



**POZZI ED ACQUE SOTTERRANEE NEL CENTRO STORICO DI ASCOLI
PICENO**

UNA STRATEGIA DI VALORIZZAZIONE E RISANAMENTO

RELAZIONE GEOLOGICA GENERALE



Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Perugia

Piazza dell'Università, 1 – 06100 Perugia

gennaio 2010

Dott. Geol. Daniela Valigi

Dott. Geol. Costanza Cambi

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO	4
3. IDROGEOLOGIA	7
3.1 STRUTTURA DELL'ACQUIFERO E PIEZOMETRIA	7
3.1.1 Utilizzo dei metodi statistici per la ricostruzione della superficie piezometrica	8
3.2 PROVE DI POMPAGGIO	13
4. CARATTERISTICHE CLIMATICHE	16
4.1 PIOGGE	16
4.2 TEMPERATURE	17
4.3 BILANCIO IDROGEOLOGICO	18
5. CONCLUSIONI	22
BIBLIOGRAFIA	26

1. INTRODUZIONE

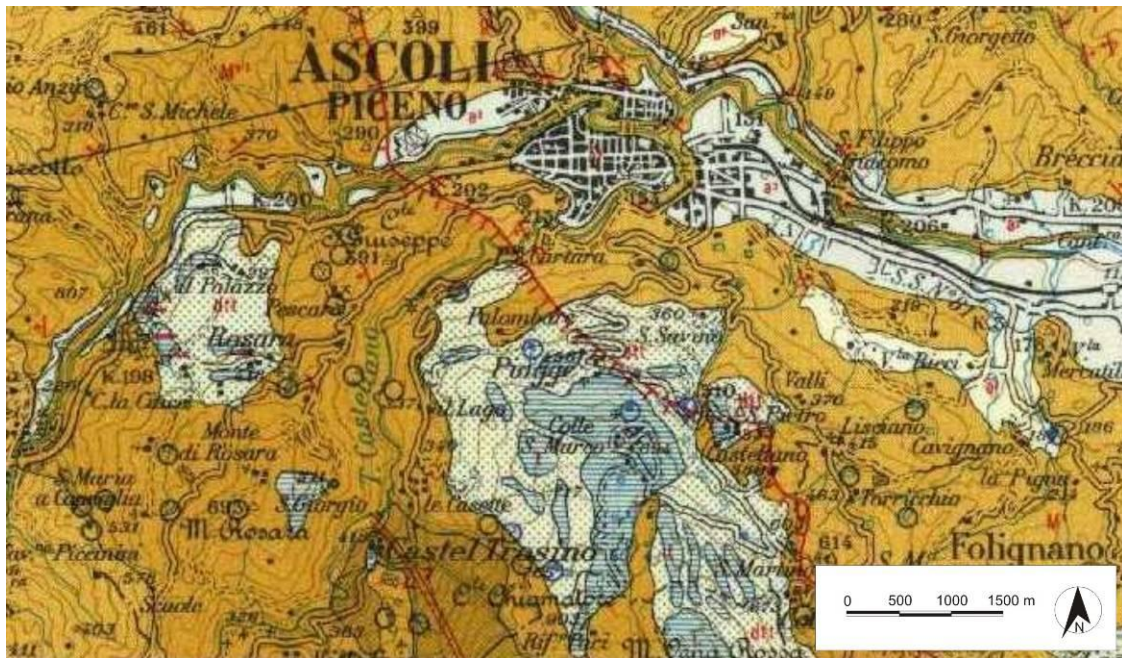
Questo studio si inquadra in un progetto promosso dall'associazione Ascoli Nostra, su finanziamento della Fondazione della Cassa di Risparmio di Ascoli Piceno, finalizzato a risolvere il problema dell'innalzamento della superficie piezometrica che si riscontra ormai da anni nel centro storico di Ascoli Piceno, e che, già in passato, ha causato, oltre a problemi di allagamenti dei sotterranei, anche problemi di cedimento delle fondazioni di edifici storici, come ad esempio il Teatro Ventidio Basso (CESARI, 1903) e il chiostro di S. Francesco. Problemi analoghi a quelli riscontrati ad Ascoli si sono verificati e si verificano anche in altre città italiane ed estere. Tra gli esempi più noti in Italia ricordiamo quello di Milano, dove, a seguito di una diminuzione dei prelievi stimata intorno ai 150 milioni di m³/anno dovuta alla riduzione delle attività industriali a partire dai primi anni '90, si è verificato un innalzamento della superficie piezometrica che è arrivato a toccare punte di 7 m (ARDUINI ET AL., 2007). In altri casi l'innalzamento della superficie piezometrica in aree urbane è dovuto alle continue perdite dalla rete acquedottistica e/o fognaria; nel caso di città situate in aree molto aride o desertiche, a queste perdite si somma l'infiltrazione legata alla forte irrigazione di giardini e aree verdi recentemente create all'interno delle città. A titolo di esempio si riportano il caso della città romana di Galati, in cui l'innalzamento della falda è essenzialmente dovuto alle perdite dalle reti (ZAMFIRESCU ET AL., 2006), e quelli di Kuwait City e di alcune grandi città dell'Arabia Saudita, in cui un contributo determinante alla risalita della falda è dato anche dall'irrigazione (AL-RASHED AND SHERIF, 2001; AL-SEFRY AND SEN, 2006). Nel caso di Ascoli il problema dell'innalzamento della falda si è presentato già alla fine dell'800, in seguito alla realizzazione dell'acquedotto (1891). La presenza dell'acquedotto ha portato ad una diminuzione dei prelievi dai pozzi cittadini e alla concomitante presenza di perdite, difficilmente controllabili, che alimentavano, ed alimentano, la falda. Ciò ha comportato un innalzamento del livello piezometrico la cui entità non è


facilmente definibile. Tuttavia, come già detto, questo innalzamento ha provocato problemi di risalita capillare che interessa le fondazioni ed i primi piani degli edifici (CESARI, 1903), e problemi di stabilità delle fondazioni. Alla luce di questo fatto si rende necessario definire nella maniera più dettagliata possibile le caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo del centro storico di Ascoli Piceno, in modo da poter successivamente suggerire quali siano gli interventi più adeguati per risolvere il problema.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO


Il centro storico della città di Ascoli Piceno sorge in prossimità della zona di confluenza tra il fiume Tronto ed il torrente Castellano. Dal punto di vista morfologico, il centro storico è posto sulla sponda destra del fiume Tronto e rappresenta il terrazzo alluvionale del terzo ordine originatosi durante il Quaternario (Pleistocene med.-sup.) dall'azione combinata di erosione e sedimentazione del corso d'acqua, prima che esso ne incidesse profondamente il substrato roccioso. L'area in studio è situata ad una quota media di circa 150 metri s.l.m. e si estende per una superficie di circa 60 ettari. Essa presenta una morfologia generalmente pianeggiante, con una lieve pendenza della superficie topografica verso l'asta fluviale del Tronto, come è tipico dei terrazzi alluvionali. Complessivamente, i valori delle pendenze sono inferiori al 1 % e risultano localmente pressoché nulli. La zona pianeggiante si raccorda con una notevole scarpata verticale al sottostante alveo del fiume Tronto che scorre circa 30 m più in basso, ad una quota media di circa 115 m s.l.m.. Nella parte meridionale del centro storico è presente un raccordo netto tra il terrazzo alluvionale ed il Colle dell'Annunziata le cui quote superano i 250 metri s.l.m.. I terreni affioranti nell'area del centro storico sono stati depositi dal fiume Tronto durante le fasi di incisione e

alluvionamento successive legate al sollevamento dell'intera regione durante il Pleistocene med.-sup.. Lo stile tettonico attuale è stato determinato dallo *stress* compressivo del Pleistocene med.-sup. (Quaternario) che ha portato l'intera regione alla completa emersione. Il sollevamento ha determinato l'attuale posizione dell'alveo del fiume che, in prossimità dell'abitato di Ascoli Piceno, scorre con percorso meandriforme (tipico delle pianure alluvionali) incassato in ripide pareti di roccia arenacea. La formazione geologica di base è quella del *Flysch della Laga*, di età risalente al Miocene sup. (Messiniano), originata da depositi torbiditici in ambiente marino. Tale formazione risulta costituita da strati di arenaria di spessore variabile da 0.1 a oltre 1 metro, alternati a strati argilloso-marnosi di spessore più ridotto. Gli strati arenacei immergono verso NE con inclinazione di circa 30-40°. La formazione del *Flysch della Laga* affiora in più punti sia lungo Via Porta Tufilla sia sulla scarpata che borda il centro storico e che raccorda il terrazzo alluvionale all'alveo del fiume Tronto. Sopra la formazione di base (*Flysch della Laga*) sono presenti sedimenti alluvionali conglomerato-ghiaioso-sabbiosi, con spessori variabili, sovrastati da depositi eluvio-colluviali costituiti da materiale di natura sabbioso-limoso. La carta geologica del centro di Ascoli è riportata in figura 2.1.




- 


Detrito di falda incoerente e detrito di disfacimento dei travertini

Olocene
- 


Conglomerati e sabbie fluviali terrazzate. Terrazzo di 3° ordine

Pleistocene medio e superiore
- 


Conglomerati e sabbie fluviali terrazzate. Terrazzo di 2° ordine

Pleistocene medio-superiore
- 


Conglomerati e sabbie fluviali terrazzate. Terrazzo di 1° ordine

Pleistocene medio- superiore
- 

Travertini di Civitella del Tronto e della Valle del Tronto di origine idrotermale

Pleistocene
- 

Arenarie ben stratificate con impronte di fondo e banchi gradati, alternate ad argille e marne sabbiose (*Flysch della Laga*).

Messiniano
- 

Marne calcaree grigio-verdastre con rare intercalazioni di calcari brunastri (*Bisciario*) nella parte bassa e di calcari detritico-organogeni (*Marne con Cerrogna*) frequenti nella parte superiore del complesso.

Miocene medio- inferiore

Figura 2.1 – Legenda e geologia dalla Carta Geologica D’Italia, F° 133 – “Ascoli Piceno”.

3. IDROGEOLOGIA

3.1 STRUTTURA DELL'ACQUIFERO E PIEZOMETRIA

Nel centro storico di Ascoli Piceno è presente una falda freatica all'interno dei depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi intercalati a materiale più fine di natura sabbioso-limosa, delimitata inferiormente dalla formazione a bassa permeabilità del *Flysch della Laga*. Questa falda è alimentata, oltre che dall'infiltrazione sulla superficie non pavimentata del centro storico, dall'area posta a SO del centro stesso (zona del Colle dell'Annunziata, fortezza Pia e, presumibilmente, collina di Monte Rosara). Nell'ambito degli studi di approfondimento sull'acquifero del centro storico realizzati da MARUCCI (2009) è stato ricostruito l'andamento del substrato *flyschoid*e sulla base delle stratigrafie di sondaggi eseguiti *ad hoc*, di sondaggi eseguiti negli anni passati e delle informazioni ricavabili dai saggi di CESARI (1903). Il substrato arenaceo ha un andamento abbastanza regolare e immerge verso NE, in direzione del fiume Tronto. Le sorgenti, perlopiù diffuse, emergono al contatto tra i depositi alluvionali ed il sottostante substrato *flyschoid*e; le principali sono ubicate lungo il bordo del terrazzo alluvionale del fiume Tronto, in corrispondenza di Via Porta Tufilla. Nel corso del presente lavoro sono stati fatti numerosi sopralluoghi volti anche a quantificare la portata delle suddette sorgenti. Purtroppo l'inaccessibilità delle scarpate, dovuta anche alla fitta vegetazione, non ha consentito di effettuare misure dirette. Tuttavia sono state individuate le principali aree di emergenza, in particolare al di sotto del muraglione delimitante l'area verde del grande giardino all'Italiana di Palazzo Saladini-Pilastri, con accesso da Corso Mazzini (coordinate in Gauss Boaga fuso est: 2404085 E; 4759900 N) ed in prossimità dei tornanti della Via Ludovico Ariosto (coordinate in Gauss Boaga fuso est: 2404365 E; 4745675 N).

