2.9 - Carta dei complessi idrogeologici (Mattioli, 2014)

2.4 Cenni sull'uso del suolo

Definire le caratteristiche di uso del suolo all'interno del bacino significa acquisire informazioni fondamentali per il calcolo delle percentuali di infiltrazione e ruscellamento ovvero per quantificare la precipitazione netta, intesa come quella parte di precipitazione che, istante per istante, dà origine al deflusso superficiale.

La tipologia del suolo e il tipo di copertura influenzano la capacità del terreno di immagazzinare parte della precipitazione, trattenendola all'inizio del fenomeno piovoso, senza che si verifichi deflusso superficiale.

Si descriverà in seguito, con maggiore dettaglio, come queste informazioni si possano quantificare ed utilizzare nell'ambito della modellazione idrologica.

In questa prima parte si possono avanzare considerazioni in merito al fatto che l'area del bacino in esame ha subito, negli corso degli ultimi decenni, una intensa modificazione antropica, specialmente nelle zone delle pianure alluvionali, con una rilevante impermeabilizzazione delle aree destinate ad attività prevalentemente industriali e commerciali e occupate da importanti reti infrastrutturali.

Per quanto detto prima, aree con copertura caratterizzata da maggiore impermeabilità hanno una minore capacità di immagazzinamento; fanno confluire, più velocemente e in percentuale maggiore, la quota parte della precipitazione verso la rete di drenaggio e sono uno dei fattori che concorrono alla quantificazione della pericolosità di un certo territorio nella determinazione del rischio idraulico.

Allo stesso modo, anche l'attività antropica legata a pratiche agricole non conservative, predominante nelle zone collinari, accentua fenomeni erosivi, determinando, non solo la perdita di una risorsa non rinnovabile, ma anche un aumento delle portate solide dei corsi d'acqua, con conseguenze negative sul rischio idraulico.

Dal punto di vista della tipologia di suolo, nel bacino si ritrova un elemento tipico dei bacini fluviali adriatici, cioè la presenza di potenti coperture eluvio-colluviali che, da un lato favorisce l'instaurarsi di diffusi ed estesi fenomeni franosi, dall'altro contribuisce ad alimentare con continuità i corsi d'acqua e i fossi, anche in periodi siccitosi.

In Fig. 2.10 si riporta l'estratto, relativo al bacino del Rio Scaricalasino, della Carta Uso del Suolo 2007 della Regione Marche, strumento cartografico consultabile e fruibile sul sito web (www.regione.marche.it). In Tab. 2.3 sono riportate le classi di uso del suolo, per il territorio in esame, secondo la legenda adottata: *Corine Land Cover* al secondo e terzo livello.

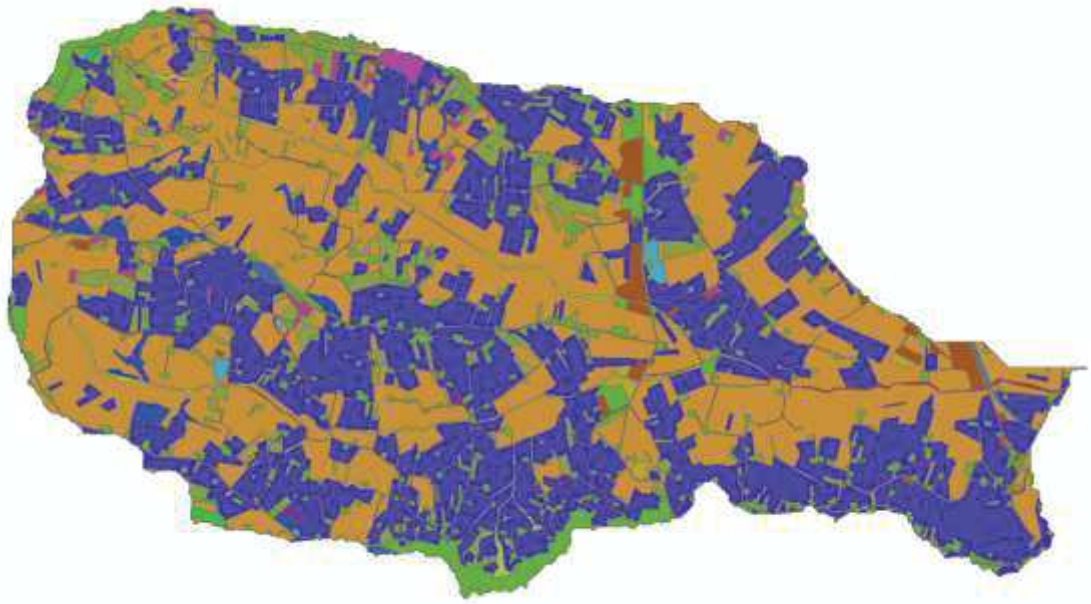


Fig. 2. 10 – Carta dell’uso del suolo nel bacino del Rio Scaricalasino (elaborazione ArcGIS by Esri Inc.)

CLASSI

CLASSE	DESCRIZIONE
0	
11	Edificato residenziale
12	Edificato produttivo
13	Edificato con infrastrutture
15	Attrezzature ricreative e turistiche
16	Aree in trasformazione
21	Seminativo non irriguo
23	Seminativo arborato
31	Vigneto
33	Oliveto
34	Serre e vivai
50	Bosco
72	Incolto con alberi
75	Incolto lungo i fossi
76	Incolto lungo le strade
84	Aree estrattive
91	Corsi d’acqua e canali
93	Bacini artificiali
141	Strade pavimentate
142	Strade bianche
143	Ferrovie

Fig. 2. 11 - Legenda

Tabella 2. 3– Estratto della legenda CORINE LAND COVER

CAPITOLO 3

BACINO SPERIMENTALE DEL RIO SCARICALASINO

3.1 Bacino sperimentale

Per bacino sperimentale si intende una porzione di bacino idrografico che sia ritenuta rappresentativa, dal punto di vista climatico, litologico e geologico, dell'intero bacino e di altri che presentino le medesime caratteristiche.

All'interno dello stesso, si installano strumentazioni adeguate alla raccolta di dati pluviometrici, climatici, di portata liquida e solida dei corsi d'acqua, di livelli idrometrici, di erosione dei versanti, di capacità di infiltrazione dei suoli, nonché sistemi di misura dei livelli piezometrici e di tutti quei parametri che entrano nel bilancio idrologico di un territorio nel suo complesso e che ne determinano anche gli aspetti legati al rischio.

Le misure raccolte sono quindi analizzate e correlate tra loro e con le caratteristiche morfometriche per mettere in relazione i suddetti caratteri con i processi idrologici a scala di bacino; per poterne valutare la pericolosità e per adottare eventuali misure di prevenzione o mitigazione del rischio idrogeologico.

Si possono, inoltre, operare elaborazioni statistiche e previsioni rispetto alle tendenze evolutive del bacino, come pure procedere alla taratura di modelli il cui utilizzo è indispensabile nella progettazione di opere idrauliche.

Lo studio fatto in un bacino sperimentale può essere poi estrapolato e ricondotto ad altri bacini.

In tale direzione è rivolto proprio il lavoro condotto da anni nel bacino del Rio Scaricalasino.

3.2 Caratteristiche morfometriche

Gli elementi di forma possono essere classificati sulla base delle proprietà *lineari*, quelle *areali* e quelle di *rilievo*.

Le proprietà lineari sono quelle che attengono al drenaggio e quindi ai caratteri della rete fluviale (lunghezza, numero e ordinamento dei rami, ecc.). Le proprietà areali, invece, sono utilizzate per definire le superfici di alimentazione e le peculiarità dei versanti. Le proprietà di rilievo, infine, servono a caratterizzare il bacino dal punto di vista altimetrico e ad esprimere il rapporto tra le dimensioni verticali e le proprietà lineari e areali.

La delimitazione del bacino idrografico si conduce su un supporto cartografico: la linea di displuvio, che rappresenta il perimetro del bacino, delimita la superficie all'interno della quale si abbattano le precipitazioni che trovano recapito ultimo nella rete idrografica in esame. La sua individuazione, pertanto, è dedotta dai punti di quota più elevata e dalle reti idrografiche limitrofe.

In questo modo viene individuato lo spartiacque superficiale, senza tenere conto che particolari formazioni geologiche potrebbero provocare, in profondità, il passaggio di volumi idrici da un bacino all'altro. Per questo motivo il bacino idrografico viene anche definito "bacino tributario *apparente*".

Dalla scelta della sezione terminale, invece, dipendono: l'ampiezza del bacino, il numero dei sottobacini, il dislivello totale, l'altitudine media, altre grandezze e indici di forma derivati (Ferro, 2006).

Il bacino idrografico del Rio Scaricalasino è una porzione di territorio che si estende tra il Comune di Offagna e il Comune di Osimo in provincia di Ancona.



Fig. 3. 1 – cartografia bacino idrografico del Rio Scaricalasino e sezione di chiusura (in rosso)

La sezione di chiusura del bacino è situata in corrispondenza della confluenza del Rio Scaricalasino nel Fiume Aspio, di cui è un affluente in destra idrografica, nei pressi della località di Osimo Stazione.



Fig. 3. 2 - Immagine satellitare confluenza Scaricalasino – Aspio (Google Maps)

Il bacino si costituisce di tre principali sottobacini: quello del Vallone di Offagna, che nasce a sud di Offagna, quello del Fosso San Valentino, che nasce a nord-ovest di Osimo e quello del tratto fluviale del Rio Scaricalasino che nasce dalla confluenza dei due fossi, situata poco a valle di San Biagio di Osimo.

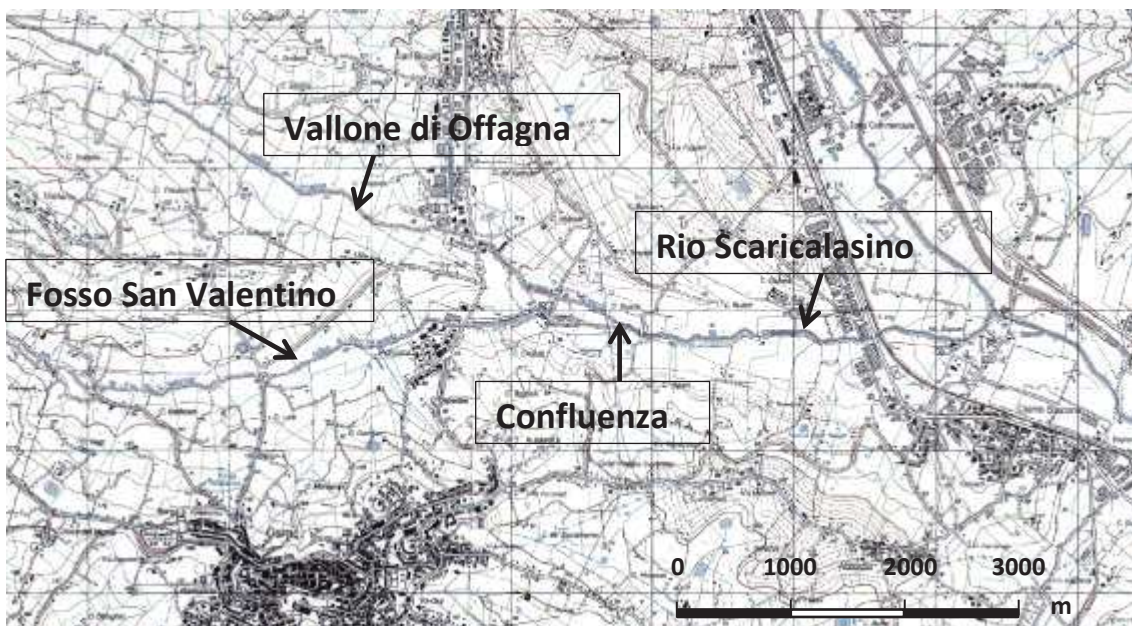


Fig. 3. 3 – cartografia IGM reticolo idrografico Rio Scaricalasino

A partire dalla cartografia tecnica regionale e dal modello digitale del terreno, ricavato dalla stessa, usando metodologie di calcolo in ambiente GIS (Geographic Information System), si è proceduto alla descrizione delle caratteristiche morfometriche del bacino.

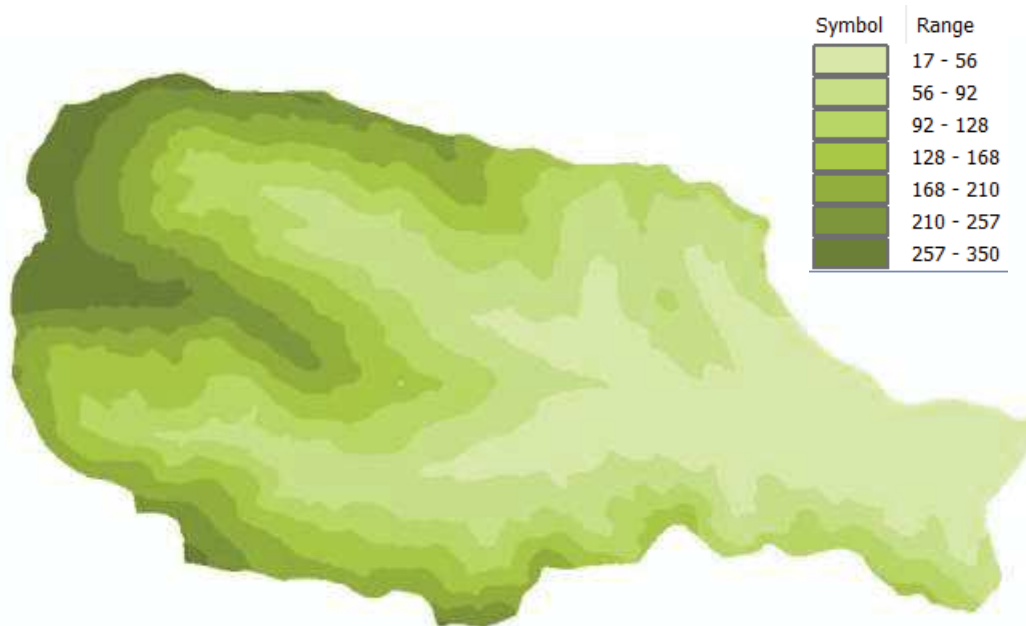


Fig. 3. 4 – Modello digitale del terreno e legenda quote (elaborazione ArcGis by ESRI Inc.)

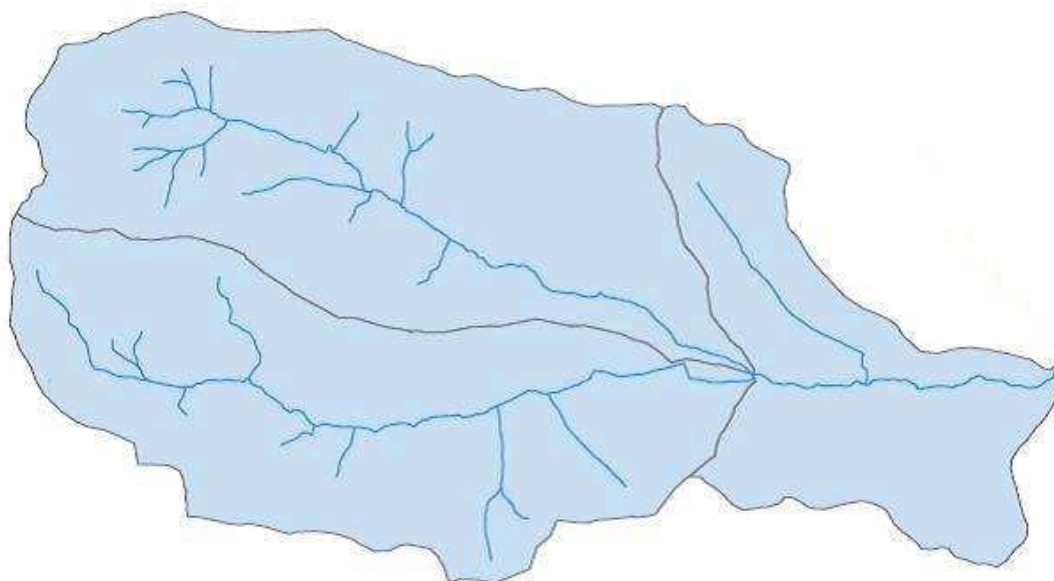


Fig. 3. 5 – Aste fluviali nel bacino del Rio Scaricalasino e suoi sottobacini (elaborazione ArcGis)

Lunghezza asta principale (Km)	10.223
Lunghezza totale rami secondari (Km)	25.827
Lunghezza totale reticolo idrografico (Km)	36.05
Superficie bacino (Km ²)	28.705
Perimetro bacino (Km)	24.896
Densità di drenaggio (Km ⁻¹)	1.256
Quota massima del bacino (m s.l.m.)	357.30
Quota minima del bacino (m s.l.m.)	19.50
Altitudine media (m s.l.m.)	119.71
Altitudine media relativa (m)	100.21
Pendenza media (%)	14.84

Tabella 3. 1 – caratteristiche morfometriche del bacino idrografico del Rio Scaricalasino

In tabella 3.2 si riportano, inoltre, le caratteristiche morfometriche specifiche per i tre sottobacini:

Lunghezza aste (Km)	V.ne Offagna	5.536
	Fosso S. Valentino	5.670
	Scaricalasino	2.897
Pendenze fondo alveo (‰)	V.ne Offagna	7.9
	Fosso S. Valentino	9.6
	Scaricalasino	5.7
Aree sottobacini (km ²)	V.ne Offagna	9.4
	Fosso S. Valentino	11.1
	Scaricalasino	8.2

Tabella 3. 2 – caratteristiche morfometriche dei sottobacini

Definizioni e considerazioni:

- Densità di drenaggio

$$D = \frac{\sum L_i}{S}$$

È il rapporto tra la lunghezza totale del reticolo idrografico e la superficie del bacino.

La densità di drenaggio è un parametro importante per valutare la risposta del bacino alle precipitazioni, poiché, essendo il flusso più veloce nei canali che nei versanti, maggiore è la loro densità, più rapida e con minore perdita sarà la risposta.

Più degli altri indici, però, risente del fattore di scala con cui si analizza il bacino, in particolare per quello che riguarda la valutazione della lunghezza totale del reticolo: maggiore, infatti, sarà il dettaglio cartografico, maggiore sarà il dettaglio con cui si individueranno i rami drenanti.

La densità di drenaggio ha generalmente valori molto alti nelle aree interessate dalla presenza di terreni impermeabili, perché su essi il reticolo idrografico si presenta molto ramificato, e, viceversa, molto contenuti per le aree in cui ricadono terreni permeabili; nei quali predomina l'infiltrazione sul ruscellamento.

Per lo stesso motivo, la densità di drenaggio diminuisce all'aumentare del grado di copertura vegetale del bacino idrografico poiché il processo di infiltrazione nel suolo risulta favorito rispetto al deflusso superficiale. La densità di drenaggio è anche un indicatore dello stadio evolutivo della rete idrografica dato che i fenomeni di erosione e trasporto, che avvengono sia all'interno dei cavi fluviali sia sui versanti, condizionano lo sviluppo planimetrico dei canali.

L'antropizzazione può avere effetti diversi a seconda del tipo di intervento: l'edificazione può determinare una diminuzione della densità di drenaggio; mentre, in seguito a disboscamento, la densità di drenaggio aumenta.

Per il bacino del Rio Scaricalasino si è ottenuto un valore piuttosto basso. Nel calcolo, però, non si è tenuto conto dei canali di scolo praticati in agricoltura, molto intensa nel bacino, poiché difficilmente quantificabili. Probabilmente sono proprio il fattore antropico e la modalità di calcolo, la quale trascura i collettori artificiali, che giustificano valori bassi in bacini come quello in questione, nel quale, la presenza di litotipi prevalentemente limoso-argillosi, quindi poco permeabili e facilmente erodibili, farebbe attendere valori di densità di drenaggio maggiori.

- Altitudine media del bacino

$$\bar{H} = \frac{1}{S} \times \sum S_i z_i \quad \text{dove:}$$

S_i = area compresa tra due curve di livello successive;

Z_i = quota media, ovvero media delle quote delle due isoipse considerate.

È la media pesata delle quote medie Z_i , con peso la superficie parziale.

L'altitudine media è una quota riferita al livello del mare, mentre l'altezza media o *altitudine media relativa* \bar{h} è riferita alla sezione di chiusura.

Tra queste due grandezze sussiste la seguente relazione:

$$\bar{h} = \bar{H} - Z_c$$

dove Z_c rappresenta la quota della sezione di chiusura o quota minima del bacino.

La determinazione dell'altitudine media può essere calcolata graficamente costruendo la *curva ipsografica* (Fig. 3.6) che fornisce la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche. Ogni punto della suddetta curva ha come ordinata un valore di quota h_i e come ascissa la superficie parziale del bacino A_i posta al di sopra della quota considerata. Ovviamente alla quota massima corrisponde una superficie nulla, mentre, alla quota minima, che è la quota della sezione di chiusura, corrisponde la superficie dell'intero bacino.

L'area sottesa alla curva ipsografica rapportata alla superficie del bacino fornisce il valore dell'altitudine media.

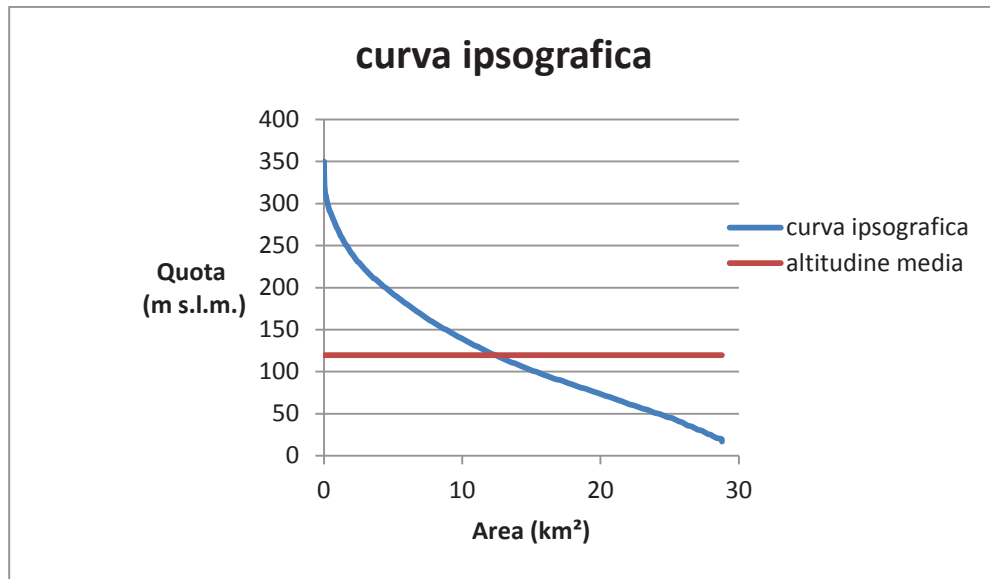


Fig. 3. 6 – curva ipsografica del bacino del Rio Scaricalasino

CAPITOLO 4

MATERIALI E METODI

Modalità operative di raccolta dati in campagna

4.1 Rilievo delle coperture

Sulla base della carta geologica, si è eseguito in campagna, presso una zona circoscritta del bacino, un rilievo delle coperture, esemplificativo di una metodologia operativa volta a definire nel dettaglio la natura delle formazioni superficiali che caratterizzano il territorio in esame.

In particolare, si è proceduto alla ricognizione di una parte del bacino idrografico del Fosso San Valentino (Fig. 4.1) partendo dallo spartiacque rappresentato dal crinale che lo separa idrologicamente dal bacino del Vallone di Offagna, nei pressi della località Santo Stefano di Osimo.

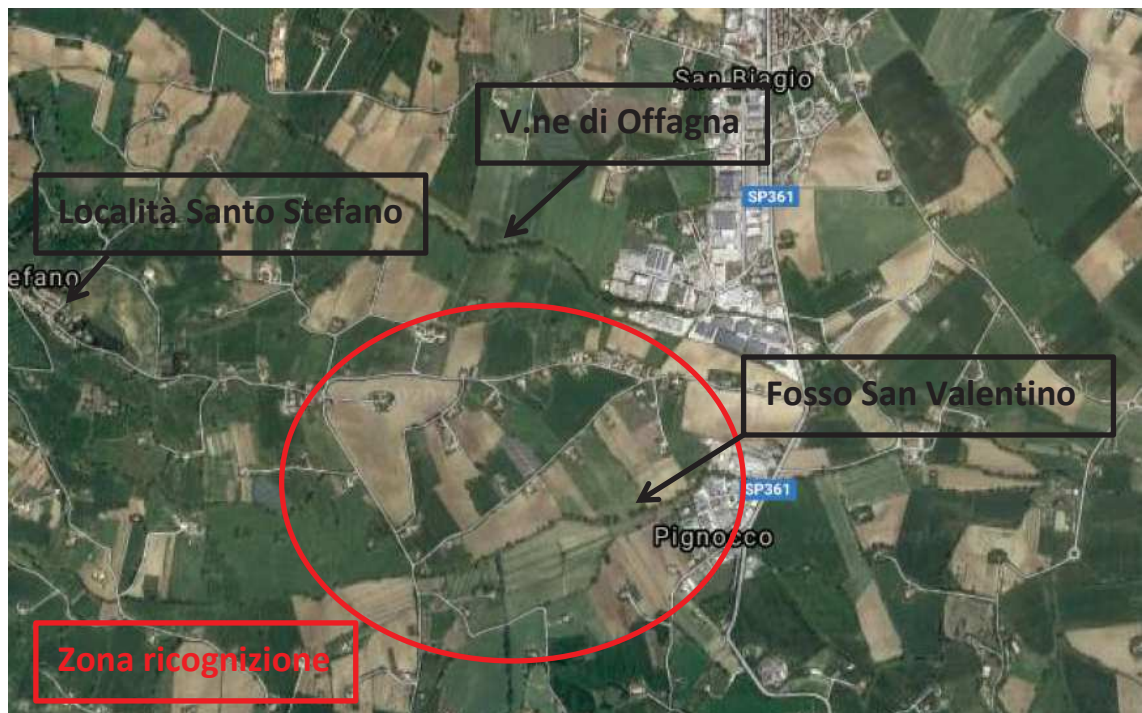


Fig. 4. 1 – immagine satellitare della zona di rilievo delle coperture (Google Maps)

Il rilievo ha previsto, dapprima, l'osservazione delle morfologie di versante e il riscontro della presenza di specie vegetative particolari, ad esempio gli equiseti, che denotano la presenza di emergenze idriche dovute a sbarramenti argillosi.

Di seguito, il rilievo vero e proprio delle unità litologiche si è composto del riconoscimento, attraverso l'analisi delle caratteristiche fisiche eseguita su campionamenti di terreno, e della determinazione dello spessore; il quale può essere dedotto dall'osservazione diretta, laddove possibile, oppure mediante valutazioni di tipo geomorfologico, ma anche da informazioni raccolte da proprietari dei terreni circa la profondità di pozzi, presenza della falda, ecc...

Strumenti utilizzati: scalpello da geologo (Fig. 4.2)

La copertura rilevata è costituita principalmente da depositi in cui sono presenti le tre componenti: sabbiosa, limosa e argillosa.

L'osservazione del colore, della granulometria e delle proprietà fisiche permettono di determinare quella presente in maniera percentualmente maggiore e quindi di nominare il tipo di terreno.



Fig. 4. 2 – scalpello da geologo

Limi sabbiosi presentano un colore ocra dato dalla componente sabbiosa, in essi è visibile ad occhio nudo la granulometria e presentano una scarsa plasticità: questa è stabilita mediante una tecnica manuale che prevede di impastare la terra formando un bastoncino del diametro di circa 3 mm, osservandone l'attitudine alla fessurazione.

Limi argillosi hanno maggiore plasticità, che aumenta con l'aumentare della componente argillosa, la quale ha maggiore capacità di trattenere l'acqua interstiziale. In essi risulta meno visibile la grana, si presentano più lisci e, strisciando il dito sul terreno, sono scagliosi.

La scagliosità è tipica delle argille che, se hanno un basso contenuto d'acqua, sono molto dure. Le argille verdi - gialle presentano colori chiari; le argille plumbee sono di colore grigio scuro mentre, in presenza di colore grigio chiaro, si parla di argilla del substrato.

Rapporto del rilievo eseguito riportato su cartografia IGM scala 1:25000



Fig. 4.3 – ubicazione e numerazione dei campionamenti eseguiti tra V.ne Di Offagna e Fosso San Valentino (indicati dai cerchi marroni)

1. Sul crinale verso località S. Stefano all’altezza di Villa Frampolli (Fig. 4.3) a lato della strada si registra una copertura di limi argillosi dello spessore di circa 3-4 m.
2. A lato della stradina verso casa Pesaresi, visibile dal taglio stradale, la copertura è costituita da limi argillosi dello spessore di 3-5 m.
3. Casa Pesaresi, osservazione del versante a monte della casa: si nota grande movimento di versante dimostrato dalla presenza di nicchie e contropendenze formatesi in seguito ad un evento piovoso abbondante; si rilevano, inoltre, emergenze idriche.
Verso valle, nel campo sottostante la casa, si evidenzia la presenza di equiseti, ma non si è rilevato alcun limite di coperture a maggiore componente argillosa. La copertura è di tipo limoso - sabbiosa fine, debolmente argillosa.
Nei pressi della casa è presente un pozzo di profondità 10-15 m che non raggiunge il substrato di formazione argillosa; durante lo scavo per la realizzazione del pozzo, non si è riusciti a raggiungere profondità maggiori per il verificarsi di colamenti che richiudevano lo scavo; la causa è attribuibile a fenomeni di liquefazione dell’argilla dovuti ad elevato contenuto d’acqua del terreno.
4. In prossimità del corpo d’acqua, la copertura è costituita da limi argillosi, sulla stradina si nota la presenza di argille per il colore grigiastro e per la presenza di ristagni d’acqua.

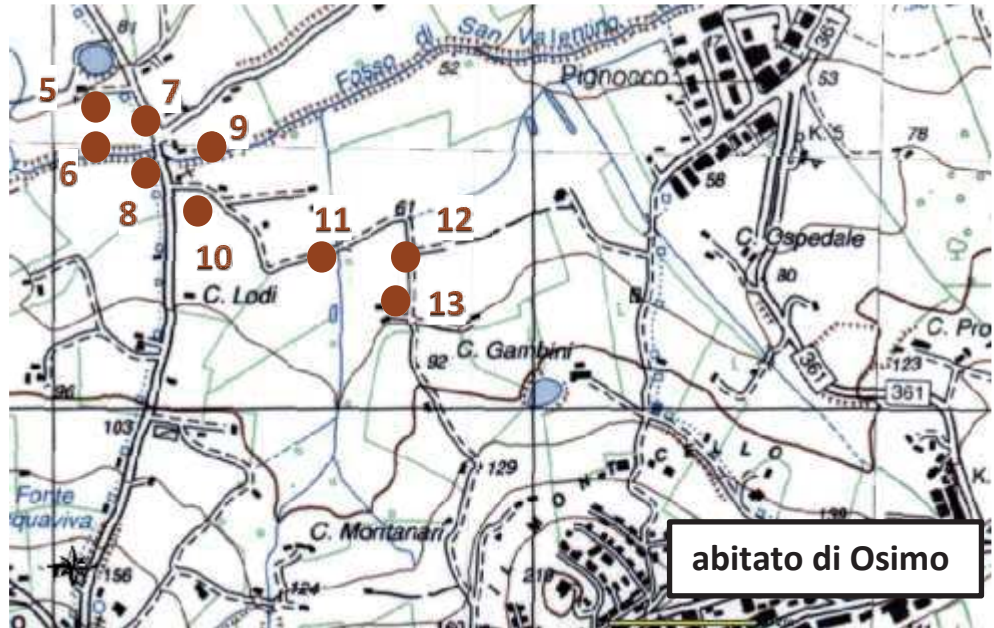


Fig. 4. 4 - ubicazione e numerazione dei campionamenti eseguiti tra Fosso San Valentino e versante verso Osimo (cerchi marroni)

La figura 4.4 mostra l'ubicazione dei seguenti rilevamenti:

5. Copertura costituita da limi sabbiosi.
6. In prossimità del Fosso San Valentino, che in quel tratto presenta un'incisione di circa 2.5 m, si rilevano limi argillosi con ghiaie rare che costituiscono il deposito alluvionale. Compiono ciottoli carbonatici (calcinelli) indicativi della limitata profondità della formazione in posto: l'acqua di infiltrazione che scorre all'interno della copertura, trova lo sbarramento e cristallizza formando concrezioni carbonatiche.
Il limite del deposito alluvionale non è molto evidente, è denotato piuttosto dalla morfologia del territorio che diventa pianeggiante. La pianura alluvionale, in sinistra idrografica, risulta poco estesa.
7. Limi argillosi.
8. In prossimità del ponte si evidenzia la presenza di lenti di ghiaia medio fine in alveo e anche sulla scarpata di incisione.
9. Nell'incisione, dello spessore di circa 3 m, sono presenti sedimenti fini: limi argillosi con lenti sabbiose color ocra.

Tra i depositi alluvionali si evidenzia un'elevata eterogeneità anche a breve distanza.

10. Seguendo la strada che sale verso Osimo si rileva una copertura costituita da argille limose, la prevalenza argillosa è denotata dal colore chiaro e dalla scagiosità del terreno.
11. In prossimità di un ponte che attraversa un piccolo fosso, il quale scorre su un letto argilloso grigio, sono stati rilevati limi argilloso- sabbiosi con argille molto scure.
12. Copertura prevalentemente argillosa di colore giallo e limoso – sabbiosa, con ghiaia medio fine organizzata in lenti (viste dal taglio di un fossetto).
13. Si è rilevato uno smottamento su una scarpatina dello spessore di circa 3 m. La copertura risulta essere prevalentemente argillosa con limi e sabbie finissime. Il colore scuro del terreno denota la presenza di argille plumbee.



Fig. 4. 5 – ubicazione del campionamento eseguito sul versante nei pressi del centro abitato di Osimo

14. Salendo per la stessa strada verso il centro abitato di Osimo (Fig. 4.5) si registra una copertura costituita da limi argillosi; si rilevano movimenti superficiali e la presenza di equiseti. Si può dedurre la presenza del substrato compatto che funge da sbarramento per le acque di infiltrazione e sul quale scivola la copertura superficiale, quest'ultima ha modesto spessore per la prossimità al crinale.
15. Tornando sul crinale che separa il bacino del Fosso San Valentino da quello del Vallone di Offagna a nord di Casa Filippucci (Fig. 4.3) si annota una copertura poco spessa, in quanto di crinale, di tipo argilloso – limosa con sabbie fini. La presenza di calcinelli indica che il substrato è superficiale.

16. Sempre in Fig. 4.3 è ubicato il campionamento nelle vicinanze di un impianto fotovoltaico.

La copertura è formata da limi molto argillosi.

È presente un pozzo, con acqua alla profondità di circa 3.5 m, alimentato dalle acque di infiltrazione trattenute all'interno delle coperture del versante sovrastante; l'acquicluda costituito dall'argilla di formazione è situato alla profondità di circa 4 – 5 m, deduzione coerente con il rinvenimento di argille grigio - azzurre durante operazioni di allargamento e pulizia del pozzo.

Il rilievo fin qui descritto è esemplificativo di una parte dell'osservazione eseguita a scala dell'intero bacino del Rio Scaricalasino, il quale ha portato alla produzione di una carta delle coperture. (Fig. 4.6)

Tale carta riporta le principali unità di copertura, costituite da:

- depositi eluvio - colluviali
 - prevalentemente sabbiosi, rappresentati da sabbie e sabbie limose talora con ciottoli, che ricoprono prevalentemente le zone di cresta e quelle più elevate dei versanti, in particolare nell'area del sottobacino del Vallone di Offagna;
 - prevalentemente limosi, formati da limi sabbiosi debolmente argillosi o limi argillosi debolmente sabbiosi, che ricoprono estese aree della parte medio-bassa dei versanti in entrambi i sottobacini;
 - prevalentemente argillosi, costituiti da argille e argille limose, talora limoso-sabbiose, riscontrabili soprattutto nei sottobacini del Fosso San Valentino e del Rio Scaricalasino.

- depositi alluvionali e di fondovalle rappresentati da sabbie più o meno limose con ghiaie, limi sabbiosi localmente con ghiaie e limi argilloso – sabbiosi (Mattioli, 2014).

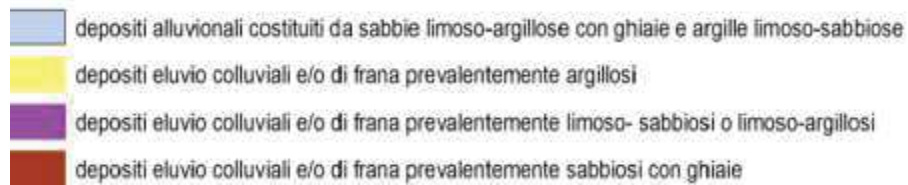
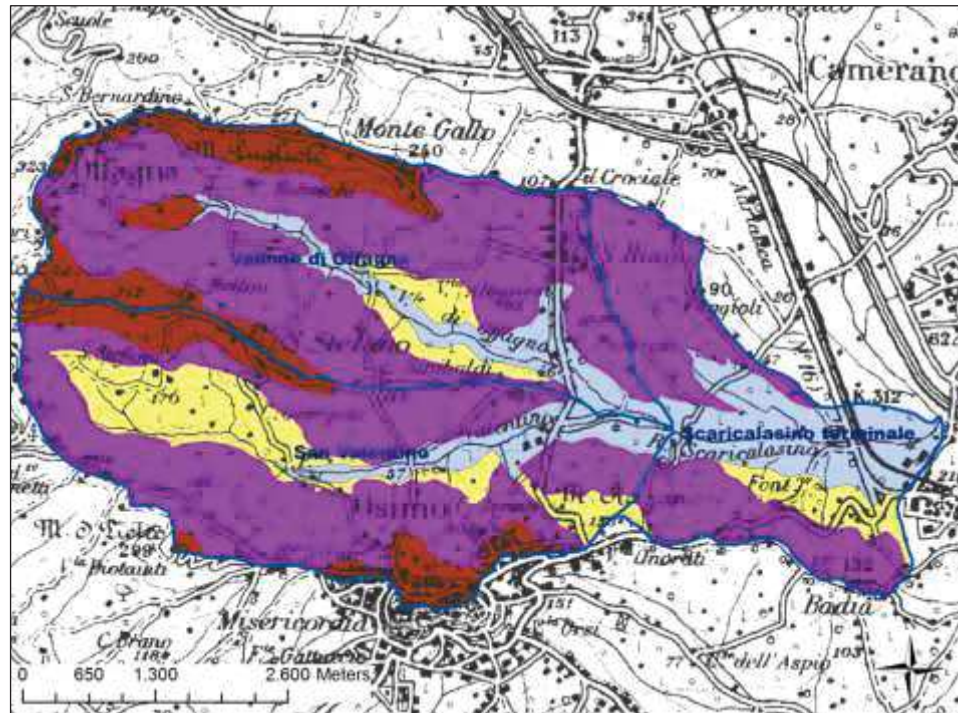


Fig. 4. 6 – carta delle coperture del bacino del Rio Scaricalasino (Mattioli, 2014)

Considerazioni

La distribuzione delle unità di copertura è diversa nei sottobacini, coerentemente con la diversa natura del substrato. In generale prevalgono depositi a granulometria più grossolana nel sottobacino del Vallone di Offagna e a granulometria fine nel sottobacino del Fosso San Valentino.

Per questo motivo, in termini di risposta idraulica del territorio, e anche di pericolosità nella valutazione del rischio, si riscontra una maggiore attitudine del terreno al ruscellamento ovvero una scarsa capacità di infiltrazione nel bacino del Fosso San Valentino e una maggiore permeabilità del suolo nel bacino del Vallone di Offagna.

4.2 Idrometria e piezometria

A seguito dell'osservazione del comportamento del corso d'acqua durante l'evolversi di eventi di piena rilevanti, come nel caso di quello registrato in data 1 - 2 marzo 2011, che ha provocato l'esondazione del Rio Scaricalasino nel suo tratto terminale, si è constatato un rapporto di forte interazione tra la falda acquifera della pianura alluvionale del Rio Scaricalasino e il corso d'acqua stesso.

Ai fini di una più accurata valutazione del rischio idraulico, si è voluto esaminare, conoscere e indagare la qualità e l'entità di tale fenomeno, che influenza la risposta idraulica del bacino ad eventi di precipitazione.

Per fare ciò, successivamente all'evento suddetto, si è inteso paragonare le oscillazioni della falda e del livello idrometrico nei diversi periodi dell'anno idrologico, confrontandone le quote assolute.

Si è ritenuto indispensabile, quindi, operare una precisa quotatura, sia del fondo alveo sia di una serie di pozzi individuati nella pianura alluvionale nelle vicinanze del corso del Rio Scaricalasino, mediante rilievo altimetrico a livellazione geometrica.

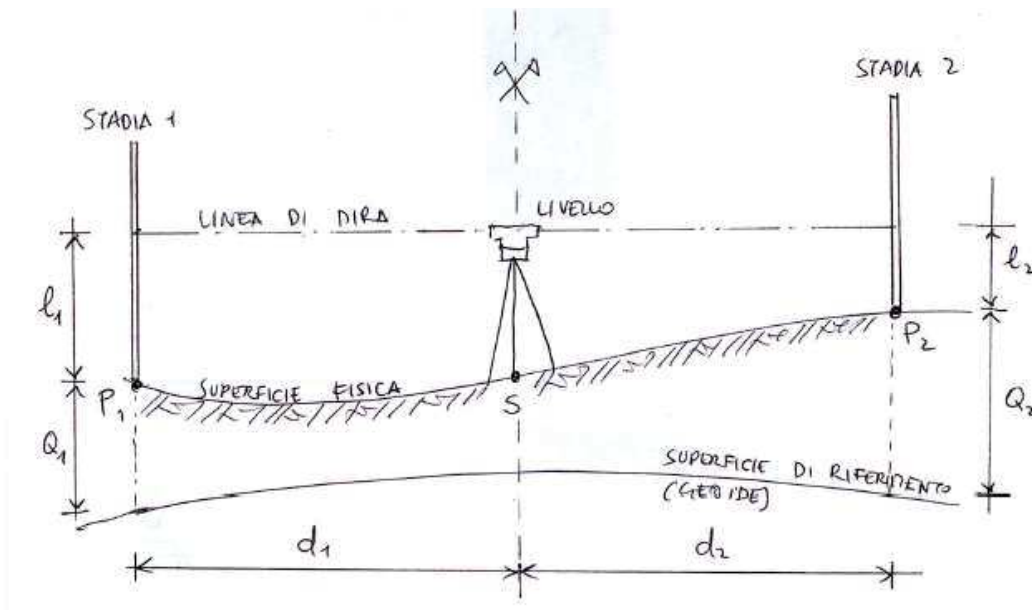
Il motivo di tale scelta risiede nel fatto che ricavare le quote dalla cartografia tecnica sarebbe stato improprio. Essa è affetta da un errore minimo per le sue generali applicazioni ma che risulta considerevole in questo contesto perché le oscillazioni da valutare, nel breve periodo, sono dell'ordine dei centimetri.

Un'ulteriore ragione è che, in seguito ad eventi rilevanti di piena, il corso d'acqua modifica la sua morfologia ed anche la quota del fondo alveo, a causa di alluvionamenti in alcune zone piuttosto che di erosioni in altre.

Inoltre, la ricognizione dell'alveo fluviale ha consentito di definirne le caratteristiche fisiche e morfologiche, di annotare la presenza di canali minori, di varia natura, che s'immettono nel corso d'acqua principale e dei quali può essere necessario valutare la portata, o anche di rilevare la presenza di numerosi sbarramenti costituiti da vecchi manufatti lasciati all'incuria che costituiscono un ostacolo al deflusso delle acque.

La livellazione geometrica è una tecnica di livellazione a visuale orizzontale; il livello, strumento dotato di cannocchiale, definisce un asse ottico orizzontale che consente di collimare le stadiie posizionate in due punti opposti rispetto allo strumento di lettura. Si parte disponendo la stadia in corrispondenza di un punto a quota nota e, con il livello, traguardando la stadia, si esegue la lettura cosiddetta "indietro"; successivamente, senza spostare il livello, si dispone la stadia in un secondo punto oltre esso e si esegue la lettura "avanti".

La differenza tra la lettura indietro e la lettura avanti, in metri, costituisce il dislivello tra i due punti successivi. Annotando l'altezza del livello, si può calcolare inoltre la quota del punto in cui è stato posto il livello stesso (stazione).



$$Q_1 + l_1 = Q_2 + l_2$$

Fig. 4. 7 – livellazione geometrica dal mezzo (www.regione.veneto.it)

Per collegare altimetricamente punti distanti, si realizzano allora linee di livellazione costituite da più battute effettuate in sequenza. Livello e stadia vengono via via spostati in avanti lungo il percorso della linea di livellazione, eseguendo una battuta dopo l'altra.

4.2.1 Rilievo topografico del fondo alveo

Secondo quanto premesso, in data 5 e 12 maggio 2011 si è proceduto ad un rilievo altimetrico del fondo alveo partendo da una sezione prossima alla sezione di chiusura del bacino, che corrisponde alla confluenza del Rio Scaricalasino nel Fiume Aspio, e arrivando ad una sezione sul Vallone di Offagna ubicata nei pressi della località Molinaccio, a monte della confluenza con il Fosso San Valentino.

Strumenti utilizzati:

- livello su treppiede marca GREENLABEL modello TOPCON AT-G6 (Figg. 4.8 e 4.9);
- stadia avente portata di 4 m e precisione di 1 cm (Figg. 4.10 e 4.11);
- rilevatore GPS per il posizionamento in pianta dei punti battuti (Fig. 4.12).



Fig. 4. 8 – livello



Fig. 4. 9 - treppiede



Fig. 4. 10 – stadia



Fig. 4. 11 – particolare della bolla di cui è dotata la stadia



Fig. 4. 12 – rilevatore GPS con antenna

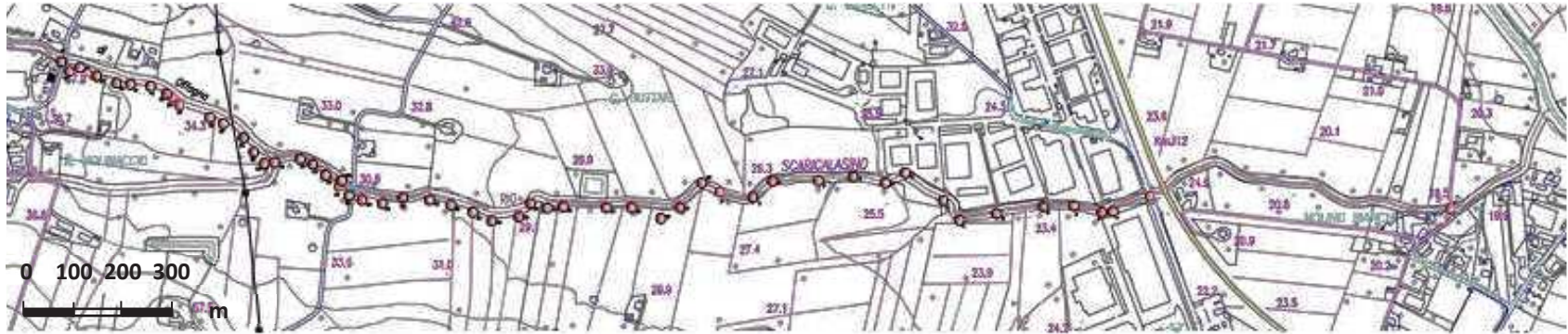


Fig. 4. 13 – ubicazione su carta tecnica dei punti battuti (segnalati in rosso); elaborazione ArcGis

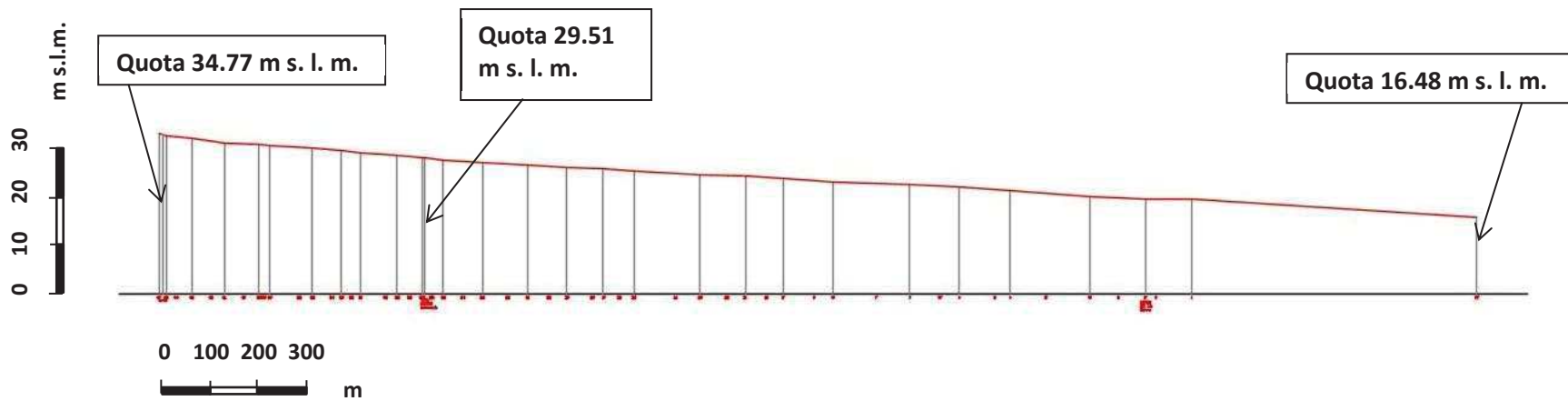


Fig. 4. 14 – profilo altimetrico del fondo alveo (elaborazione Autocad by Autodesk Inc.)

Le figure 4.13 e 4.14 mostrano due immagini relative agli elaborati prodotti rispettivamente con i software ArcGis ed Autocad (riportate ad una scala adattata alla dimensione del foglio).

Il primo elaborato presenta l'ubicazione in pianta dei punti battuti nella livellazione; questa è stata ottenuta sovrapponendo, alla carta tecnica regionale, le coordinate dei punti misurate con il rilevatore GPS.

Il secondo, invece, è il disegno del profilo longitudinale del fondo alveo ottenuto unendo le quote riferite al livello medio del mare misurate durante il rilievo topografico. Per quanto riguarda il profilo, al fine di ottenere una visualizzazione migliore, è stato necessario utilizzare due scale di disegno diverse per le distanze e per le quote; più precisamente la scala delle quote è dieci volte maggiore rispetto a quella impiegata per le distanze.

In figura 4.14, inoltre, sono indicate le quote di alcuni particolari punti presso i quali sono state ubicate tre aste idrometriche per la misura del livello del corso d'acqua; la loro quotatura risulta fondamentale per il confronto delle quote idrometriche e piezometriche assolute secondo quanto premesso in apertura del capitolo 4.2.

4.2.2 Misura dei livelli idrometrici

Per la misura dei livelli idrometrici si è fatto riferimento ad una stazione di misura installata in corrispondenza di una sezione situata a circa 300 m dalla confluenza con il fiume Aspio; tale sezione è caratterizzata da facile accessibilità e buona stabilità dell'alveo.

La stazione di misura è dotata di:

- un'asta idrometrica (fig. 4.15),
- un sensore in grado di monitorare in continuo i livelli idrometrici mediante idrometro a pressione di tipo SOLINST Levellogger 3001 MT 10 (fig. 4.16),
- un sensore per la misura di pressione atmosferica SOLINST Barlogger necessario per la taratura,
- sonda torbidometrica per la misura della portata solida del corso d'acqua,
- misuratore di portata liquida
- centralina Datalogger per la registrazione dei dati.



Fig. 4. 15 – asta idrometrica alla stazione di misura sul Rio Scaricalasino



Fig. 4. 16 – sensore per la misura in continuo dell'altezza idrometrica

Si è installata, inoltre, una batteria di aste idrometriche distribuite lungo l'alveo in prossimità di sezioni significative e facilmente accessibili; in particolare: una sul Vallone di Offagna, in zona "Molinaccio", una sul Fosso San Valentino e una sul Rio Scaricalasino poco a valle della confluenza, in corrispondenza di una sezione denominata "ponte maneggio".

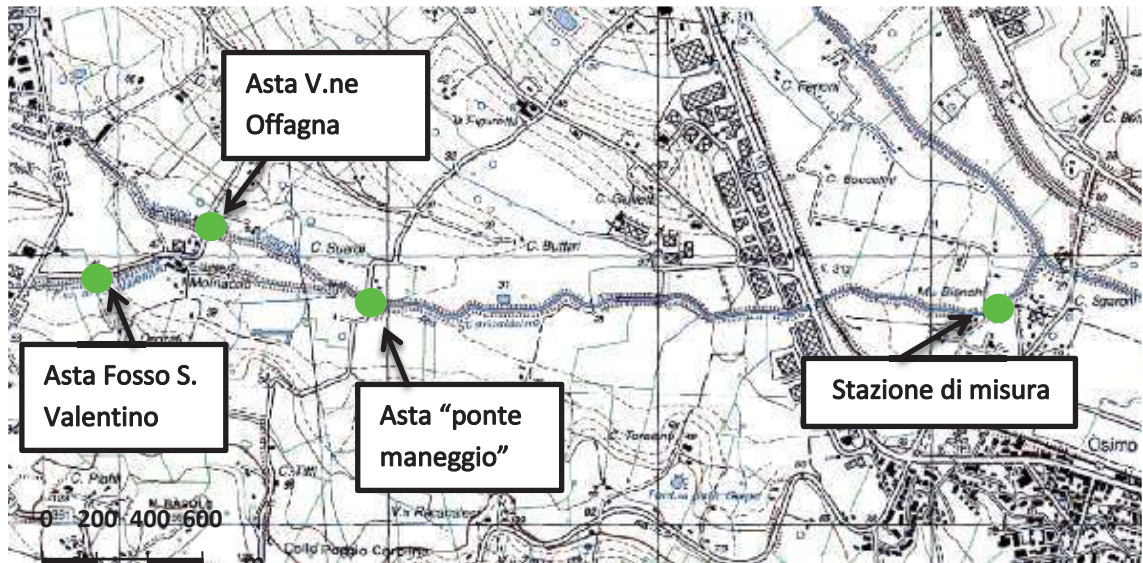


Fig. 4. 17 – carta IGM scala 1:25000 con ubicazione delle aste idrometriche (in verde)

Durante alcune uscite in campagna si è poi proceduto alla registrazione dei livelli mediante la lettura delle aste, secondo quanto riportato in tabella 4.1.

DATA	ASTA S.VALENTINO	ASTA OFFAGNA	ASTA PONTE MANEGGIO	ASTA STAZ. MISURA
18/04/11	9 cm	9.2 cm	23.5 cm	38 cm
12/05/11		7.7 cm	20 cm	35 cm
23/05/11		7.2 cm	21 cm	34.5 cm
13/06/11		7.2 cm	20.5 cm	34 cm
11/07/11	Impossibilità di effettuare le letture per inclinazione delle aste			
05/08/11		8.4 cm	16 cm	28.5 cm
16/09/11		9.3 cm	19.5 cm	31.5 cm
09/11/11		14.5 cm		

tabella 4. 1 – letture livelli idrometrici

La misura dei livelli idrometrici mediante il posizionamento di aste lungo l'alveo fluviale ha presentato delle difficoltà dovute al fatto che le stesse possono subire degli spostamenti a causa della corrente; per tale motivo, riguardo all'uscita di luglio, non si hanno registrazioni. In seguito, quindi, si è provveduto al riposizionamento di nuove aste immediatamente vicine alle precedenti.

4.2.3 Ricognizione e quotatura dei pozzi e misura dei livelli piezometrici

Per il monitoraggio della falda acquifera sono stati individuati una serie di pozzi privati situati in prossimità dell'alveo fluviale.

La ricognizione e il censimento dei pozzi sono avvenuti in prima analisi dalla cartografia tecnica e di seguito mediante uscite in campagna volte a determinare lo stato di conservazione dei pozzi, la loro profondità e il loro utilizzo.

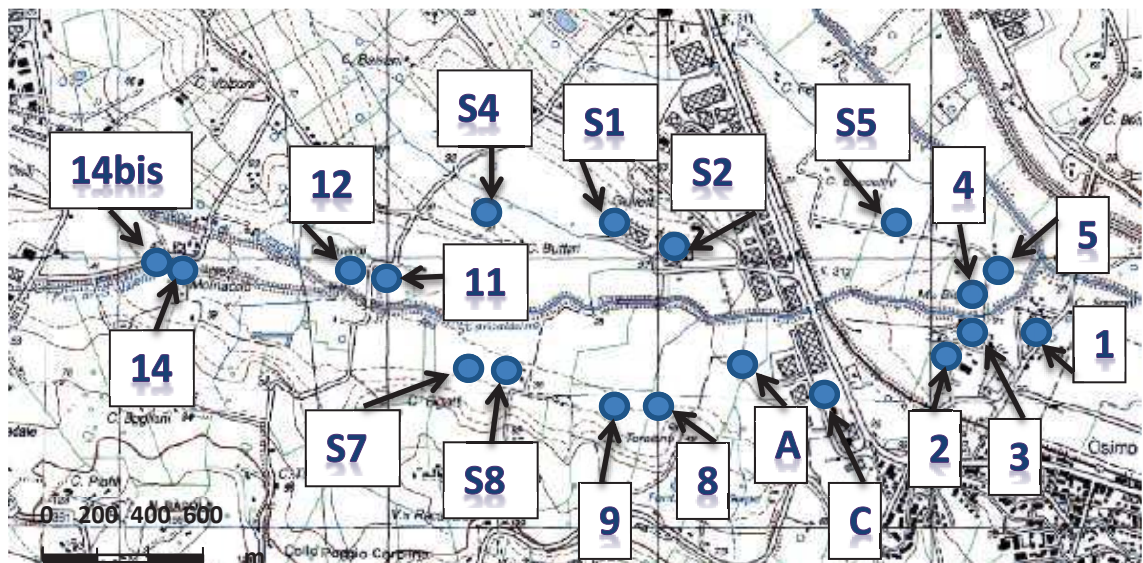


Fig. 4. 18 – carta IGM scala 1:25000 con ubicazione pozzi (punti azzurri)

Sono stati individuati complessivamente 19 pozzi, le cui ubicazioni e denominazioni sono mostrate in Fig. 4.18.

Per la gran parte dei pozzi, si è eseguita la quotatura del boccapozzo mediante rilievo altimetrico con livello e stadia a partire da punti quotati noti.

Per la quotatura dei pozzi denominati S4, S5, S7 e S8, che non sono stati raggiunti mediante livellazione altimetrica, si è eseguita un'interpolazione delle quote sulla carta tecnica regionale, pertanto le quote assolute dei livelli piezometrici misurati da tali pozzi sono affette dall'errore della carta; tuttavia mostrano l'andamento delle oscillazioni della falda nel periodo di osservazione.

LIVELLI PIEZOMETRICI

In ciascun pozzo si sono eseguite misure dei livelli piezometrici mediante sonda freaticometrica.

Tale strumento è dotato di un cavo centimetrato che termina con la sonda vera e propria, la quale emette un segnale acustico al momento del contatto con l'acqua. (Figg. 4.19 – 4.20)



Fig. 4. 19 – freatimetro



Fig. 4. 20 – particolare della sonda

In ogni pozzo si è eseguita la lettura sul cavo centimetrato della distanza del livello piezometrico dal boccapozzo.

Si è realizzata una serie di 11 campagne di misura per un tempo di osservazione che va dal 21/03/2011 al 10/01/2012: le misure hanno avuto cadenza settimanale nel primo periodo (immediatamente successivo all'evento di piena del 1-2 marzo 2011) e poi cadenza mensile.

Dalla quotatura dei boccapozzi e dalle misure dei livelli piezometrici si è potuta calcolare, per differenza, la quota assoluta della falda durante il periodo osservato.

Di seguito sono riportate le schede dei pozzi che contengono le informazioni e le misure raccolte.

SCHEDA POZZO 1

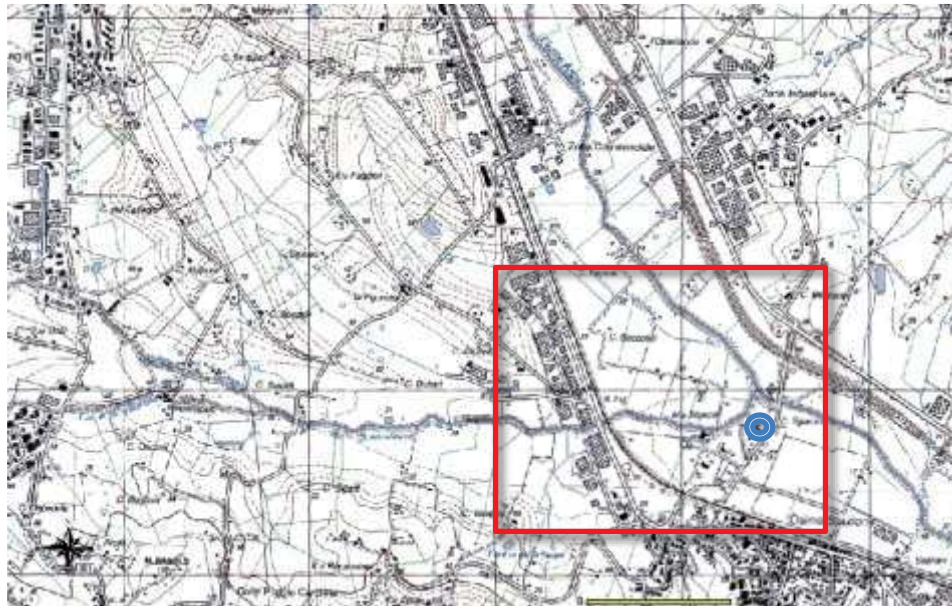


Fig. 4. 21 – ubicazione “POZZO 1” su cartografia IGM scala 1:25000



Fig. 4. 22 – ubicazione “POZZO 1” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.8	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m 1.0	Utilizzo	irriguo
Profondità	m 12.5	Quota boccapozzo s. l. m.	m 20.4

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	1.84	18.56
30/03/2011	2.21	18.19
13/04/2011	2.61	17.79
20/04/2011	2.94	17.46
28/04/2011	3.81	16.59
19/05/2011	3.71	16.69
13/06/2011	4.77	15.63
11/07/2011	3.82	16.58
05/08/2011	4.07	16.33
16/09/2011	4.41	15.99
10/01/2012	4.06	16.34

tabella 4. 2 – letture livelli piezometrici e quote assolute

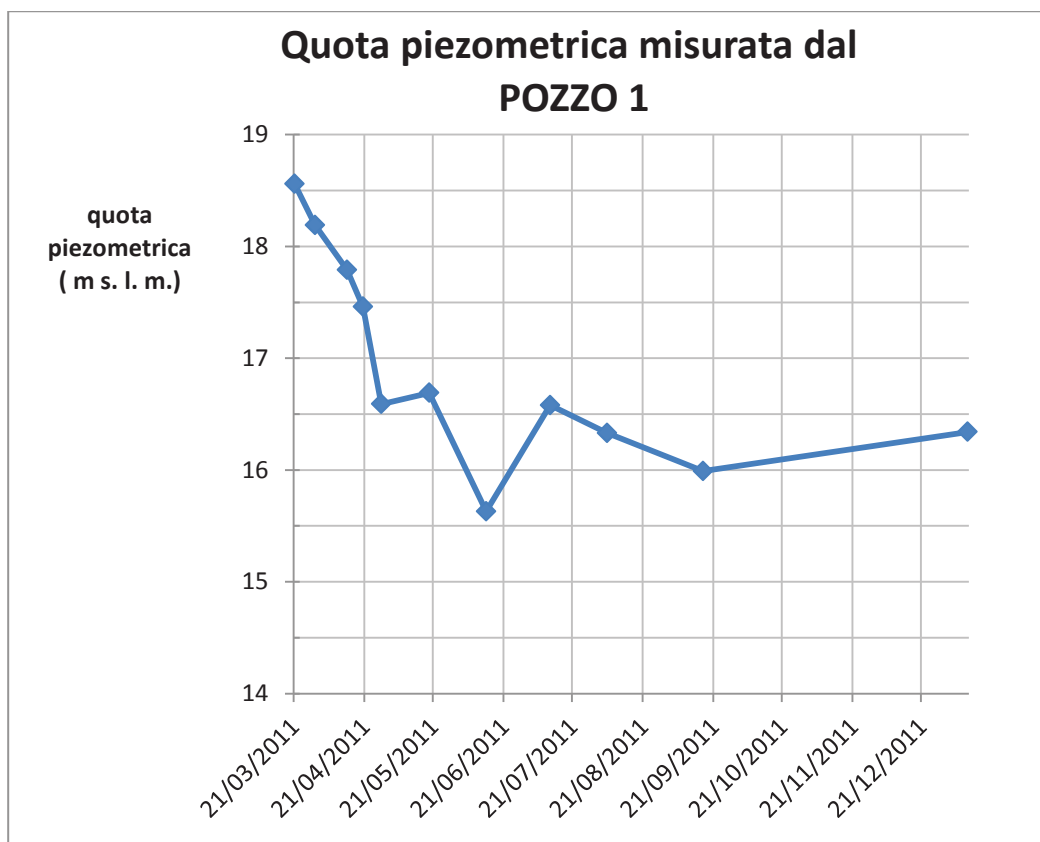


Fig. 4. 23 – grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 2



Fig. 4. 24 – ubicazione “POZZO 2” su cartografia IGM scala 1:25000

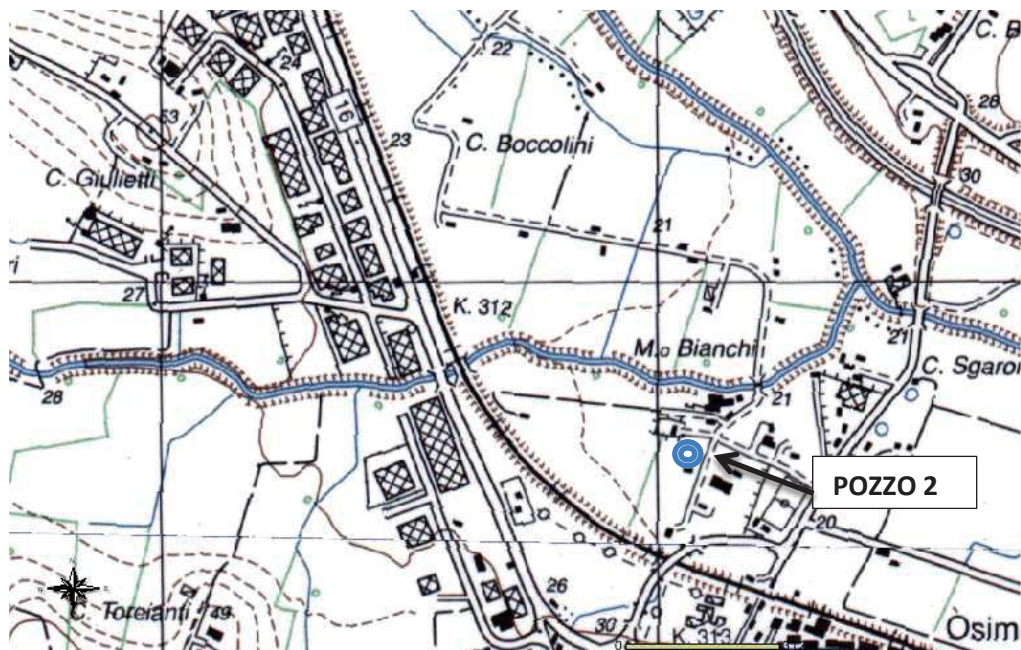


Fig. 4. 25 – ubicazione “POZZO 2” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.89	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m 1.0	Utilizzo	no
Profondità	m 8.0	Quota boccapozzo s. l. m.	m 20.101

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	1.39	18.711
30/03/2011	1.5	18.601
13/04/2011	1.68	18.421
20/04/2011	1.75	18.351
28/04/2011	1.85	18.251
19/05/2011	2.01	18.091
13/06/2011	2.36	17.741
11/07/2011	2.78	17.321
05/08/2011	3.07	17.031
16/09/2011	3.37	16.731
10/01/2012		

tabella 4. 3 - letture livelli piezometrici e quote assolute

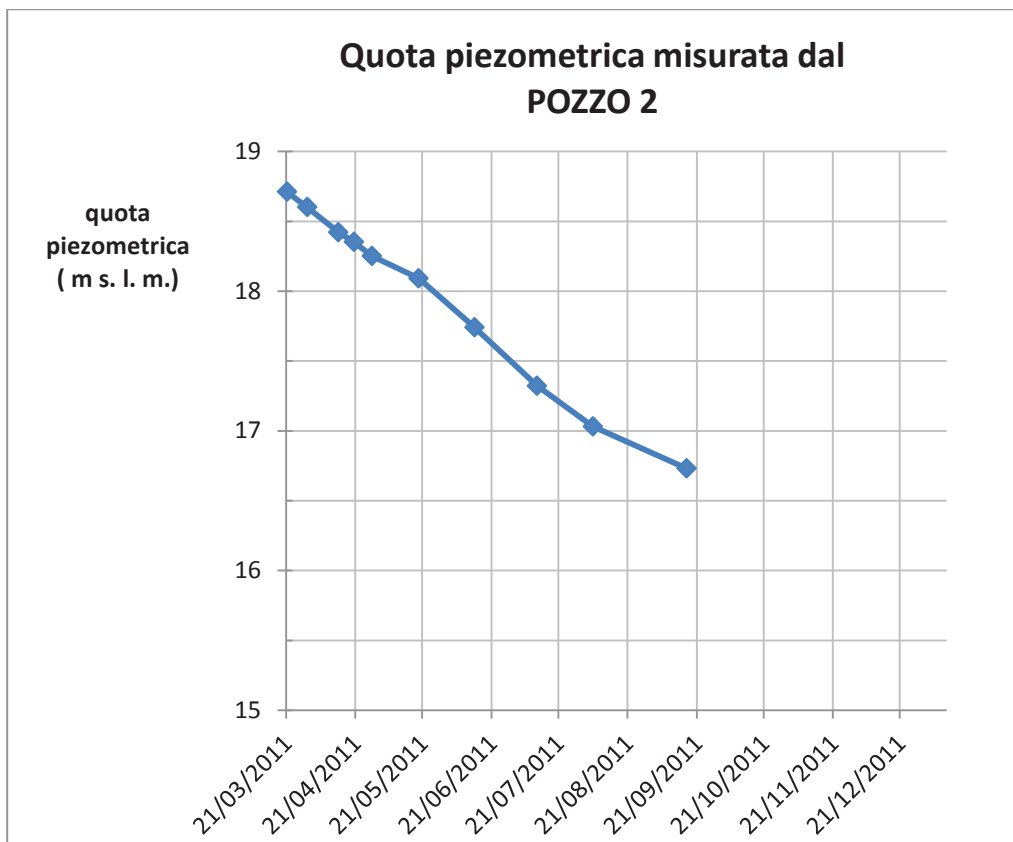


Fig. 4. 26 – grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 3

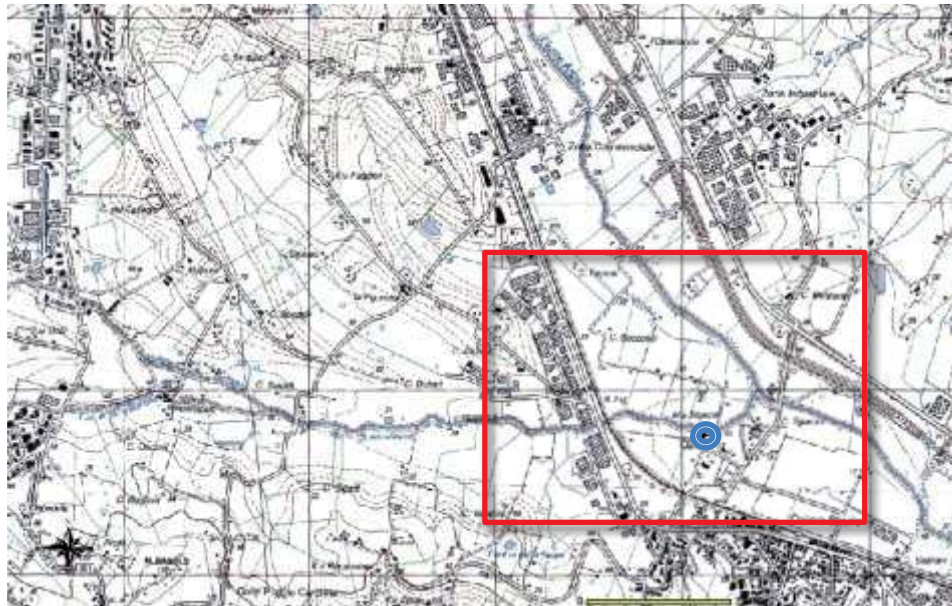


Fig. 4. 27 – ubicazione “POZZO 3” su cartografia IGM scala 1:25000

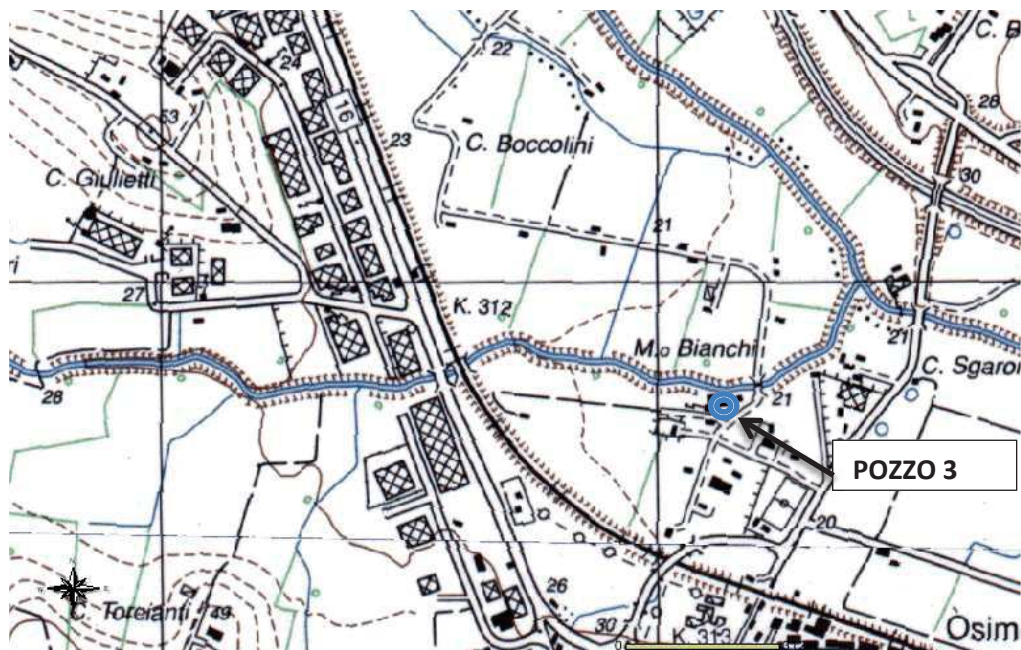


Fig. 4. 28 – ubicazione “POZZO 3” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 1.05	Materiale costruttivo	mattoni
Diametro	non misurato	Utilizzo	no
Profondità	m 5.95	Quota boccapozzo s. l. m.	m 20.355

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	3	17.355
30/03/2011	3.23	17.125
13/04/2011	3.43	16.925
20/04/2011	3.51	16.845
28/04/2011	3.59	16.765
19/05/2011	3.75	16.605
13/06/2011	4	16.355
11/07/2011	4.27	16.085
05/08/2011	4.42	15.935
16/09/2011	4.58	15.775
10/01/2012	4.32	16.035

tabella 4. 4 - letture livelli piezometrici e quote assolute

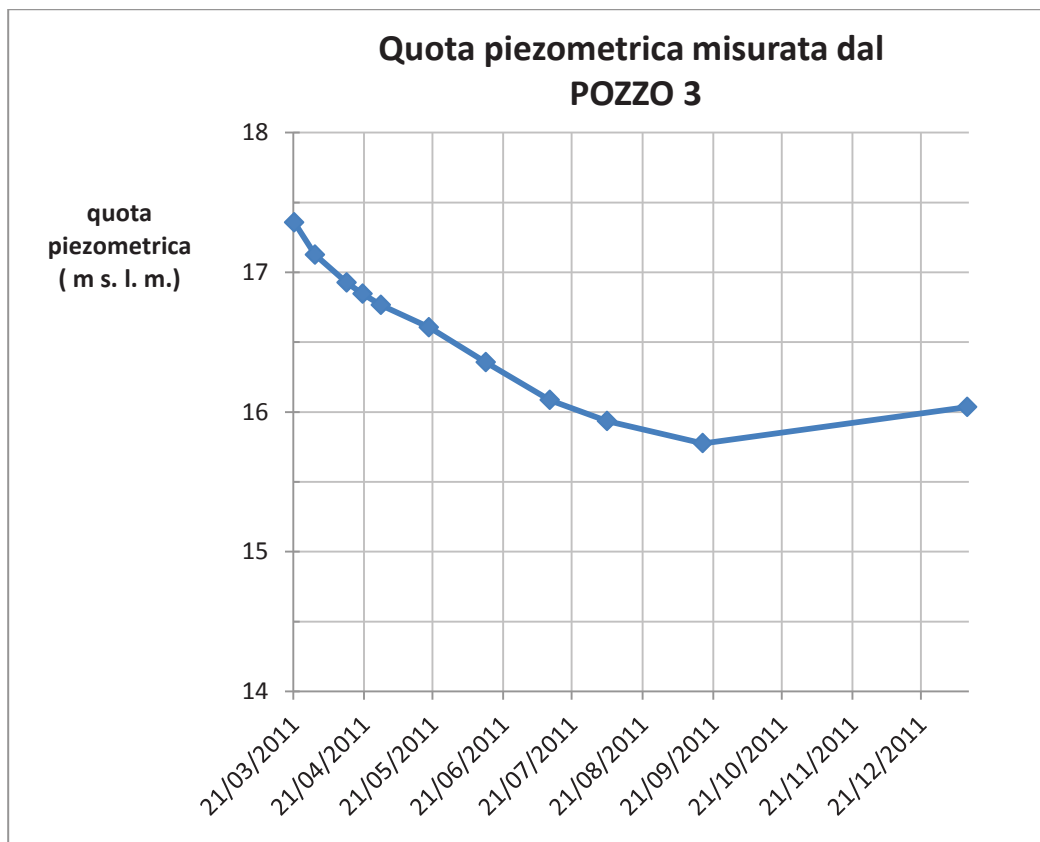


Fig. 4. 29 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 4

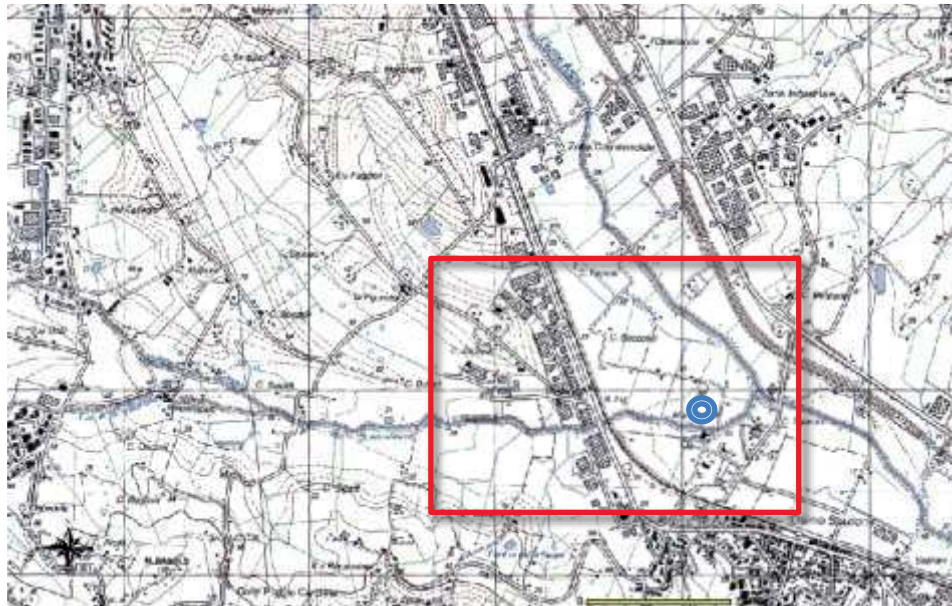


Fig. 4. 30 – ubicazione “POZZO 4” su cartografia IGM scala 1:25000



Fig. 4. 31 – ubicazione “POZZO 4” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 1.1	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m 1.1	Utilizzo	no
Profondità	non rilevata	Quota boccapozzo s. l. m.	m 22.024

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	4.68	17.344
30/03/2011	4.69	17.334
13/04/2011	4.7	17.324
20/04/2011	4.6	17.424
28/04/2011	4.72	17.304
19/05/2011	4.72	17.304
13/06/2011	4.72	17.304
11/07/2011	4.73	17.294
05/08/2011	4.85	17.174
16/09/2011	5.01	17.014
10/01/2012		

tabella 4. 5 - letture livelli piezometrici e quote assolute

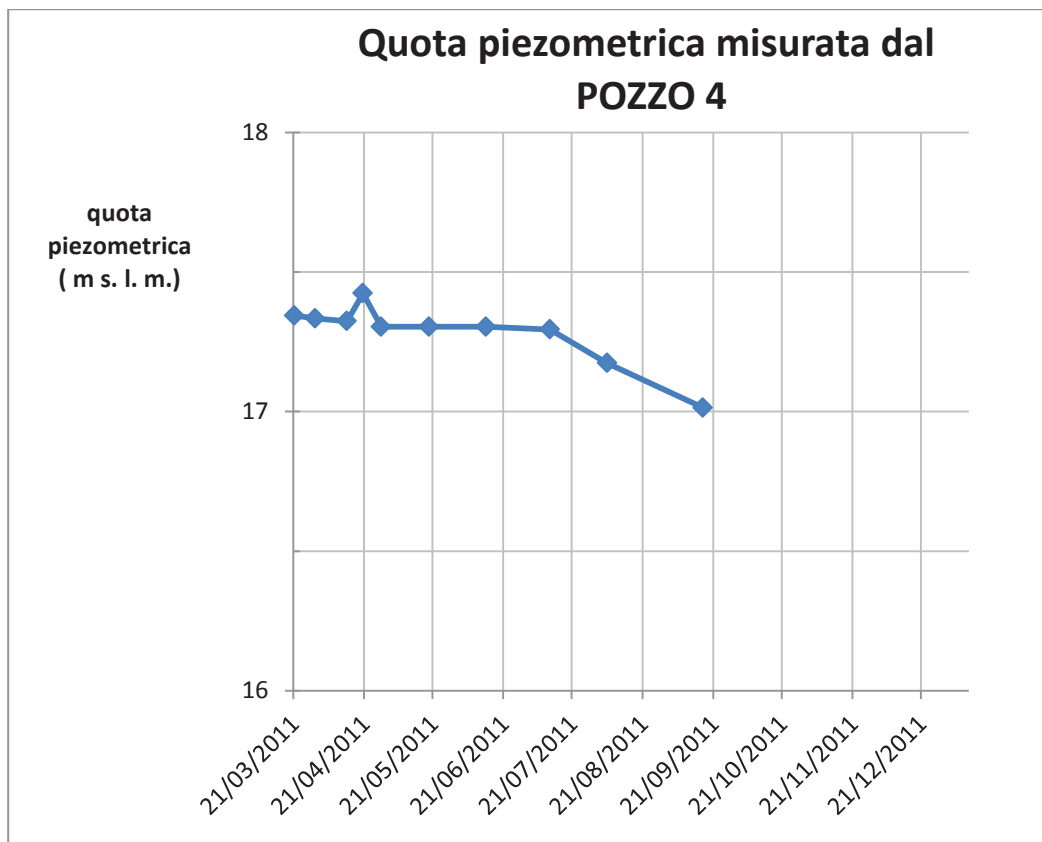


Fig. 4. 32 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 5



Fig. 4. 33 – ubicazione “POZZO 5” su cartografia IGM scala 1:25000



Fig. 4. 34 – ubicazione “POZZO 5” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.8	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	non rilevato	Utilizzo	no
Profondità	non rilevata	Quota boccapozzo s. l. m.	m 20.702

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	1.46	19.242
30/03/2011	1.98	18.722
13/04/2011	2.56	18.142
20/04/2011	2.72	17.982
28/04/2011	2.87	17.832
19/05/2011	3.16	17.542
13/06/2011	3.75	16.952
11/07/2011	4.1	16.602
05/08/2011	4.3	16.402
16/09/2011	4.97	15.732
10/01/2012	4.37	16.332

tabella 4. 6 - letture livelli piezometrici e quote assolute



Fig. 4. 35 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO S5



Fig. 4. 36 – ubicazione “POZZO S5” su cartografia IGM scala 1:25000



Fig. 4. 37 – ubicazione “POZZO S5” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.8	Materiale costruttivo	mattoni
Diametro	m 2.0	Utilizzo	no
Profondità	m 6.9	Quota boccapozzo s. l. m.	m 22.5 (*)

(*) ottenuta sommando la quota stimata da carta tecnica regionale e l'altezza del boccapozzo da p.c.