La piezometria è stata ricostruita sulla base delle misure effettuate all'interno di circa 40 punti di controllo tra il 2006 ed il 2008. Nell'intervallo che va dal 4/4/2007 al 20/12/2007, in collaborazione con la CIIP S.p.A., è stato registrato in continuo il livello della falda all'interno di un pozzo situato in via della Canterine. Nel corso del periodo di controllo le variazioni del livello piezometrico sono state, al massimo, di 2 cm. Dalle indagini eseguite risulta che lo spessore della falda è compreso tra 1 e 2 m nella zona di monte (area SO del centro storico), e tende a diminuire verso NE, fino a raggiungere, in prossimità della scarpata destra del fiume Tronto, spessori di appena 10-20 cm (MARUCCI, 2009). Tali valori sono in linea con quelli riscontrati da Cesari nel 1901. Inoltre, la piezometria eseguita a partire dai livelli misurati da Marucci nel 2009 ha mostrato l'esistenza di una direzione di flusso preferenziale da SO verso NE, come già evidenziata nella carta piezometrica prodotta da Cesari (1903).

3.1.1 Utilizzo dei metodi statistici per la ricostruzione della superficie piezometrica

In generale, i metodi più utilizzati per l'interpolazione di dati nello spazio sono quelli deterministici e quelli geostatistici. Tra i primi, il metodo *IDW* (*Inverse Distance Weighting*) è uno dei più intuitivi e semplici da utilizzare. I dati sono implementati in base al principio per cui gli oggetti tra loro più vicini sono più simili di quelli più lontani. Il dato sperimentale misurato in ogni punto influenza il valore previsto nei punti circostanti in maniera tanto più forte quanto più questi gli sono vicini, e l'influenza varia in maniera inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Ciò comporta che, nei punti in cui sono disponibili i dati sperimentali, ci sia una perfetta coincidenza tra previsione e misura.

Tra i metodi geostatistici uno dei più utilizzati in idrogeologia è il *Kriging Ordinario*, che è un caso particolare dell'*Universal Kriging* ed è stato usato anche in questo lavoro. In questo metodo l'interpolazione spaziale si basa

sull'autocorrelazione dei dati in esame, cioè sull'assunto che la grandezza in oggetto vari nello spazio con continuità. Al contrario di quanto accade nei metodi deterministici, nell'interpolare una grandezza nello spazio il *Kriging* permette di minimizzare l'errore quadratico medio e di stimare l'incertezza associata ai valori predetti. Uno dei requisiti fondamentali per poter utilizzare questo metodo è che la distribuzione statistica dei dati sia normale (o gaussiana); esistono una serie di *tests* che permettono di valutare quanto la distribuzione dei dati sperimentali sia prossima a quella gaussiana. In quest'ottica, nel corso di questo lavoro è stato eseguito un controllo statistico sui dati utilizzati per la ricostruzione della superficie piezometrica utilizzando il *tool Geostatistical Analyst* di *ArcGis 9.3*. In base all'analisi effettuata, i dati piezometrici hanno una distribuzione statistica pressoché normale come mostrato in figura 3.1.1.1.

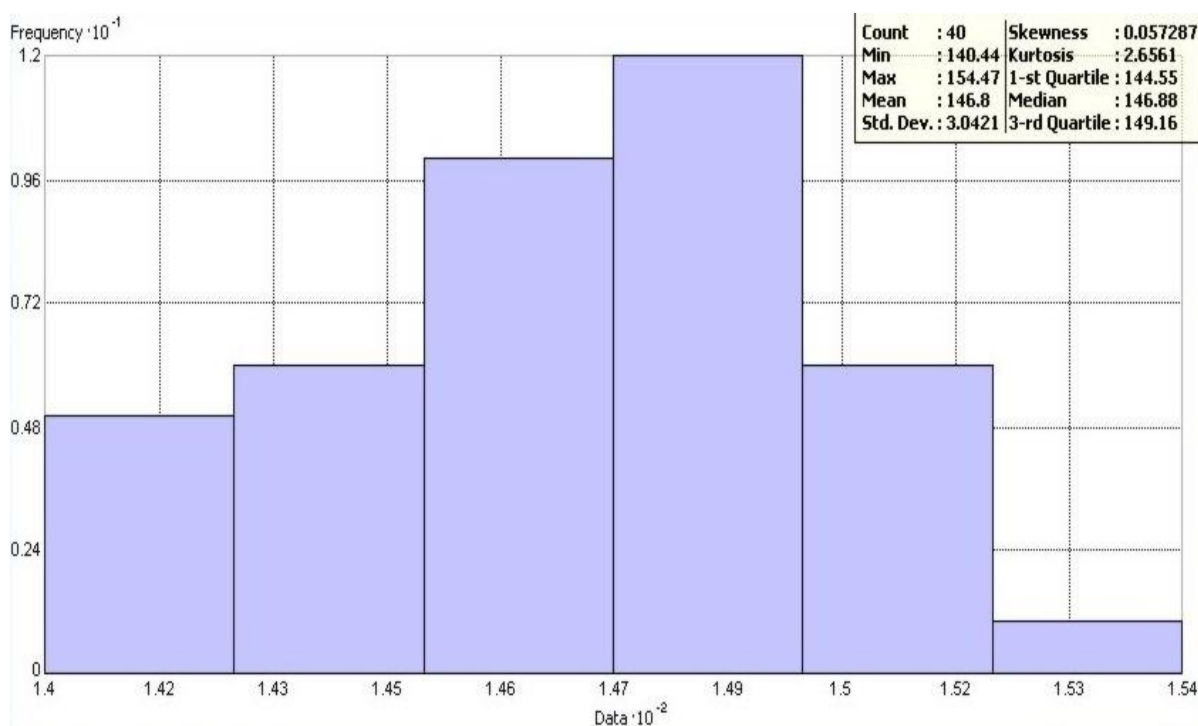


Fig. 3.1.1.1. – Distribuzione della quota piezometrica, espressa in m s.l.m.