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011		
19/05/2011	2.78	19.72
13/06/2011	3.18	19.32
11/07/2011	3.42	19.08
05/08/2011	3.58	18.92
16/09/2011	3.81	18.69
10/01/2012	3.98	18.52

tabella 4. 7 - letture livelli piezometrici e quote assolute

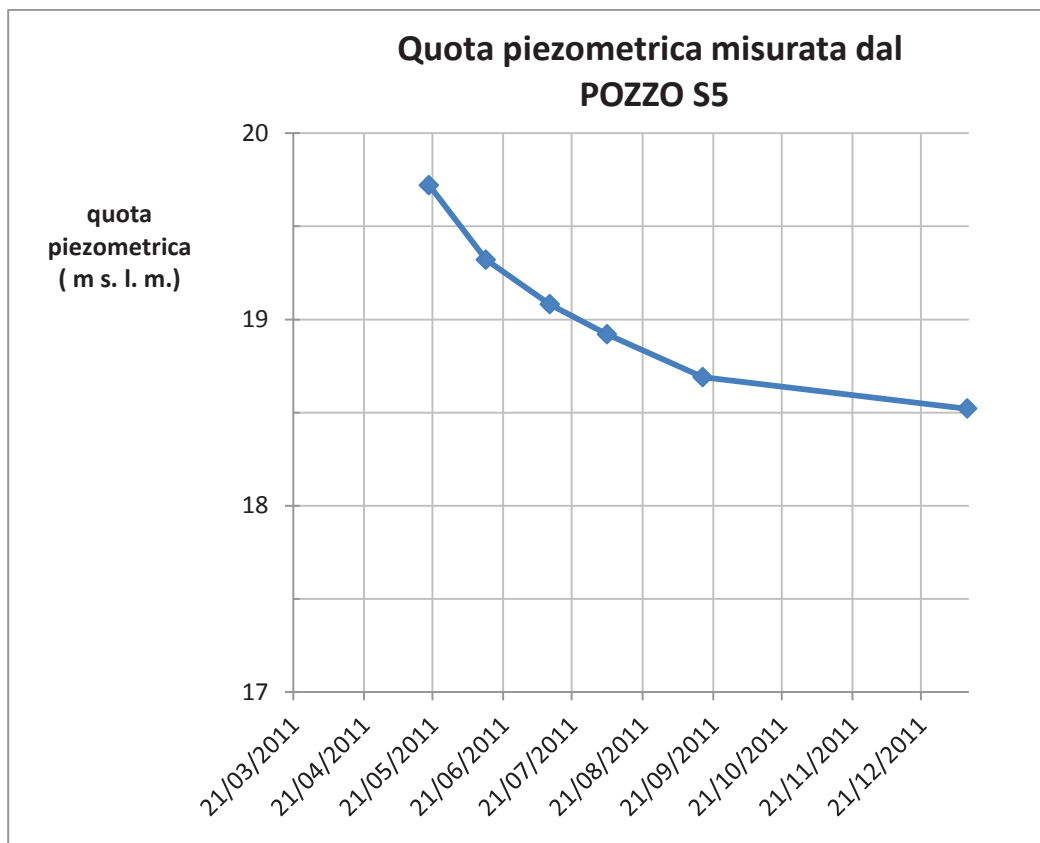


Fig. 4. 38 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO S2



Fig. 4. 39 – ubicazione “POZZO S2” su cartografia IGM scala 1:25000

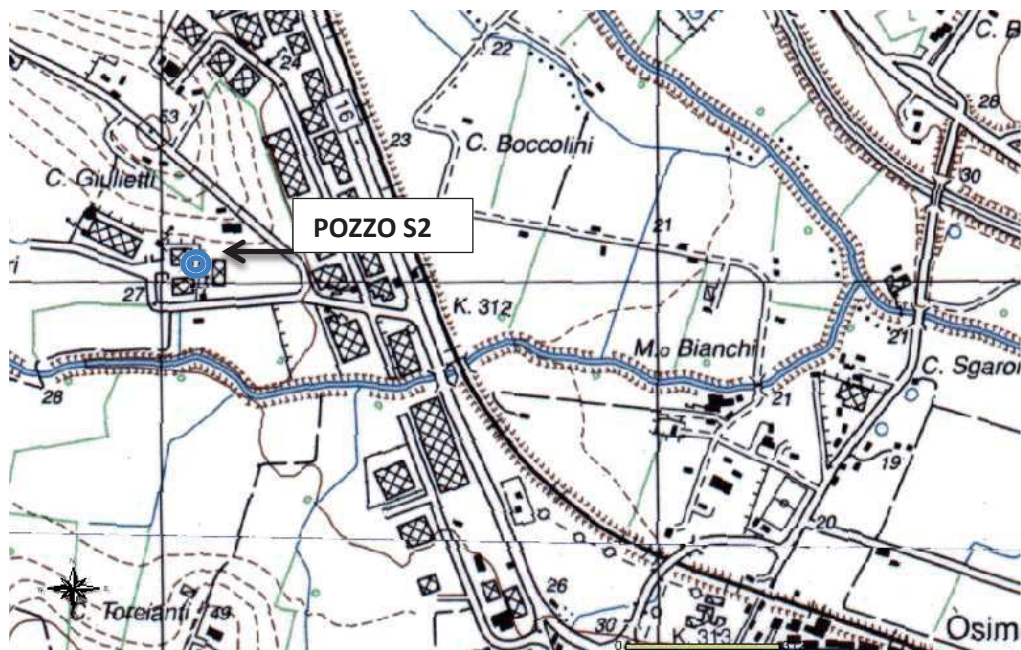


Fig. 4. 40 – ubicazione “POZZO S2” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.15	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m1.0	Utilizzo	civile/industriale
Profondità	m 7.5	Quota boccapozzo s. l. m.	m 29.933

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011	0.95	28.983
19/05/2011	2.15	27.783
13/06/2011	2.45	27.483
11/07/2011	2.63	27.303
05/08/2011		
16/09/2011		
10/01/2012		

tabella 4. 8 - letture livelli piezometrici e quote assolute

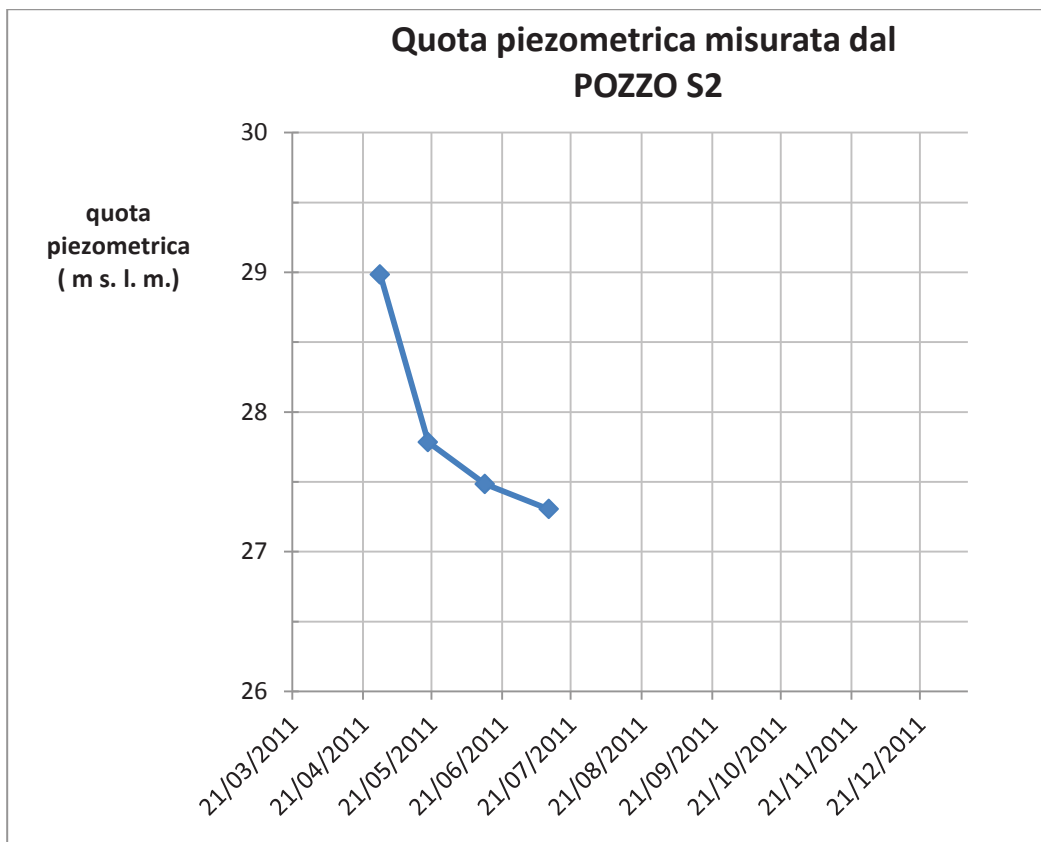


Fig. 4. 41 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO S1

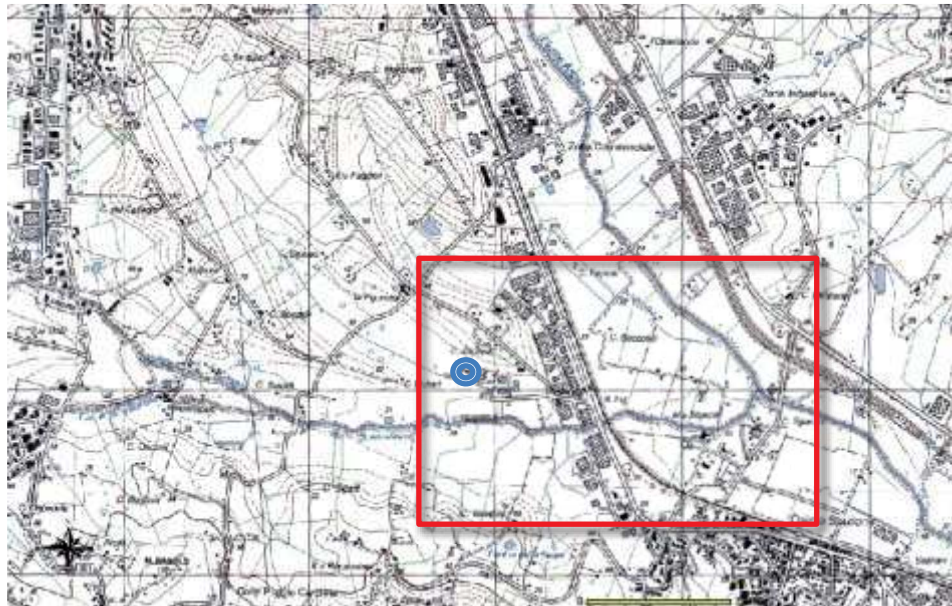


Fig. 4. 42 – ubicazione “POZZO S1” su cartografia IGM scala 1:25000

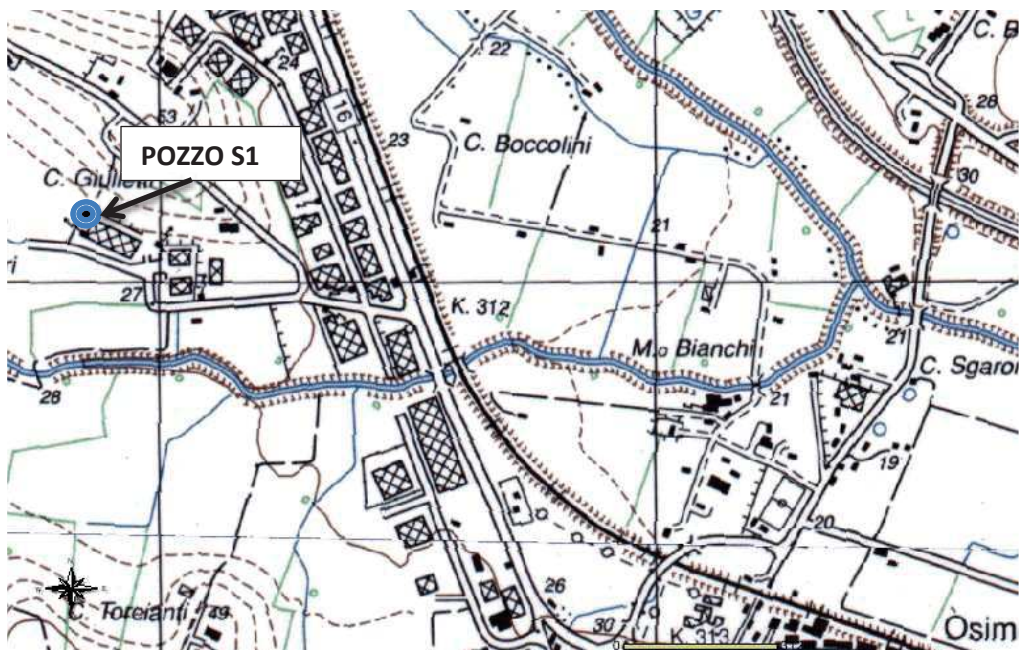


Fig. 4. 43 – ubicazione “POZZO S1” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.95	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m1.0	Utilizzo	no
Profondità	m 5.35	Quota boccapozzo s. l. m.	m 31.507

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011	1.87	29.637
19/05/2011	2.1	29.407
13/06/2011	2.51	28.997
11/07/2011	2.73	28.777
05/08/2011	2.86	28.647
16/09/2011	3.38	28.127
10/01/2012	2.81	28.697

tabella 4. 9 - letture livelli piezometrici e quote assolute

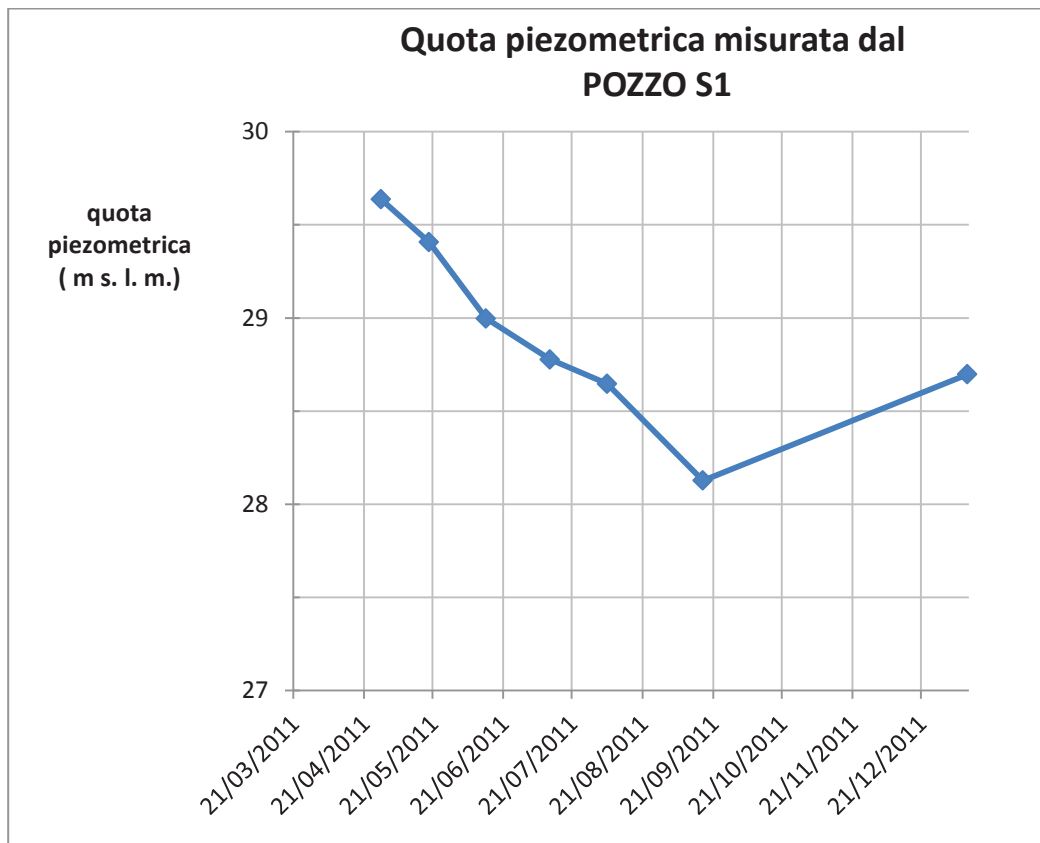


Fig. 4. 44 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO S4



Fig. 4. 45 – ubicazione “POZZO S4” su cartografia IGM scala 1:25000

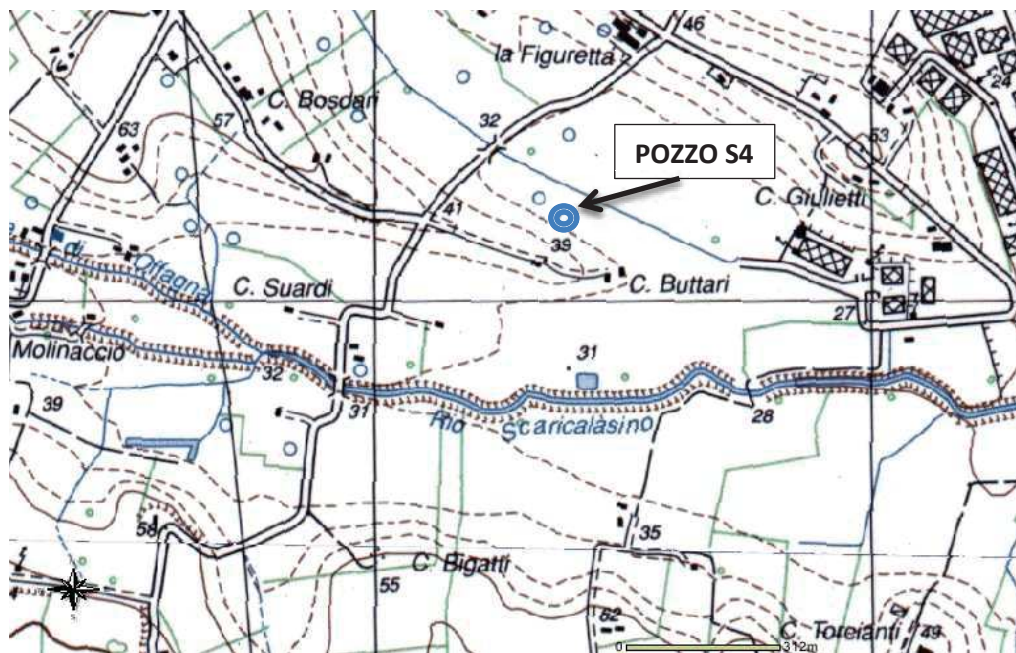


Fig. 4. 46 – ubicazione “POZZO S4” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.45	Materiale costruttivo	mattoni
Diametro	m 1.0	Utilizzo	no
Profondità	m 4.3	Quota boccapozzo s. l. m.	m 28.15 (*)

(*) ottenuta sommando la quota stimata da carta tecnica regionale e l’altezza del boccapozzo da p.c.

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011		
19/05/2011		
13/06/2011	2.18	25.97
11/07/2011	2.09	26.06
05/08/2011	2.08	26.07
16/09/2011		
10/01/2012	1.99	26.16

tabella 4. 10 - letture livelli piezometrici e quote assolute

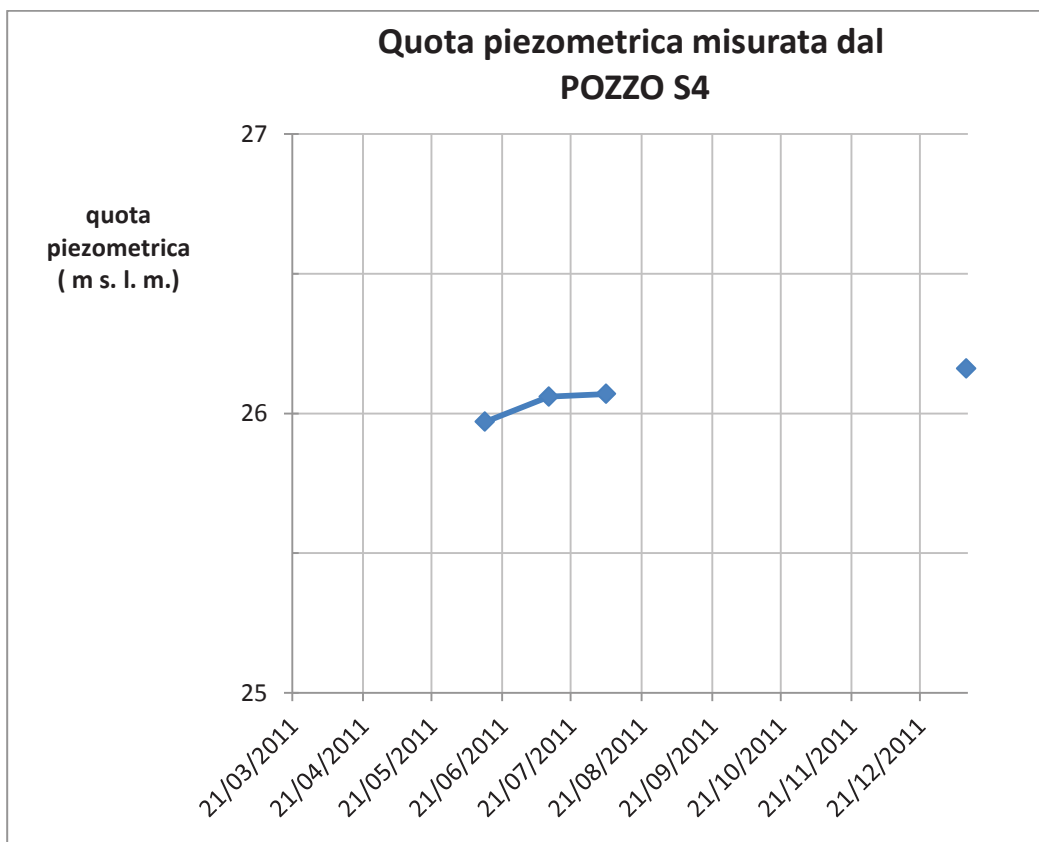


Fig. 4. 47 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO C



Fig. 4. 48 – ubicazione “POZZO C” su cartografia IGM scala 1:25000

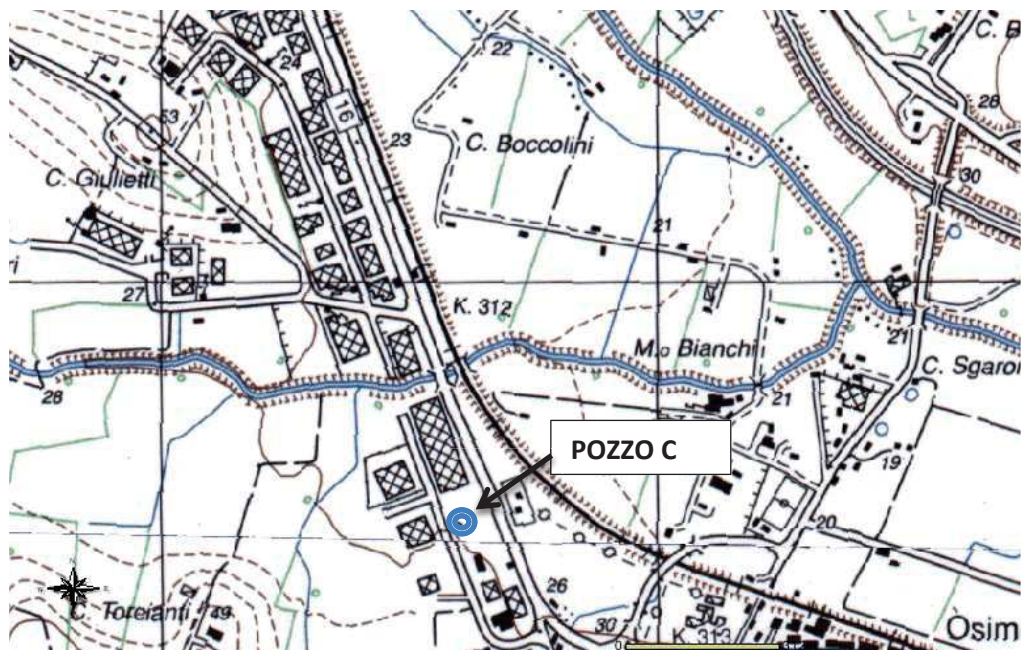


Fig. 4. 49 – ubicazione “POZZO C” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.95	Materiale costruttivo	cls prefabbricato
Diametro	m0.8	Utilizzo	irriguo
Profondità	m 8.0	Quota boccapozzo s. l. m.	m 25.326

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011	1.95	23.376
19/05/2011	1.93	23.396
13/06/2011	2.15	23.176
11/07/2011	2.82	22.506
05/08/2011	2.98	22.346
16/09/2011	3.04	22.286
10/01/2012	2.26	23.066

tabella 4. 11 - letture livelli piezometrici e quote assolute

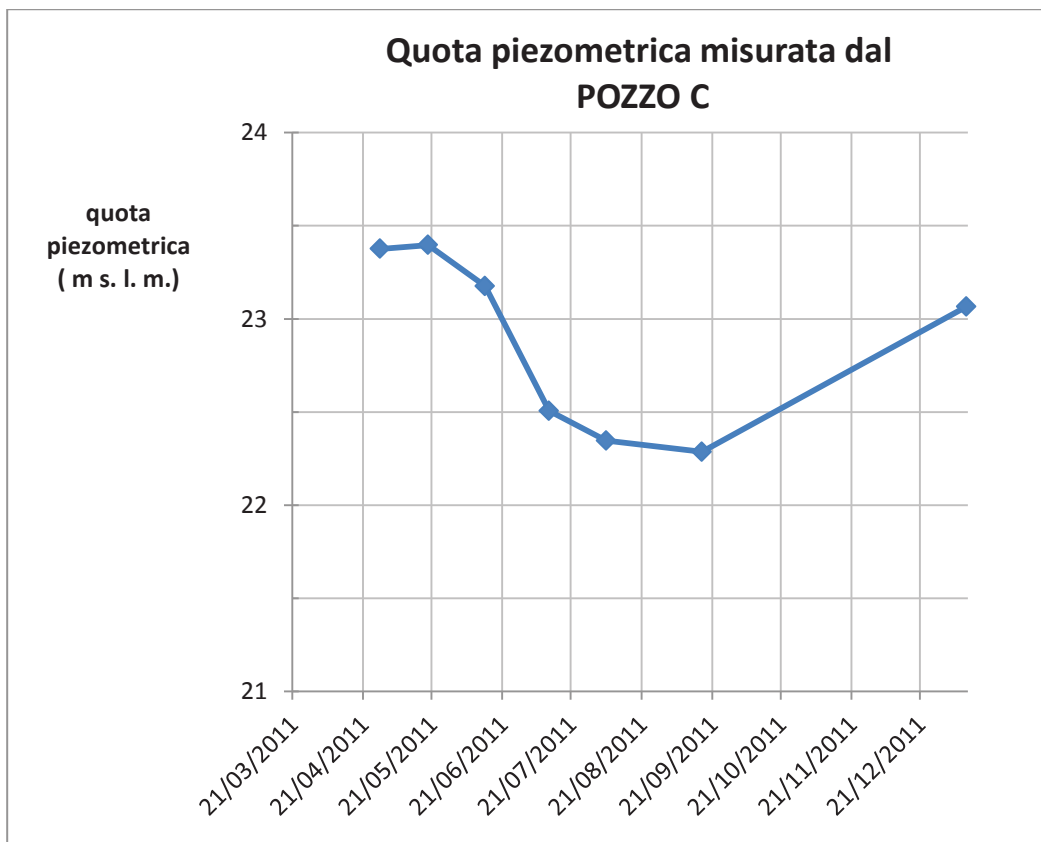


Fig. 4. 50 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEMA POZZO A



Fig. 4. 51 – ubicazione “POZZO A” su cartografia IGM scala 1:25000



Fig. 4. 52 – ubicazione “POZZO A” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.35	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m1.0	Utilizzo	civile/industriale
Profondità	m 14.7	Quota boccapozzo s. l. m.	m 28.331

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011	3.27	25.061
19/05/2011	3.77	24.561
13/06/2011	3.95	24.381
11/07/2011	4.51	23.821
05/08/2011	4.5	23.831
16/09/2011	4.72	23.611
10/01/2012	3.63	24.701

tabella 4. 12 - letture livelli piezometrici e quote assolute

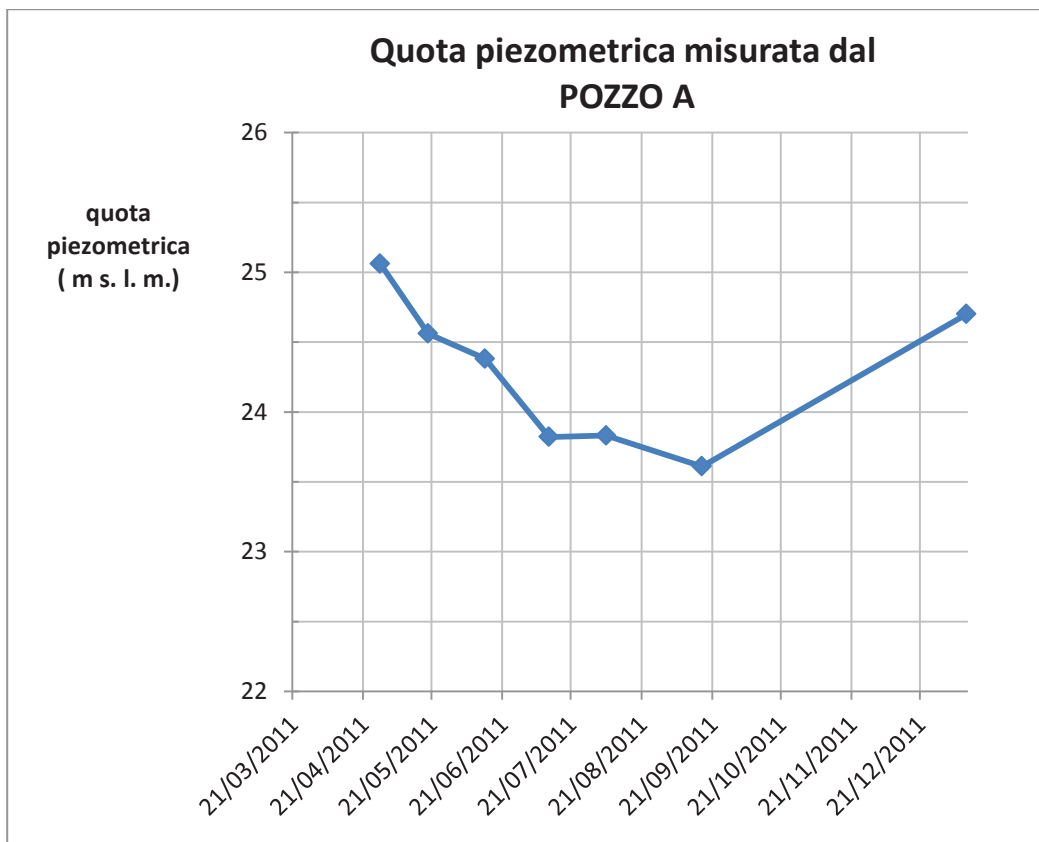


Fig. 4. 53 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 8



Fig. 4. 54 – ubicazione “POZZO 8” su cartografia IGM scala 1:25000



Fig. 4. 55 – ubicazione “POZZO 8” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.76	Materiale costruttivo	cls prefabbricato
Diametro	m1.0	Utilizzo	agricolo
Profondità	m 12.0	Quota boccapozzo s. l. m.	m 29.504

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	1.73	27.774
30/03/2011	1.01	28.494
13/04/2011	2.22	27.284
20/04/2011	2.27	27.234
28/04/2011	2.31	27.194
19/05/2011	2.35	27.154
13/06/2011	3.78	25.724
11/07/2011	2.9	26.604
05/08/2011	3.04	26.464
16/09/2011		
10/01/2012	3.04	26.464

tabella 4. 13 - letture livelli piezometrici e quote assolute

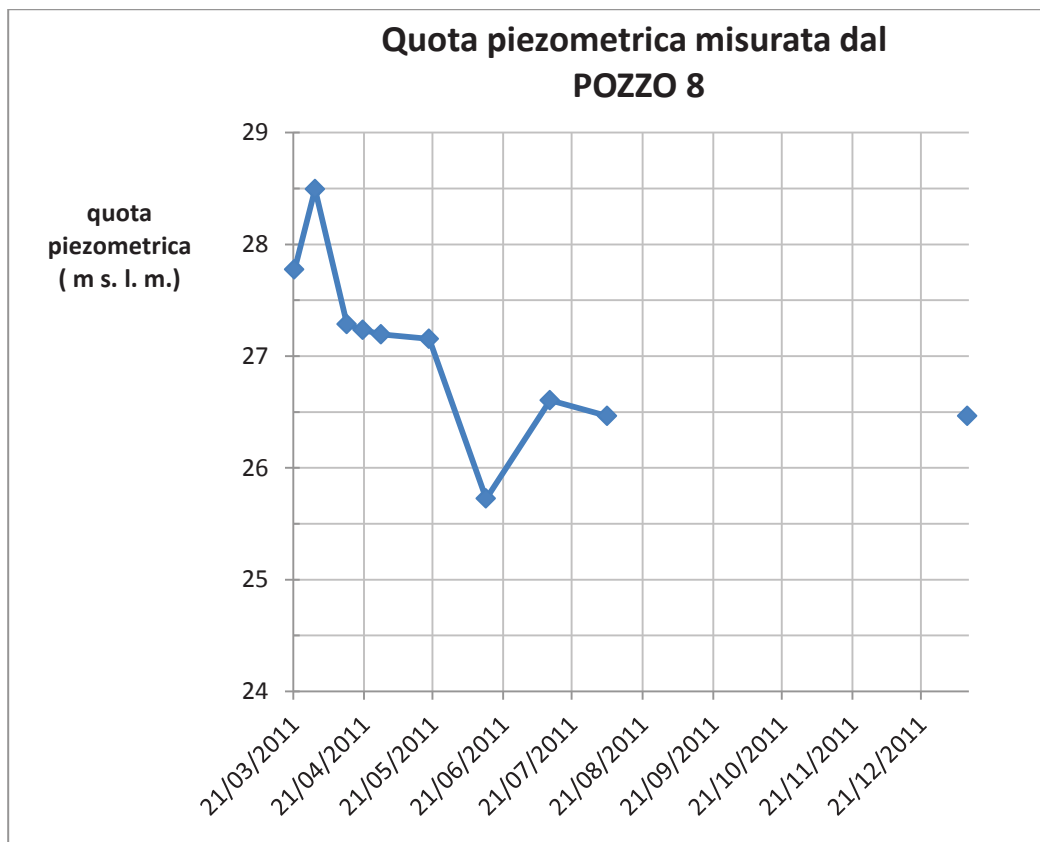


Fig. 4. 56 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 9



Fig. 4. 57 – ubicazione “POZZO 9” su cartografia IGM scala 1:25000

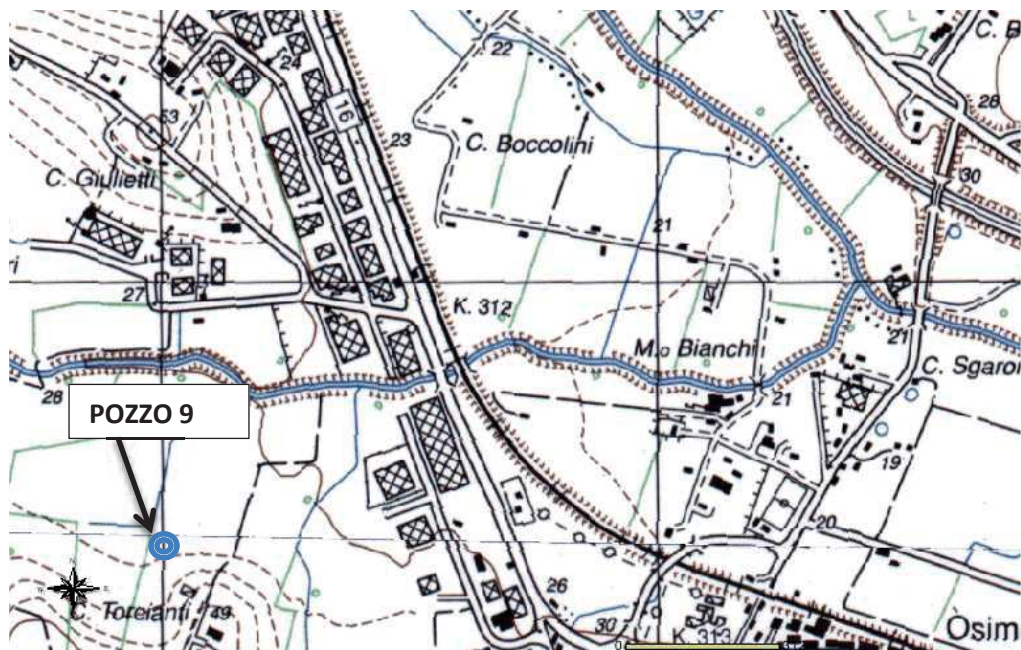


Fig. 4. 58 – ubicazione “POZZO 9” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.9	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m1.0	Utilizzo	no
Profondità	m 12.0	Quota boccapozzo s. l. m.	m 29.639

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	1.42	28.219
30/03/2011	1.64	27.999
13/04/2011	1.84	27.799
20/04/2011	1.95	27.689
28/04/2011	2.02	27.619
19/05/2011	2.2	27.439
13/06/2011	2.54	27.099
11/07/2011	2.99	26.649
05/08/2011	3.28	26.359
16/09/2011	3.69	25.949
10/01/2012	3.36	26.279

tabella 4. 14 - letture livelli piezometrici e quote assolute

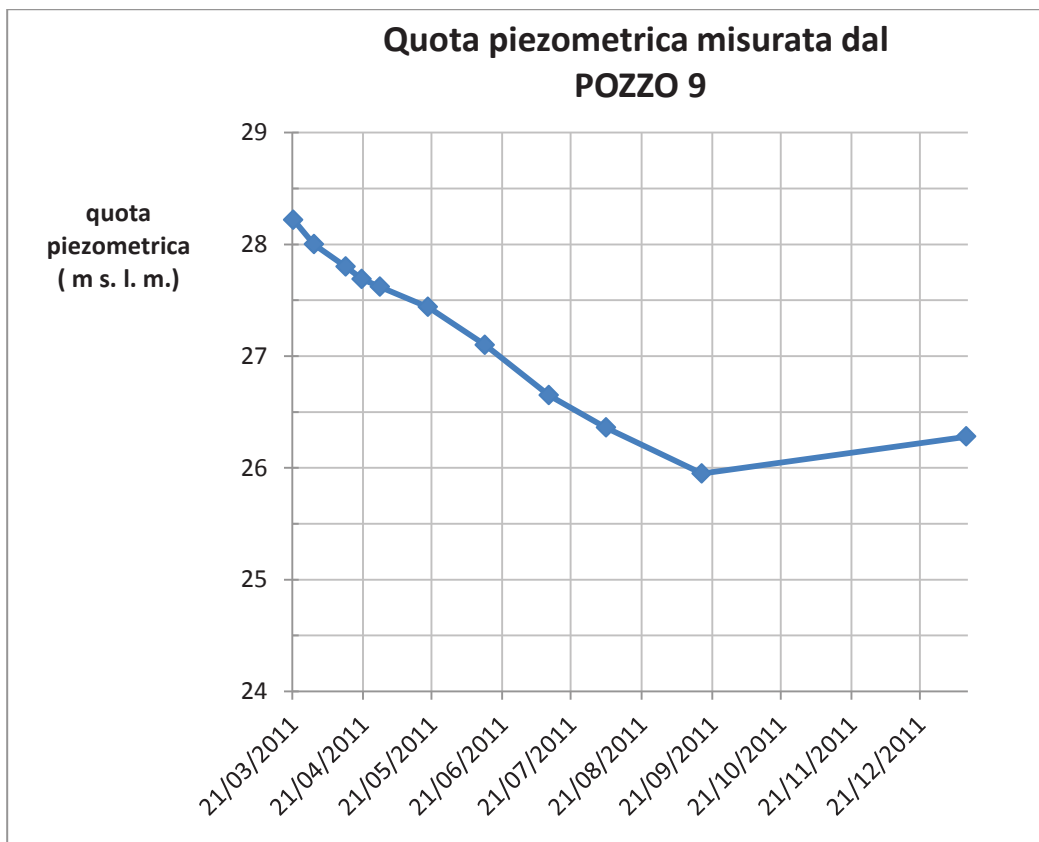


Fig. 4. 59 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO S7



Fig. 4. 60 – ubicazione “POZZO S7” su cartografia IGM scala 1:25000

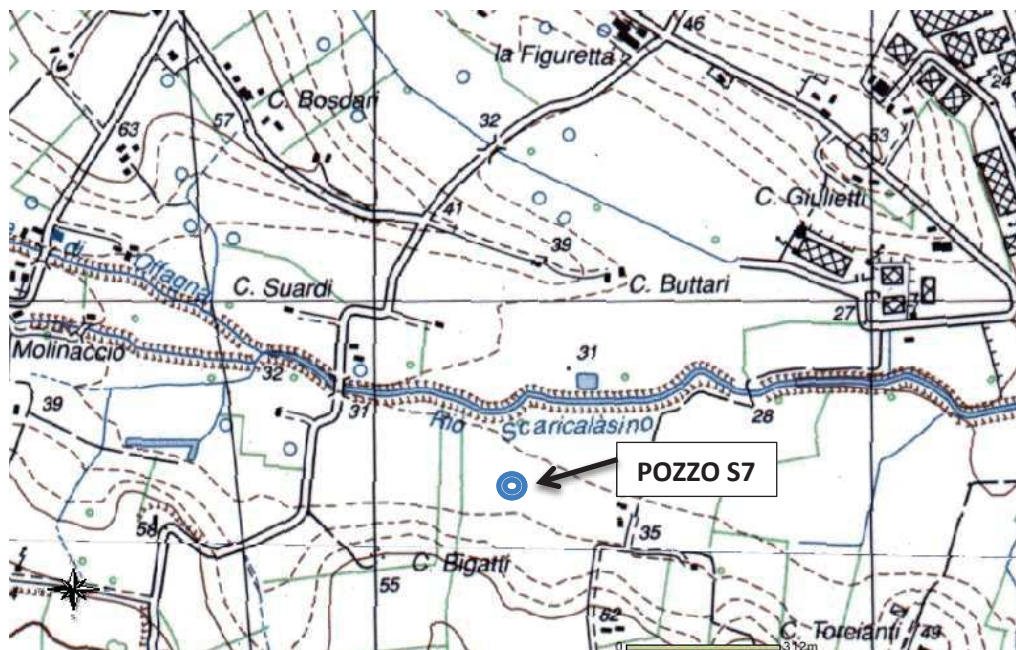


Fig. 4. 61 – ubicazione “POZZO S7” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 1.2	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m 0.8	Utilizzo	agricolo
Profondità	m 9.0	Quota boccapozzo s. l. m.	m 31.2 (*)

(*) ottenuta sommando la quota stimata da carta tecnica regionale e l'altezza del boccapozzo da p.c.

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011		
19/05/2011	2.06	29.14
13/06/2011	2.59	28.61
11/07/2011	3.56	27.64
05/08/2011	4.27	26.93
16/09/2011	4.52	26.68
10/01/2012	4.5	26.7

tabella 4. 15 - letture livelli piezometrici e quote assolute

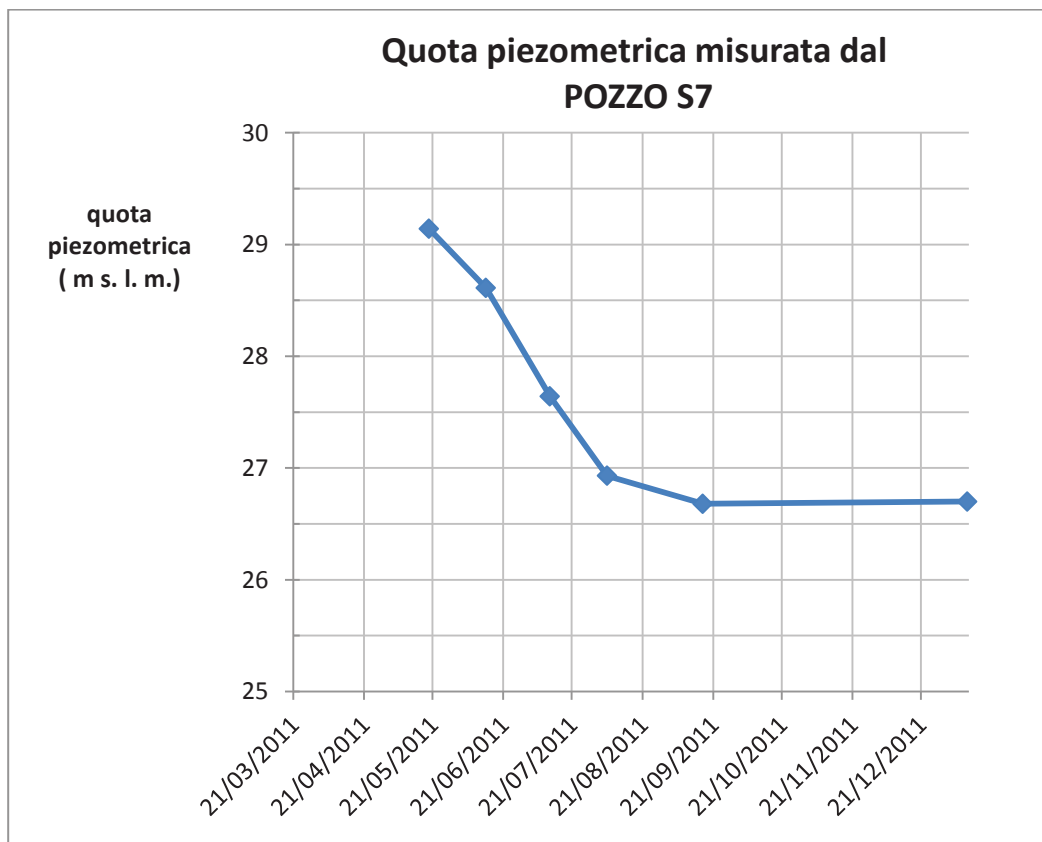


Fig. 4. 62 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO S8



Fig. 4. 63 – ubicazione “POZZO S8” su cartografia IGM scala 1:25000

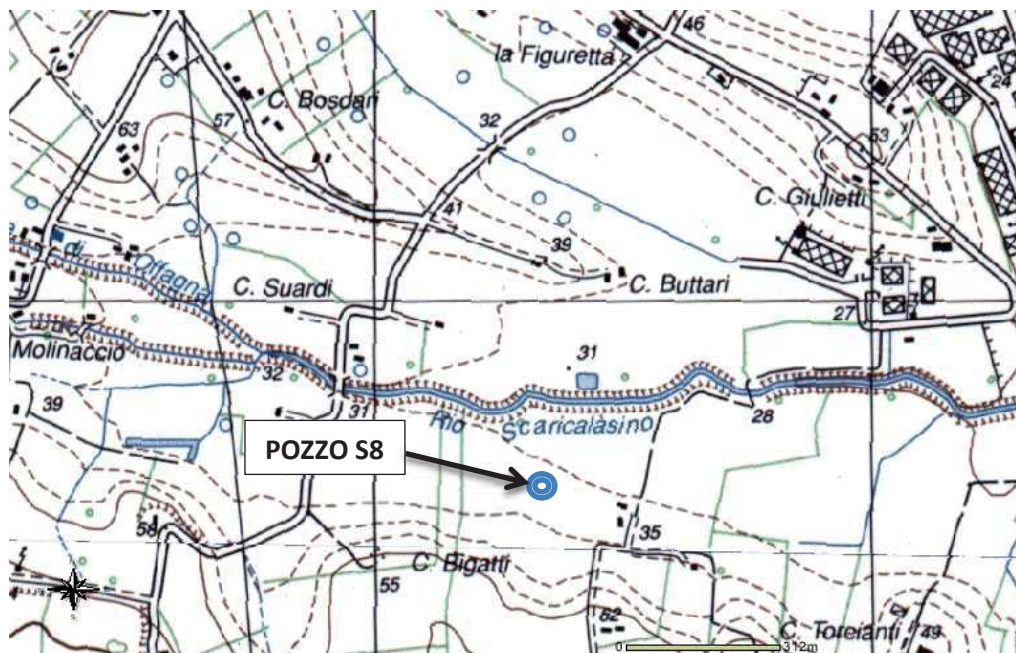


Fig. 4. 64 – ubicazione “POZZO S8” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0	Materiale costruttivo	mattoni
Diametro	m 1.1	Utilizzo	no
Profondità	m 5.2	Quota boccapozzo s. l. m.	m 29.6(*)

(*) ottenuta sommando la quota stimata da carta tecnica regionale e l'altezza del boccapozzo da p.c.