Un ulteriore controllo statistico sui dati è stato eseguito con il metodo del *QQPlot*: il *QQPlot* normale è un grafico dei quantili di un insieme di dati, in

questo caso piezometrici, confrontati con i quantili di una distribuzione normale, avente la stessa media e deviazione standard.

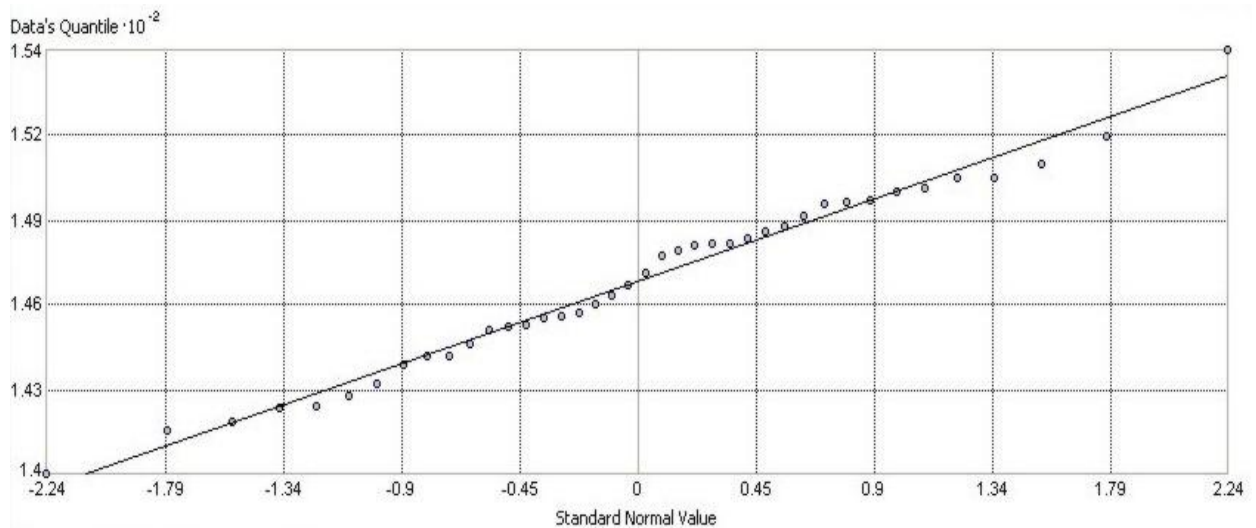


Figura 3.1.1.2 – Q-Q Plot dei dati piezometrici.

La figura 3.1.1.2 mostra un grafico lineare a conferma che i dati dei livelli presentano una distribuzione prossima alla normale. Il grafico mostra che nel set di dati considerato non ci sono valori anomali (*outliers*), per cui non è stato necessario escludere alcun dato. Alla fase di analisi preliminare necessaria per valutare l'opportunità o meno di trattare i dati tramite il *Kriging*, è seguita la fase fondamentale di modellazione e interpolazione vera e propria dei dati, svolta con l'ausilio dello strumento *Geostatistical Wizard* in *Geostatistical Analyst* di *ArcGis 9.3*. Nel corso della modellazione sono stati eseguiti numerosi tentativi per l'interpolazione dei dati, variando i seguenti parametri: *range*, *nugget*, *partial sill*, *minor range*, dimensione e numero di *lags*, tipo di modello, forma dell'intorno di analisi e numero di punti in esso contenuti. I risultati ottenuti dall'interpolazione sono stati successivamente analizzati attraverso la *Cross-Validation* per verificarne l'attendibilità. L'esecuzione della *Cross-Validation* per ciascuna delle interpolazioni ha permesso di valutare gli errori associati a ciascuna delle soluzioni e di scegliere quella

con errore più basso, tenendo conto del fatto che le condizioni di minimizzazione dell'errore sono:

$$VE = 0$$

$$RMSE - ASE = 0$$

$$VSE = 1$$

La tabella 3.1.1.1 riporta gli errori calcolati mediante la *Cross-Validation*, mentre la figura 3.1.1.3 mostra la correlazione tra i dati misurati e quelli predetti con il metodo *Kriging Ordinario*.

Errore medio (ME)	0.06414
Errore quadratico medio (RMSE)	0.9190
Media dell'errore standard (ASE)	0.8361
Errore medio standardizzato (VE)	0.04554
Errore quadratico medio standardizzato (VSE)	0.9931

Tabella 3.1.1.1 – Risultati della *Cross Validation* eseguita con il programma *ArcGis 9.3* utilizzando l'interpolatore *Kriging Ordinario* sui 40 pozzi monitorati nel centro storico di Ascoli Piceno.