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011		
30/03/2011		
13/04/2011		
20/04/2011		
28/04/2011		
19/05/2011	0.49	29.11
13/06/2011	1.11	28.49
11/07/2011	2.13	27.47
05/08/2011	2.74	26.86
16/09/2011	2.83	26.77
10/01/2012	3.11	26.49

tabella 4. 16 - letture livelli piezometrici e quote assolute

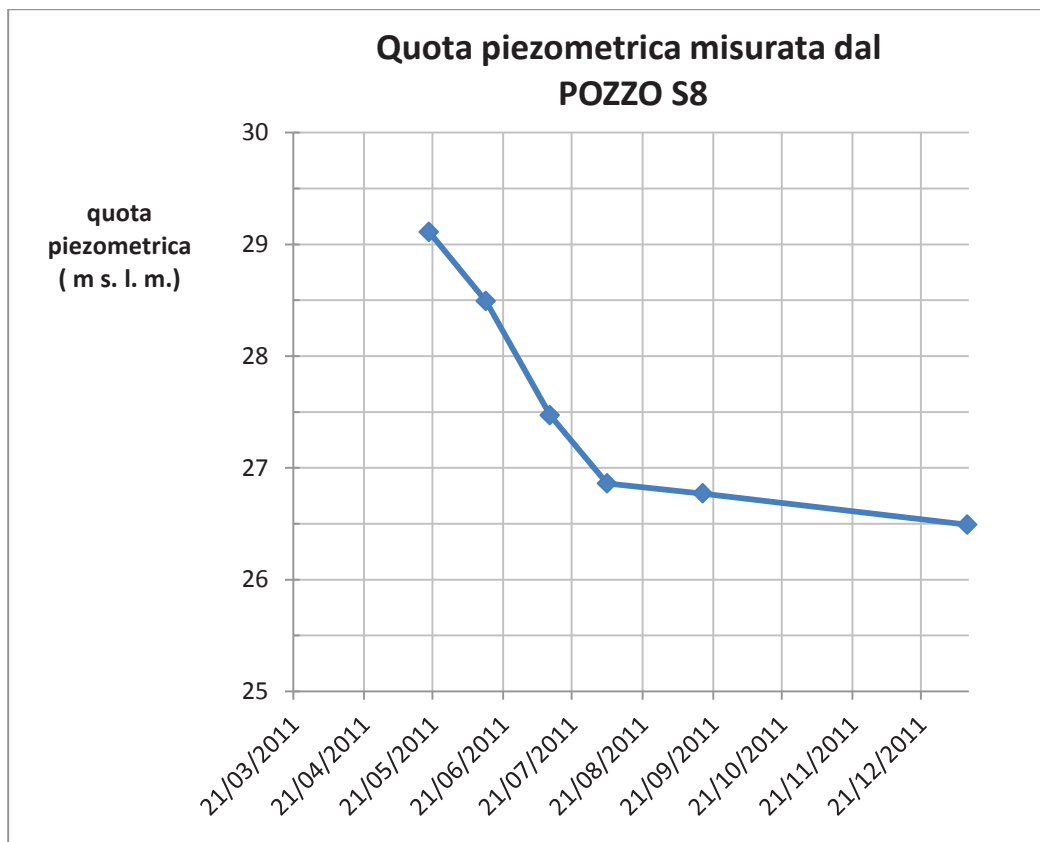


Fig. 4. 65 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 11



Fig. 4. 66 – ubicazione “POZZO 11” su cartografia IGM scala 1:25000

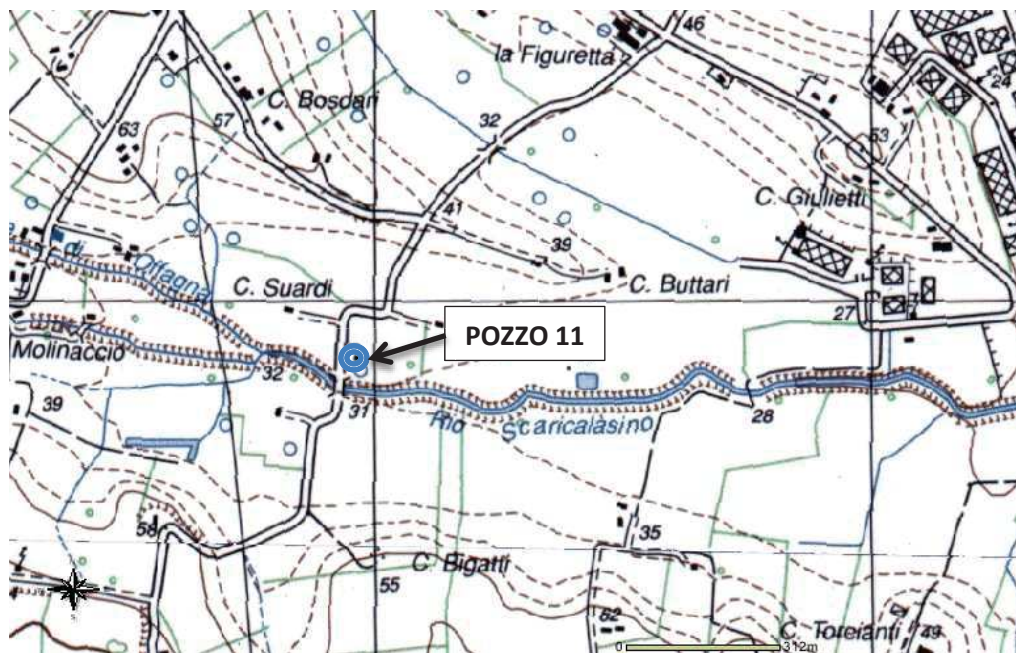


Fig. 4. 67 – ubicazione “POZZO 11” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.61	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	non rilevato	Utilizzo	civile/idropotabile
Profondità	m 6.0	Quota boccapozzo s. l. m.	m 34.404

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	1.86	32.544
30/03/2011	3.125	31.279
13/04/2011	3.28	31.124
20/04/2011	3.48	30.924
28/04/2011	3.54	30.864
19/05/2011	3.8	30.604
13/06/2011	3.97	30.434
11/07/2011	4.35	30.054
05/08/2011	4.72	29.684
16/09/2011	4.88	29.524
10/01/2012	4.57	29.834

tabella 4. 17 - letture livelli piezometrici e quote assolute



Fig. 4. 68 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 12



Fig. 4. 69 – ubicazione “POZZO 12” su cartografia IGM scala 1:25000

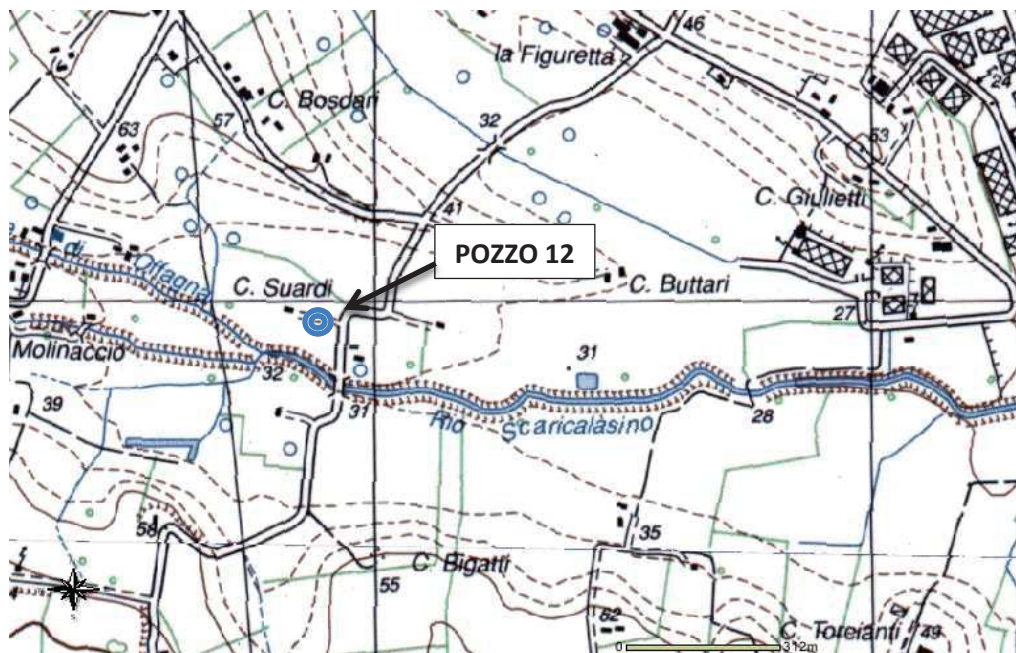


Fig. 4. 70 – ubicazione “POZZO 12” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.68	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	m 1.1	Utilizzo	non specificato
Profondità	m 10.9	Quota boccapozzo s. l. m.	m 34.671

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	2.72	31.951
30/03/2011	2.7	31.971
13/04/2011	2.68	31.991
20/04/2011	2.8	31.871
28/04/2011	2.92	31.751
19/05/2011	3.19	31.481
13/06/2011	3.47	31.201
11/07/2011	3.82	30.851
05/08/2011	4	30.671
16/09/2011	4.14	30.531
10/01/2012		

tabella 4. 18 - letture livelli piezometrici e quote assolute

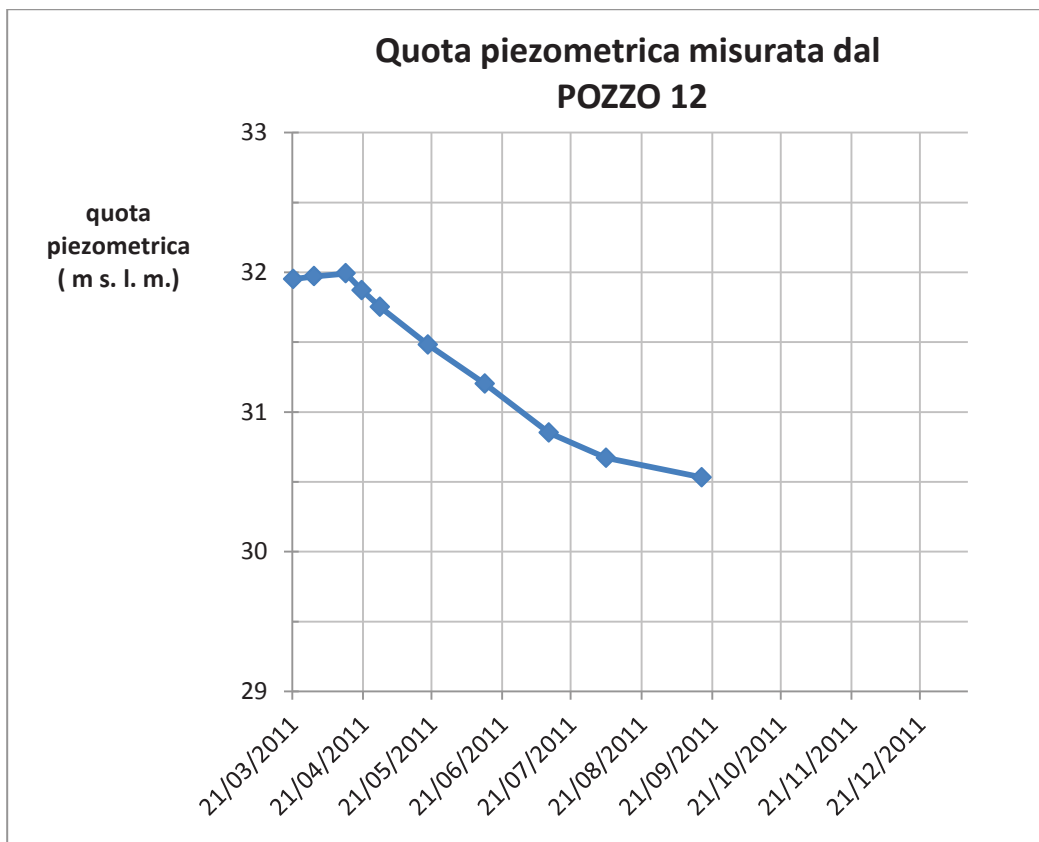


Fig. 4. 71 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 14



Fig. 4. 72 – ubicazione “POZZO 14” su cartografia IGM scala 1:25000

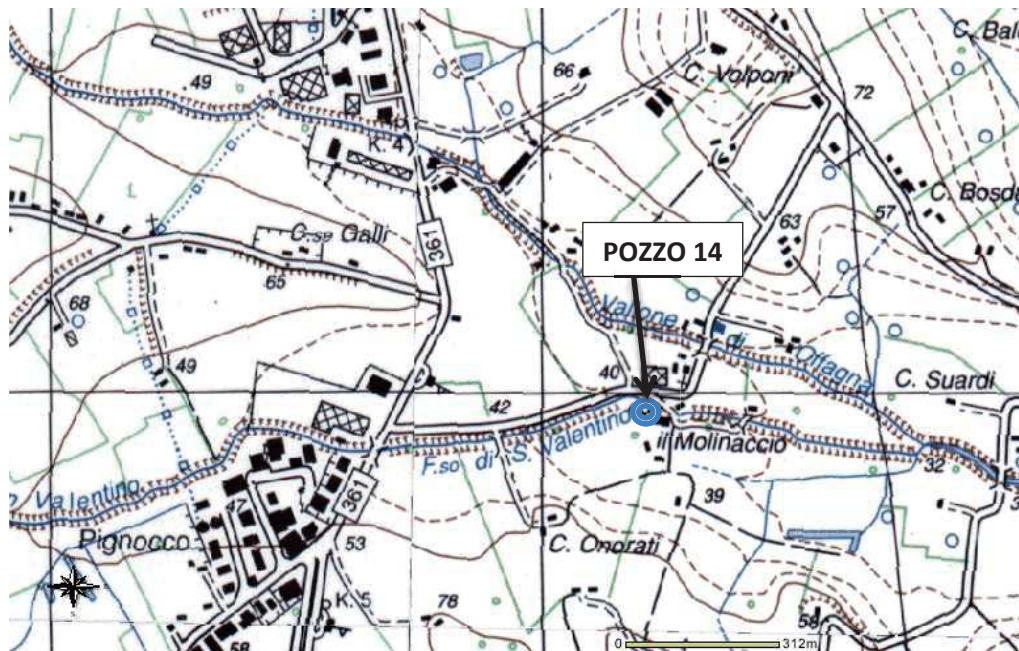


Fig. 4. 73 – ubicazione “POZZO 14” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 0.72	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	non rilevato	Utilizzo	civile/industriale
Profondità	m 6.0	Quota boccapozzo s. l. m.	m 40.077

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	3.63	36.447
30/03/2011	3.72	36.357
13/04/2011	3.94	36.137
20/04/2011	4.12	35.957
28/04/2011	4.21	35.867
19/05/2011	4.54	35.537
13/06/2011	4.46	35.617
11/07/2011	5.19	34.887
05/08/2011	4.79	35.287
16/09/2011	6.24	33.837
10/01/2012	4.59	35.487

tabella 4. 19 - letture livelli piezometrici e quote assolute

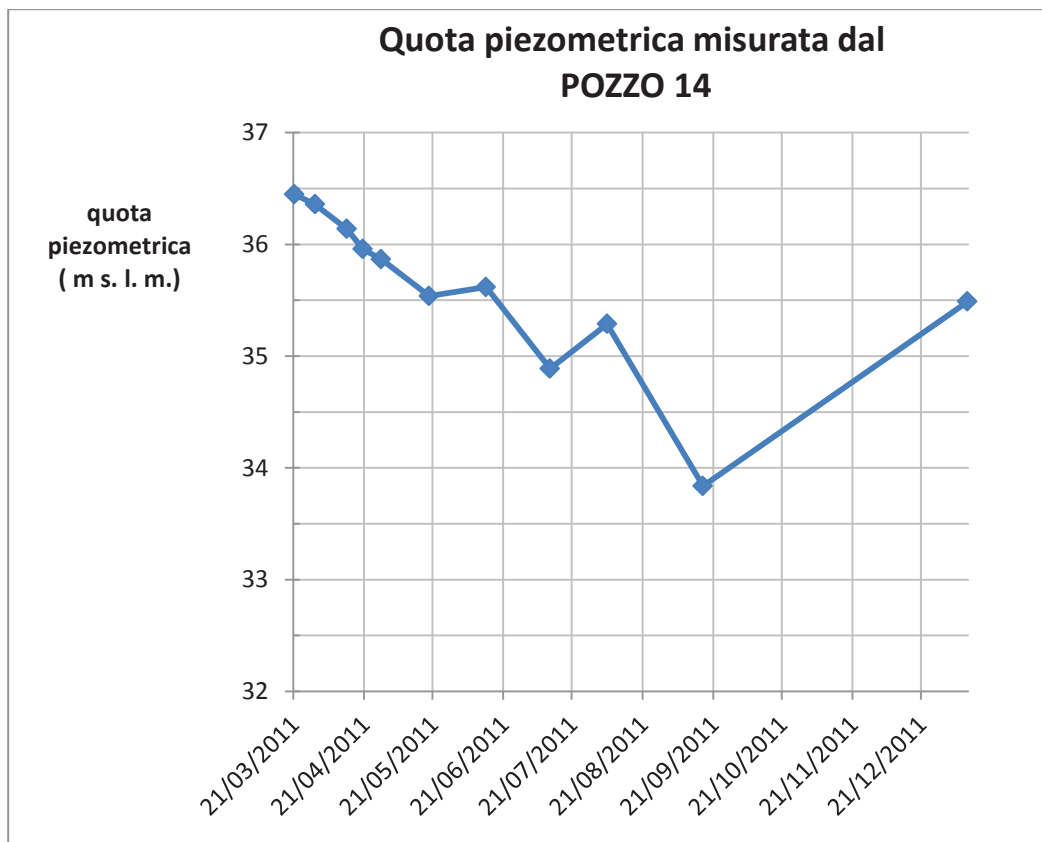


Fig. 4. 74 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

SCHEDA POZZO 14bis



Fig. 4. 75 – ubicazione “POZZO 14bis” su cartografia IGM scala 1:25000

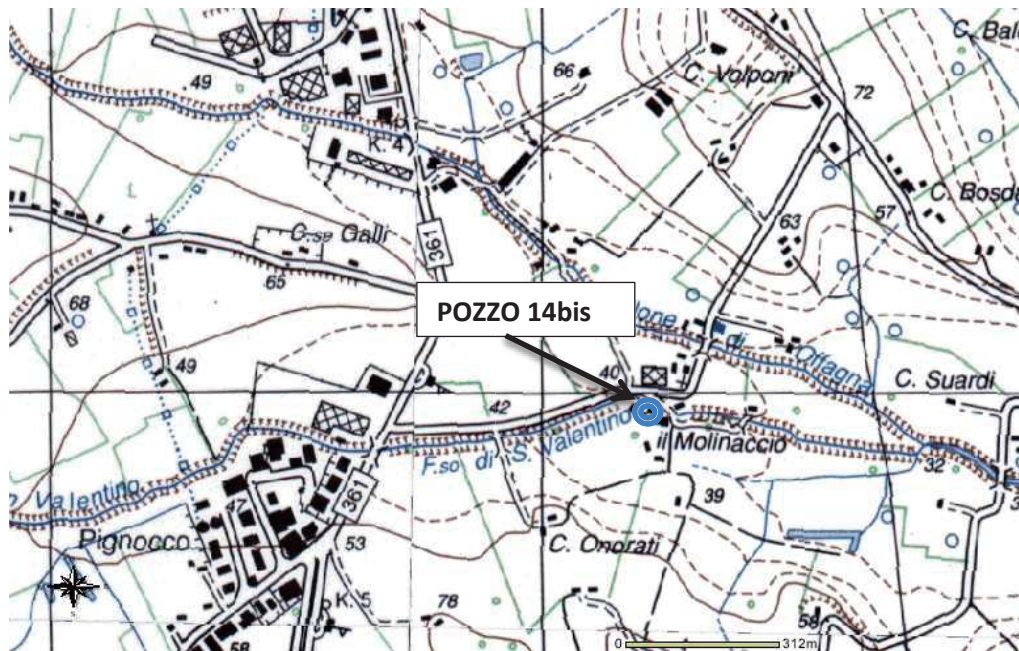


Fig. 4. 76 – ubicazione “POZZO 14bis” su ingrandimento cartografia IGM

Altezza boccapozzo da p.c.	m 1.25	Materiale costruttivo	calcestruzzo
Diametro	non rilevato	Utilizzo	civile/industriale
Profondità	non rilevata	Quota boccapozzo s. l. m.	m 38.49

RILIEVO PIEZOMETRICO

DATA	PROFONDITÀ FALDA DA BP. (m)	QUOTA PIEZOMETRICA (m s. l. m.)
21/03/2011	3.01	35.48
30/03/2011	3.14	35.35
13/04/2011	3.28	35.21
20/04/2011	3.27	35.22
28/04/2011	3.27	35.22
19/05/2011	3.32	35.17
13/06/2011	3.41	35.08
11/07/2011	3.5	34.99
05/08/2011	3.52	34.97
16/09/2011	3.68	34.81
10/01/2012	3.43	35.06

tabella 4. 20 - letture livelli piezometrici e quote assolute

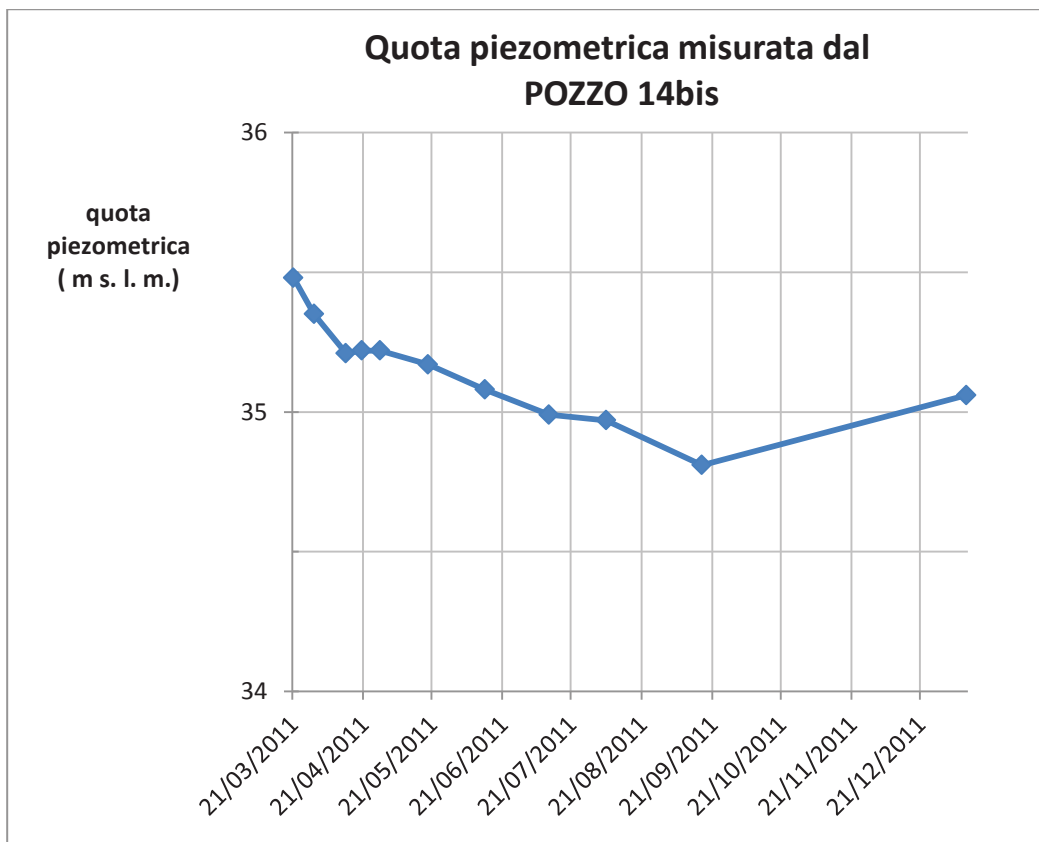


Fig. 4. 77 - grafico variazione della quota piezometrica (elaborazione Excel)

4.2.4 Costruzione di carte a curve isopiezometriche

La costruzione e l'interpretazione di carte a curve isopiezometriche sono di fondamentale importanza per la comprensione di molti fenomeni idrogeologici, tra i quali, nel caso specifico, la possibilità di studiare il rapporto falda – fiume.

La carta consente di rappresentare graficamente la morfologia della superficie della falda interpolando le quote piezometriche riferite al livello del mare. Ogni curva isopiezometrica, in modo analogo a quanto succede per le curve di livello o isoipse, è una linea che unisce tutti i punti aventi uguale quota piezometrica.

Per ricostruire la morfologia della superficie piezometrica è necessario eseguire un rilevamento idrogeologico dell'area in esame mediante il censimento dei punti d'acqua significativi e le misure dei livelli piezometrici, queste ultime effettuate nel minore tempo possibile ovvero nell'arco di una stessa giornata (Celico, 2003).

Raccogliendo tali informazioni è possibile desumere il percorso delle acque sotterranee e interpretarne gli aspetti salienti, in seguito alla costruzione del reticolo di deflusso: una maglia formata dalle idroisoipse, o curve isopiezometriche, e dalle linee di flusso, o linee di corrente della falda, tracciate ortogonalmente alle precedenti lungo la linea di massima pendenza e verso le quote piezometriche minori; infatti, il flusso sotterraneo si sviluppa da zone a carico idraulico maggiore verso quelle a carico idraulico minore.

Tracciamento delle idroisoipse

Su una carta contenente l'ubicazione dei pozzi o punti d'acqua censiti, dai quali si è misurata la quota della superficie della falda, si tracciano dei segmenti che uniscano gli stessi, in modo da formare una serie di triangoli. Sui lati di tali triangoli vanno individuati i punti di passaggio delle curve isopiezometriche, ricavati geometricamente secondo la proporzione:

$$\Delta_{AB} : \Delta_{IB} = D_{AB} : x$$

D_{AB} = distanza tra i due punti d'acqua A e B , di cui è nota la quota piezometrica;

Δ_{AB} = differenza tra la quota piezometrica del punto A e quella del punto B ;

Δ_{IB} = differenza tra la quota piezometrica del punto I (dal quale deve passare la generica curva di quota prefissata) e quella del punto B ;

calcolando x coincidente con la distanza IB si può posizionare in pianta il punto I dal quale deve passare la curva isopiezometrica di quota prefissata.

La Fig. 4.78 mostra un esempio di costruzione di una carta a curve isopiezometriche a partire dalla triangolazione geometrica dei punti quotati; in essa sono riportate anche

le linee di flusso ortogonali alle idroisoipse, nonché gli spartiacque sotterranei dai quali le linee di corrente divergono e gli assi di drenaggio preferenziale verso i quali le linee di flusso convergono.

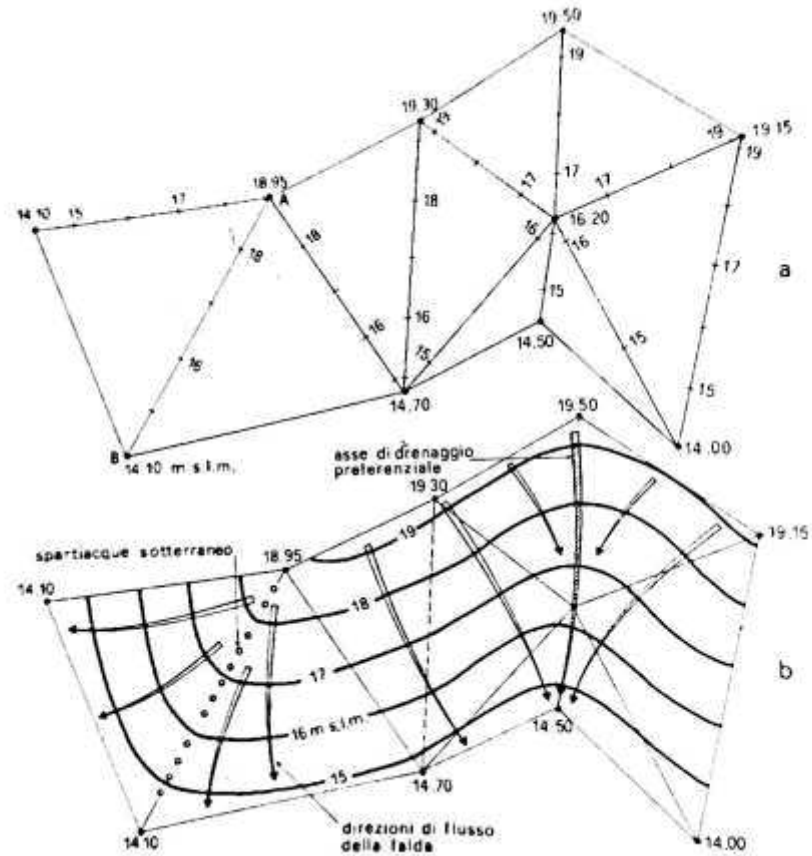


Fig. 4. 78 – esempio di costruzione di una carta a curve isopiezometriche (Celico, 1986)

Questa procedura geometrica può essere eseguita mediante software di disegno i quali consentono, attraverso una funzione di interpolazione, di unire tutti i punti a uguale quota piezometrica con una linea curva.

Tramite il comando SPLINE il software crea una curva regolare che passa attraverso o in prossimità di un insieme di punti che influenzano la forma della curva.

Per default una spline è una serie di segmenti di curva cui è stato applicato un raccordo diffuso di polinomiali di grado 3 (o cubico). Queste curve tecnicamente si chiamano NURBS: B-Spline razionali non uniformi (www.knowledge.autodesk.com).

La morfologia della superficie di falda, però, è condizionata da molteplici fattori: litologia, morfologia, stratigrafia, numero di punti d'acqua rilevati e loro distribuzione, presenza di fiumi drenanti o alimentanti ecc.; per questo motivo raramente la sua costruzione può essere affidata a considerazioni di carattere esclusivamente geometrico.

È necessario, quindi, interpretare la carta sulla base della conoscenza dell'idrogeologia del territorio indagato ed eventualmente correggere in modo mirato il risultato ottenuto.

Sulla base dell'andamento delle isopiezometriche e quindi del movimento delle acque sotterranee si possono individuare cinque tipi di acquiferi principali:

- *acquifero a falda piatta*, le isopiezometriche sono parallele ed equidistanti, la loro spaziatura è costante perciò il profilo piezometrico ha pendenza costante e la superficie freatica è un piano;
- *acquifero a falda cilindrica a profilo iperbolico*, le isopiezometriche sono parallele ma non equidistanti e la loro distanza aumenta verso valle perciò il profilo presenta una pendenza che diminuisce via via che si procede nella direzione delle linee di flusso (iperbolico);
- *acquifero a falda cilindrica a profilo parabolico*, le isopiezometriche sono parallele ma non equidistanti e la loro spaziatura diminuisce nella direzione delle linee di flusso perciò la pendenza del profilo aumenta (parabolico);
- *acquifero a falda radiale a filetti divergenti*, le isopiezometriche sono archi di cerchio aperti verso monte e le linee di corrente, che indicano la direzione secondo cui si muove la falda, sono divergenti da una zona di alimentazione situata intorno ad uno spartiacque sotterraneo;
- *acquifero a falda radiale a filetti convergenti*, le isopiezometriche sono archi di cerchio aperti verso valle; le linee di corrente, ortogonali ad esse, sono convergenti verso una zona di drenaggio preferenziale, alimentata dalla falda stessa verso cui, appunto, converge il flusso sotterraneo.

In un acquifero a falda radiale, nei diversi settori compresi tra due linee di flusso, la falda può essere piatta o cilindrica in base alle distanze tra le isopiezometriche.

Assi di drenaggio preferenziale sono costituiti, ad esempio, dai *paleo alvei*: antichi alvei fluviali sovrastati da uno spessore, talvolta anche notevole, di alluvioni ossia materiale via via depositato dal fiume. Essi si trovano in profondità rispetto all'alveo attuale e anche in posizione diversa.

L'interpretazione di una carta piezometrica, quindi, ne può consentire l'individuazione per indirizzare scelte di sfruttamento della risorsa idrica.

Infatti, è preferibile ubicare pozzi utilizzati a scopo idropotabile in corrispondenza dei paleo alvei poiché lo spessore dell'acquifero è maggiore e, essendo più lontani dal corso d'acqua, sono meno soggetti al rischio di inquinamento.

Rapporto tra corso d'acqua superficiale e falda ipogea

L'interazione tra i due elementi può avvenire prevalentemente attraverso due modalità di dispersione: nella prima si instaura un flusso d'acqua di falda attraverso il letto del fiume, nella seconda le acque superficiali filtrano verso la falda.

La direzione del flusso è legata al gradiente idraulico che si instaura tra il livello idrico del fiume e l'altezza piezometrica nell'acquifero. In caso di falda alimentante, si ha un carico idraulico della falda maggiore rispetto a quello del fiume, il flusso è quindi orientato verso il corso d'acqua; in caso di falda drenante, invece, si presenta la situazione opposta e il flusso è uscente dal corso d'acqua.

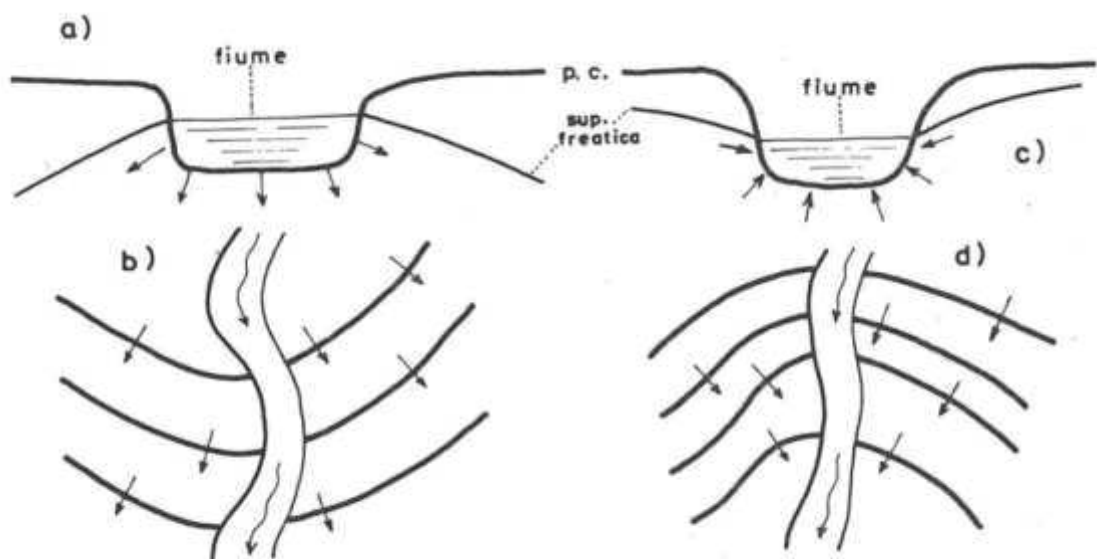


Fig. 4. 79 – schematizzazione del fenomeno della dispersione: a) pelo libero superiore al livello di falda, b) dispersione in falda, c) pelo libero inferiore al livello di falda, d) drenaggio della falda (Rinaldo, 2010)

Lungo lo sviluppo dell'asta fluviale, in generale, è possibile incontrare un'alternanza di queste due situazioni che, comunque, sono caratterizzate da variabilità legate al ciclo idrologico e allo sfruttamento della risorsa idrica. In particolari condizioni idrologiche come, ad esempio, un evento di piena, si può avere un mutamento del comportamento della falda: se in condizioni di magra la falda è di tipo alimentante, l'innalzamento del livello idrico del fiume in piena può determinare un'inversione del gradiente idraulico, portando la falda ad un comportamento di tipo drenante. Questo fenomeno ha un impatto favorevole in termini di rischio idraulico in quanto comporta una riduzione del picco dell'onda di piena.

4.2.5 Misure piezometriche e idrometriche in continuo e loro confronto

Per analizzare nel dettaglio le fluttuazioni della superficie piezometrica nel lungo periodo, è stato strumentato un pozzo, tra quelli già censiti e descritti al capitolo 4.2.3, mediante sensore di tipo SOLINST per la registrazione in continuo del livello piezometrico e un barologger per la compensazione barometrica del dato.

Si è scelto di strumentare il pozzo denominato “pozzo A”, di proprietà dell’impresa “BC Costruzioni” di Osimo, sito nella piana alluvionale del Rio Scaricalasino in destra idrografica in corrispondenza del tratto intermedio del corso d’acqua.

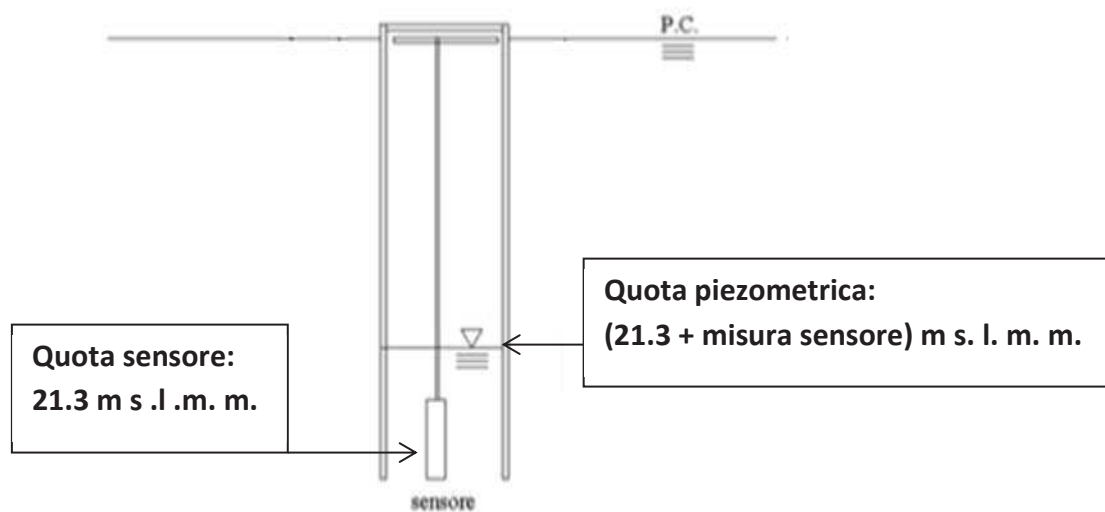


Fig. 4. 80 - schema costruttivo del pozzo strumentato

Le ragioni di tale scelta sono considerazioni sia pratiche sia di carattere idrogeologico di seguito elencate: la possibilità di accesso e il consenso da parte dei proprietari; la conoscenza delle caratteristiche costruttive e stratigrafiche del pozzo data la sua recente costruzione; la maggiore probabilità di intercettare il materasso alluvionale del Rio Scaricalasino, condizione che si verifica quanto più il pozzo è situato nelle vicinanze del corso d’acqua e qualora questo non raggiunga profondità elevate che possano intercettare gli acquiferi sottostanti e quindi le falde non in rapporto con il fiume; infine, il fatto di non subire l’influenza, dal punto di vista piezometrico, della piana alluvionale del fiume Aspio, problema che si verifica man mano che si procede verso la confluenza Scaricalasino – Aspio.

Il pozzo, in alcuni periodi dell’anno, viene utilizzato per i prelievi idrici necessari all’attività dell’impresa. Questi, salvo casi rari, avvengono con regolarità all’incirca dalle 4.50 alle 7.30 del mattino, azionati da un timer. Durante la restante parte del giorno si registra poi la risalita della falda con il recupero del livello iniziale. Questa caratteristica denota una grande capacità di portata della falda.

La registrazione delle misure piezometriche, ad intervalli di 15 minuti, ha avuto inizio in data 22 settembre 2011 ed è tutt'ora in corso.

I livelli registrati sono stati elaborati riportando, come mostrato nel grafico di Fig. 4.82, i valori medi orari della quota piezometrica.

In modo analogo, per quanto riguarda la misura in continuo del livello del fiume, si è utilizzato un sensore di livello idrometrico di cui è dotata la stazione di misura ubicata in una sezione prossima alla confluenza Scaricalasino – Aspio, già descritta in precedenza. La ragione della scelta dell'ubicazione della stazione idrometrica risiede, anche in questo caso, nell'accessibilità e poi nel fatto che, nonostante la prossimità alla confluenza, essa non subisce influenza dal punto di vista idrometrico da parte del fiume Aspio.



Fig. 4. 81 – ubicazione pozzo strumentato “POZZO A” (blu) e sensore per la registrazione in continuo dei livelli idrometrici (verde) su ingrandimento carta IGM scala 1:25000

L'obiettivo è quello di mettere a confronto, in un punto e per un periodo di tempo prolungato, le misure della quota piezometrica con le misure della quota idrometrica, per studiare il comportamento della falda, la sua interazione con il corso d'acqua, la variazione di tale interazione durante l'anno idrologico e la risposta del sistema agli eventi meteorici.

Nello specifico, si vuole verificare e quantificare, in una particolare sezione trasversale del corso d'acqua, la differenza di potenziale idraulico Δh , grazie al quale si instaura il meccanismo di filtrazione che permette alla falda di alimentare il fiume o viceversa.

Come mostrato in Fig. 4.81, però, i due punti di rilevamento sono distanziati tra di loro, per questo è necessario riportare le misure di livello idrometrico alla quota di fondo alveo della sezione situata in corrispondenza del pozzo (Quota 21.39 m s.l.m.).

Per fare questa correzione sulle quote idrometriche si ipotizza che, istantaneamente, la corrente abbia un moto uniforme, in altre parole che le grandezze siano costanti nello spazio lungo la direzione del moto, in particolare che il livello idrometrico non vari. Questa assunzione, nel caso di un canale naturale, è ragionevole se la sezione è pressoché costante.

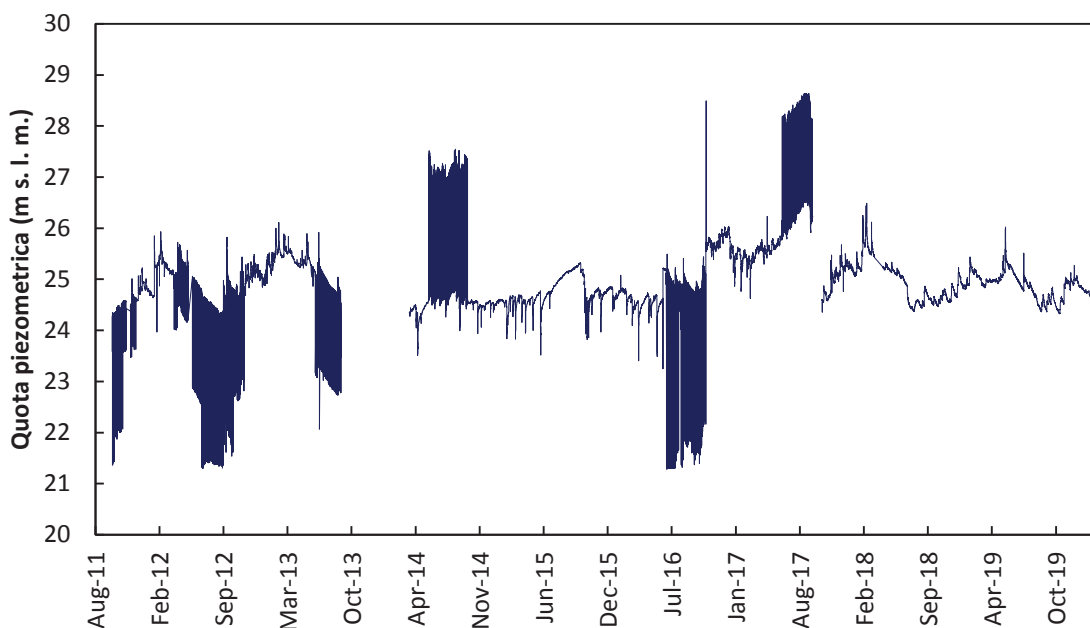


Fig. 4. 82 – grafico dei livelli piezometrici orari registrati dal 22/09/11 al 25/02/20

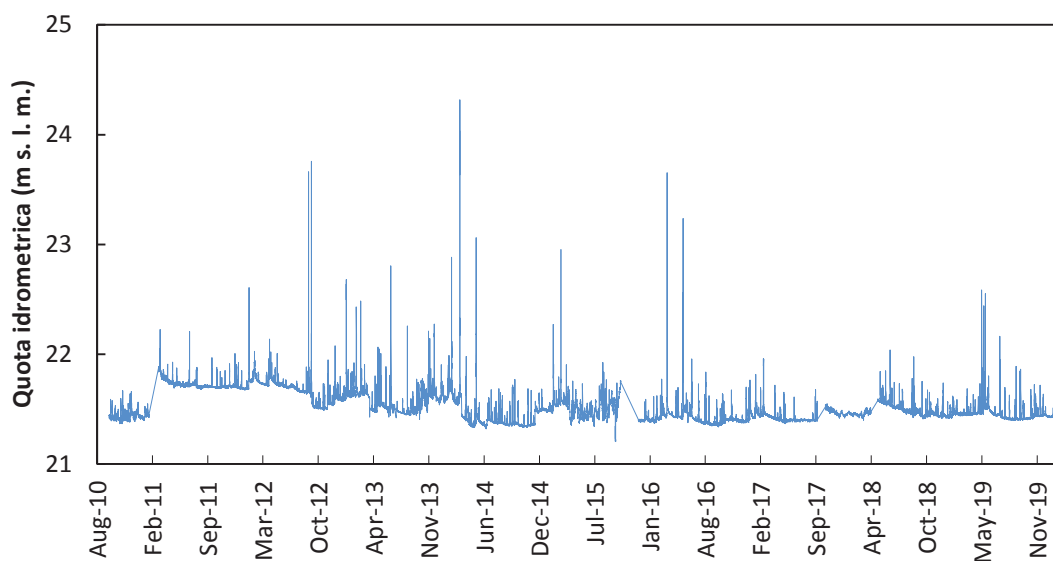


Fig. 4. 83 – grafico dei livelli idrometrici registrati dal 13/09/10 al 25/02/20

4.3 Rilievo delle sezioni fluviali

Per studiare il comportamento con cui la rete idrica provvede al deflusso delle portate, è utile eseguire una modellazione idraulica del corso d'acqua in esame.

Al fine di acquisire le informazioni utili a definire il valore dei parametri da inserire nei modelli, si è reso necessario compiere una ricognizione dell'intero tratto fluviale del Rio Scaricalasino e di buona parte dei due fossi da cui esso ha origine; durante la stessa sono stati osservati il tipo e la granulometria dei materiali di cui è prevalentemente costituito l'alveo, nonché il tipo e la densità della vegetazione presente.

È stata rilevata l'esistenza di elementi di ostruzione in alveo, quali manufatti, detriti o tronchi d'albero.

Queste caratteristiche influenzano notevolmente la stima dei coefficienti di scabrezza, i quali rappresentano una misura della resistenza al deflusso e sono una delle variabili da cui maggiormente dipende la risposta idraulica del corso d'acqua.

Si sono evidenziate, poi, zone di erosione e zone di accumulo, sia nel fondo sia nelle pareti dell'alveo.

Infine, è stato possibile osservare i segni del raggiungimento dei livelli di piena dovuti ad eventi accaduti in tempi non lontani rispetto alla ricognizione.

A supporto di quanto appena detto, al termine del paragrafo, è mostrato il materiale fotografico acquisito durante i due sopralluoghi effettuati in data 12 maggio 2011 e 25 giugno 2014.

Per operare una simulazione idraulica, il più accurata possibile, è indispensabile ricostruire l'effettiva conformazione geometrica e morfologica dell'alveo del corso d'acqua, eseguendo il rilievo di alcune sezioni trasversali tenendo conto della frequenza della loro variazione.

È utile, allora, seguire dei criteri per individuare quali siano le sezioni da rilevare.

In linea generale, vanno considerate le sezioni poste in corrispondenza dei seguenti elementi (Murachelli e Riboni, 2010):

- principali ostacoli al deflusso della corrente, quali ponti e tombini;
- strutture longitudinali, quali scolmatori;
- strumenti di misura idrometrica per i quali siano disponibili serie storiche e dati di piena;
- rilevati stradali e ferroviari;
- sensibili variazioni della larghezza della sezione di deflusso, della geometria della stessa o della pendenza di fondo alveo;
- variazioni delle caratteristiche di scabrezza;
- presidi idraulici longitudinali quali arginature;
- sezioni immediatamente a monte e a valle dell'immissione di affluenti;

- sezioni in cui possono verificarsi condizioni di altezza critica della corrente, come in corrispondenza di salti di fondo e briglie;
- limite di monte e di valle di ciascun ramo del reticolo idrografico.

Pertanto, nell'ambito delle indagini in campagna, si è provveduto al *rilievo batimetrico* delle sezioni trasversali mediante fettuccia metrica (Fig. 4.84) disposta in orizzontale in prossimità della sommità dell'alveo. In questo modo essa fornisce la larghezza della sezione e costituisce il riferimento per le misure, in verticale, delle profondità dell'alveo eseguite con un'asta metrata, o stadia (Fig. 4.85), a distanze scelte in base alla forma della sezione stessa. Mediante livello su treppiede si eseguono le letture sulla stadia (Fig. 4.86).

Per il rilievo delle sezioni in corrispondenza dei ponti, invece, si è preso come riferimento orizzontale l'impalcato del ponte stesso.



Fig. 4. 84 – fettuccia metrica

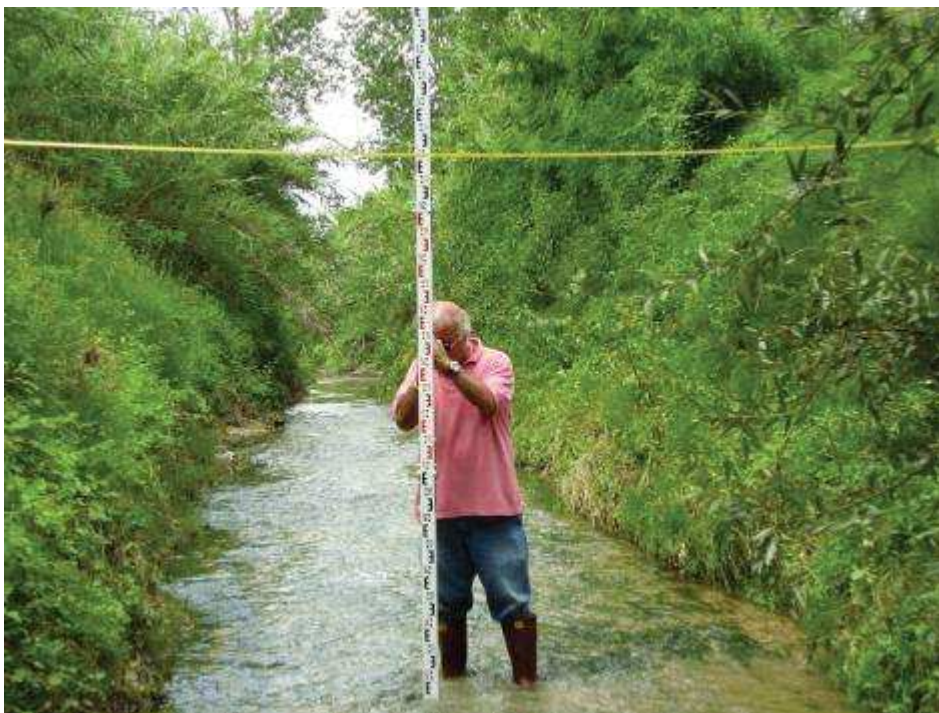


Fig. 4. 85 – rilievo batimetrico della sezione mediante fettuccia e stadia



Fig. 4. 86 – lettura eseguita mediante livello

Le sezioni di cui si è eseguito il rilievo sono ubicate secondo quanto indicato in figura 4.87 e sono:

1. sezione situata a circa 20 m dalla confluenza Scaricalasino – Aspio e a circa 100 m dalla sezione 2, si trova nelle vicinanze di una abitazione e in quel punto il corso d’acqua presenta una arginatura;
2. sezione rilevata in corrispondenza del ponte e ubicata nei pressi della stazione di misura;
3. sezione in corrispondenza del ponte della rete ferroviaria;
4. sezione sovrastata dal ponte della strada statale SS16;
5. sezione in corrispondenza del ponte “Pio La Torre”;
6. sezione ortogonale al pozzo strumentato “POZZO A”, rilevata a 28.2 m a monte della confluenza di un piccolo canale di scolo che si immette nello Scaricalasino in destra idrografica;
7. sezione in corrispondenza di un ponte su Via Sbrozzola situato nelle vicinanze di un circolo ippico in cui è presente l’asta idrometrica denominata in precedenza del “ponte maneggio” ;
8. sezione del Vallone di Offagna in corrispondenza del ponte in via Molinaccio (Fig. 4.88), in cui è posizionata un’asta idrometrica;
9. sezione sul Fosso San Valentino nella quale è situata un’asta idrometrica; essa si trova al di sotto di un piccolo ponte che, da via Molinaccio, permette l’attraversamento del fosso stesso (Figg. 4.89 e 4.90).



Fig. 4. 87 – carta IGM scala 1:25000 su cui sono riportate (in rosso) le sezioni oggetto del rilievo

Per ogni sezione, le misure effettuate sono state riportate in modo da correlare, a partire da uno zero di riferimento, le distanze e le altezze corrispondenti.

Di ogni punto, individuato da questa coppia di valori, è stata calcolata la quota riferita al livello del mare, a partire dalle quote di fondo alveo misurate durante il rilievo topografico.

Successivamente le coordinate dei punti che descrivono la morfologia delle sezioni sono state inserite all'interno del modello idraulico, quest'ultimo consente, mediante interpolazione, di ricostruire la geometria dell'intero tratto fluviale.

Di seguito, al fine di valorizzare un metodo di lavoro oggi superato dall'utilizzo dei software, sono mostrati i disegni eseguiti a mano libera delle sezioni 8 e 9.

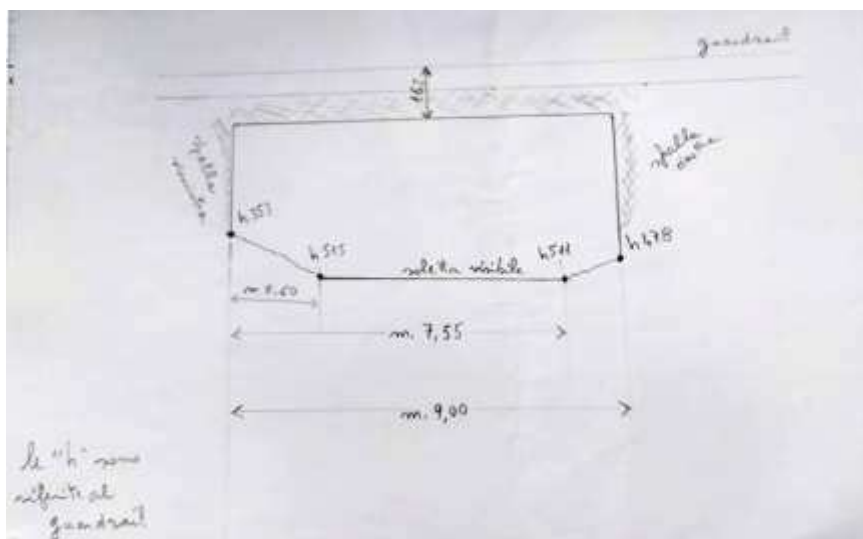


Fig. 4. 88 – disegno della sezione n. 8, indicativa del metodo di esecuzione del rilievo (Tomassoni, 2011)

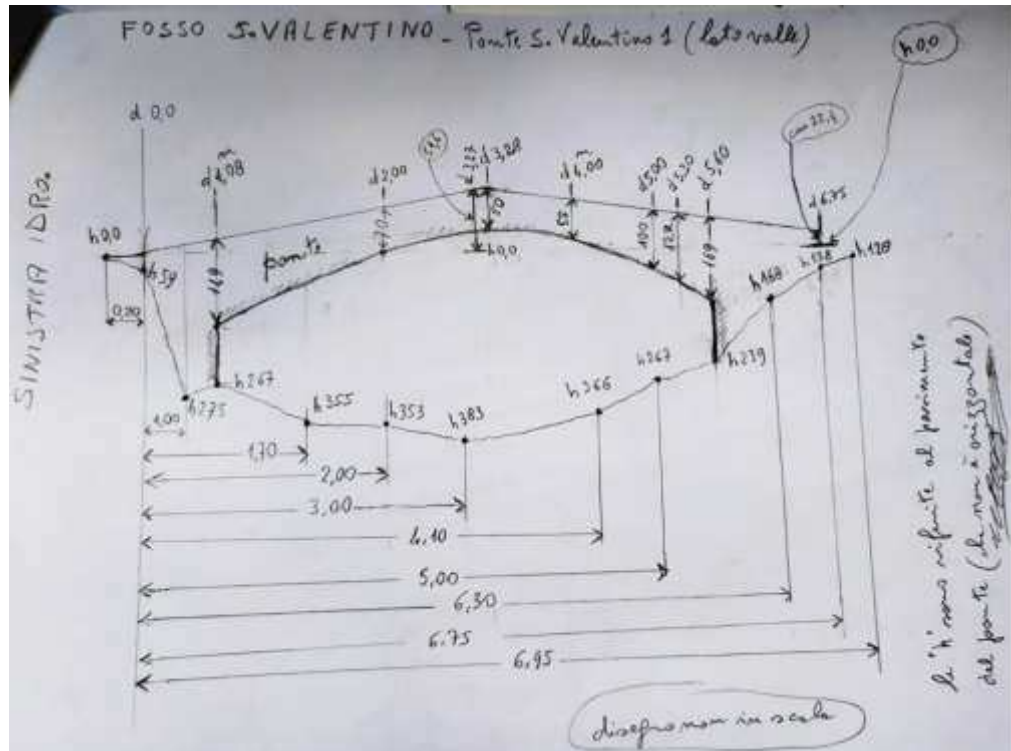


Fig. 4. 89 – riproduzione della sezione n. 9 e dell’ impalcato del ponte (Tomassoni, 2011)



Fig. 4. 90 – foto del ponte che, da via Molinaccio, permette l’attraversamento del fosso San Valentino in corrispondenza della sezione n. 9

Infine, si riportano una serie di immagini fotografiche acquisite durante le ricognizioni dell'alveo del corso d'acqua che ne mostrano alcuni elementi significativi.

- Fenomeni di erosione e smottamenti delle pareti d'alveo e granulometria del materiale solido trasportato durante la piena del marzo 2011, nei pressi del ponte su via Sbrozzola (foto 12/05/11)



- Eterogeneità granulometrica delle alluvioni (foto 12/05/11)





- Filtrazione verso il corso d'acqua (foto 12/05/11)



- Presenza di rifiuti e materiali trasportati in superficie dalla corrente che danno indicazione riguardo al livello idrometrico raggiunto durante la piena (foto 12/05/11)



- Confluenza tra Fosso San Valentino e Vallone di Offagna (foto 12/05/11)



- Fosso San Valentino e accumulo di materiale solido alla confluenza (foto 12/05/11)



- Vallone di Offagna: tratto che non ha subito modifiche dal punto di vista morfologico in seguito alla piena, in cui è visibile l'ampiezza della sezione, la densità della vegetazione e la tipologia dei materiali del fondo alveo (foto 12/05/11)



- Soletta in calcestruzzo armato nella sezione n.8 in corrispondenza del ponte sul Vallone di Offagna ed erosione al piede della stessa (foto 12/05/11)



- Morfologia dell'alveo nel tratto intermedio del Rio Scaricalasino (foto 25/06/14)



- Ostruzione dovuta a detriti accumulatisi, in seguito ad eventi di piena, attorno ad un attraversamento trasversale di una rete idrica (foto 25/06/14)



- Venute idriche, probabilmente inquinate, in sinistra idrografica, poco a monte del ponte "Pio La Torre" ubicato in corrispondenza della sezione n. 5 (foto 25/06/14)



- Densa vegetazione nel tratto terminale del Rio Scaricalasino nei pressi della stazione di misura (foto 25/06/14)



4.4 Modelli di calcolo applicati all'idraulica fluviale

I sistemi idrografici naturali, intesi sia come bacini imbriferi sia come corsi d'acqua, presentano caratteristiche fisiche e morfologiche estremamente variabili e irregolari. Per tale ragione l'analisi dei diversi parametri, che consentono di definire le dinamiche idrologiche e idrauliche di un sistema, implica il ricorso all'applicazione iterativa di leggi fisiche e matematiche. Tali elaborazioni, che generano una grande quantità di dati, difficilmente sono gestibili senza fare ricorso ad un modello di calcolo.

I modelli di simulazione numerica trovano applicazione come strumenti di supporto per la risoluzione di numerose problematiche quali la progettazione di opere idrauliche, la verifica idraulica di infrastrutture interferenti con corsi d'acqua, la pianificazione territoriale, la programmazione di interventi di protezione civile legati al rischio idrogeologico, l'implementazione di sistemi di previsione e allerta, studi di impatto ambientale e così via.

Tuttavia, poiché i sistemi naturali oggetto delle simulazioni sono molto complessi e anche mutevoli nel tempo, le analisi numeriche non possono prescindere da una valutazione critica dei risultati ottenuti. Essa deriva dalla conoscenza e dall'esperienza diretta del territorio in esame nonché da una raccolta dati, il più possibile, precisa e dettagliata.

I modelli utilizzati e descritti di seguito sono due.

Il primo è un modello idraulico, che consente di simulare e analizzare il comportamento di una corrente a pelo libero lungo uno o più rami di un corso d'acqua, includendo gli eventuali manufatti posti sia trasversalmente sia longitudinalmente, a partire dall'immissione di dati idrologici e di note condizioni al contorno.

Il secondo è un programma di simulazione idrologica che può fornire i dati di input del modello idraulico precedente dal momento che, a partire dalle caratteristiche naturali e antropiche del bacino in esame e delle precipitazioni di riferimento, si propone di trasformare gli afflussi meteorici in deflussi, determinando i valori di portata originati da eventi pluviometrici effettivamente verificatisi o di progetto.

4.4.1 Modello idraulico HEC – RAS

Il codice di calcolo HEC - RAS è un software sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineer (USACE) per l'analisi di reti di canali naturali ed artificiali attraverso il calcolo dei profili del pelo libero in condizioni di moto permanente e/o moto vario monodimensionale.

Il programma è in grado di effettuare l'analisi di più profili contemporaneamente, prevedendo la possibilità di inserire punti singolari (ponti, sottopassi, ecc.) e portate con vari tempi di ritorno, è possibile, inoltre, un loro confronto per sovrapposizione.

Il programma è attualmente il codice di simulazione monodimensionale più diffuso ed utilizzato per la risoluzione di una svariata serie di problemi e situazioni idrauliche.

Di seguito sono descritte, per sommi capi, le operazioni da eseguire per impostare una simulazione con il software HEC – RAS.

Scelta del tipo di simulazione

La simulazione in moto vario consente di analizzare la risposta idrodinamica del reticolo ad una sollecitazione, variabile nel tempo, delle grandezze idrauliche; consente di descrivere in maniera più dettagliata l'evolversi dei livelli al variare della portata ma nel contempo richiede un maggiore dettaglio dei dati immessi.

Una simulazione statica, in moto permanente, è un'elaborazione più semplice e rapida che richiede la disponibilità di una minore quantità di dati (solo i valori al colmo dell'idrogramma di piena e del livello idrometrico). Fornisce risultati conservativi nell'ambito della progettazione di opere e infrastrutture perché non tiene conto degli effetti della laminazione delle piene del corso d'acqua. Per lo stesso motivo, quindi, non è adeguata nel caso si debbano progettare opere, quali scolmatori o casse d'espansione, le quali hanno la finalità di regolare e controllare la laminazione delle portate intervenendo sui volumi dell'onda di piena.

Immissione dei dati geometrici

Si fornisce lo schema della rete idrica, in prima approssimazione, semplicemente disegnano i rami, oppure introducendone le coordinate dedotte da cartografia, al fine di confrontare o esportare i dati su planimetrie georeferenziate.

È necessario, poi, definire la localizzazione e la geometria delle sezioni trasversali, le quali sono numerate e immesse da valle verso monte, mentre le coordinate x e y dei punti che definiscono la morfologia di ogni singola sezione vanno introdotte dalla sponda sinistra a quella destra.

Di seguito si inseriscono le distanze parziali delle singole sezioni da quella immediatamente a valle, rispettivamente per le tre parti in cui è diviso l'alveo, ovvero golena sinistra, canale centrale e golena destra. Sarà opportuno che questi tre valori siano differenti nel caso in cui due sezioni successive presentino tra loro una marcata inclinazione, al fine di ottenere una migliore stima delle perdite di carico.

Particolare attenzione si deve alla definizione dei coefficienti di scabrezza (*Manning's n value*) i quali, rappresentando una delle variabili da cui maggiormente dipende la risposta idraulica del corso d'acqua, sono molto importanti per ottenere una buona simulazione numerica.

Il valore di scabrezza risulta di difficile determinazione perché è molto variabile lungo il percorso del fiume e dipende da molti fattori che sono mutevoli nel tempo, basti

pensare, ad esempio, alla stagionalità con cui si evolve la vegetazione presente in alveo o alle trasformazioni morfologiche provocate da particolari eventi di piena.

Il valore verosimile dei coefficienti di scabrezza, per le singole porzioni di ciascuna sezione trasversale, è dedotto da formule empiriche o tabelle che forniscono un primo valore di tentativo che dovrà essere calibrato procedendo alla taratura del modello.

Una delle formule empiriche disponibili in letteratura per il calcolo del coefficiente di Manning è l'equazione di Cowan (Murachelli e Riboni, 2010), ottenuta dall'osservazione di corsi d'acqua di medio-piccole dimensioni. La formula si presenta come una somma di contributi alla scabrezza che tiene conto della resistenza fornita dal materiale presente in un alveo rettilineo con andamento lineare e uniforme, del contributo dato dall'irregolarità della superficie dell'alveo, del valore dovuto alle variazioni di forma e dimensioni delle sezioni trasversali, della presenza di vegetazione, del valore relativo alle ostruzioni in alveo, moltiplicati per un fattore di correzione per alveo meandriforme:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5$$

Tabella 4. 21 – Intervallo dei valori dei coefficienti dell'equazione di Cowan per la determinazione della scabrezza (Murachelli e Riboni, 2010)

Condizioni del corso d'acqua		Valori	
<i>Materiale</i>	Terra	n_0	0.020
	Roccia affiorante		0.025
	Ghiaia fine		0.024
	Ghiaia grossolana		0.028
<i>Grado di irregolarità</i>	Regolare	n_1	0.000
	Minimo		0.005
	Moderato		0.010
	Elevato		0.020
<i>Variazioni della sezione di deflusso</i>	Graduali	n_2	0.000
	Alternanze occasionali		0.005
	Alternanze frequenti		0.010 - 0.015
<i>Effetti di ostacoli al deflusso</i>	Trascurabili	n_3	0.000
	Minimi		0.010 - 0.015
	Apprezzabili		0.020 - 0.030
	Elevati		0.040 - 0.060
<i>Grado di ricoprimento vegetale</i>	Basso	n_4	0.005 – 0.010
	Medio		0.010 – 0.025
	Elevato		0.025 – 0.050
	Molto elevato		0.050 – 0.100
<i>Grado di meandrazione</i>	Minimo	m_5	1.000
	Medio		1.150
	Elevato		1.300

Altri parametri da configurare sono i coefficienti di contrazione ed espansione che caratterizzano il flusso tra due sezioni successive. Tali coefficienti hanno un peso molto inferiore, sulle perdite di carico, rispetto a quello dovuto all'attrito quantificato dal coefficiente di scabrezza, tuttavia, assumono importanza in presenza di ponti o tombini.

Dati idrologici

Il programma richiede l'immissione, come dati di input, di un valore di portata per ogni profilo che si richiede di simulare; di default il programma colloca tale valore di portata alla sezione di monte di ciascun ramo della rete; questo significa che, in presenza di immissioni lungo il corso d'acqua, è necessario introdurre ulteriori valori di portata da simulare da una certa sezione in poi.

Condizioni al contorno

Una volta definito l'andamento delle portate, si devono introdurre le condizioni al contorno, a monte o a valle del sistema. Queste sono utilizzate dal programma per calcolare i profili di rigurgito della corrente mediante l'integrazione delle equazioni del moto e sono necessarie, quindi, a stabilire il livello del pelo libero dell'acqua nelle sezioni di interesse.

In regime di corrente lenta la condizione al contorno richiesta è quella di valle, viceversa, in condizioni di corrente veloce la condizione al contorno da fornire è quella di monte. In condizioni di moto misto saranno necessarie entrambe.

Le condizioni al contorno che si possono impostare sono le seguenti:

- KNOWN WATER SURFACE ELEVATION: quota idrometrica nota, che può riferirsi al livello noto di un corpo idrico in cui si immette il corso d'acqua;
- CRITICAL DEPTH: si immette un valore di altezza critica nota, nel caso in cui la condizione al contorno corrisponda al passaggio per uno stramazzo;
- NORMAL DEPTH: si impone l'altezza di moto uniforme, calcolata specificando la cadente piezometrica, o pendenza della linea dell'energia della corrente, nella sezione di interesse;
- RATING CURVE: si fornisce come input la scala di deflusso alla sezione di interesse specificando le quote idrometriche corrispondenti a diversi valori di portata misurati.

4.4.2 Modello idrologico HEC – HMS

Il modello HEC – HMS (Hydrologic Modelling System) è messo a punto, come il modello precedente, dall'Hydrologic Engineering Center dell'USACE.

Il programma consente di simulare processi di trasformazione afflussi – deflussi, ovvero di quantificare la trasformazione delle piogge in deflussi sulla superficie di un bacino imbrifero e in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo i suoi collettori drenanti.

La sua applicazione si adatta a bacini di ogni dimensione, forma e caratteristiche morfologiche e di uso del suolo.

I diversi moduli del programma consentono di modellare un sistema idrografico e ricavare gli idrogrammi di piena relativi ad una sezione di interesse, attraverso una serie di passaggi:

- definizione degli elementi del sistema idrografico;
- individuazione della metodologia di stima delle perdite di bacino;
- impostazione della trasformazione afflussi – deflussi;
- definizione dei parametri di propagazione dei deflussi;
- analisi meteorologica;
- trasformazione afflussi – deflussi;
- taratura dei parametri idrologici.

Definizione dei componenti del sistema idrografico

Attraverso una serie di operazioni, contenute nel modulo BASIN MODEL, viene definita la caratterizzazione fisica del bacino.

Gli elementi idrologici simulabili sono: sottobacino, confluenza, tratto di corso d'acqua, bacino di invaso o serbatoio, scolmatore, sorgente e pozzo di dispersione. Ciascun elemento viene connesso in una rete ad albero definendo lo schema della rete di deflusso.

Individuazione della metodologia di stima delle perdite di bacino

Il programma consente di stimare le perdite per infiltrazione, ovvero la quota parte della precipitazione che infiltrandosi non dà origine a deflusso superficiale, attraverso l'applicazione di diverse metodologie.

Uno dei metodi più utilizzati per la stima delle perdite iniziali è quello del *curve number (CN)*, sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS).

Tale modello si basa sulla definizione di due parametri: S (mm) che è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione (detto anche capacità di campo) e I_a (mm) che è la perdita iniziale (*Initial abstraction*), ovvero il valore massimo dell'altezza di pioggia che il terreno può trattenere all'inizio del fenomeno piovoso, senza che si verifichi il deflusso superficiale.

Il CN è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 100 che è legato ai primi due da relazioni matematiche e che è funzione della natura del suolo e del tipo di copertura.

Impostazione della trasformazione afflussi - deflussi

Per ciascun bacino o sottobacino considerato, va impostato il metodo di calcolo della trasformazione degli afflussi pluviometrici in deflussi, definendone i parametri caratteristici.

Il modello della corrivazione o metodo cinematico rappresenta bacini montani a regime torrentizio contraddistinti da idrogrammi di piena a rapida crescita e decrescita, caratteristica questa, che ben si adatta a descrivere il comportamento di molti dei bacini idrografici marchigiani e, in particolare, del bacino in esame.

Tale modello ipotizza che la formazione della piena avvenga esclusivamente per trasferimento dei volumi d'acqua che scorrono su una superficie: ogni particella che cade sul bacino si muove lungo la linea di massima pendenza e la sua velocità non dipende dalla pendenza delle altre particelle. La portata totale si ottiene quindi sommando tra loro i contributi elementari che giungono allo stesso istante alla sezione di chiusura.

Il metodo postula che la portata nella sezione terminale cresca in modo lineare nel tempo fino al valore massimo e che da questo decresca linearmente nella fase d'esaurimento.

Il valore della portata massima è legato al rapporto esistente tra la durata della pioggia e il tempo di corrivazione (Da Deppo et al., 2004).

Il tempo di corrivazione del bacino T_c è definito come il tempo necessario alla particella, caduta nel punto idraulicamente più lontano, per raggiungere la sezione di chiusura, esso dipende delle caratteristiche del bacino e non da quelle dell'evento meteorico.

Definizione dei parametri di propagazione dei deflussi

Una volta determinate le caratteristiche del processo di formazione dei deflussi, per ciascun sottobacino, vanno specificati i parametri che regolano la propagazione dei deflussi.

Il metodo *Lag* consente di simulare il trasferimento di un'onda di piena non laminata, introducendo solo un ritardo temporale (lag, appunto) definibile a partire dal tempo di corrivazione del bacino.

Analisi meteorologica

La componente METEOROLOGICAL MODEL del software consente di definire sia i dati di pioggia di riferimento sia quelli concernenti il processo di evapotraspirazione.

Nel caso di analisi di formazione dell'onda di piena di un corso d'acqua, si fa riferimento a intervalli temporali per cui il contributo dell'evapotraspirazione risulta trascurabile ed è possibile omettere la perdita idrologica che ne consegue, lavorando comunque a favore di sicurezza.

Per quanto riguarda i dati di pioggia, possono essere applicati ietogrammi estrapolati dalle misure registrate da una maglia di stazioni pluviometriche sufficientemente fitta,

che ricopra l'area oggetto di studio ed una ristretta fascia ad essa adiacente ed abbia una distribuzione adeguata alla morfologia dei luoghi ed alla loro esposizione alle correnti di aria umida.

Per il calcolo della lama media di precipitazione esistono diverse metodologie; il metodo dei topoieti (Thiessen, 1911) consiste nel determinare graficamente le aree di influenza dei singoli pluviometri.

Per la costruzione dei topoieti, si ubicano, innanzitutto, i punti rappresentativi delle singole stazioni. Questi vengono poi uniti tra loro con dei segmenti. Successivamente dal punto di mezzeria di questi ultimi e perpendicolarmente ad essi, si tracciano degli altri segmenti i quali danno origine al cosiddetto *reticolo di Thiessen*.

Ognuno dei poligoni rappresenta la presunta area di influenza del pluviometro in esso contenuto.

Si parla di area presunta perché la suddivisione del territorio nel modo indicato è tanto più efficace quanto più fitta è la rete di stazioni disponibili e quanto più esse sono ubicate in posizioni tali da rispecchiare le condizioni medie del topoieto corrispondente.

La lama media, riferita a tutto il dominio idrogeologico in esame, si calcola poi mediante una media ponderata sulle aree (Celico, 2003).

Trasformazione afflussi – deflussi

La simulazione idrologica vera e propria, a questo punto, viene eseguita combinando il modello morfologico BASIN MODEL con i dati pluviometrici introdotti nel modello meteorologico METEOROLOGICAL MODEL, introducendo, inoltre, una variabile che consente di definire il tempo per il quale si vuole effettuare la simulazione, nonché l'intervallo temporale in cui viene discretizzato l'idrogramma restituito in output.

Taratura dei parametri idrologici

Una volta eseguita la simulazione idrologica, è possibile tarare i risultati ottenuti, intervenendo manualmente sui valori dei singoli parametri caratteristici del bacino oppure avviando una procedura di ottimizzazione, sulla base di valori di portata realmente registrati durante un evento di riferimento.

4.4.2.1 Applicativo HEC – GeoHMS

Strumento utile, nell'impiego del modello idrologico HEC - HMS, è l'applicativo HEC-GeoHMS che è un'estensione di ArcGIS (ESRI) e costituisce il legame tra l'informazione spaziale e l'informazione idrologica. In altre parole, il GIS produce un database georeferenziato contenente il modello digitale del terreno, la litologia, l'uso del suolo, la distribuzione delle piogge, ecc. HEC-GeoHMS processa questi dati al fine di ottenere informazioni di carattere idrologico come la carta delle direzioni di flusso, la carta delle

aree contribuenti, il reticolo di drenaggio, l'insieme di tutti i sottobacini, ecc. e prepara un certo numero di file di carattere idrologico da importare ed elaborare in HEC-HMS.

Il suo schema di funzionamento si basa su tre fasi principali di elaborazione dei dati cartografici.

- 1) Elaborazione dei dati territoriali: il MENU *Terrain Preprocessing* include una serie di operazioni volte ad elaborare l'informazione territoriale che si ha a disposizione con il modello digitale del terreno, il quale spesso, derivando dalla cartografia, non ha l'adeguata accuratezza. Queste correzioni sono necessarie per estrarre ulteriori informazioni volte all'individuazione del reticolo di drenaggio e delle linee di spartiacque dei bacini e dei sottobacini.
Un tipico errore, spesso presente nei DTM di tipo raster, è la presenza di false depressioni: si tratta di celle che hanno una quota inferiore a tutte le otto celle circostanti non corrispondente alla realtà. Questa anomalia comporta che tutte le linee di flusso che cadono all'interno di queste depressioni non raggiungano la sezione di chiusura designata.
- 2) Estrazione delle informazioni idrologiche: sulla base delle informazioni spaziali già elaborate, si possono estrarre informazioni idrologiche, al fine di creare un progetto in HMS, definendo un particolare punto di controllo relativo ad una sezione di chiusura. Per quel particolare progetto, il software consente di definire meglio la suddivisione dei bacini e le caratteristiche morfologiche del reticolo di deflusso attraverso i MENU *Basin Processing e Basin Characteristics*.
Una volta estratte tutte le caratteristiche dei sottobacini, si può stimare una serie di parametri idrologici come, ad esempio, il tasso di infiltrazione, in termini di curve number, a partire dalle informazioni relative all'uso del suolo, oppure parametri legati ai modelli di propagazione come il tempo di corrvazione. La barra dei parametri idrologici consente di arricchire la tabella degli attributi dei sottobacini e dei rami.
- 3) Preparazione dei dati per HMS: l'applicativo HEC – GeoHMS, infine, consente di generare file di input per il codice HEC – HMS.

CAPITOLO 5

ELABORAZIONE DEI DATI

Come già indicato nei precedenti capitoli, lo studio esposto nel presente lavoro scaturisce dal verificarsi di un evento di piena particolarmente rilevante che ha interessato il Rio Scaricalasino e il territorio del suo bacino idrografico nei giorni 1 e 2 marzo 2011.

A seguito di quell'evento si è proceduto ad un rilievo dettagliato del territorio per comprenderne le caratteristiche dal punto di vista idrogeologico mettendo in atto anche un monitoraggio prolungato della falda acquifera e del fiume.

In questo capitolo, in cui sono descritte le elaborazioni dei dati raccolti, si vogliono mettere in evidenza quattro aspetti:

- la comparazione del livello idrometrico e di quello piezometrico lungo il profilo longitudinale del corso d'acqua;
- la costruzione di carte piezometriche;
- l'osservazione del comportamento della falda acquifera all'interno delle alluvioni acquisito mediante il controllo strumentale di alcuni pozzi situati nelle vicinanze del corso d'acqua e lungo tutto lo sviluppo della piana alluvionale;
- il confronto, per un arco temporale di circa dieci anni, dell'andamento della linea piezometrica e di quella idrometrica in un punto.

5.1 Profilo longitudinale

A partire dai dati di livello idrometrico, registrati lungo il corso d'acqua mediante l'installazione di aste, e dai dati di livello piezometrico, rilevati attraverso il monitoraggio dei pozzi, si è proceduto alla costruzione di un profilo longitudinale allo scopo di confrontare le quote assolute, idrometriche e piezometriche, lungo lo sviluppo del corso d'acqua in due periodi differenti dell'anno idrologico; proponendo, in particolare, un profilo in condizioni di morbida e uno in condizioni di magra, rispettivamente individuate nel mese di aprile e nel mese di settembre.

Lo scopo è di ottenere un riscontro qualitativo e soprattutto quantitativo in merito all'ipotesi, già formulata, di interazione tra la falda acquifera e il corso d'acqua.

Su carta tecnica regionale si sono ubicati i pozzi quotati e le tre aste idrometriche: quella sul vallone di Offagna, quella poco a valle della confluenza tra i due fossi denominata “ponte maneggio” e quella a monte della sezione di chiusura denominata “ST-Stazione di misura”.

Successivamente, si è voluto posizionare i pozzi all’interno del corso d’acqua, proiettando i punti in direzione ortogonale all’asse dell’alveo.

Questo al fine di confrontare le quote assolute idrometriche e piezometriche all’interno dello stesso profilo.

Con questa semplificazione si considera un potenziale idraulico della falda in un punto diverso da quello in cui è stato misurato; tuttavia, l’errore che si commette su L (formula 5.1) è ritenuto accettabile perché i gradienti idraulici che instaurano filtrazioni di questo tipo sono molto molto piccoli e non subiscono variazioni di rilievo per queste distanze.

$$i = \tan \alpha = \frac{\Delta h}{L}$$

(5.1) – Definizione di gradiente idraulico

Inoltre, ciò che interessa valutare è l’esistenza, nonché l’entità, della differenza di potenziale idraulico Δh che genera la filtrazione, ovvero l’interazione e la reciproca alimentazione tra la falda e il fiume.

In Fig. 5.1, a titolo di esempio, è riportato, solo per i pozzi ubicati nel tratto finale del Rio Scaricalasino, quanto eseguito per tutti i pozzi presi in considerazione in questa fase, vale a dire quelli di cui si era eseguita la quotatura del boccapozzo mediante livellazione topografica, a ragione del fatto che il confronto delle quote esige una precisione dell’ordine di grandezza dei centimetri.



Fig. 5. 1 – proiezione dei pozzi lungo l'alveo fluviale

Mediante l'utilizzo di un software di disegno, si è proceduto alla costruzione del profilo longitudinale idrometrico e piezometrico, integrando quello del fondo alveo già costruito in fase di rilievo topografico. In ascissa si sono riportate le distanze, misurate su carta tecnica regionale (scala 1:10000), a cui si trovano le aste idrometriche e i pozzi e, in ordinata, in corrispondenza di tali punti, le quote assolute del livello piezometrico e del livello idrometrico ad una scala 10 volte maggiore per permettere la visualizzazione del grafico stesso.

La linea piezometrica e quella idrometrica si sono ottenute, ovviamente, unendo le quote.

In entrambi i profili si rileva un'impresione in un piccolo tratto situato tra il pozzo C e il pozzo 4 in cui la linea idrometrica si trova al di sotto della linea di fondo alveo, questa incongruenza è dovuta al fatto che si compie un'interpolazione lineare delle quote idrometriche tra l'asta del ponte maneggio e quella della stazione di misura che si trovano ad una distanza piuttosto ampia; per questo motivo, in quel punto, la linea idrometrica si presenta tratteggiata.

Le Figg. 5.2 e 5.3 riportano le immagini degli elaborati, ad una scala adattata alle dimensioni del foglio, e mostrano il rapporto tra il livello della falda e quello del fiume lungo tutto lo sviluppo longitudinale del corso d'acqua.

PROFILO IN CONDIZIONI DI MORBIDA (20/04/11)

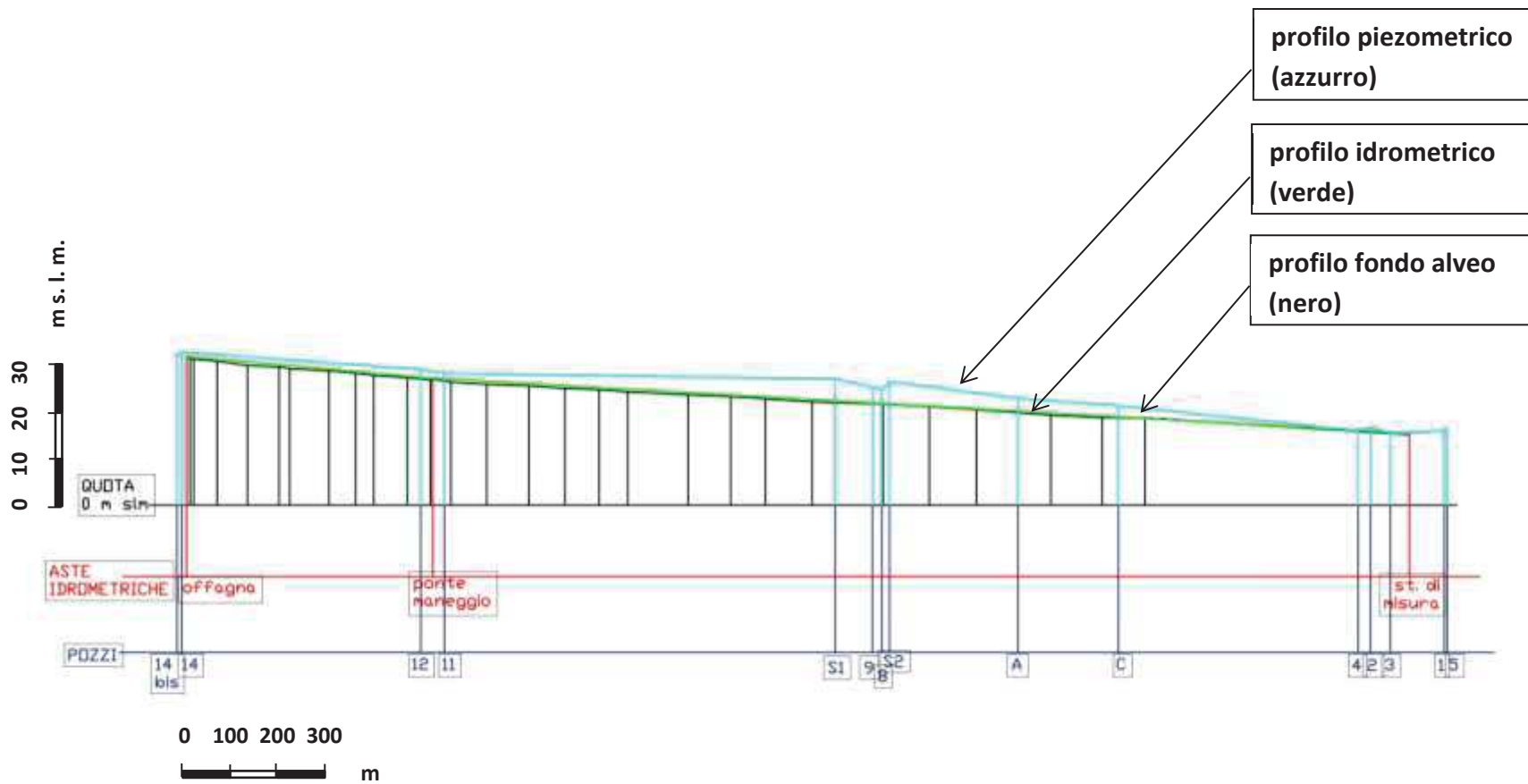


Fig. 5. 2 – profilo longitudinale di confronto tra livello piezometrico e livello idrometrico in condizioni di morbida (elaborato Autocad)

PROFILO IN CONDIZIONI DI MAGRA (16/09/11)

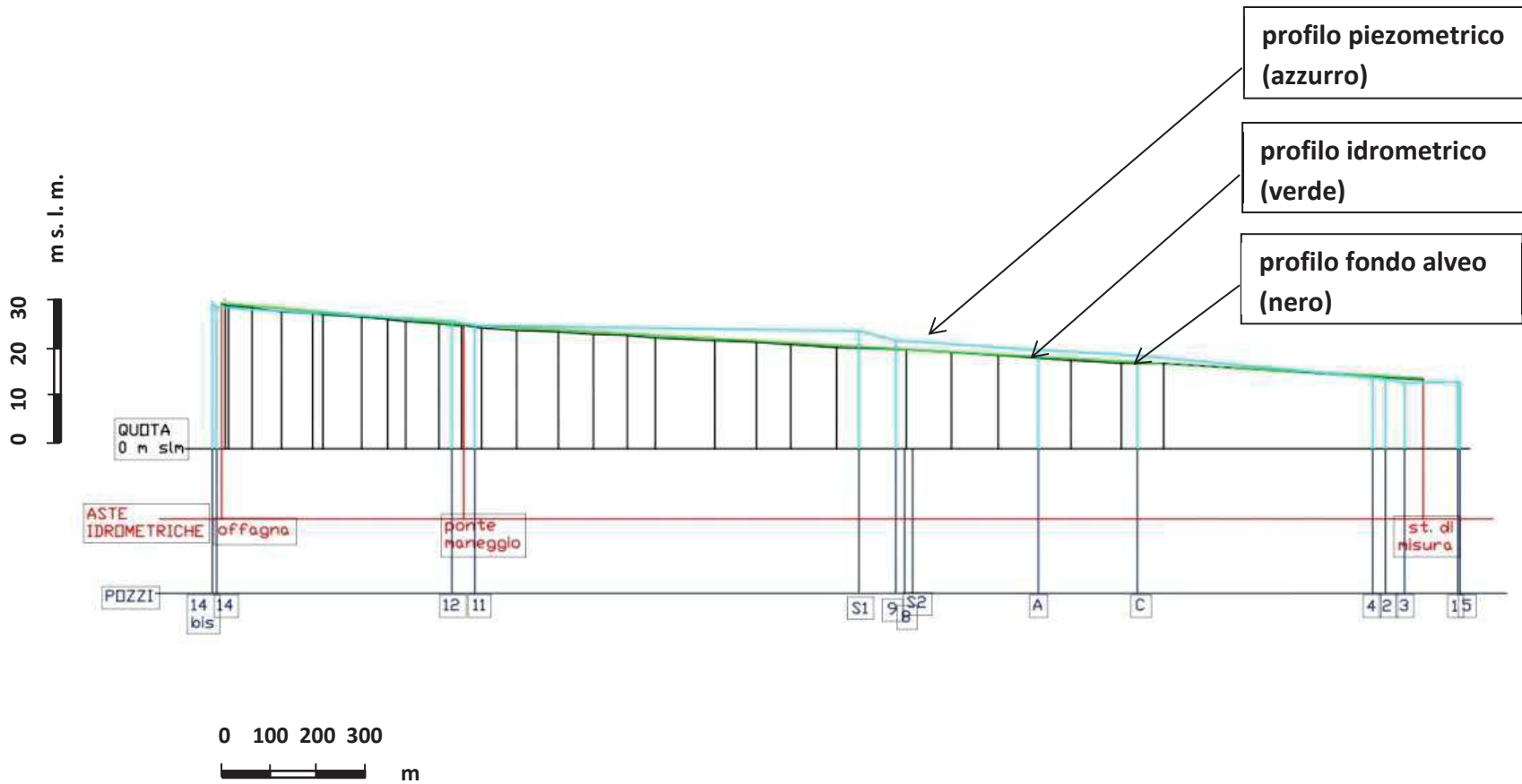


Fig. 5.3 – profilo longitudinale di confronto tra livello piezometrico e livello idrometrico in condizioni di magra (elaborato Autocad)

5.2 Carte a linee isopiezometriche

Come nel caso dei profili, si è scelto di procedere alla costruzione di due carte piezometriche: una relativa alle condizioni di morbida della falda e una alle condizioni di magra, individuate rispettivamente nei mesi di aprile e di settembre.

Partendo dai dati delle quote piezometriche assolute ricavate dalle misure nei pozzi, si è proceduto all'elaborazione delle carte a curve isopiezometriche al fine di ricostruire l'andamento della superficie della falda nei pressi del corso d'acqua.