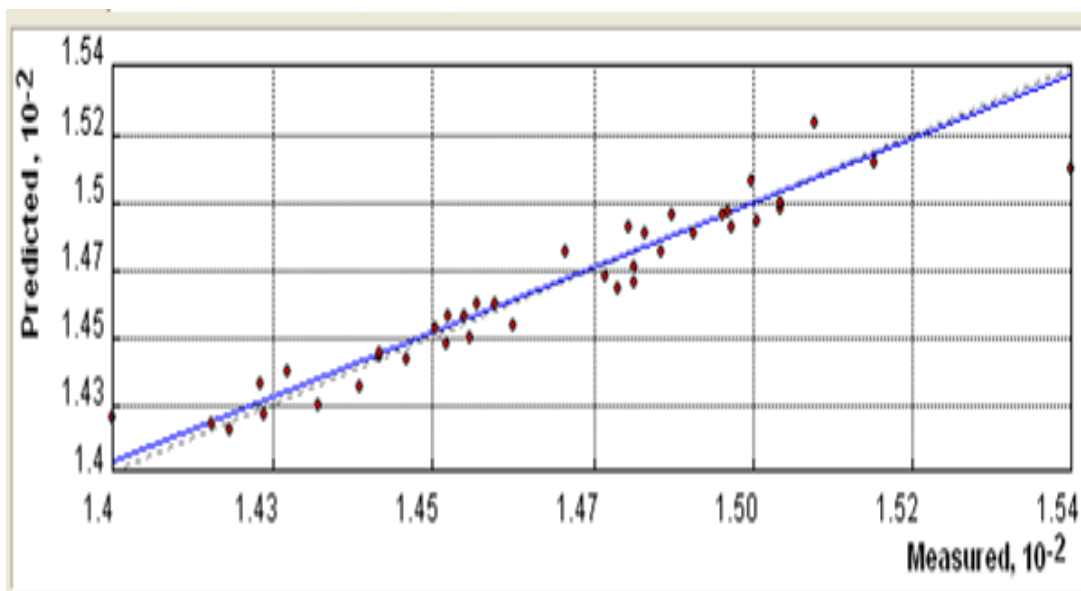


Figura 3.1.1.3 - Confronto tra quote piezometriche misurate e quelle stimate con l'interpolatore *Kriging Ordinario*. I valori sono espressi in m s.l.m..

Dalla tabella 3.1.1.1 si osserva che l'errore medio è molto contenuto (inferiore a 6 cm) e che l'errore quadratico medio e la media dell'errore standard assumono valori molto vicini. Inoltre, l'errore medio standardizzato è, come richiesto, prossimo a 0, e l'errore quadratico medio standardizzato è prossimo all'unità. Tutto ciò sembrerebbe confermare una buona interpolazione dei dati (Fig. 3.1.1.3). Come si può osservare dal grafico la maggior parte dei punti è molto vicina alla linea tratteggiata; ciò indica che gli errori di predizione sono distribuiti quasi normalmente. Rimane il fatto che, nelle aree in cui lo spessore della falda è molto esiguo, dell'ordine delle decine di centimetri, si hanno in proporzione errori maggiori rispetto alle zone dove la falda presenta spessori maggiori. L'andamento generale della falda ricavato con il metodo *Kriging Ordinario* è simile a quello ottenuto dall'Ing. Bruno Bonifazi del SIT del Servizio Urbanistica dell'Amministrazione Provinciale di Ascoli Piceno, applicando il metodo deterministico *IDW*, utilizzando il *tool* di interpolazione "*Topo to Raster*" di *3D Analyst* (ArcGis di ESRI). Si veda a tale proposito la Tav.3 in scala 1:2000 allegata al rapporto conclusivo dell'Unità idrogeologica, curato dall'Ing. Luciano Speranza, nell'ambito del progetto "*Pozzi ed acque sotterranee nel centro storico di Ascoli Piceno: una strategia di valorizzazione e risanamento*". L'andamento della superficie piezometrica ricavata mostra che i gradienti sono di poco superiori all'1% nella zona di monte, dove lo spessore saturo è maggiore, e sono prossimi al 2% nella zona di valle, dove la falda si assottiglia (v. Tav.3). Come si può vedere l'andamento della superficie piezometrica è più regolare nell'area ENE della città mentre nell'area occidentale, nella zona di Via dei Saladini, sono presenti alcune irregolarità, essenzialmente legate alla presenza di un pozzo, indicato con n° 78 ("codice totali" in tabella 3.1) nel rapporto conclusivo a cura dell'Ing. SPERANZA (2010) precedentemente citato, che ha un valore relativamente basso del livello piezometrico (146.67 m s.l.m.). Nonostante l'apparente disturbo, l'analisi con il *Kriging* eseguita

escludendo il dato relativo a questo pozzo, dal punto di vista statistico non migliora i risultati in maniera significativa, come mostrato in tabella 3.1.1.2.

	Analisi con tutti i pozzi	Analisi escludendo il pozzo n° 78
Errore medio (ME)	0.06414	0.05985
Errore quadratico medio (RMSE)	0.9190	0.8968
Media dell'errore standard (ASE)	0.8361	0.8011
Errore medio standardizzato (VE)	0.04554	0.04365
Errore quadratico medio standardizzato (VSE)	0.9931	0.9904

Tabella 3.1.1.1 – Confronto tra i risultati della *Cross Validation* eseguita con il programma *ArcGis 9.3* utilizzando l'interpolatore *Kriging Ordinario* sui 40 pozzi monitorati nel centro di Ascoli e con l'esclusione del pozzo n° 78.

3.2 PROVE DI POMPAGGIO

La prima prova di pompaggio eseguita sull'acquifero del centro storico di Ascoli, è quella eseguita dall'Ing. Cesari nell'agosto del 1901. Tale prova venne effettuata su un pozzo situato nell'ex Convento di S. Onofrio, nella zona nord del centro storico, non lontano dal limite della scarpata destra del fiume Tronto. La prova ha avuto una durata di nove ore, ma nella relazione di Cesari non è specificato il valore della portata emunta. Si riferisce tuttavia che la pompa era manovrata da quattro uomini e che nei pozzi limitrofi tenuti sotto controllo, gli abbassamenti piezometrici sono stati molto contenuti, con un massimo di 10 cm ad una distanza di 14 m dal pozzo in emungimento. A 30 m il livello piezometrico è rimasto invariato. I dati di Cesari indicano, a detta dello stesso, che la produttività della falda nella parte bassa della città (*i.e.* verso il fiume Tronto), ed in particolare verso est è generalmente maggiore che nelle altre zone. Questo dato è in linea con la presenza di venute d'acqua individuate lungo il bordo del terrazzo alluvionale, in particolare sotto il Giardino Saladini. Recentemente, come riportato nel rapporto dello Studio Associato di Geologia e Geotecnica (MARUCCI, 2009) è stata eseguita una prova di