Inoltre, grazie all'interpretazione dei profili descritti al paragrafo precedente, si è potuto individuare più precisamente l'andamento delle linee a seconda del fatto che, nello stesso, si riscontrasse una condizione di falda alimentante o, viceversa, di falda drenante.

Nel primo caso le linee di flusso, perpendicolari alle linee di quota piezometrica, risultano dirette verso il fiume; nel secondo caso le linee di flusso hanno direzione uscente dal corso d'acqua.

Gli elaborati grafici sono stati eseguiti riportando sulla carta tecnica regionale quanto appena descritto. In Fig. 5.4 e 5.5 se ne mostrano le immagini ad una scala adattata alle dimensioni del foglio; le carte riportano: in rosso le linee isopiezometriche con equidistanza di 5 metri, in arancio e più sottili le linee isofreatiche con equidistanza di 1 metro e in blu i pozzi con le relative quote piezometriche assolute (m s. l. m. m.).

CARTA PIEZOMETRICA DI APRILE

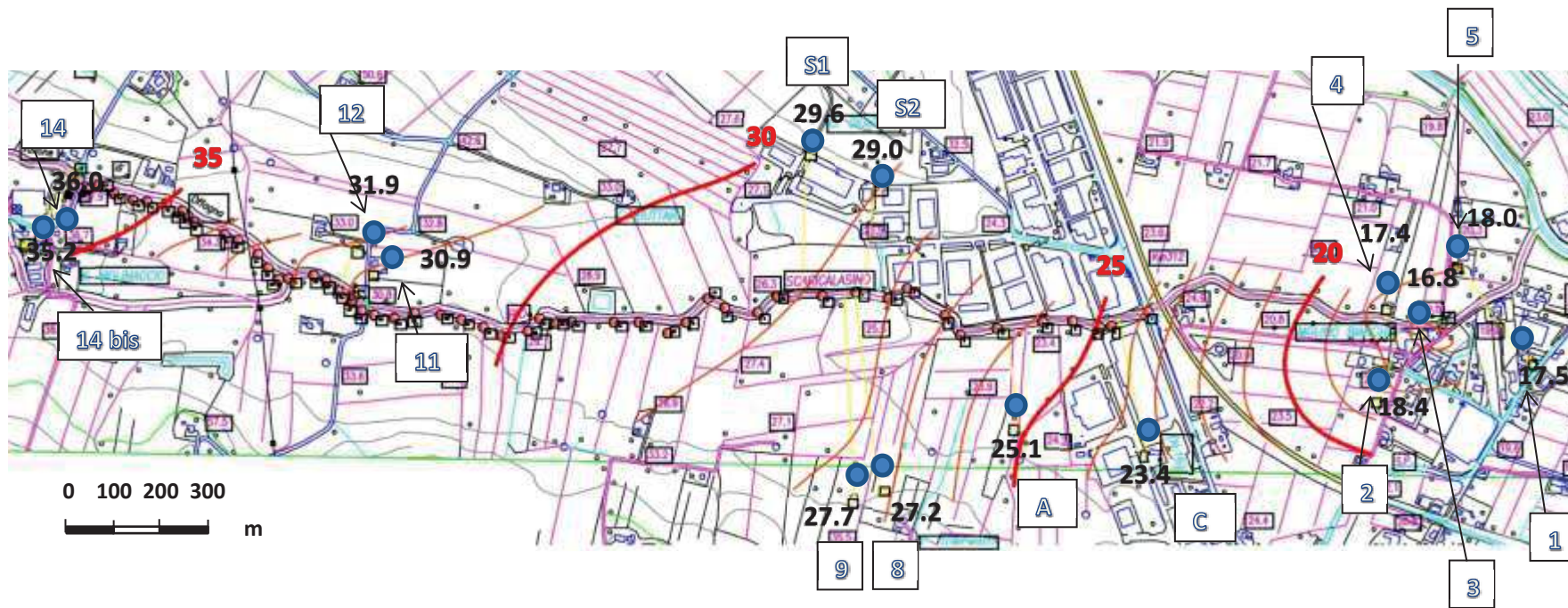


Fig. 5. 4 – carta piezometrica di aprile in condizioni di morbida (elaborazione Autocad)

CARTA PIEZOMETRICA DI SETTEMBRE

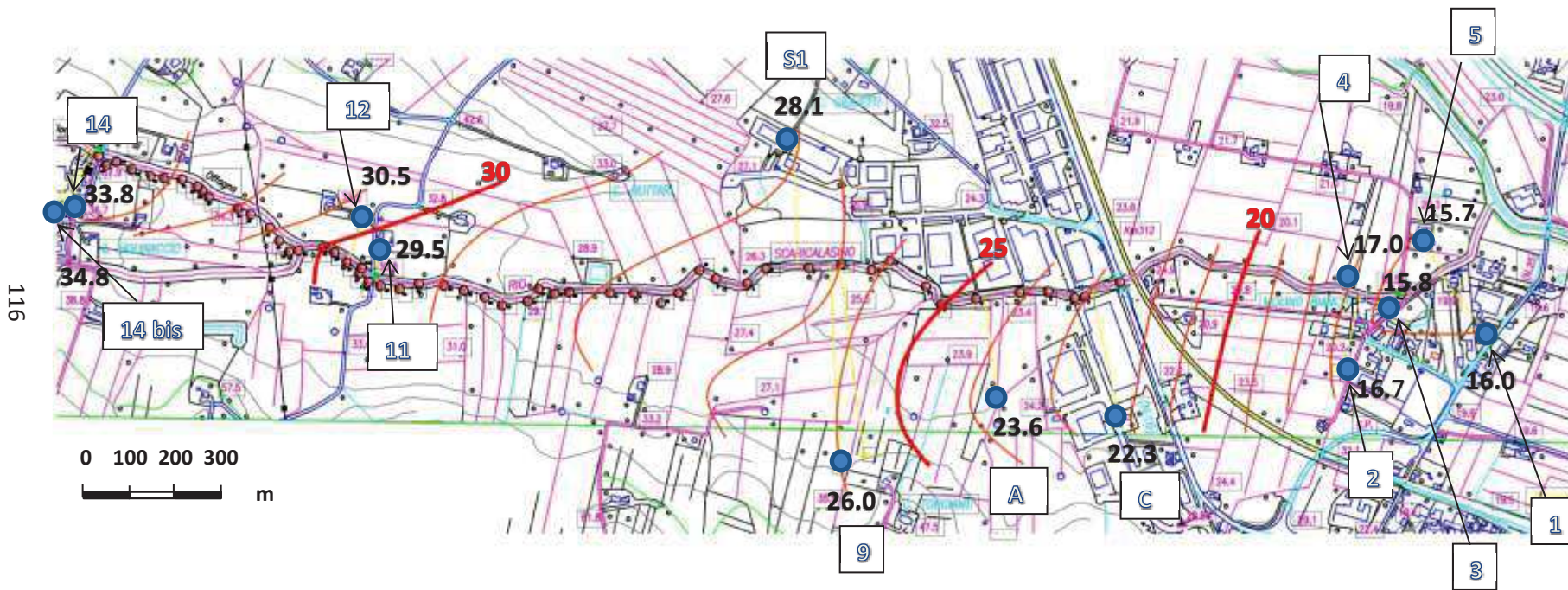


Fig. 5.5 – carta piezometrica di settembre in condizioni di magra (elaborazione Autocad)

5.3 Analisi della piezometria

Si sono riportati su un foglio di calcolo tutti i dati acquisiti durante le campagne di rilievo piezometrico dei pozzi.

Sono state analizzate e comparate le fasi di scarica e ricarica dell'acquifero intercettato, dapprima con una visione di insieme e poi nello specifico dei singoli pozzi, valutando l'esistenza di comportamenti simili o notando differenze, in relazione alla loro ubicazione nei pressi del tratto fluviale di monte o di valle, in destra o in sinistra idrografica.

Nel grafico di Fig. 5.6 è mostrato l'andamento della falda intercettata da tutti i pozzi misurati, per un arco di tempo corrispondente a quasi un anno idrologico, a partire dall'evento di piena del 1 e 2 marzo 2011.

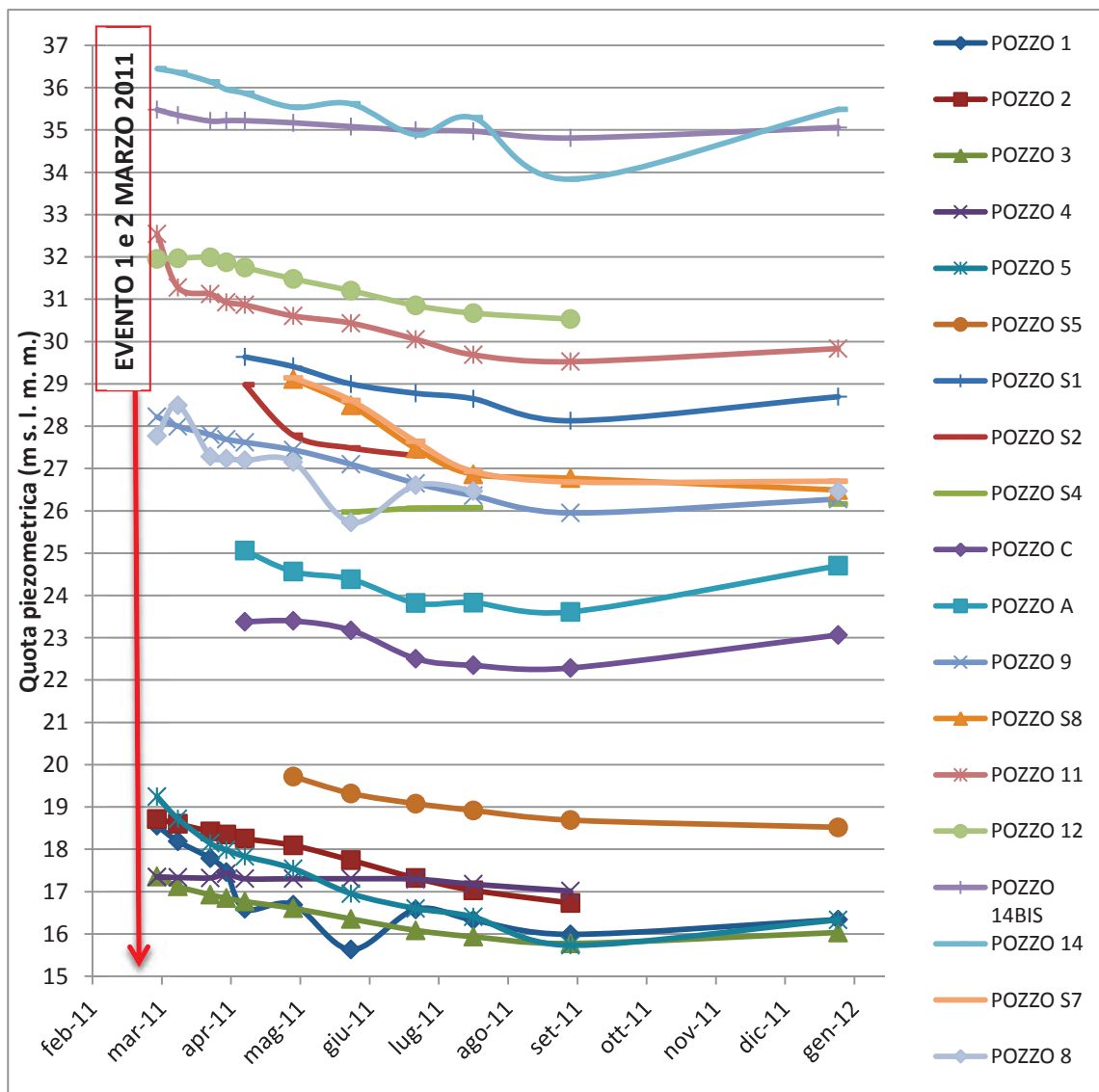


Fig. 5. 6 – grafico dell'andamento della falda misurata nei pozzi da marzo 2011 a gennaio 2012

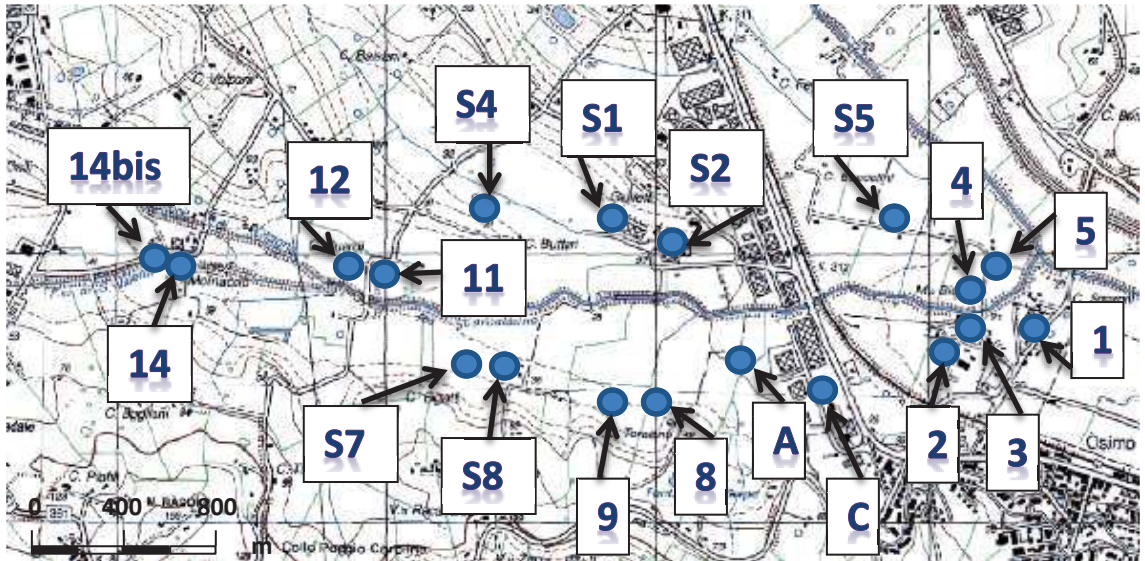


Fig. 5. 7 – carta IGM scala 1:25000 con ubicazione pozzi (punti azzurri)

Zona del tratto fluviale di valle, prossima alla confluenza Scaricalasino - Aspio

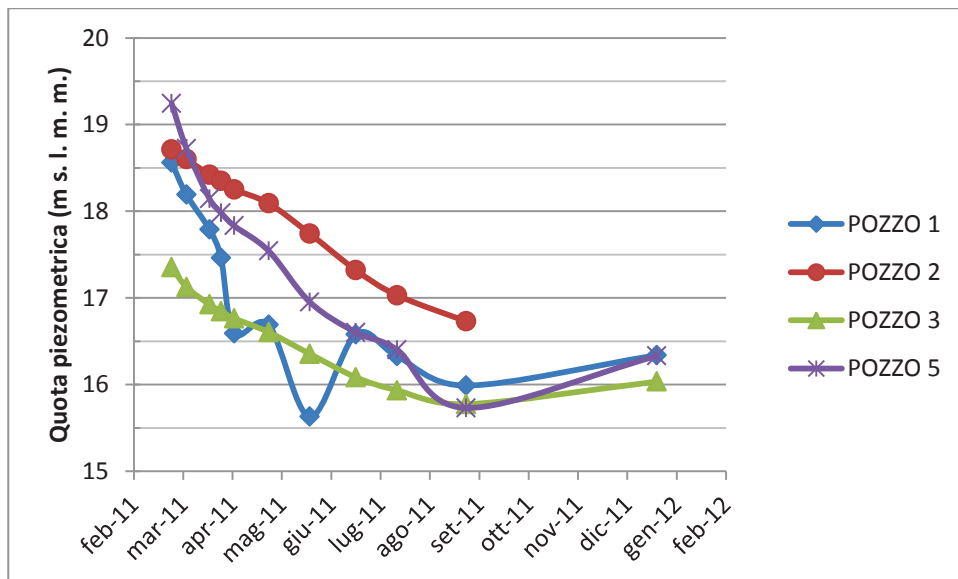


Fig. 5. 8 – andamento della falda misurata nei pozzi 1, 2, 3, 5

Si nota un comportamento molto simile dei pozzi 1 e 5, al netto delle captazioni del pozzo 1, con una fase di scarica molto marcata. Nel pozzo 5 si è registrata la riduzione del livello piezometrico maggiore rispetto a tutti i pozzi monitorati: da marzo a settembre il livello è sceso di 3.5 m.

Allo stesso modo si nota una similitudine tra il pozzo 2 e il pozzo 3 che hanno, nel tratto discendente, una pendenza minore rispetto ai primi due.

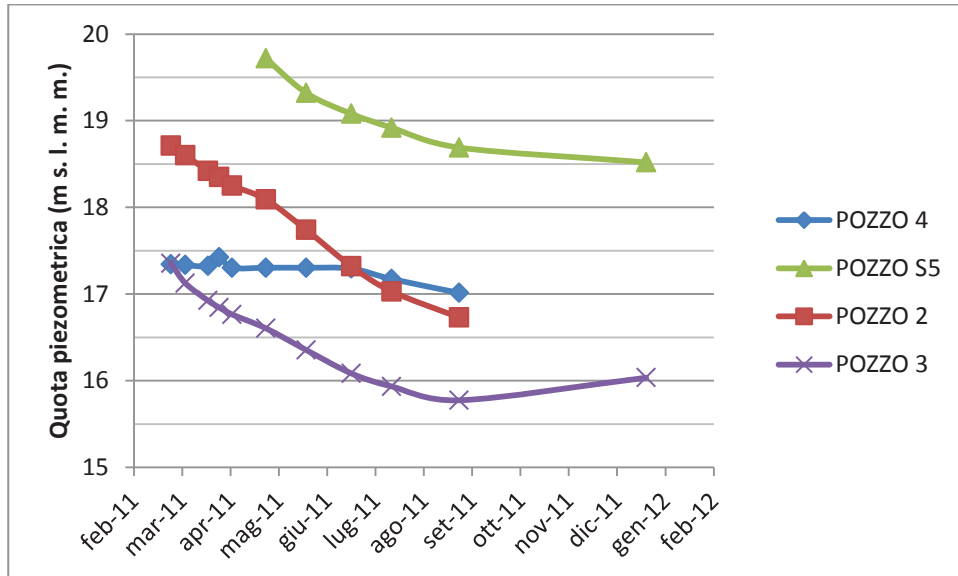


Fig. 5.9 – andamento della falda misurata nei pozzi 2, 3, 4, S5

Al pozzo 2 e 3 si è poi accomunato il pozzo S5, sebbene quest’ultimo non manifesti segnali di ricarica.

Il pozzo 4, invece, presenta un andamento anomalo rispetto ai pozzi situati nella stessa zona, probabilmente per la sua prossimità all’alveo fluviale e per le condizioni di utilizzo.

Zona del tratto fluviale mediano ovvero della pianura alluvionale del solo Rio Scaricalasino

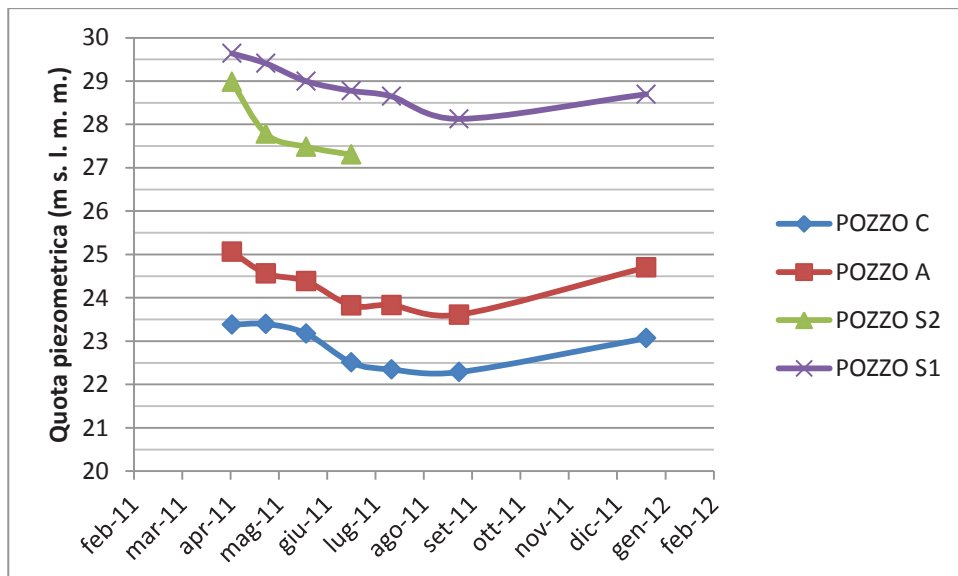


Fig. 5.10 – andamento della falda misurata nei pozzi A, C, S1, S2

Nei pozzi A, C e S1 si registra una crescita importante dopo il picco di magra, questo è evidente soprattutto nel pozzo A che presenta un incremento del livello, da settembre a gennaio, di 1.1 m riportandosi quasi al livello di aprile.

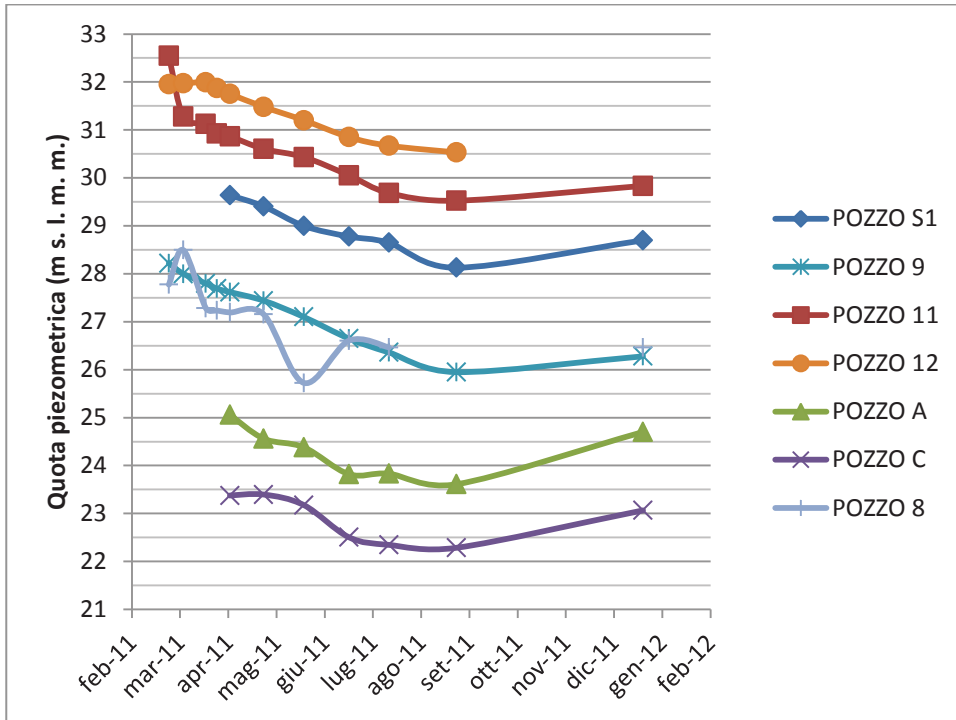


Fig. 5.11 – andamento della falda misurata nei pozzi A, C, S1, 8, 9, 11, 12

Nel grafico di Fig. 5.11 il comportamento è molto simile per tutti i pozzi, con andamento pressoché identico per il pozzo 8 e il pozzo 9 al netto dell'utilizzo irriguo del primo nei mesi estivi.

Si registra, invece, per i pozzi S7 e S8, un comportamento molto diverso dai precedenti, nonostante siano ubicati nella stessa zona (Fig. 5.12).

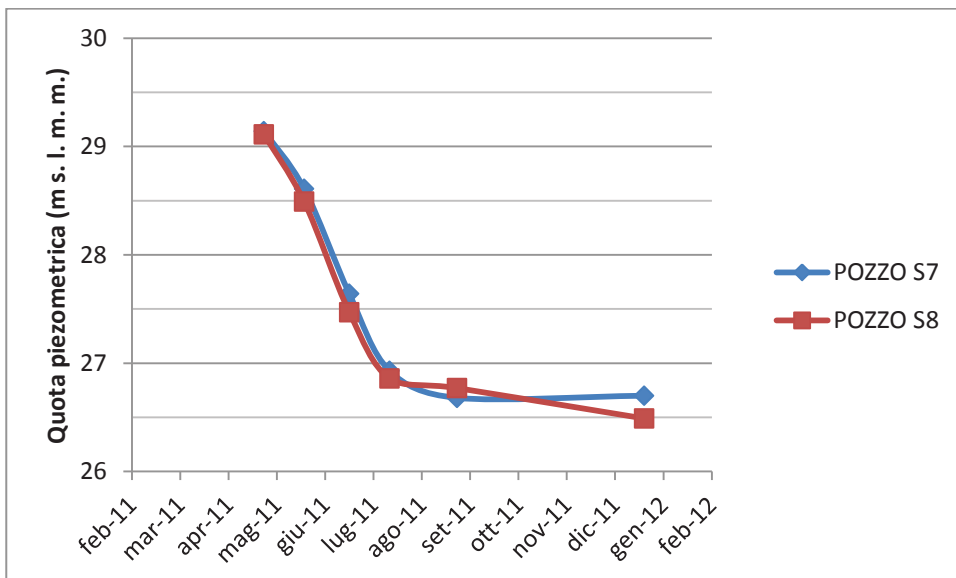


Fig. 5.12 – andamento della falda misurata nei pozzi S7 e S8

Zona del tratto a monte della confluenza V.ne di Offagna – Fosso San Valentino

In questa zona si accomunano i comportamenti dei pozzi 14 e 14 bis solo per una ragione di prossimità, dal momento che l'utilizzo del primo non fa avere evidenza di questo; nel secondo si registra un comportamento della falda in cui sia la fase di scarica sia quella di ricarica hanno una pendenza poco marcata.

Nel grafico di Fig. 5.13 si mette in evidenza una differenza, soprattutto in fase di scarica, tra il pozzo 14 bis e i pozzi 11 e 12 situati poco a valle.

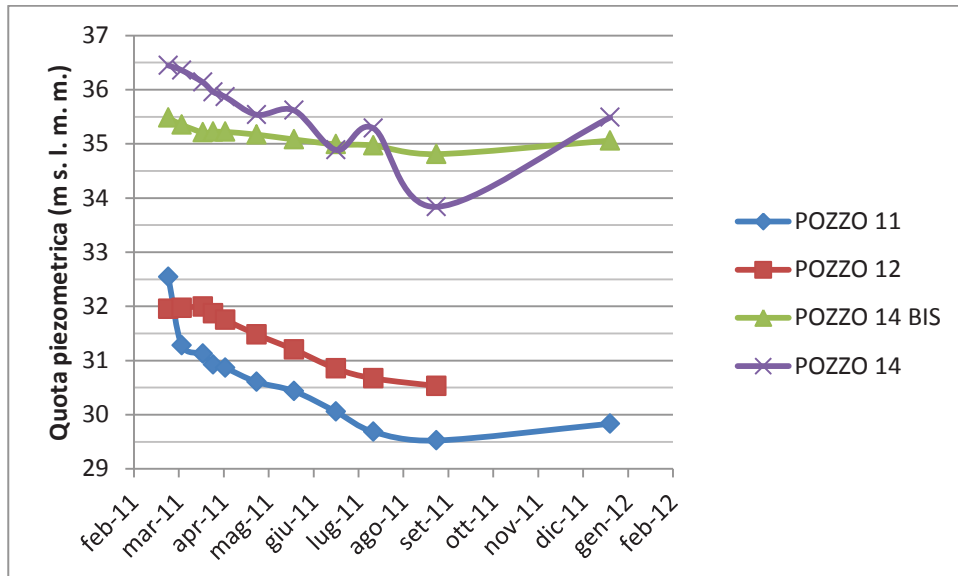


Fig. 5. 13 – andamento della falda misurata nei pozzi 11, 12, 14 e 14 bis

L'analisi fin qui descritta, individua, quindi, un aumento della rapidità di scarica man mano che ci si muove verso valle e una ricarica marcata per quanto riguarda i pozzi situati nella piana alluvionale del Rio Scaricalasino.

Non si riscontra, invece, una differenza di comportamento sostanziale tra la sinistra e la destra idrografica, benché le quote di falda, registrate in sinistra idrografica, siano superiori.

La Fig. 5.14 riassume schematicamente, al fine di facilitare la comprensione e la discussione dei risultati ottenuti, come sono stati raggruppati i pozzi il cui comportamento ha taluni caratteri di similitudine e, tale comportamento è quasi sempre attribuibile al posizionamento del singolo pozzo all'interno della pianura alluvionale.

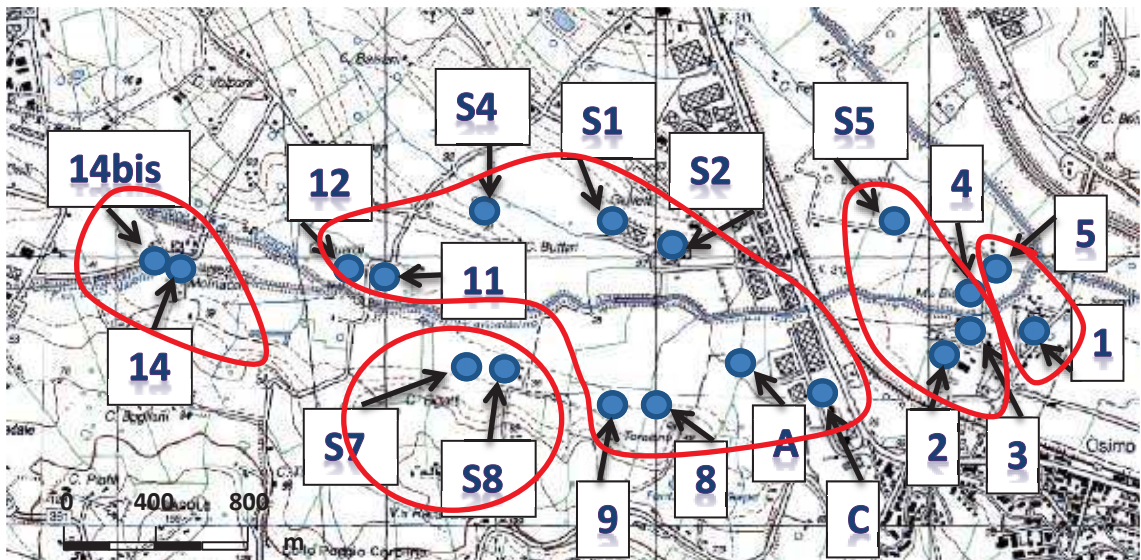


Fig. 5. 14 – carta IGM scala 1:25000 con ubicazione pozzi (azzurro) e loro raggruppamento per similitudine di comportamento (rosso)

5.4 Confronto tra piezometria e idrometria in un punto

In questa fase si è proceduto semplicemente alla sovrapposizione dei dati, registrati in continuo, del livello piezometrico misurato nel pozzo A e del livello idrometrico riportato in un punto prossimo al pozzo.

Il grafico di Fig. 5.15 mostra, nell’arco di tempo di registrazione che va dal settembre 2011 al gennaio 2020, fatto salvo per una interruzione tra l’agosto 2013 e il novembre 2014, l’andamento della quota piezometrica e di quella idrometrica. Esso rende evidente l’interazione tra la falda di subalveo del Rio Scaricalasino e il fiume, nel corso dei diversi periodi idrologici, sottolineando inoltre quali possono essere gli effetti dell’emungimento del pozzo, dal momento che la quota piezometrica, in tali condizioni, raggiunge e viene sormontata da quella idrometrica.

I marcati picchi verso l’alto, rilevati nella curva della piezometria, invece, potrebbero rappresentare un’anomalia nella registrazione oppure nella trasposizione del dato rilevato dal sensore.

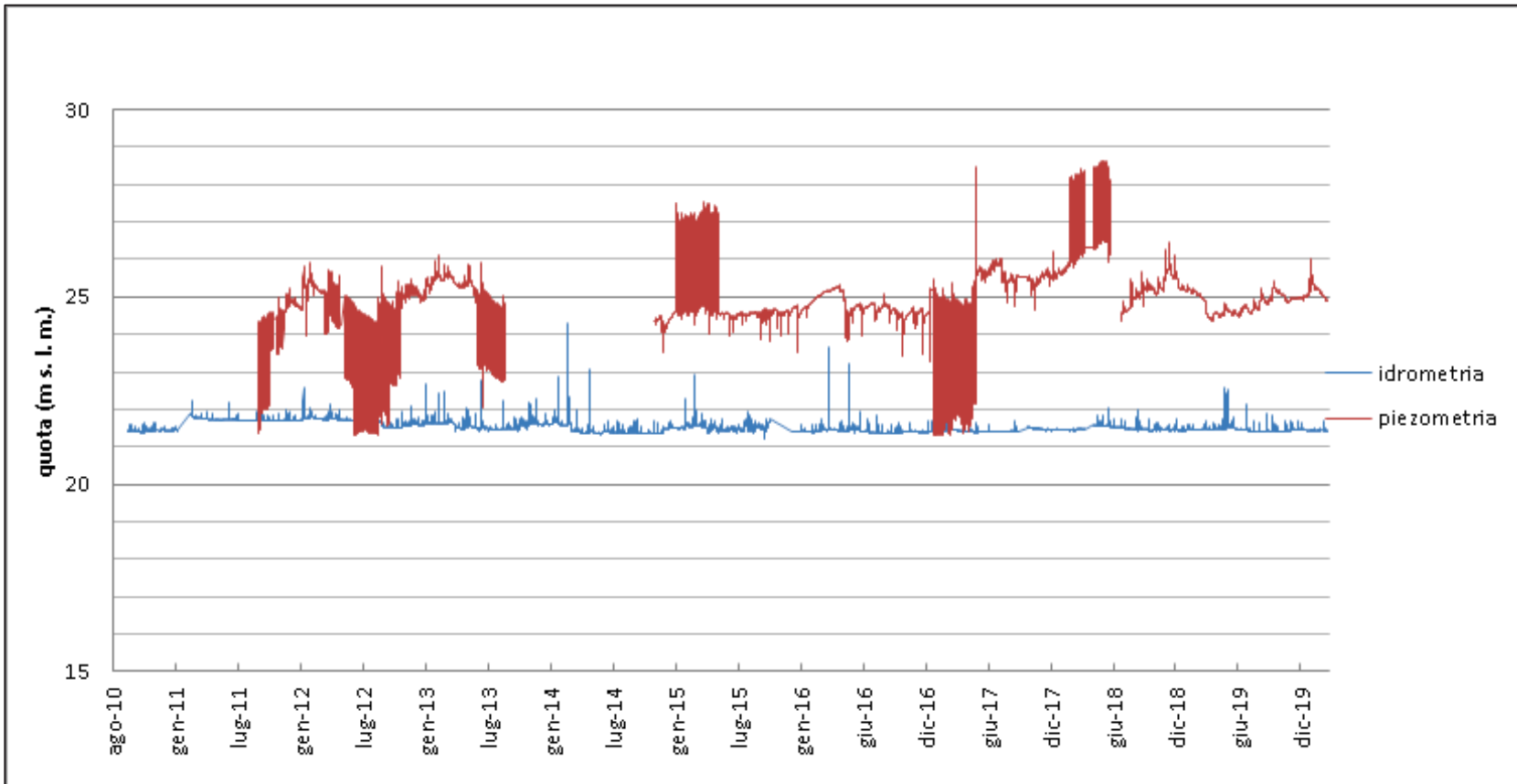


Fig. 5. 15 – grafico di confronto tra la quota piezometrica e la quota idrometrica misurate in corrispondenza del pozzo A

Il grafico di confronto tra la quota idrometrica e la quota piezometrica, misurate in continuo in corrispondenza del pozzo A, è stato poi comparato con il grafico della precipitazione oraria registrata nelle stazioni pluviometriche di Osimo e Osimo Monteragolo nello stesso periodo che va dal gennaio 2011 al febbraio 2020 (www.regione.marche.it/Protezione-civile).

Analizzando i due grafici di Fig. 5.16, che riportano in ascissa la stessa scala temporale, si vuole marcare, non soltanto l'andamento delle precipitazioni incidenti sul bacino nell'arco degli ultimi dieci anni, ma soprattutto la risposta del sistema idrogeologico agli eventi meteorici.

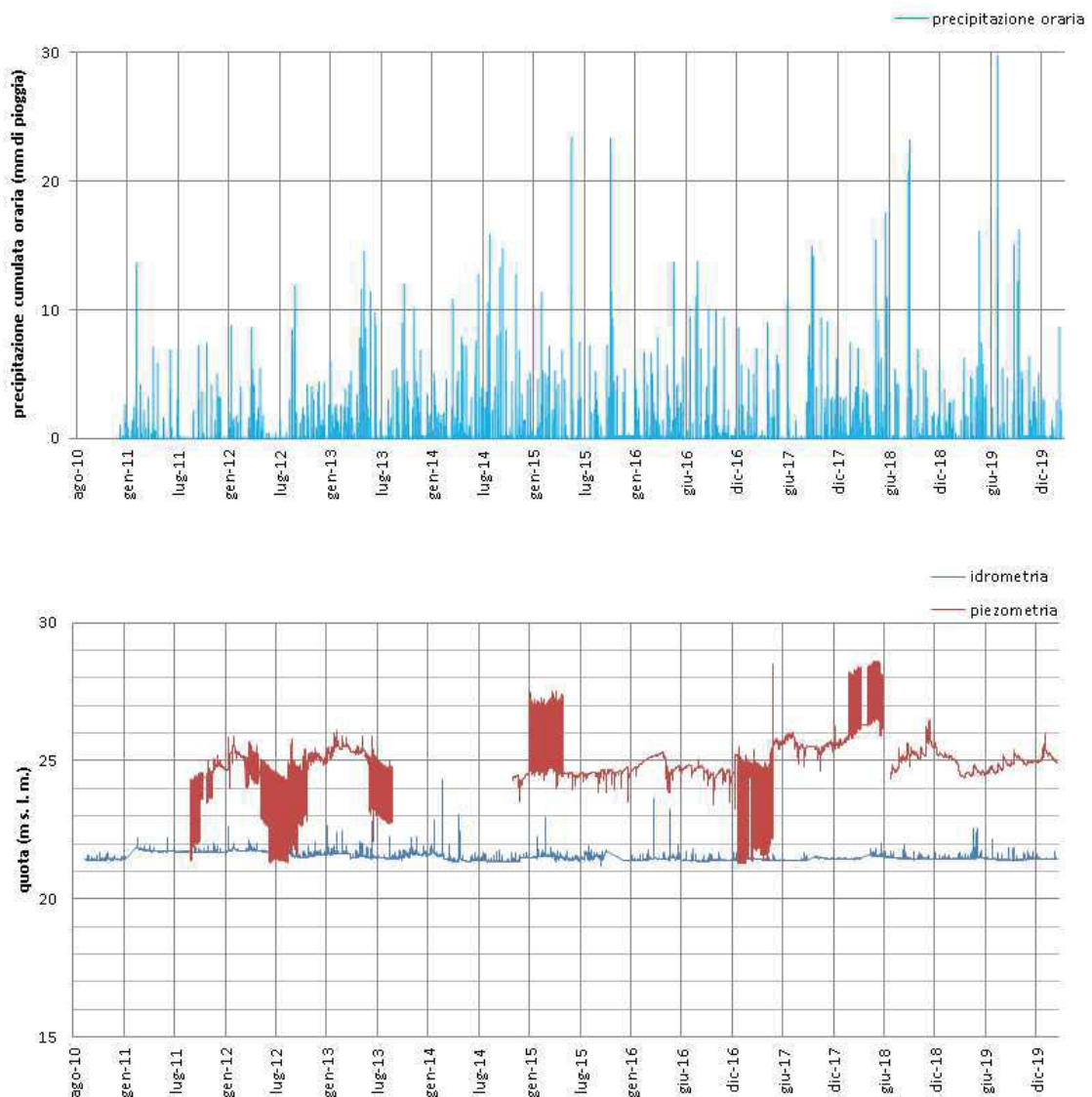


Fig. 5. 16 – grafico di confronto tra piezometria e idrometria integrato dal grafico delle precipitazioni

5.5 Applicazione dei modelli

Sulla base del rilievo effettuato, si è voluto procedere ad una impostazione di base di elaborazioni idrauliche ed idrologiche mediante l'utilizzo dei software descritti al capitolo precedente, al fine di evidenziare la rilevanza delle misure e delle osservazioni in campagna nell'ambito della modellazione e della taratura dei modelli stessi.

Si vuole porre l'attenzione su due aspetti: il primo è la necessità, a monte, di progettare il rilievo dei dati che siano utili a definire in maniera il più dettagliata possibile gli input dei modelli, e poi, a valle, l'importanza della conoscenza derivata da osservazioni prolungate nel tempo che implementino quella che viene definita la sensibilità del modellista, ovvero la capacità di comprendere la validità degli output restituiti dal modello e la loro conformità al comportamento del sistema territoriale e della sua evoluzione.

5.5.1 Modello idraulico HEC – RAS

A partire da quanto premesso si è voluta eseguire una simulazione preliminare dell'evento, particolarmente rilevante, che ha interessato il bacino idrografico del Rio Scaricalasino in data 1 - 2 marzo 2011.

Immissione dei dati geometrici

Si è introdotto lo schema della rete idrica da simulare costituito dagli assi dei rami del Vallone di Offagna, del Fosso San Valentino, del ramo del Rio Scaricalasino e del punto di confluenza; in prima approssimazione essi possono essere disegnati manualmente.

Di seguito si è proceduto all'input delle sezioni rilevate, numerate progressivamente da valle verso monte e inserendo per ciascuna: la distanza parziale dalla sezione di valle, le coordinate dei punti che ne descrivono la morfologia secondo un sistema di coordinate che attribuisce alle x le distanze dei punti a partire dalla sinistra idrografica e alle y le loro quote assolute, il coefficiente di scabrezza ed i coefficienti di contrazione ed espansione i cui valori, rispettivamente pari a 0.1 e 0.3, sono attribuiti di default.

Il coefficiente di Manning, rappresentativo della scabrezza della sezione, è un parametro molto influente sulla costruzione dei profili di rigurgito e sulla velocità della corrente e, allo stesso tempo, è un parametro difficile da stimare per la sua grande variabilità, perciò la scelta del valore verosimile non può prescindere da un processo di taratura del modello oltreché dalla conoscenza delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua.

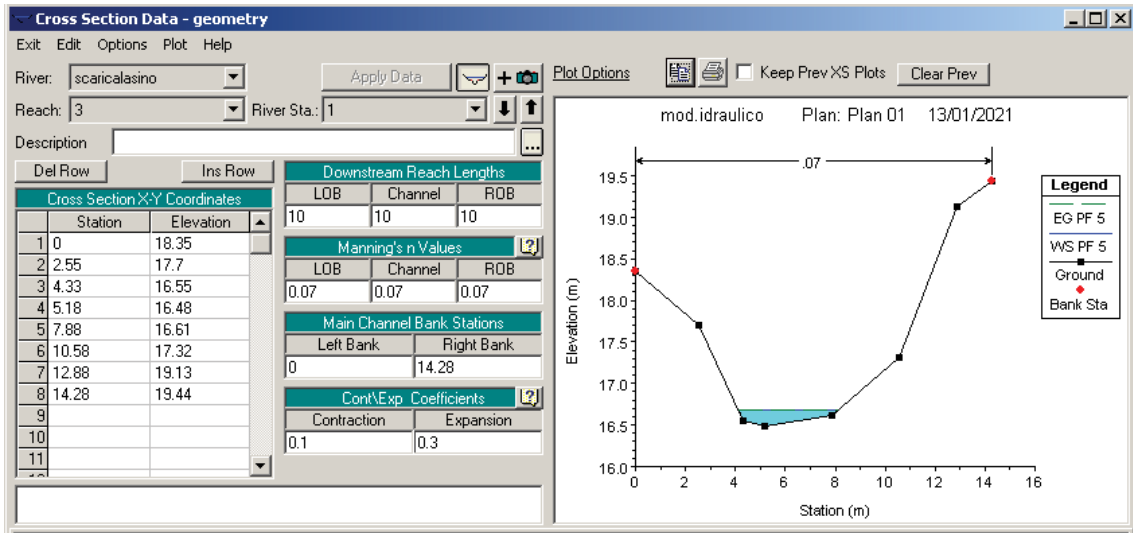


Fig. 5. 17 – input dei dati geometrici relativi alla sezione di valle del Rio Scaricalasino ubicata nei pressi della stazione di misura

Una volta definite le caratteristiche di ogni singola sezione trasversale, si ricavano sezioni intermedie tramite un'apposita funzione di interpolazione lineare operata dal programma. Affinché il profilo, così ottenuto, sia conforme al profilo di fondo alveo ricavato dal rilievo topografico, è preferibile introdurre sezioni fittizie la cui morfologia sia ottenuta aggiustando le quote dei punti delle sezioni interpolate.

Per caratterizzare la confluenza è necessario definire tre sezioni: nel corso d'acqua principale una sezione a monte e una a valle del punto di giunzione e, per l'affluente, una sezione il più vicino possibile alla foce; si indicano poi le distanze dal punto di confluenza delle sezioni immediatamente a monte.