emungimento nel sondaggio S10, attrezzato a piezometro, ubicato nel cortile del palazzo Colucci, nella parte orientale del centro storico. La prova ha avuto una durata di 47 ore e 15 minuti, e la portata media emunta è stata di 0.143 l/s, quindi piuttosto bassa. Poiché nelle immediate vicinanze del pozzo non erano presenti fori di sondaggio, il valore degli abbassamenti è stato registrato solo all'interno del pozzo stesso. I livelli piezometrici sono stati controllati anche in fase di risalita. In mancanza di piezometri, i dati della prova possono essere utilizzati solo per la stima della trasmissività dell'acquifero, mentre non è possibile né stimare il coefficiente di immagazzinamento né valutare il raggio di influenza. I valori di trasmissività ottenuti utilizzando sia i dati della fase di discesa che quelli della risalita, sono simili tra loro e sono pari rispettivamente a $8.9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ e a $2.4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Figg. 3.2.1, 3.2.2). Considerando che lo spessore indisturbato dell'acquifero all'interno del foro di sondaggio è di 1.34 m il valore della permeabilità dei depositi in questa zona risulta pari a $6.6 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ e a $1.8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ a seconda che venga calcolato in discesa o in risalita. Il valore della permeabilità, relativamente basso, è influenzato dalla presenza della matrice sabbioso-limoso.

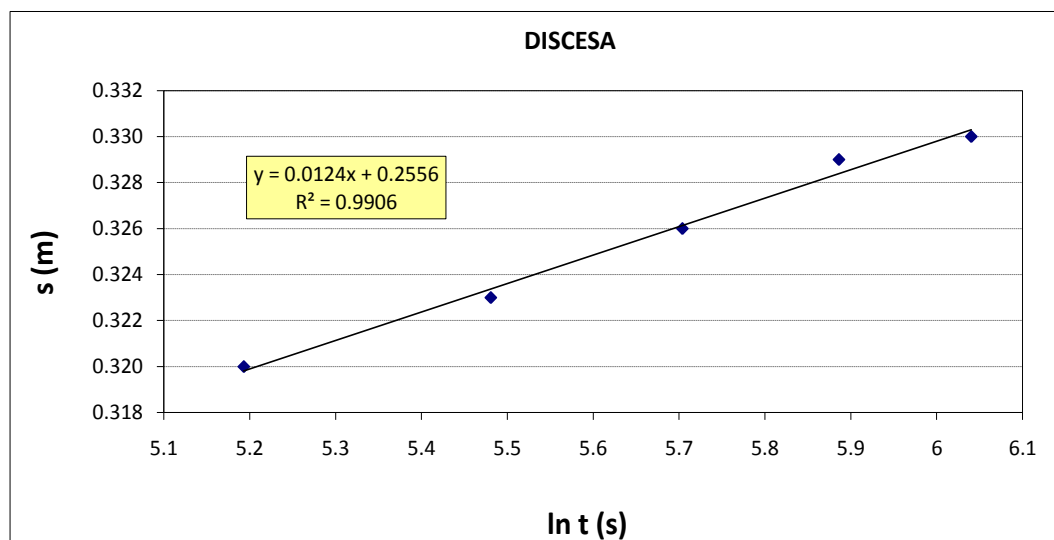


Figura 3.2.1- Elaborazione della prova di emungimento dal pozzo ubicato nel cortile del palazzo Colucci in fase di discesa con il metodo di Cooper-Jacob.

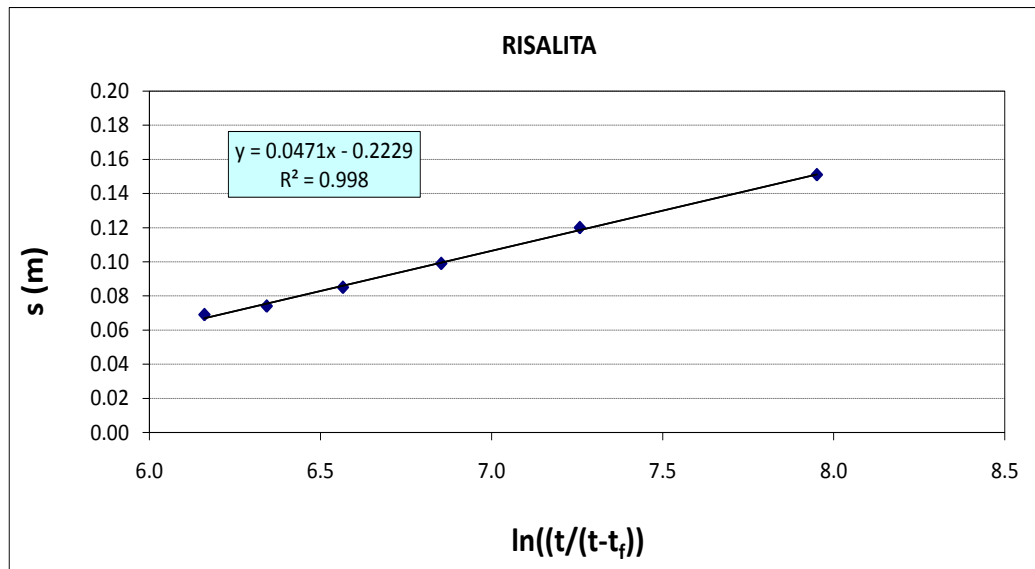


Figura 3.2.2 - Elaborazione della prova di emungimento dal pozzo ubicato nel cortile del palazzo Colucci in fase di risalita con il metodo di Cooper-Jacob.