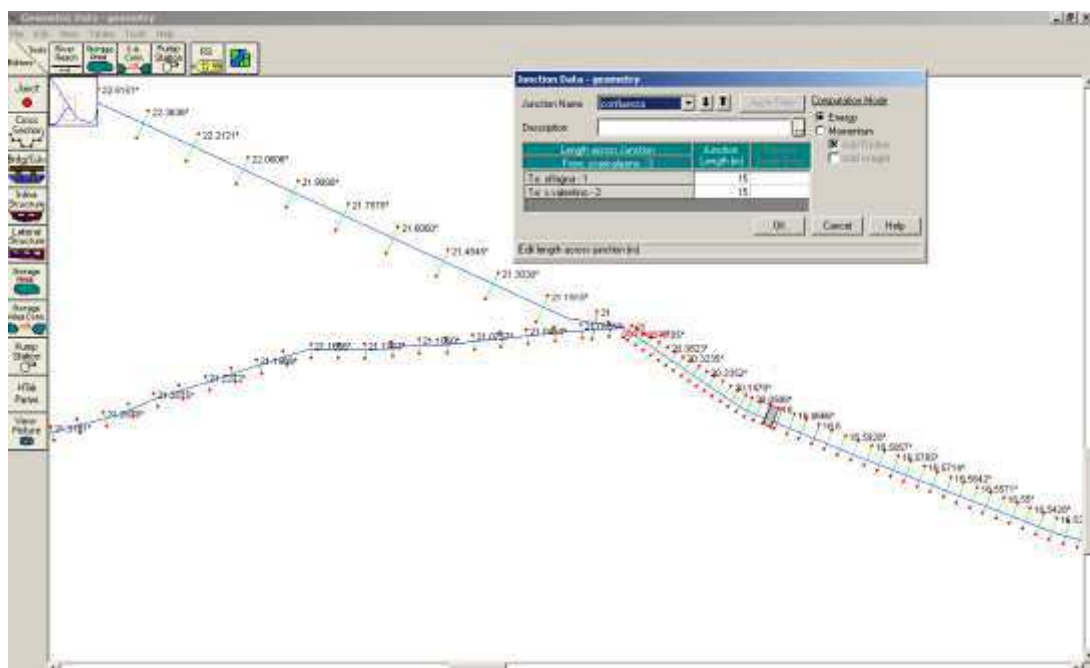


Fig. 5. 18 – schermata in cui è visualizzata la distribuzione delle sezioni interpolate e la finestra di dialogo per l'input delle caratteristiche del punto di confluenza

La modellazione in HEC-RAS di un attraversamento, come può essere un ponte, prevede la preliminare introduzione di quattro sezioni posizionate in prossimità della struttura, per simulare correttamente i processi di contrazione ed espansione della corrente, laddove siano presenti ingombri in alveo che provochino restringimenti. L'ubicazione di tali sezioni va eseguita secondo lo schema riportato in fig. 5.19 (Murachelli e Riboni, 2010).

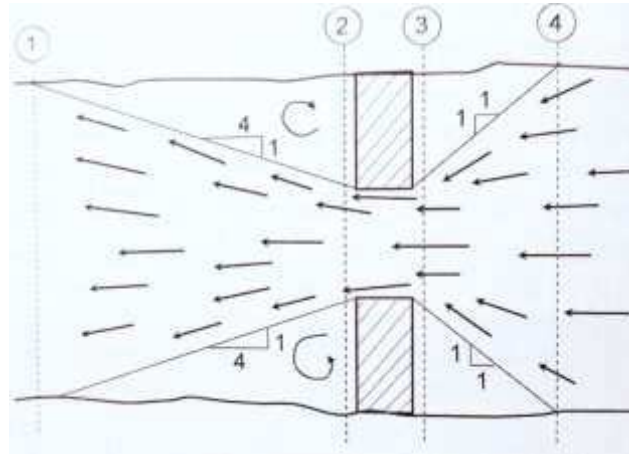


Fig. 5. 19 – schematizzazione delle quattro sezioni necessarie alla simulazione di un'opera di attraversamento (Murachelli e Riboni, 2010)

Inoltre, analogamente a quanto descritto per le sezioni, devono essere riportati i punti derivanti dal rilievo dell'impalcato e delle pile dei ponti che attraversano la rete idrica.

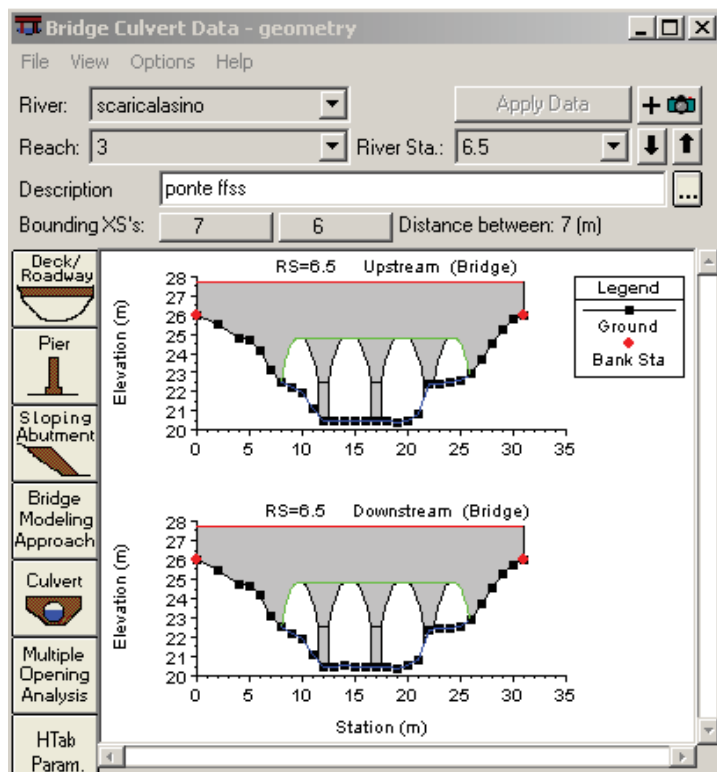


Fig. 5. 20 – input del ponte della ferrovia che attraversa il Rio Scaricalasino circa 600 m a monte della stazione di misura

Definizione dei dati idrologici per simulazione in moto permanente

Le simulazioni in moto permanente costituiscono uno strumento di ampia applicabilità, caratterizzato da semplicità di impostazione e da buona affidabilità di convergenza dei risultati.

La definizione dei dati idrologici consiste nell'immettere il valore di portata al colmo dell'idrogramma di piena e le condizioni al contorno, per ogni profilo che si intende calcolare.

La portata da simulare va specificata in corrispondenza delle sezioni di monte di ogni ramo della rete idrica, con la possibilità di inserire ulteriori valori in corrispondenza di sezioni in cui si verificano immissioni laterali.

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua alle estremità del sistema (a monte e/o a valle). Questo dato è necessario al programma per calcolare i profili di rigurgito a partire dalle condizioni indicate. In regime di corrente lenta la condizione al contorno necessaria è quella di valle, viceversa quella di monte in condizioni di corrente veloce.

Nell'esempio descritto si è applicata come condizione al contorno una scala di deflusso (fig. 5.21) ricavata da valori di portata e di quota del livello idrometrico misurati nella sezione della stazione di misura (sez. 1).

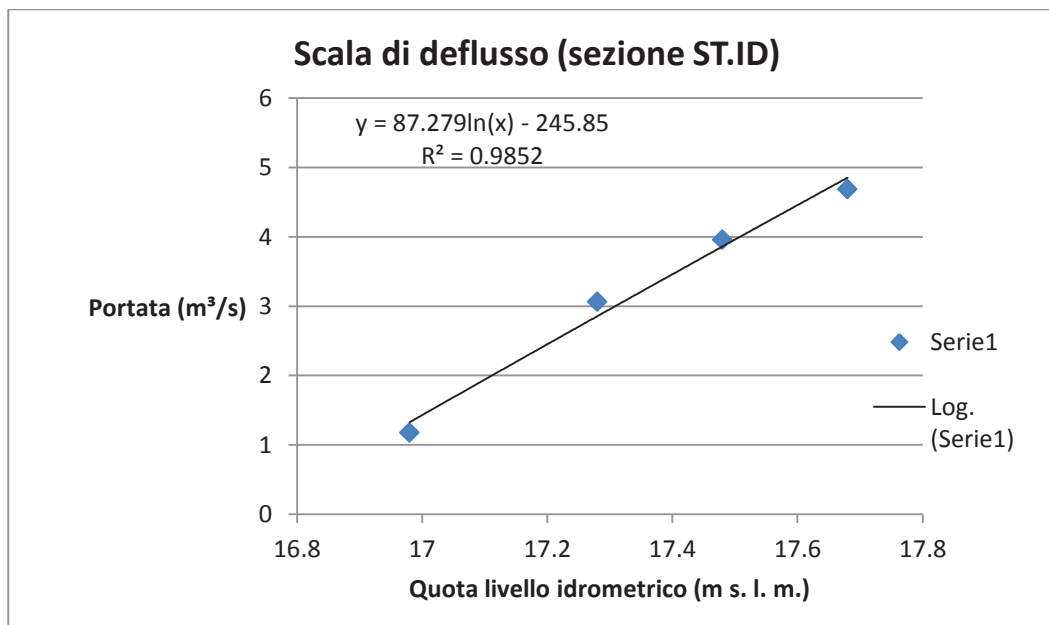


Fig. 5. 21 – scala di deflusso ricavata da misure eseguite alla stazione idrometrica

I valori di portata inseriti per l'elaborazione del profilo del pelo libero della corrente relativo all'evento di piena del 2 marzo 2011 derivano: per i rami di Offagna e San Valentino da misure eseguite nelle rispettive sezioni a monte della confluenza, mentre per la portata relativa al ramo dello Scaricalasino, a causa dell'indisponibilità di una misura diretta, si è scelto un valore estrapolato da dati di portata e livello idrometrico registrati in altre date e basato su osservazioni in sito avvenute durante lo svilupparsi della piena, ritenendo verosimile un valore che superasse la somma delle portate dei due affluenti di almeno il doppio. (Fig. 5.22 – PF1)

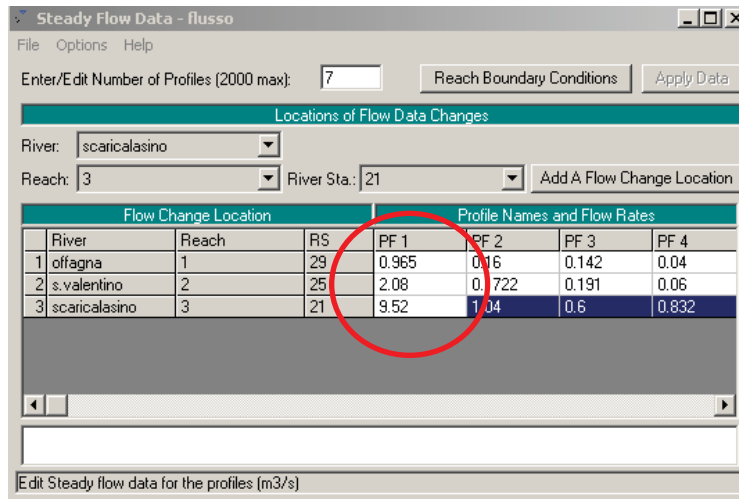


Fig. 5. 22 – schermata di input dei dati idrologici

In questo particolare evento di precipitazione si è riscontrato, infatti, che il livello idrometrico osservato nei pressi della stazione di misura, che ha provocato l'esonazione in quel tratto del Rio Scaricalasino, fosse dovuto ad un flusso idrico proveniente, in maniera sostanziale, dal sottobacino della pianura alluvionale a valle della confluenza.

La forte consistenza del contributo della pianura alluvionale alla determinazione della portata che raggiunge la stazione di misura si è verificata anche nel periodo immediatamente successivo all'evento meteorico descritto; ciò a significare la presenza di un fattore che determina questo comportamento anche dopo l'esaurirsi della precipitazione. Si riportano in tabella 5.1 i valori di portata osservati a valle di ciascun ramo indicato:

DATA	PORTATA (m ³ /s)		
	Offagna	San Valentino	Scaricalasino
07/03/2011	0.16	0.172	1.04
14/03/2011	0.142	0.191	0.6
23/03/2011	0.04	0.06	0.832
20/04/2011	0.097	0.056	0.126
13/05/2011	0.067	0.047	0.116
15/06/2011	0.032	0.026	0.081

Tabella 5. 1 – valori di portata misurati nelle sezioni di valle dei tre rami

Si è scelto poi di eseguire la modellazione di ulteriori profili relativi alle portate della tabella 5.1 ottenendo in output livelli idrometrici che si discostano di pochi centimetri dai valori effettivamente registrati alla stazione di misura.

Indipendentemente dalla bontà della modellazione qui eseguita, risulta fondamentale, come detto in premessa di questo capitolo, l'osservazione nel tempo di tali variabili per eseguire la taratura dei modelli affinché essi descrivano il più correttamente possibile il sistema reale.

Output della modellazione

PROFILO 1 – data 2 marzo 2011

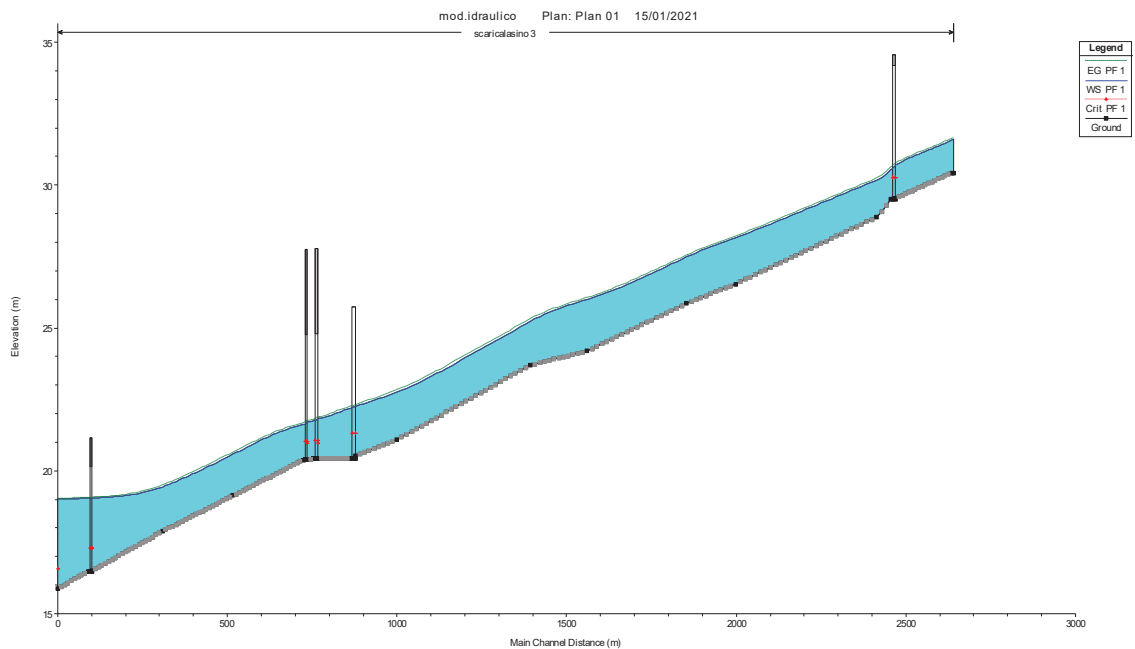


Fig. 5. 23 – profilo del pelo libero della corrente in condizioni di moto permanente risultato della modellazione eseguita in HEC-RAS della portata relativa all’evento di piena del 2 marzo 2011

SEZIONE DI CONTROLLO (stazione di misura)

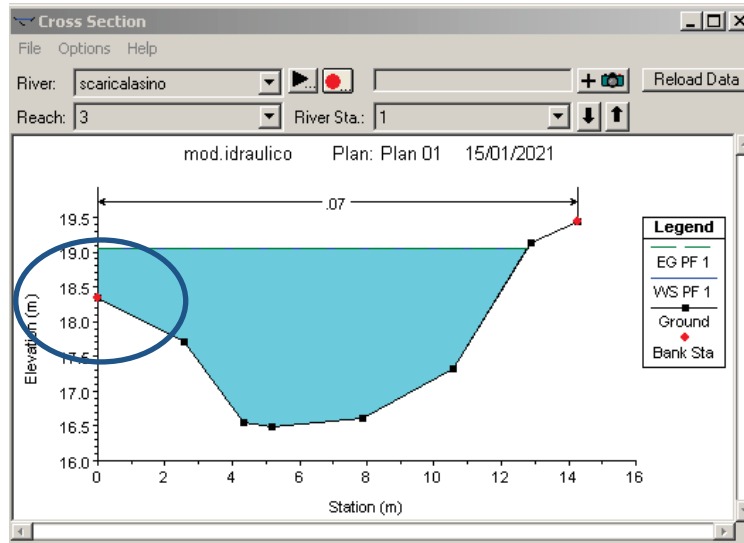


Fig. 5. 24 – output grafico della sezione “stazione di misura” a valle del ramo del Rio Scaricalasino

Plan: Plan 01 scaricalasino 3 RS: 1 Profile: PF 1				
E.G. Elev (m)	19.06	Element	Left OB	Channel
Vel Head (m)	0.01	Wt. n-Val.		0.070
W.S. Elev (m)	19.05	Reach Len. (m)	10.00	10.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		22.46
E.G. Slope (m/m)	0.000496	Area (m2)		22.46
Q Total (m3/s)	9.52	Flow (m3/s)		9.52
Top Width (m)	12.78	Top Width (m)		12.78
Vel Total (m/s)	0.42	Avg. Vel. (m/s)		0.42
Max Chl Dpth (m)	2.57	Hydr. Depth (m)		1.76
Conv. Total (m3/s)	427.7	Conv. (m3/s)		427.7
Length Wtd. (m)	10.00	Wetted		
Min Ch El (m)	16.48	Shear		
Alpha	1.00	Stream		
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m3)		1.97
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		1.04

Fig. 5. 25 – tabella di output relativo alla sezione “stazione di misura”

Nella sezione di valle del ramo del Rio Scaricalasino la modellazione, pur registrando l’esonazione in sinistra idrografica (Fig.5.24), restituisce un livello idrometrico di 2.57 metri sottostimato rispetto a quello osservato che è di circa 4 metri.

Anche il valore di velocità è poco coerente con i valori osservati in piena che sono dell’ordine del metro al secondo. Questa discrepanza può essere dovuta ad un errore nella stima della portata attribuita al ramo dello Scaricalasino e ad un valore del coefficiente di Manning di 0.07 attribuito, soltanto in prima approssimazione, all’intera rete idrica.

5.5.2 Modello idrologico HEC – HMS

Per quanto riguarda la modellazione idrologica sul bacino del Rio Scaricalasino, si riporta quanto presentato da uno studio pubblicato dall'*Italian Journal of Engineering Geology and Environment* (Fronzi e Tazioli, 2019).

Tale studio ha previsto la modellazione di tre eventi meteorici intensi che hanno interessato il bacino nei mesi di maggio 2015, febbraio e marzo 2018, al fine di caratterizzare il suo comportamento in risposta agli afflussi e di mettere in evidenza l'influenza del contributo delle acque sotterranee sui deflussi.

Dapprima si sono definite le caratteristiche fisiche dello schema di bacino come riportato in fig. 5.26: esso è costituito da tre sottobacini (Offagna, San Valentino e Piana alluvionale), da due rami che convergono in una confluenza e un terzo ramo che dirige il flusso da quest'ultima verso la stazione idrometrica di misura, nella quale giunge anche il contributo del sottobacino della piana alluvionale.

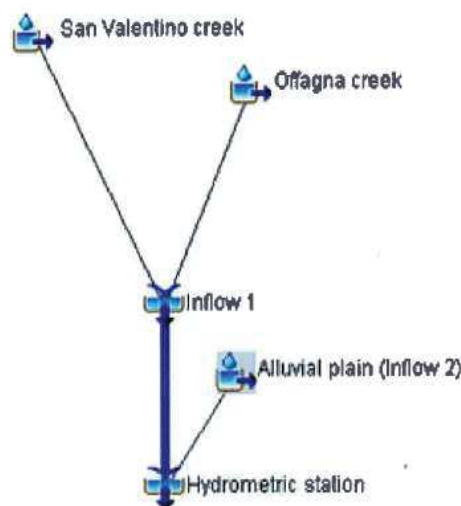


Fig. 5. 26 – schema di bacino mediante elaborazione HEC-HMS

Di seguito si è caratterizzata la capacità del bacino di favorire l'infiltrazione o il ruscellamento della precipitazione attraverso la determinazione del parametro *Curve Number* secondo il metodo di stima delle perdite CN-SCS sviluppato dal Soil Conservation Service. Tale metodo consente di attribuire un valore al parametro CN secondo diverse classificazioni (www.elearning.unipd.it):

1) classificazione della permeabilità del suolo in quattro gruppi idrologici:

- A** – Bassa capacità di deflusso, suoli con infiltrabilità anche se completamente saturi – sabbie o ghiaie profonde ben drenate, notevole conducibilità idraulica
- B** – Suoli con moderata infiltrabilità se saturi, discretamente drenanti e profondi – tessitura medio-grossolana, conducibilità idraulica media

C – Suoli con bassa infiltrabilità se saturi, uno strato impedisce la percolazione verticale – tessitura medio-fine, conducibilità idraulica bassa

D – Capacità di deflusso elevata, suoli con infiltrabilità ridottissima in condizioni di saturazione – suoli ricchi di argilla rigonfianti, suoli con strato argilloso superficiale, suoli poco profondi su substrato impermeabile, conducibilità idraulica estremamente bassa

- 2) classificazione dell'uso del suolo e sistemazione della superficie (solchi, terrazzamenti ecc.)
- 3) condizioni di drenaggio
- 4) condizioni iniziali di saturazione dei suoli (AMC – Antecedent Moisture Condition)

L'assegnazione dei valori di CN è stata operata, mediante elaborazioni in ambiente GIS, a partire dall'intersezione dell'uso del suolo (ottenuto dalla carta uso suolo della Regione Marche-2012 Corine Land Cover), della tipologia litologica delle coperture e delle classi di conducibilità idraulica del suolo determinate da prove infiltrometriche in sito secondo quanto mostrato in tabella 5.2.

Soil use	Soil category	
	C	D
	<i>Alluvial deposits & sandy with gravels deposits</i>	<i>Silty-sand and silty-clay deposits & clay deposits</i>
Cultivated soils	78-88	81-91
Forests with modest coverage	77	83
Commercial area, 85% impervious	94	95
Residential areas, 65% impervious	90	92

Tabella 5. 2 – CN assegnato alle diverse classi ottenute dall'intersezione tra il tipo e l'uso del suolo

Tali valori di Curve Number che corrispondono a CN(II) sono stati relazionati alle condizioni iniziali di umidità del suolo (Antecedent Moisture Content) tenendo conto dell'altezza di precipitazione registrata nei cinque giorni antecedenti l'evento analizzato (tabella 5.3).

Mediante apposite formule si affina la stima di CN calcolandolo in condizioni di suolo asciutto CN(I) o umido CN(III).

Antecedent moisture content condition – Curve Number	Description	Total five-days antecedent rainfall (cm)	
		wet season	dry season
AMC I - CN I	Dry soils. Lowest runoff potential. Although soils are dry they are not wilted.	Less than 1.25	Less than 3.5
AMC II - CN II	Average soil moisture for the case of annual flood. No water drainage by gravity is presented in the soil.	1.25-2.75	3.5-5.25
AMC III - CN III	Nearly saturated soil due to heavy rainfall previous five days. Highest runoff potential.	Over 2.75	Over 5.25

Tabella 5. 3 – relazione tra condizioni di umidità del terreno e CN

Il software GIS individua una serie di poligoni rappresentativi delle diverse zone attribuendo ad ognuno il CN assegnato. Il CN medio di ogni sottobacino viene quindi definito calcolandone la media pesata sull'area di ogni poligono.

Questo parametro, compreso tra i valori estremi puramente teorici di 0 e 100, è impiegato dal modello idrologico per definire la perdita della precipitazione ovvero quella parte che non contribuisce al ruscellamento. Il valore minimo indica la perdita totale e l'assenza di deflusso, viceversa il valore massimo indica la totale trasformazione della precipitazione in deflusso superficiale.

Per ogni sottobacino deve essere poi definito il tempo di corrivazione calcolato sulla base delle dimensioni e delle caratteristiche morfometriche degli stessi, tale parametro regola il processo di trasformazione degli afflussi in deflussi.

Ulteriore input del modello riguarda lo schema dell'evento meteorico da simulare o ietogramma; esso si definisce a partire dai mm di pioggia misurati nel tempo dalle stazioni pluviometriche presenti sul territorio, moltiplicati per l'area di pertinenza di ciascuna stazione, determinata mediante il metodo dei poligoni di Thiessen; in questo caso il 90% della superficie del bacino è coperta dal poligono della stazione pluviometrica di Osimo.

Sulla base dei parametri morfologici, idrologici e pluviometrici precedentemente definiti, il software elabora la variazione nel tempo della quantità di precipitazione efficace ovvero quella che per mezzo del ruscellamento converge verso la rete idrica superficiale, la percorre e raggiunge la sezione di chiusura del bacino.

In questo caso, per il sottobacino della piana alluvionale, è stato immesso anche un contributo ulteriore al deflusso che tenesse conto del flusso sotterraneo di alimentazione della falda di subalveo verso il corso d'acqua, stimato da valori di portata registrata in continuo nella stazione di misura a valle del ramo del Rio Scaricalasino.

Dopodiché operando la simulazione vera e propria di ciascun evento di precipitazione, il programma restituisce in output l'idrogramma che mostra la variazione nel tempo della portata nella sezione di valle del Rio Scaricalasino; esso è la risposta idraulica attesa ottenuta dalla trasformazione degli afflussi in deflussi.

CAPITOLO 6

RISULTATI OTTENUTI

6.1 Rapporto tra falda di subalveo e corpo idrico superficiale - analisi del profilo

L'analisi dei profili che mettono a confronto la quota idrometrica e la quota piezometrica lungo lo sviluppo longitudinale del Rio Scaricalasino e quella delle carte a linee isopiezometriche evidenziano la prevalenza, durante l'anno idrologico osservato, del comportamento di falda alimentante il corso d'acqua.



Fig. 6. 1 – foto di apporti idrici verso il corso d'acqua (maggio 2011)

In condizioni di morbida la quota piezometrica sovrasta quella idrometrica fino ad un valore di circa 7 metri riscontrato in corrispondenza del pozzo S2 e di circa 6 metri in corrispondenza del pozzo S1, ubicati nei pressi del tratto centrale del corso d'acqua.



Fig. 6. 2 – immagine satellitare con ubicazione dei pozzi S1 e S2 (Google Maps)

In condizioni di magra si verifica la stessa cosa nel tratto centrale della pianura alluvionale che si estende dalla confluenza V.ne Offagna – Fosso S. Valentino fino al limite con la pianura alluvionale del F. Aspio; mentre si registra un’inversione di tendenza a monte di entrambe le confluenze.

Analizzando nel dettaglio i profili, con particolare attenzione all’ubicazione dei pozzi, si nota un abbassamento, costante nel tempo, del profilo piezometrico tra il pozzo 12 e il pozzo 11 giustificato dall’utilizzo a scopo idropotabile del secondo, perciò presente anche quando il maggior contributo della captazione a scopo irriguo termina.

Ad ogni modo, nel periodo di magra, la falda nel pozzo 11 raggiunge e va al di sotto del livello del fiume.

Rimanendo in sinistra idrografica, si registra un progressivo aumento della quota piezometrica verso i pozzi S1 ed S2 che risulta maggiore rispetto a quella misurata nei pozzi 8 e 9 ubicati nello stesso tratto ma in destra idrografica.



Fig. 6. 3 – immagine satellitare con ubicazione pozzi 8 e 9 (Google Maps)

Una particolare valutazione, a proposito di questi ultimi, può essere fatta dal punto di vista idrogeologico.

In figura 6.5 si riporta uno stralcio della *Carta Geologica d'Italia*: i pozzi 8 e 9 sono ubicati nelle vicinanze del confine litologico tra il deposito alluvionale terrazzato (MUSbn), entro cui sono posti la maggior parte dei pozzi censiti, e il detrito di falda o coltre eluvio-colluviale (MUSb2), il quale ricopre la superficie dei terrazzi che si raccordano al versante collinare.



Fig. 6. 4 – foto dei pozzi 8 e 9 e del versante sovrastante

Questo deposito (MUSb2) è il prodotto del movimento gravitativo e dell'erosione del versante. In questa zona, che è di confine, ha uno spessore di circa 1.5 m ed ha una natura litologica eterogenea: in esso sono rappresentate percentuali variabili di detriti angolosi a volte alternati o frammisti a sedimenti fini (sabbia, silt e argilla) più o meno pedogenizzati ed arricchiti in componente organica (Sarti e Coltorti, 2011).

Tuttavia, proprio per l'esiguo spessore della coltre eluvio-colluviale, intercettata dai pozzi suddetti e in maggior misura dal pozzo 9, questi si ritengono comunque rappresentativi nella valutazione del comportamento della falda di subalveo.

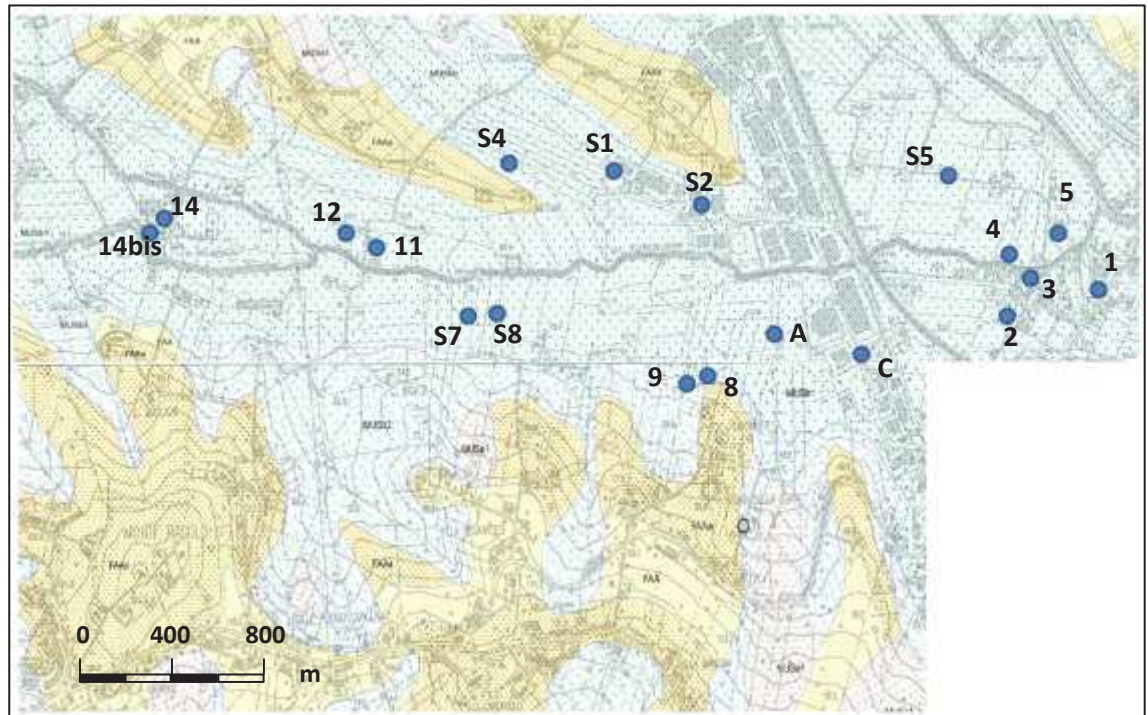


Fig. 6. 5 – Carta Geologica d’Italia edizione CTR fogli 282-Ancona e 293-Osimo con ubicazione dei pozzi

LEGENDA GEOLOGICA

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

SISTEMA DEL MUSONE

(OLOCENE)

	MUSa1	Frane in evoluzione
	MUSa1q	Frane senza indizi di evoluzione
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati a) ghiaie, ghiaie sabbiose b) sabbie, sabbie ghiaiose

SISTEMA DI MATELICA

(PLEISTOCENE SUPERIORE)

	MTbn	Depositi alluvionali terrazzati a) ghiaie, ghiaie sabbiose b) sabbie, sabbie ghiaiose
--	------	---

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

	FEMa	FORMAZIONE DI FERMO Litofacies arenaceo - conglomeratica Pleistocene inferiore(?) - Medio
--	------	---

SUCCESSIONE PLIOCENICA

	FAA	ARGILLE AZZURRE Pliocene inferiore p.p.(Zancleano) - Pleistocene inferiore-Medio(?)
	FAAa	ARGILLE AZZURRE Litofacies pellico-arenacea o arenaceo-pellica
	FAAb	ARGILLE AZZURRE Litofacies arenacea

Fig. 6. 6 – estratto della legenda della carta geologica

Proseguendo verso valle l'analisi del profilo, si nota che, in entrambi i periodi, seppure rimanendo in condizione di falda alimentante, il livello piezometrico subisce un progressivo abbassamento.

Nel tratto finale, poi, nei pressi della stazione di misura, il livello della falda rimane al di sopra di quello del fiume nel periodo di morbida, viceversa, viene sormontato dal livello idrometrico durante il periodo di magra.

Tuttavia nei pozzi 3 e 4, che sono ubicati più in prossimità dell'alveo fluviale, il livello di falda registrato risulta sempre inferiore al livello del fiume.

Infine, per quanto riguarda il pozzo 1, risulta evidente come il comportamento della falda acquifera che esso intercetta, sia influenzato, durante i mesi estivi, dal sistematico utilizzo del pozzo a scopo irriguo.

6.2 Livello delle acque sotterranee e caratteristiche dell'acquifero

La funzione di un acquifero è quella di immagazzinare e trasmettere l'acqua. L'immagazzinamento S avviene nella parte porosa del terreno che lo costituisce; lo spostamento ha luogo tra punti a diverso carico piezometrico: da quello maggiore (area di ricarica) verso quello minore (area di recapito).

La variazione di immagazzinamento in un acquifero è data dal bilancio entrata/uscita cioè $\Delta S = \text{ricarica} - \text{recapito}$.

In condizioni naturali, all'equilibrio, $\Delta S = 0$ e questo si verifica ad esempio considerando un intero anno idrologico.

La ricarica si verifica quando una fonte d'acqua in contatto con l'acquifero lo rifornisce: percolazione verticale da piogge, infiltrazioni laterali o dall'alveo di fiumi o da acquiferi comunicanti.

La percolazione da acque meteoriche è sicuramente una delle cause principali di alimentazione la cui entità è regolata dall'esposizione topografica, dalla vegetazione, dalla natura del suolo, dalla litologia e dall'intensità e frequenza delle piogge.

L'infiltrazione da laghi e fiumi è localizzata e stagionale, in alcune zone, ad esempio, interi tratti fluviali possono scomparire per alimentare la falda.

Un acquifero può essere ricaricato se comunica, attraverso una zona permeabile, con un altro acquifero confinante lateralmente; l'entità della ricarica dipende dalla

differenza di carico idraulico, dal tipo di collegamento e dai parametri idrogeologici degli acquiferi stessi.

La ricarica, poi, può essere di natura artificiale: attuata tramite la realizzazione di bacini poco profondi ma estesi, pozzi di infiltrazione, sistemi di irrigazione, fosse biologiche e reti fognarie, anche questi ultimi possono essere considerati sistemi di ricarica (e/o inquinamento) artificiali seppure non intenzionali.

Il recapito si verifica dove l'acqua, muovendosi verso zone topograficamente depresse, abbandona l'acquifero per ritornare alla superficie, ad esempio lungo i fiumi, laghi, zone umide, sorgenti e aree verdi.

Lungo alcuni tratti di alveo e durante certi periodi dell'anno, l'acqua sotterranea può alimentare i fiumi e mantenerne il corso.

Quando la falda interseca la superficie del terreno, la filtrazione attraverso l'acquifero può alimentare sorgenti, fontanili e zone umide.

Un acquifero, poi, può perdere acqua per evaporazione quando la falda è prossima alla superficie, tramite la frangia capillare, e lo stesso si verifica attraverso le radici delle piante quando è presente una grande copertura vegetale.

Infine, in riferimento all'estrazione artificiale, i principali responsabili di abbassamento delle falde sono pozzi e dreni. (www.disgam.units.it)

Nel caso in esame, si è trattato di indagare, attraverso l'analisi del livello delle acque sotterranee e delle caratteristiche fisiche e litologiche del territorio, l'acquifero ospitante la falda di subalveo del Rio Scaricalasino, al fine di dedurne, in prima analisi, le caratteristiche idrogeologiche.

Come riportato nello stralcio della carta geologica di Fig. 6.5 e nella relativa legenda di Fig. 6.6, esso è costituito da depositi alluvionali terrazzati affioranti sugli orli dei terrazzi che bordano l'alveo attuale e che sono caratterizzati nella loro parte alta da ghiaie e ghiaie sabbiose subordinatamente da sabbie. La stratificazione è generalmente discontinua, incrociata, concava o piano-parallela (Sarti e Coltorti, 2011).

Il **livello delle acque sotterranee**, misurato sia manualmente sui 19 pozzi censiti sia in maniera automatica sul pozzo strumentato, rappresenta la sommatoria degli effetti antropici e naturali sul sistema idrico sotterraneo e contribuisce a definirne lo stato quantitativo.

Il monitoraggio effettuato sui pozzi ha consentito di definire la distribuzione, nell'anno idrologico successivo all'evento di piena registrato nel marzo 2011, della soggiacenza, tradotta poi in quota piezometrica, della falda di subalveo del Rio Scaricalasino, la quale dipende direttamente, oltre che dalle precipitazioni, dal rapporto della stessa con il corpo idrico superficiale ed è anche influenzata dal regime dei prelievi.

Le misure di livello, eseguite con cadenza mensile dal marzo 2011 al gennaio 2012, mostrano, come tendenza comune a quasi tutti i pozzi, una quota massima nel periodo primaverile e una quota minima in quello autunnale.

In termini di soggiacenza, ovvero di profondità relativa del pelo libero della falda rispetto al piano campagna locale, con valori crescenti verso il basso, è stato registrato nel pozzo 8, in marzo, il valore minimo di 0.25 m e nel pozzo 14, in settembre, il valore massimo di 5.52 m.

Le elaborazioni, illustrate al capitolo precedente e volte ad analizzare le variazioni della piezometria nel tempo e per ciascun pozzo secondo l'ubicazione, hanno poi mostrato il comportamento, di seguito chiarito, dell'acquifero alluvionale rispetto alla sua capacità di scarica e ricarica.

Nella zona di valle, più prossima alla confluenza Scaricalasino – Aspio, i pozzi mostrano una velocità di scarica accentuata, evidente soprattutto nei pozzi 1 e 5, e maggiore nel periodo immediatamente successivo all'evento di piena del fiume. Il tempo di ricarica di questa parte dell'acquifero, invece, può pensarsi molto superiore rispetto al tempo di scarica dal momento che, nel periodo di osservazione, che è di dieci mesi, quest'ultima risulta soltanto accennata. Questo significa che l'anno idrologico della falda monitorata in questa zona è molto più lungo del periodo considerato e che l'infiltrazione efficace, che dipende anche dalla permeabilità del suolo e degli strati in contatto con l'acquifero, è ridotta.

La stessa pendenza in fase di scarica è stata rilevata nei pozzi S7 e S8 seppure siano ubicati in una zona diversa da quelli sopra citati, e in essi, durante il periodo di monitoraggio, non è stato individuato alcun segnale di ricarica.

Nel tratto centrale della pianura alluvionale, i pozzi presentano una pendenza minore in fase di scarica ma, in essi, si registra una maggiore tendenza all'equilibrio tra le due fasi, con una capacità di ricarica importante riscontrata nei pozzi A e C. In questo tratto l'infiltrazione è favorita ed è rilevante anche la capacità di trasferimento della risorsa idrica verso il corso d'acqua per l'entità del gradiente idraulico.

Inoltre, in questa zona, in seguito al particolare evento di pioggia di cui si è trattato, per un periodo di tempo abbastanza lungo, la saturazione del suolo ha favorito il ristagno di acqua meteorica o proveniente dall'esonazione del fiume che piano piano si è infiltrata alimentando la riserva dell'acquifero.

Nella parte di acquifero compresa tra il Vallone di Offagna e il Fosso San Valentino, a monte della loro confluenza, si registra, all'interno del pozzo 14 bis, una variazione di quota piezometrica limitata con una simmetria tra la pendenza della fase di scarica e quella di ricarica. Il pozzo 14, invece, a differenza del pozzo 14 bis, presenta una quota piezometrica più elevata a inizio periodo e un'escursione di 2.6 m tra il massimo ed il

minimo; il livello piezometrico osservato in questo pozzo è poi influenzato dalle captazioni.

Comportamenti atipici, rispetto agli altri, sono quelli registrati nei pozzi S4 e 4; il primo ha un andamento del livello di falda, monitorato da giugno, sempre crescente, seppure lievemente; questo significa che nel bilancio, in questa parte di acquifero, la ricarica supera il recapito. Esso è situato in sinistra idrografica in corrispondenza del tratto centrale del corso d'acqua, intercetta l'acquifero alluvionale nelle vicinanze del deposito pelitico-arenaceo di versante (Fig. 6.5). Il secondo, invece, situato in prossimità dell'alveo fluviale, nelle vicinanze della stazione di misura, mostra, per tutto il periodo analizzato, valori elevati di soggiacenza compresi tra 3.6 m e 3.9 m e poco variabili nel tempo; il livello della falda in esso è sempre al di sotto del livello del fiume.

Si riscontrano dunque differenze di comportamento dei livelli piezometrici in più punti della stessa falda, anche vicini, che possono essere dovute, oltreché all'eterogeneità dell'acquifero alluvionale, anche all'entità e al tipo degli interscambi esistenti tra falde sovrapposte, alla presenza o meno di alimentazioni laterali, all'esistenza di zone con coperture poco permeabili ecc., così come a cause artificiali quali l'emungimento o la comunicazione indotta tra falde sovrapposte attraverso la perforazione di pozzi (Celico, 2013).

La lettura delle **carte a linee isopiezometriche** fornisce importanti informazioni riguardo i parametri idrogeologici dell'acquifero, che esprimono la capacità di permettere il movimento della risorsa idrica al suo interno.

Le carte elaborate in precedenza mostrano come varia, lungo lo sviluppo longitudinale del corso d'acqua, il distanziamento tra le isofreatiche. Nello specifico, si riduce verso valle, mentre è piuttosto ampio nel tratto centrale.

La distanza tra due isofreatiche successive è espressione del gradiente idraulico secondo una relazione di proporzionalità inversa: esso è dato dal rapporto tra la differenza di potenziale idraulico tra due punti situati su due linee successive e la loro distanza sulla carta. (Celico, 2013)

Laddove, quindi, le linee si presentano più vicine, il gradiente idraulico, ovvero la cadente piezometrica, ovvero la pendenza del profilo della superficie piezometrica, è maggiore.

Questo implica, essendo valide, per il moto delle acque sotterranee all'interno di un mezzo poroso, la legge di Darcy¹ (Darcy, 1856) e l'equazione di continuità², che:

- a parità di sezione, il gradiente idraulico è maggiore dove si ha minore

¹ Legge di Darcy $Q = k \cdot S \cdot i$ con k = permeabilità del mezzo; S = sezione; i = gradiente idraulico

² Equazione di continuità $Q = k_1 \cdot S_1 \cdot i_1 = k_2 \cdot S_2 \cdot i_2 = \text{costante}$

permeabilità;

- a parità di permeabilità, se il gradiente idraulico è maggiore significa che l'acquifero dispone di una sezione minore;
- per unità di larghezza della sezione dell'acquifero, la trasmissività, definita come il prodotto tra la permeabilità e lo spessore dell'acquifero, è inversamente proporzionale al gradiente idraulico.

Il **monitoraggio in continuo dei livelli di falda** nel pozzo A permette di confermare quanto già detto a proposito dell'interazione del sistema falda – fiume; in questo punto il livello del fiume viene sovrastato, nel valore medio, di quasi 3.5 m, tuttavia lo sfruttamento del pozzo in alcuni periodi dell'anno fa scendere la quota piezometrica al di sotto di quella idrometrica.

Attraverso questo tipo di monitoraggio risulta molto più evidente quello che si chiama *regime dei livelli di falda*, ovvero la distribuzione nel tempo delle variazioni di livello, rispetto ad una quota di riferimento. Tali oscillazioni possono essere dovute a diversi fattori, la maggior parte dei quali non comporta variazioni dei volumi di acqua disponibili. Ai fini dello studio e dell'utilizzazione della risorsa idrica, sono invece importanti le oscillazioni dovute alle precipitazioni; infatti nelle stagioni piovose le acque meteoriche ricaricano la falda con il conseguente innalzamento del livello idrico fino a determinati valori massimi (periodo di piena); successivamente questo tende a deprimersi con gradualità a causa della scarica dovuta al deflusso verso le zone di emergenza fino a raggiungere i livelli minimi (periodo di magra).

Ciò detto, risulta evidente che il regime della falda dipende direttamente dal regime pluviometrico.

Esiste, tuttavia, un'azione regolatrice dell'acquifero la quale fa sì che l'anno idrologico della falda non debba necessariamente coincidere con quello pluviometrico; infatti, di norma, sussiste un ritardo, più o meno ampio, tra la caduta delle precipitazioni e la risposta dell'acquifero.

Il *tempo di risposta* dell'acquifero è dovuto chiaramente all'effetto dell'insieme dei fattori che contribuiscono a ritardare l'innalzamento del livello di falda rispetto all'arrivo delle precipitazioni al suolo.

Il ritardo è dovuto ai tempi di infiltrazione delle acque meteoriche, ai tempi di percolazione per effetto dello spessore e della permeabilità verticale della zona di aerazione che sovrasta la superficie piezometrica e anche al periodo di caduta delle precipitazioni; i livelli di falda, infatti, sono poco influenzati dalle piogge estive perché, essendo prevalenti le perdite per evapotraspirazione, esse tendono a colmare il deficit di acqua di ritenzione prima di dare inizio al movimento di percolazione verso la zona di saturazione.

I maggiori o minori ritardi possono essere legati poi anche ad altri fattori quali il tipo di precipitazione e l'intensità di pioggia: piogge molto intense saturano velocemente lo strato di terreno superficiale e facilitano il ruscellamento, mentre piogge troppo frazionate facilitano le perdite per evapotraspirazione.

Il grafico delle figure 6.7 e 6.8 contengono i dati registrati in continuo, rispettivamente nell'anno 2018 e 2012, della quota piezometrica al pozzo A, del livello idrometrico ricordato alla sezione in corrispondenza del pozzo e delle precipitazioni, estrapolati dall'elaborazione riportata al capitolo precedente; in essi sono evidenti le seguenti caratteristiche:

- il rapporto falda – fiume;
- l'influenza delle precipitazioni sulle oscillazioni piezometriche ed idrometriche;
- il tempo di risposta dell'acquifero intercettato e il tempo di ritardo del bacino rispetto alla precipitazione;
- il regime della falda;
- il verificarsi di eventi meteorici anomali.

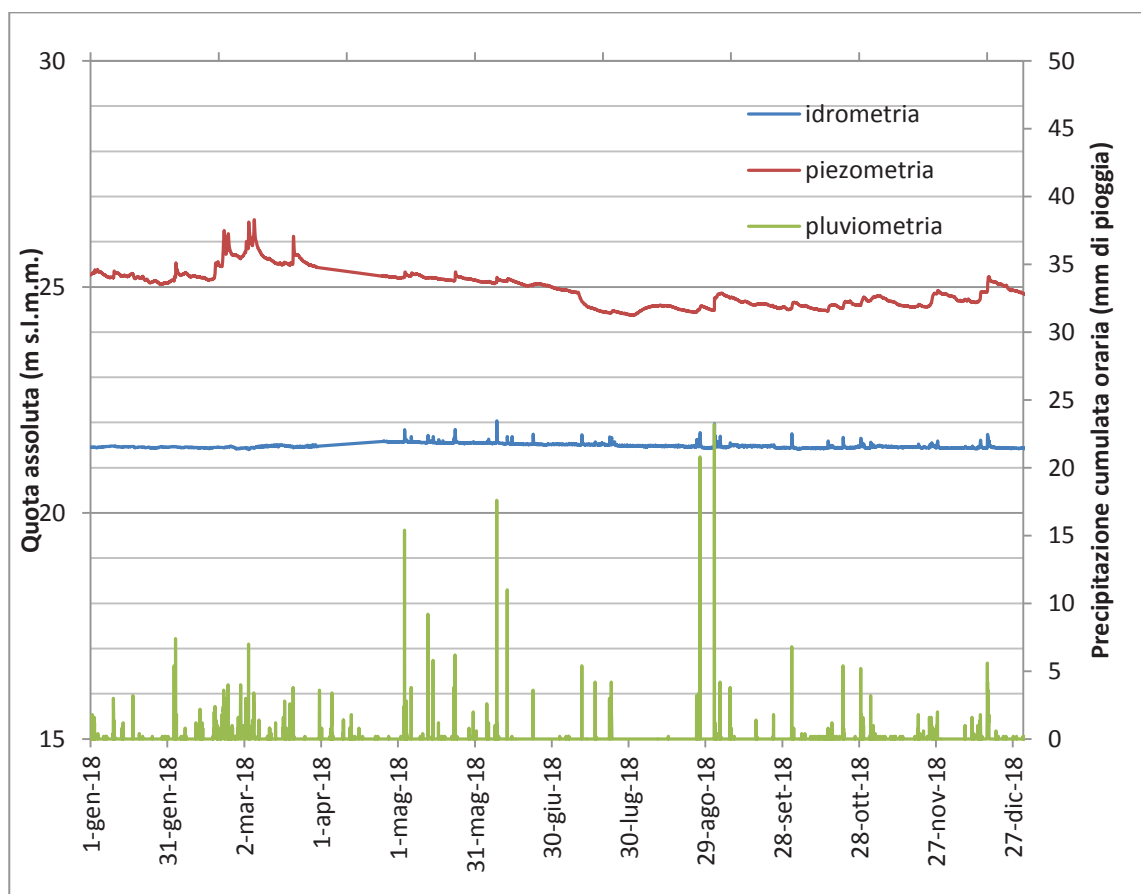


Fig. 6. 7 - andamento del livello piezometrico, idrometrico e delle precipitazioni nell'anno 2018

Nell'anno 2018 (Fig. 6.7) la quota piezometrica, registrata nel pozzo A ubicato nel tratto centrale della pianura alluvionale in destra idrografica, risulta sempre superiore alla quota idrometrica di almeno 3 metri, presentando una condizione di falda alimentante sia in periodo di piena sia in periodo di magra.

Il periodo di piena della falda si evidenzia nel tardo inverno/inizio primavera seguito dalla fase di scarica che si protrae fino ad agosto/settembre.

L'influenza delle precipitazioni sulle oscillazioni di livello idrometrico è diversa a seconda dell'intensità degli eventi e del periodo in cui si verificano. Nella prima parte dell'anno, ad esempio, gli eventi meteorici registrati non determinano oscillazioni del livello idrometrico, bensì alimentano notevolmente la falda; il bacino, in risposta a tali eventi, meno intensi e più frequenti, manifesta un comportamento che favorisce l'infiltrazione piuttosto che il ruscellamento.

In ogni caso, il tempo di risposta dell'acquifero intercettato e il tempo di ritardo del bacino rispetto alla precipitazione, sono entrambi molto brevi: dell'ordine di alcune ore.

Infine, l'evento meteorico più intenso si osserva ad agosto, segno di una forma particolare di cambiamento climatico che sposta le precipitazioni molto intense a volte nel campo estivo.

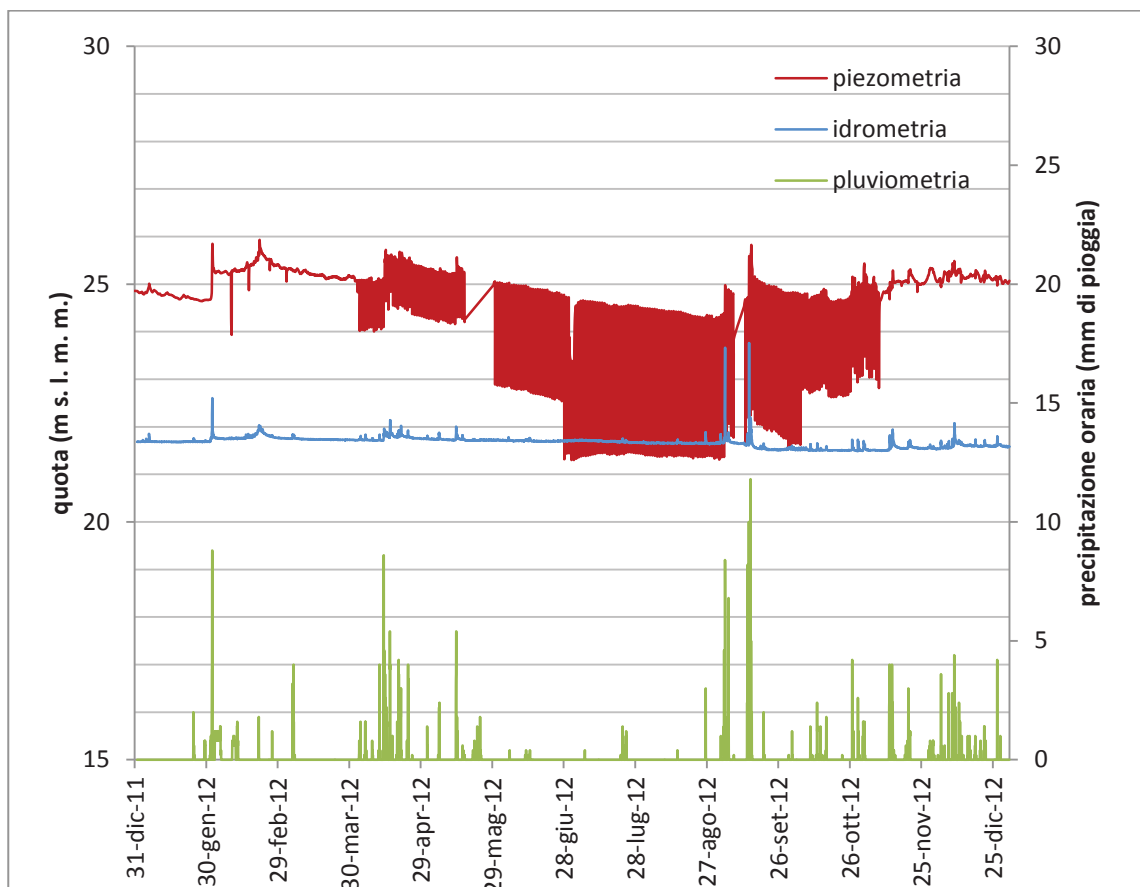


Fig. 6. 8 - andamento del livello piezometrico, idrometrico e delle precipitazioni nell'anno 2012

L'andamento relativo all'anno 2012 (Fig. 6.8) evidenzia lo sfruttamento del pozzo dal periodo primaverile a quello autunnale, esso si mostra particolarmente rilevante nel periodo estivo determinando l'abbassamento della quota piezometrica al di sotto del livello del fiume e una perturbazione rispetto alla prevalente condizione di falda alimentante il corso d'acqua.

Il regime della falda presenta il periodo di piena tra gennaio e febbraio e il periodo di magra in settembre dove però il verificarsi di un evento meteorico molto intenso riporta il livello piezometrico a valori prossimi a quelli di piena.

In tutto il periodo osservato, al netto delle captazioni, si nota la marcata corrispondenza tra l'andamento della quota piezometrica e quello della quota idrometrica, indipendentemente dalle caratteristiche della precipitazione che ne causa le oscillazioni. Questo aspetto risulta ancora più evidente analizzando tali rapporti per singoli eventi meteorici, come presentato al paragrafo successivo.

6.3 Risultati della modellazione idrologica

Lo studio condotto nel bacino del Rio Scaricalasino (Fronzi e Tazioli, 2019) che ha previsto la modellazione idrologica di particolari eventi di precipitazione, ha messo in evidenza importanti risultati che hanno trovato ulteriore conferma da quanto descritto nel presente lavoro.

L'influenza del rapporto di alimentazione tra la falda e il corso d'acqua nella determinazione dei deflussi, per il bacino in esame, determina una discrepanza tra la forma dell'idrogramma di portata restituito dal modello e quello reale.

Si mostrano di seguito i risultati delle modellazioni di tre eventi di precipitazione che hanno interessato il bacino del Rio Scaricalasino nel maggio 2015 e nel febbraio e marzo 2018.

I risultati ottenuti per ciascun evento sono raffigurati attraverso tre grafici. Il grafico (a) mostra l'ammontare della precipitazione registrata dalle tre stazioni pluviometriche la cui area di pertinenza ricade nel bacino in esame; il grafico (b) rappresenta l'idrogramma ottenuto dal modello HEC – HMS (linea blu continua) comparato con diverse curve: il flusso di portata reale misurato alla stazione di misura (linea gialla), il contributo di portata dei sottobacini di Offagna e San Valentino (linea blu tratteggiata) e il contributo della piana alluvionale (linea rossa); il grafico (c) mostra invece l'andamento nel tempo del livello piezometrico misurato in continuo nel pozzo denominato POZZO A ubicato nella pianura alluvionale stessa.

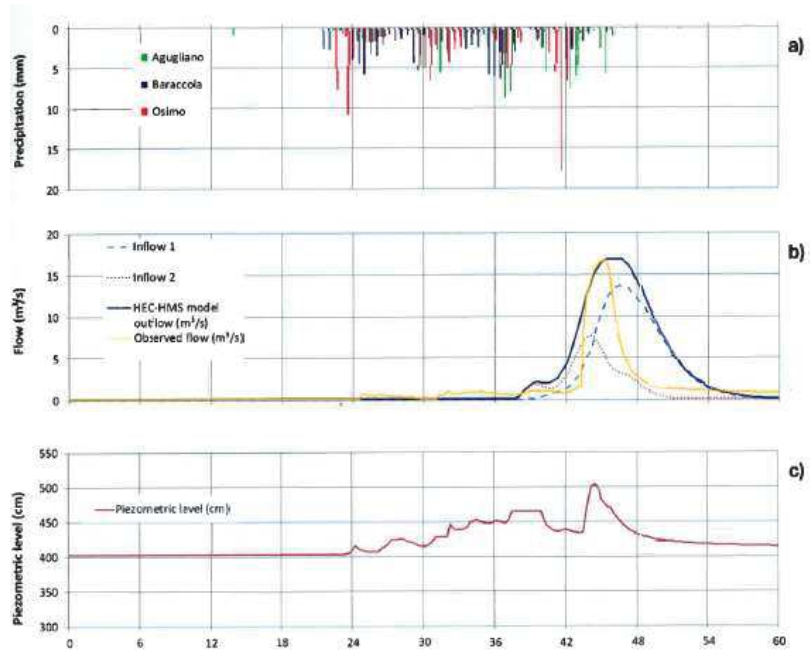


Fig. 6. 9 – (a) evento di precipitazione registrato nel maggio 2015, (b) confronto dell’output del modello con il deflusso misurato e andamento dei contributi parziali dei sottobacini , (c) andamento del livello piezometrico

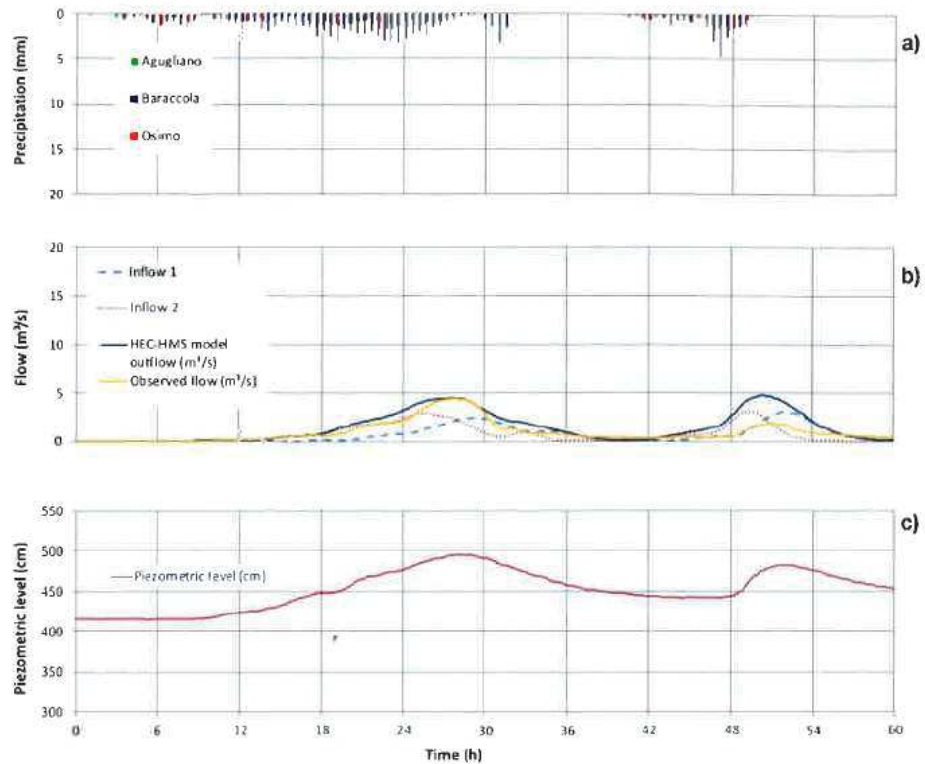


Fig. 6. 10 - (a) evento di precipitazione del febbraio 2018, (b) confronto dell’output del modello con il deflusso misurato e andamento dei contributi parziali dei sottobacini, (c) andamento del livello piezometrico

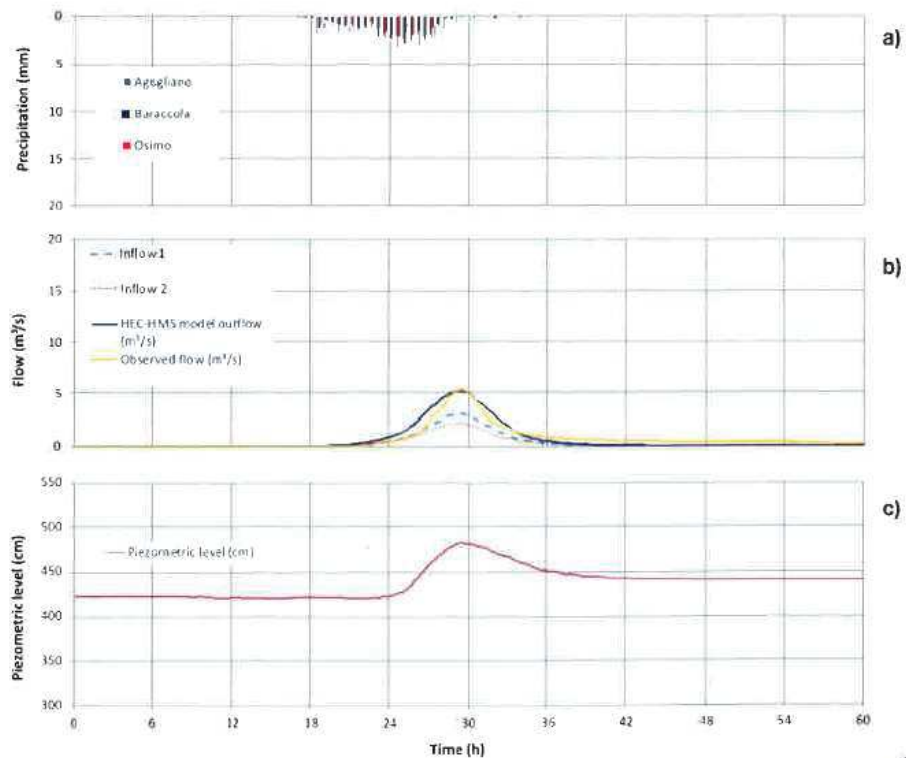


Fig. 6.11 - (a) evento di precipitazione del marzo 2018, (b) confronto dell'output del modello con il deflusso misurato e andamento dei contributi parziali dei sottobacini, (c) andamento del livello piezometrico

Le figure 6.9, 6.10 e 6.11 mostrano chiaramente la corrispondenza tra lo svilupparsi della precipitazione e le variazioni idrometriche del corso d'acqua, il ritardo tra il picco dell'evento meteorico e il picco di portata, la buona approssimazione del valore di picco. Quest'ultima dimostra la validità dell'utilizzo dei modelli a supporto della progettazione basata sulla condizione più sfavorevole; tuttavia si mettono in luce alcuni aspetti e criticità riguardanti la modellazione.

In particolare si vede che lo stato del livello piezometrico misurato in pozzo della piana alluvionale prima, durante e dopo l'evento meteorico, ricalca la forma dell'idrogramma di portata misurato che differisce da quello modellato in tutti e tre i casi esaminati: un evento meteorico estremo verificatosi in tarda primavera e due meno intensi e più regolari registrati nel tardo inverno.

In tutte le situazioni, che presentano diverse caratteristiche di precipitazione, si osserva cioè il rapporto di stretta collaborazione tra lo stato del sistema idrico sotterraneo e la portata misurata.

Il primo evento meteorico modellato presenta un picco della precipitazione dopo un lungo periodo di pioggia di media intensità; questa precipitazione iniziale ha ricaricato,

prima dell'evento di piena, la falda che a sua volta ha alimentato il corso d'acqua contribuendo all'innalzamento del livello idrometrico di piena.

Il secondo e il terzo evento, pur producendo incrementi dei livelli idrometrici simili, presentano forme molto diverse dell'idrogramma di portata: la curva, relativa all'evento di precipitazione minore e di minore durata ha una forma più ripida.

La quantità di precipitazione che si infiltra e che innalza il livello piezometrico influenza quindi il comportamento di risposta del sistema idraulico prima e durante il verificarsi dell'evento di piena.

In tutti i casi poi, esaurita la precipitazione, il contributo sotterraneo determina un ritardo nell'esaurimento della curva di portata continuando a sostenere un livello idrico, all'interno del corso d'acqua, più alto di quello computato dalla modellazione.

CAPITOLO 7

CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

7.1 Considerazioni

Il presente lavoro ha come oggetto l'indagine degli aspetti che caratterizzano l'assetto idrogeologico di un bacino idrografico campione e la valutazione del rapporto che tali aspetti hanno con il rischio idraulico.

L'area oggetto di studio ha più volte mostrato la sua fragilità subendo fenomeni di dissesto che hanno provocato ingenti danni economici per l'area produttiva e per la popolazione. Due particolari eventi di piena, registrati nel marzo 2006 e nel marzo 2011, hanno causato l'esondazione del Fiume Aspio e di alcuni suoi affluenti; il contributo maggiore in questo senso si è registrato proprio nel sottobacino del Rio Scaricalasino.

Per questo motivo, su quest'ultimo, ritenuto rappresentativo dell'intero bacino, sono stati intrapresi diversi studi aventi come oggetto l'analisi delle sue caratteristiche fisiche, geologiche, idrogeologiche e idrauliche, finalizzate alla conoscenza del territorio e alla progettazione di interventi di sistemazione e di difesa.

Nel medesimo contesto si inserisce anche questo lavoro che si compone dei seguenti elementi: la progettazione e la descrizione di modalità operative di indagine di alcuni caratteri idrogeologici; la misura e la raccolta dei dati in campagna; la loro successiva elaborazione e la definizione del loro legame con i fattori determinanti il rischio idraulico.

In particolare, a seguito dell'evento di piena registrato in data 1 e 2 marzo 2011, si è voluta analizzare, per un periodo di tempo, la capacità del bacino idrografico di immagazzinare e trasferire la risorsa idrica evidenziando il rapporto tra le acque sotterranee e le acque superficiali, senza trascurare l'impatto dell'utilizzo della risorsa stessa da parte delle attività umane.

Il lavoro presentato propone considerazioni su alcuni aspetti principali:

1. il rilievo di dettaglio delle coperture;
2. la definizione del rapporto diretto tra falda di subalveo e livello idrico del corso d'acqua;

3. l'individuazione di una rete di pozzi utilizzata come sistema di monitoraggio delle oscillazioni della superficie piezometrica e strumento fruibile in termini di riduzione del rischio idraulico;
4. il disporre di una mole di dati puntuali registrati in continuo, relativi al livello piezometrico, idrometrico e pluviometrico, che forniscono una approfondita visione, dal punto di vista temporale, del rapporto sopraccitato.
5. la necessità di una visione globale, in termini spaziali e temporali, del comportamento del bacino e della sua risposta idraulica agli eventi di precipitazione al fine di implementare l'utilizzo della modellistica nell'ambito della previsione e prevenzione del rischio idraulico.

7.1.1 Coperture

Per quanto riguarda il primo aspetto, la realizzazione di un rilievo che conduca all'elaborazione di una carta delle coperture del bacino idrografico, si rivela di notevole importanza per valutare il comportamento della parte più superficiale del terreno in risposta alla precipitazione che raggiunge il suolo. La sua litologia è uno dei fattori che determina la quota parte di precipitazione che si infiltra alimentando la falda acquifera e quella che per ruscellamento converge verso la rete idrica superficiale.

Il sottobacino del Vallone di Offagna presenta coperture per la gran parte costituite da depositi a granulometria più grossolana: depositi di natura eluvio-colluviale limoso-sabbiosi e limoso-argillosi fino a sabbie con ghiaie e depositi alluvionali rappresentati da sabbie più o meno limose con ghiaie, limi sabbiosi localmente con ghiaie e limi argilloso-sabbiosi.

Il sottobacino del Fosso San Valentino, invece, presenta una maggiore superficie coperta da depositi eluvio-colluviali prevalentemente argillosi. In esso si riscontra dunque una maggiore attitudine al ruscellamento.

La porzione di bacino posta a valle della confluenza tra i due rami descritti, analogamente al sottobacino di Offagna, è caratterizzata da coperture composte principalmente da depositi eluvio-colluviali limoso-sabbiosi o limoso-argillosi e ampie zone costituite da depositi alluvionali.

Sovrapponendo poi la carta delle coperture con quella di uso del suolo si definiscono i parametri che descrivono la capacità del bacino di trattenere o far defluire l'acqua di pioggia.

Questo aspetto costituisce un fattore sensibile nella valutazione del rischio idraulico perché interviene sulla quantità di precipitazione che raggiunge il corso d'acqua e sulla rapidità con cui questo avviene.

Vista l'eterogeneità del territorio, l'impiego di strumenti software che elaborino immagini digitali di tipo *raster* oppure *poligonali*, consente di suddividere la superficie topografica, nel primo caso, in unità quadrate elementari (pixel) e, nel secondo caso, in poligoni omogenei, e di attribuire ad ognuna un valore puntuale di parametri indicativi della capacità di infiltrazione piuttosto che della capacità di far defluire la precipitazione verso una cella vicina.

Ciò che si vuole rimarcare è, dunque, l'importanza di definire nel dettaglio le caratteristiche idrologiche della parte più superficiale del terreno al fine sia di valutare, nell'ambito del rischio idraulico, la suscettività dell'area ovvero la sua propensione al fatto che un determinato evento di pioggia possa risultare pericoloso, ma anche di supportare l'utilizzo della modellistica idrologica. La taratura dei modelli operata in conformità a dati il più possibile precisi è fondamentale per ottenere una corretta impostazione della simulazione di risposta del bacino ad un dato evento di pioggia.

7.1.2 Rapporto tra la falda e il fiume

Per quel che riguarda questo aspetto, è stato innanzitutto importante individuare e censire una serie di pozzi, distribuiti nelle vicinanze del corso d'acqua lungo tutta la pianura alluvionale, secondo criteri che li ritenessero rappresentativi rispetto al fatto di intercettare la falda di subalveo.

È stato necessario, inoltre, installare una batteria di aste idrometriche all'interno dell'alveo per la misura del livello del fiume lungo lo sviluppo longitudinale dello stesso.

Si è condotta, quindi, sui pozzi, una campagna di misure del livello piezometrico e, contemporaneamente, si sono eseguite misure di livello idrometrico sulle aste. Quest'ultimo rilevamento ha presentato anche criticità dovute all'energia del corso d'acqua che, nel tempo e a seguito di piene, può provocare mutamenti nella morfologia delle sezioni, erosione o alluvionamento del fondo alveo o anche semplicemente lo spostamento delle aste stesse.

Si sono poi confrontate, relativamente al periodo di morbida e quello di magra, le quote piezometriche misurate nei pozzi e le quote idrometriche registrate, lungo l'alveo fluviale, nella stessa data delle prime. Per poter eseguire questo confronto, ed evitare il non trascurabile errore che si sarebbe commesso deducendo le quote dalla cartografia tecnica, è stata determinante la messa in opera di un minuzioso rilievo topografico del fondo alveo e dei boccapozzi.

Si è quantificata, in questo modo, la differenza di carico idraulico esistente tra la superficie piezometrica e il livello del fiume lungo l'asse principale del corso d'acqua.

Questa differenza di carico causa una filtrazione di acqua (rilevata anche durante alcune ricognizioni in alveo) che è risultata essere prevalentemente diretta dalla falda verso il corso d'acqua.

I risultati elaborati lungo il profilo hanno evidenziato, infatti, la prevalenza, per tutta l'estensione del tratto centrale della pianura, di comportamento alimentante da parte della falda sia in periodo di morbida sia in periodo di magra ed hanno indicato, inoltre, in questo tratto, la considerevole entità della differenza di carico idraulico; essa è direttamente legata alla portata con cui le acque sotterranee defluiscono, all'interno del mezzo poroso, per raggiungere i punti di venuta sulle pareti dell'alveo.

Tale portata, per il bacino in esame, è un determinante fattore di rischio.

Questo comportamento, infatti, produce una pericolosità che non è legata soltanto al verificarsi di un evento meteorologico particolare, più o meno intenso, ma che dipende fortemente da quali sono le condizioni del sistema idrico, sotterraneo e superficiale, nel momento in cui questo evento si verifica; inoltre, determinando un mantenimento prolungato dei livelli critici, rappresenta un fattore di rischio per la tenuta e l'efficacia di opere idrauliche di difesa quali, ad esempio, le arginature.

La gran parte dei corsi d'acqua medio-piccoli dell'Italia centrale appenninica ha un rischio idraulico di esondazione legato al fatto che la falda sostiene un livello idrico elevato anche dopo che la precipitazione si è esaurita.

Proprio per la sua variabilità, l'influenza del rapporto tra sistema idrico sotterraneo e superficiale, sulla risposta idraulica del bacino ad un evento di pioggia, è ancora poco indagato e trova anche difficile introduzione all'interno dei modelli idrologici: tutti i parametri legati alla condizione idrica del suolo e del sottosuolo prima, durante e dopo l'evento simulato non vengono considerati e la capacità di infiltrazione del terreno è computata soltanto come perdita, ovvero come parte della precipitazione che non si traduce in deflusso e quindi come fattore riducente il rischio.

Si è dimostrato, invece, che l'interazione e il rapporto di alimentazione reciproca tra le precipitazioni, la falda acquifera e il livello idrometrico e le loro variazioni nel tempo sono fondamentali per comprendere la pericolosità di un evento e quindi per fare una più corretta valutazione del rischio idraulico.

Infatti, in riferimento all'evento di pioggia preso in esame del marzo 2011, che ha causato in alcuni tratti l'esondazione del Rio Scaricalasino, si è osservato che l'anno 2010 è stato un anno caratterizzato da precipitazioni molto abbondanti che hanno senza dubbio alimentato considerevolmente la falda e si è osservato inoltre che, successivamente all'evento, l'infiltrazione ritardata, provocata dal ristagno di acqua sui campi a seguito dell'esondazione, ha mantenuto un livello piezometrico elevato che a sua volta ha sostenuto, per molti mesi, un livello idrico innaturale del corso d'acqua.

Questo a dimostrazione ulteriore del fatto che la pericolosità di ogni singolo evento di pioggia deve essere valutata secondo una visione correlata dei fenomeni climatici, idrogeologici e idraulici nel loro insieme e secondo la loro evoluzione temporale.

7.1.3 Rete di pozzi

La rete di pozzi, individuati e censiti nelle vicinanze del corso d'acqua e lungo tutto lo sviluppo della pianura alluvionale del Rio Scaricalasino, costituisce lo strumento fondamentale per lo studio del regime della falda acquifera e per il suo monitoraggio nel tempo.

L'elaborazione dei dati, misurati nei singoli pozzi, ha consentito di indagare, spazialmente e per circa un anno, le variazioni del livello piezometrico, di osservare le fasi di scarica e ricarica della falda, di valutare la capacità dell'acquifero di trasferire la risorsa idrica e di osservare il suo comportamento nei mesi successivi ad un evento di precipitazione particolarmente rilevante.

In alcuni pozzi, sfruttati ad uso prevalentemente irriguo durante i mesi estivi, si è potuta osservare l'influenza del prelievo della risorsa idrica sotterranea in questo bacino e la risposta dell'acquifero alla captazione.

L'analisi di questo aspetto conduce a due considerazioni: da un lato, un pozzo situato nei pressi del fiume, a seguito di un pompaggio che determini l'abbassamento del livello piezometrico al di sotto di quello idrometrico, richiama al suo interno acqua superficiale, potenzialmente inquinata o di bassa qualità, determinando un rischio dal punto di vista dell'utilizzo della risorsa idrica; dall'altro lato, lo stesso fenomeno rappresenta un'inversione del comportamento di alimentazione reciproca tra la falda e il fiume descritto in precedenza, costituendo un fattore di mitigazione del rischio idraulico.

Per questo, in virtù della stretta e quantitativamente rilevante collaborazione tra il sistema idrico superficiale e quello sotterraneo, la rete di pozzi costituisce anche uno strumento che può essere sfruttato, in un'ottica di contenimento del rischio, per controllare, appunto, il rapporto di alimentazione reciproca tra la falda e il corso d'acqua.

I pozzi censiti costituiscono, poi, un'efficace rete di monitoraggio per valutare la condizione idrogeologica in cui il bacino si trova e la sua evoluzione che ne determina la risposta al verificarsi di un evento di pioggia e quindi la pericolosità dello stesso.

7.1.4 Monitoraggio in continuo

In un pozzo strumentato (POZZO A), si è registrato in continuo, con cadenza temporale di 15 minuti, l'andamento del livello piezometrico dal 2011 ad oggi.

La successiva elaborazione delle misure ha restituito l'andamento orario della quota piezometrica riferita al livello del mare.

Analogamente si è provveduto a registrare in continuo, mediante l'installazione di una stazione di misura nei pressi della confluenza Scaricalasino - Aspigo, i livelli idrometrici del corso d'acqua e, mediante analogo elaborazione, si è ottenuto l'andamento orario delle quote idrometriche.

Con le dovute correzioni, i due andamenti sono stati riferiti allo stesso punto e confrontati, fornendo una visione accurata e molto ampia a livello temporale della reciproca interazione ed alimentazione tra il sistema idrico sotterraneo e il sistema idrico superficiale.

Il monitoraggio in continuo ha confermato il comportamento di falda alimentante il corso d'acqua, mostrando anche l'influenza dell'utilizzo del pozzo il quale determina un abbassamento della quota piezometrica che però, in breve tempo, tende ad essere ristabilita nel suo livello indisturbato dimostrando la notevole capacità di portata dell'acquifero in quel punto.

In ottica di mitigazione del rischio idraulico, però, lo sfruttamento di una serie di pozzi aventi lo stesso comportamento di quello analizzato, comporta un abbassamento diffuso della quota piezometrica e può richiamare acqua superficiale a livello dei pozzi.

Il confronto sopra citato è stato successivamente implementato introducendo l'andamento orario delle precipitazioni nello stesso arco temporale fornendo ulteriori elementi di conoscenza in merito alla risposta del bacino agli eventi di pioggia, in particolare, in relazione ai tempi di ritardo delle oscillazioni sia della falda sia del livello del fiume e in rapporto alle caratteristiche dell'evento (tipologia, intensità, stagione, ecc.) che determina tali oscillazioni.

L'aver a disposizione una così lunga serie di dati, oltre a fornire la risposta del sistema idrico, nel suo insieme, alle precipitazioni, mette in luce anche un altro aspetto importante nella valutazione del rischio, vale a dire la registrazione di eventi di piena "anomali", collocati cioè in periodi dell'anno non attesi per il regime torrentizio che caratterizza i nostri fiumi.

Essi hanno un regime di portata molto variabile, con periodi di magra in estate e in inverno e piene che si susseguono nel periodo autunnale e primaverile, talvolta anche improvvise per la limitata estensione dei bacini idrografici e il ridotto tempo di

corrivazione. In questi ultimi nove anni, però, si sono registrate piene anche in periodi dell'anno in cui normalmente non si registravano, dovute principalmente alla risposta del bacino ad eventi di precipitazione estremi per intensità.

7.1.5 Applicazione dei modelli

Anche nell'ambito dell'applicazione della modellistica idraulica e idrologica per la valutazione del rischio idraulico, si vuole porre l'accento su un aspetto che è il filo conduttore del presente lavoro, ossia l'importanza dell'acquisizione dei dati sul territorio e dell'osservazione prolungata dei fenomeni che influenzano la risposta del bacino idrografico ad eventi di precipitazione.

È evidente che un rilievo di dettaglio delle caratteristiche necessarie a definire i dati di input dei modelli sia indispensabile; ma ancora più importante, per fare una valutazione critica dei risultati restituiti, in relazione allo scopo per cui si ricorre al loro utilizzo, è l'osservazione del comportamento del bacino in termini piezometrici e idrometrici e la sua evoluzione prima, durante e dopo il verificarsi di un evento di precipitazione, in relazione anche alle caratteristiche dell'evento stesso.

Quanto esposto nei precedenti capitoli mostra la necessità di indagare il più dettagliatamente possibile le variabili che definiscono la suscettività di un territorio al rischio idraulico: la morfologia della rete idrica e i materiali che compongono l'alveo fluviale che influenzano la capacità di trasferire al suo interno la risorsa idrica, la litologia e la conducibilità idraulica degli strati più superficiali del terreno che compongono il bacino idrografico, le condizioni di umidità in cui essi si trovano prima del verificarsi di un evento, l'uso del suolo, le caratteristiche della precipitazione ecc. Inoltre si è posta l'attenzione su un aspetto che trova ancora non facile introduzione all'interno dei modelli, ovvero la quantificazione dell'influenza del rapporto di alimentazione tra la falda di subalveo e il corso d'acqua che dipende dall'andamento piezometrico della falda stessa.

In questo senso, i risultati ottenuti, per il bacino in esame, mostrano una criticità nell'applicazione del modello idrologico, in quanto, seppure si introduca un flusso di base che stimi il contributo sotterraneo della falda di subalveo, la forma dell'idrogramma di portata restituito dal modello si discosta da quello reale. Quest'ultimo, infatti, mostra la presenza di una portata, non attesa dal modello, nel periodo successivo l'esaurirsi dell'evento di piena.

Questo fatto costituisce un fattore di rischio idraulico per la tenuta temporale delle opere di difesa progettate sulla base del picco di portata ottenuto dalla modellazione di un singolo evento, la quale, però, non tiene conto delle condizioni piezometriche dell'acquifero precedenti e successive l'evento modellato.

Si ripete allora che, per una corretta valutazione del rischio idraulico, è necessario quantificare l'entità e l'evoluzione temporale dell'interazione e della reciproca alimentazione tra precipitazione, sistema idrico sotterraneo e sistema idrico superficiale.

7.2 Conclusioni

Le precedenti considerazioni chiariscono l'intento di questo lavoro di studiare e mettere in relazione le caratteristiche fisiche, litologiche, idrogeologiche e idrauliche del bacino idrografico esaminato, ponendo particolare attenzione al legame esistente tra il sistema idrico sotterraneo e quello superficiale, allo scopo di formulare una valutazione del rischio idraulico.

Il lavoro svolto ha mostrato una metodologia d'indagine articolata e un'ampia e massiccia raccolta di dati. Questa ha consentito di analizzare, sotto diversi punti di vista, le relazioni esistenti tra i diversi assetti del territorio, in questo caso particolare, quello idrogeologico e quello idraulico, di monitorarne l'evoluzione temporale e di osservare, secondo una visione globale, la risposta del bacino alle precipitazioni.

Tale modalità operativa consente di conoscere in modo più approfondito i fenomeni che compongono il rischio, di valutare quali di questi siano più incidenti, in quale tratto del corso d'acqua, in quale periodo dell'anno e per quali condizioni.

Questo procedimento, di analisi e valutazione, è fondamentale, quindi, per ponderare quali interventi di mitigazione e prevenzione del rischio siano più adeguati, per coadiuvare la modellazione che sta alla base della progettazione di interventi di difesa del territorio e per un'adeguata progettazione e programmazione di interventi di manutenzione del corso d'acqua.

Un'ultima, ma non meno importante, riflessione va fatta sulla preziosità della realizzazione del progetto di bacino sperimentale come luogo di sviluppo e integrazione di strumenti, tecniche e capacità professionali diverse. La ricchezza, in termini di conoscenza, acquisizione dati, monitoraggio e studio approfondito della complessità dei fenomeni che governano il territorio, implementata nel corso del tempo, e di cui anche questo lavoro fa parte, ha lo scopo di fornire risultati utili, condivisibili e applicabili a più ampia scala, per offrire concretamente una risposta alla gravosa questione della fragilità idrogeologica del nostro territorio.

Bibliografia

BOLT B.A, HORN W.L., MACDONALD G.A., SCOTT R.F. (1975) – *Geological Hazards*. Springer – Verlag, Berlin.

CELICO P. (1986) – *Prospezioni idrogeologiche. Vol. I*. Liguori Editore, Napoli.

CELICO P. (2003) – *Elementi di idrogeologia*. Liguori Editore, Napoli.

COLTORTI M. (1992) – *Geomorfologia ed evoluzione fluviale oloceanica nella valle del Fiume Musone (Marche, Italia). Il bacino del Fiume Musone*.

DA DEPPO L., DATEI C., SALANDIN P. (2004) – *Sistemazione dei corsi d'acqua*. Libreria Internazionale Cortina, Padova.

DARCY H. (1856) - *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon: Exposition et Application des Principes a Suivre et des Formules a Employer dans les Questions de Distribution d'Eau*. Dalmont V. Ed., Paris.

DE BERNARDI A. (2017) – *Salute di acqua e suolo. Un confronto tra i due bacini del Tarugo e dello Scaricalasino*. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Forestali dei suoli e del paesaggio, Università Politecnica delle Marche.

EREDIA F. (1934) – *Servizio Idrografico Italiano: Le precipitazioni atmosferiche in Italia nel decennio 1921-1930*. Roma.

FERRO V. (2006) – *La sistemazione dei bacini idrografici*. McGraw – Hill, Milano.

FRONZI D., TAZIOLI A. (2019) – *Groundwater and flood events in different hydrogeological periods: a case study in the Aspio River (Marche Region)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, (1): 5-15. Sapienza Università Editrice, Roma.

MATTIOLI A. (2014) – *Il bacino del Fiume Aspio: assetto geostrutturale, geomorfologia e idrogeologia nell'analisi delle pericolosità idrogeologiche*. Tesi di dottorato, Università Politecnica delle Marche.

MURACHELLI A., RIBONI V. (2010) – *Rischio idraulico e difesa del territorio*. Flaccovio Editore, Palermo.

NANNI T., TAZIOLI A., VIVALDA P.M. (2010) – *Problems in the application of environmental isotopes to the hydrogeology of high mountain aquifers*. AquaMundi, 4(1): 55-66.

PANIZZA M. (1988) – *Geologia Applicata*. La Nuova Scientifica, Roma.

RINALDO A., ALTISSIMO L., PUTTI M., PASSADORE G., MONEGO M., SOTTANI A. (2010) – *Modello matematico di flusso nei sistemi acquiferi dei territori dell'autorità d'ambito territoriale ottimale a.t.o. Brenta*. Università degli studi di Padova, Centro idrico di Novoledo, Provincia di Padova, A.T.O. Brenta. Relazione finale.

TAZIOLI A., MATTIOLI A., NANNI T., VIVALDA P.M. (2015) – *Natural hazard analysis in the Aspio equipped basin*. Engineering Geology for Society and Territory, vol. 3: 431-435. G. Lollino, Springer International Publishing.

THIESSEN A.H. (1911) – *Precipitation average for large areas*. Montly Wether Rew.

TOMASSONI D. (2011) – *Schemi sezioni fluviali rilevate nel corso dell'attività di ricerca*.

VARNES D.J., IAEG Commission on Landslide (1984) – *Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2009) – *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*. User's manual.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2010) – *HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension*. User's manual.

Sitografia

www.regione.marche.it – Dipartimento per le politiche integrate di Sicurezza e Protezione Civile.

www.regione.marche.it – Paesaggio, Urbanistica, Territorio, Genio Civile.

www.knowledge.autodesk.com

www.hec.usace.army.mil

www.regione.veneto.it – Ambiente e Territorio - convegni SIT.

www.disgam.units.it – dispense corso di Idrogeologia Applicata Prof. FILECCIA A., Dipartimento Scienze Geologiche, Ambientali e Marine. Università di Trieste.

www.elearning.unipd.it – Fondamenti di idrologia. Afflussi-deflussi: la pioggia efficace. Prof. DALLA FONTATA G. Università di Padova.

Ringraziamenti

Al Prof. Alberto Tazioli è rivolta la mia più profonda gratitudine per avermi dato la possibilità (nonché la “seconda possibilità”) di scrivere questa pagina, ma soprattutto per avermi guidato e insegnato durante questo cammino non solo di studio.

Ringrazio il Dott. Davide Fronzi per la competenza scientifica e per la sua generosità.

Grazie a Mario Loffredo e Vittorio Polenta per l’imprescindibile contributo tecnico nella realizzazione dei rilievi in campagna; alla Dott.ssa Annalisa Mattioli per avermi accompagnato nell’approfondimento della parte geologica e al Dott. Stefano Palpacelli per il lavoro di censimento dei pozzi.

Un ringraziamento particolare alla Prof.ssa Giovanna Darvini del Dipartimento DICEA dell’Università Politecnica delle Marche per la disponibilità e la preziosa consulenza nello studio e applicazione della modellistica idraulica.

Ringrazio inoltre il Dott. Ettore Marchegiani e l’Agenzia A.S.S.A.M. Marche per la gentile concessione di consultazione e utilizzo di dati.

Grazie, infine, alle persone che per amore guidano, accompagnano, sostengono e spingono i miei passi.