A titolo indicativo, e tenendo conto della trasmissività ricavata dalla prova di pompaggio, è stato eseguito il calcolo della portata della falda in un tubo di flusso di larghezza 200 m, individuato nell'area orientale della città, all'interno del quale ricade il pozzo su cui è stata eseguita la prova di pompaggio. Considerando un gradiente medio del 2%, la portata del settore in esame è risultata compresa tra 3.56 l/s e 0.96 l/s a seconda che si utilizzi il valore di trasmissività ottenuto dai dati in discesa o quello ricavato dai dati in risalita. Sebbene non sia stato possibile, nell'ambito di questo lavoro, eseguire misure dirette della portata delle sorgenti affioranti in riva destra del Tronto, i valori calcolati sono compatibili con quelli attesi in base ai dati di Cesari e ai sopralluoghi effettuati in corrispondenza delle principali emergenze (sorgente del Giardino Saladini).

4. CARATTERISTICHE CLIMATICHE

4.1 PIOGGE

Nel presente lavoro sono stati raccolti i dati pluviometrici registrati nella stazione di Ascoli Piceno nell'intervallo 1916-2008. La stazione di registrazione è posta ad una quota di 136 m s.l.m.. Fino al 1989 si è occupata della raccolta e divulgazione dei dati la Sezione di Bologna del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale:

(http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Progetti/Progetto_Annali/).

A partire dal 1990 i dati sono disponibili nel sito Web della Protezione Civile delle Marche :

(http://www.protezionecivile.marche.it/viewdoc.asp?co_id=468).

Al contrario di quanto rilevato in molte altre stazioni pluviometriche dell'Italia centrale, nel caso di Ascoli l'analisi dei dati non ha evidenziato la presenza di un trend negativo della pioggia media annua, come mostrato nella figura 4.1.1. Nell'intervallo considerato la pioggia media annua ad Ascoli risulta pari a 794 mm. Tale valore differisce di circa 100 mm da quello riportato dall'Ing. CESARI (1903) che, per l'intervallo 1881-1900 riporta un valore di pioggia annua pari a 891 mm. È da notare che la pioggia annua presenta un ampio intervallo di variabilità; nel periodo considerato si va infatti, da un valore minimo prossimo a 400 mm (nel 1945) ad un valore massimo di circa 1200 mm, registrato sia nel 1959 che nel 1999.

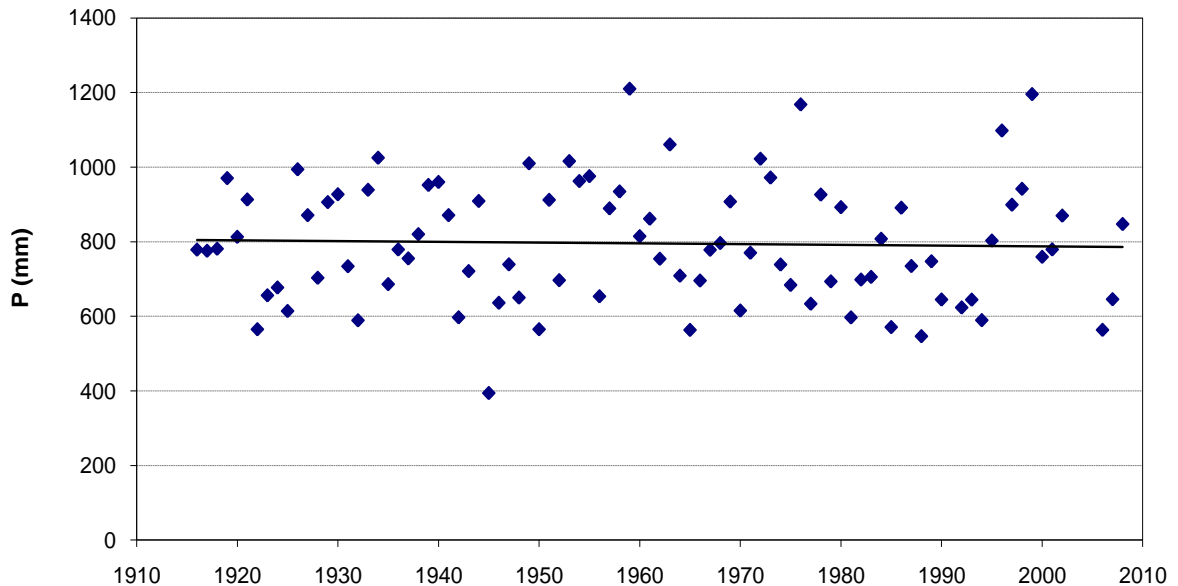


Figura 4.1.1 - Andamento delle piogge annue di Ascoli Piceno del periodo 1916-2008.

4.2 TEMPERATURE

I dati termometrici analizzati in questo lavoro riguardano l'intervallo 1935-2008 e si riferiscono alla stazione di Ascoli Piceno posta a quota di 136 m s.l.m.. Anche in questo caso i dati provengono, fino al 1989, dagli Annali del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, Sezione di Bologna, e a partire dal 1990 dalla Protezione Civile della Regione Marche. Per quanto riguarda le temperature, analogamente a quanto registrato a scala globale e, in particolare, nell'Italia peninsulare, è stato rilevato un *trend* positivo, con gradiente di $0.012^{\circ}\text{C}/\text{anno}$, nel valore della temperatura annua, come mostrato in figura 4.2.1. Il valore medio della temperatura nell'intervallo 1935-2008 è risultato pari a 15°C .

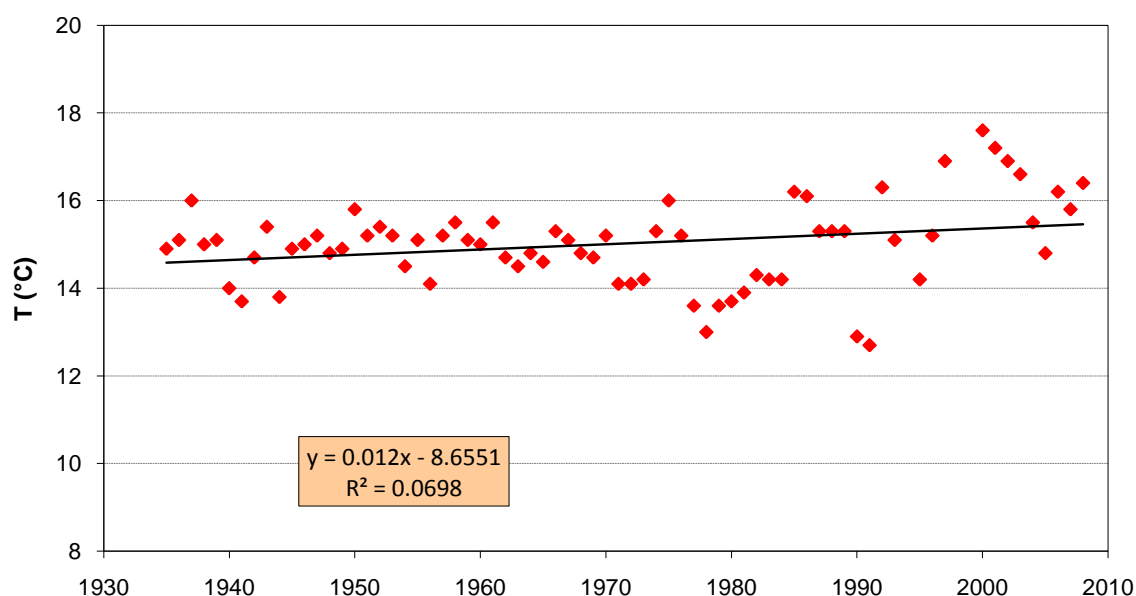


Fig. 4.2.1. - Andamento delle temperature medie annue nel periodo 1935-2008.

4.3 BILANCIO IDROGEOLOGICO

Sulla base dei dati termopluviometrici raccolti è stato calcolato un bilancio idrogeologico medio annuo di massima per il periodo 1935-2008, utilizzando la relazione di Turc per la stima dell'evapotraspirazione media annua (ETR). L'utilizzo di questa relazione, relativamente semplice, tiene conto, per il calcolo di ETR, solo dei valori di pioggia (P) e temperatura (T) trascurando altri fattori che la influenzano. Tale scelta si giustifica con il fatto che, in mancanza di dati relativi agli altri fattori, già in passato, in Italia centrale, sono stati ottenuti, con questo metodo, risultati soddisfacenti (DI MATTEO ET AL., 2008). La tabella 4.3.1 riporta i risultati del bilancio idrogeologico dell'area considerata, calcolato sulla base della formula di Turc, espressi in mm/anno.

P (mm)	T (°C)	ETR (mm)	ECC = P-ETR (mm)
794	15.0	594	200

Tabella 4.3.1 – Bilancio medio annuo del periodo 1935-2008.

Considerando che un'alta percentuale della superficie della città è edificata o pavimentata, la porzione di eccedenza idrica (ECC) che si infiltra nel sottosuolo risulta più bassa di quella che caratterizzerebbe una zona non urbanizzata. Nel caso dei centri urbani infatti, l'infiltrazione è possibile solo in corrispondenza delle aree verdi comunque non pavimentate, che nel caso del centro storico di Ascoli si estendono per circa 26 ha, pari al 40% della superficie totale (circa 62 ha). Si può assumere che nelle aree non pavimentate il coefficiente di infiltrazione sia prossimo ad 1 e che l'infiltrazione corrisponda all'eccedenza idrica. Dal valore di ECC, risulta una infiltrazione annua di 52000 m³/anno, corrispondenti ad una portata di circa 1.6 l/s. Questo valore corrisponde all'acqua di pioggia che si infiltra annualmente sulla superficie del centro storico. Va inoltre considerato che all'alimentazione della falda contribuisce, per ulteriori 40 ha circa, anche la zona esterna posta a SO del centro storico (MARUCCI, 2009). Partendo dalla ragionevole ipotesi che anche in quest'area l'infiltrazione media annua sia pari a 200 mm, il contributo della zona sud-ovest risulterebbe circa pari a 2.5 l/s. La somma di questi due contributi, pari a circa 4 l/s, corrisponderebbe alla portata naturale della falda.

Preso come riferimento il sistema idrogeologico costituito dalla falda del centro storico di Ascoli, è possibile impostare l'equazione del bilancio idrogeologico:

$$\Sigma E = \Sigma U \pm \Delta R \quad (4.3.1)$$

Dove ΣE è la sommatoria delle entrate, ΣU è la sommatoria delle uscite e ΔR è la variazione delle riserve immagazzinate nel sistema di riferimento. Quando il bilancio viene eseguito su scala media annua, riferendosi ad un intervallo di tempo sufficientemente lungo, si assume che le variazioni delle riserve siano nulle; pertanto il termine ΔR diventa

trascurabile e la sommatoria delle entrate risulta pari a quella delle uscite. Nel caso in esame le entrate sono costituite dall'infiltrazione sulle aree verdi del centro storico (I_{cs}), dall'infiltrazione sull'area esterna posta a sud ovest del centro (I_{ae}) e dalle perdite della rete acquedottistica (P_{ra}); si avrà pertanto:

$$\Sigma E = I_{cs} + I_{ae} + P_{ra} = 1.6 + 2.5 + 10.5 = 14.6 \text{ l/s} \quad (4.3.2)$$

Il valore attribuito alle perdite della rete acquedottistica è stato fornito dalla CIIP S.p.A. ed è relativo alla situazione attuale. Le uscite dal sistema sono rappresentate dalle sorgenti e dagli stillicidi lungo la scarpata che borda il centro storico della città. È bene ricordare che, allo stato attuale, valutare le portate delle sorgenti emergenti è estremamente difficile, a causa della presenza di una fitta vegetazione che ricopre sponde e scarpate (Fig. 4.3.1). Come già detto in precedenza, in prossimità dei muraglioni del Giardino Saladini, sono state individuate le principali sorgenti, di cui è però difficile valutare le portate. A queste sorgenti si aggiungono gli stillicidi lungo le scarpate, anch'essi non misurabili. Nell'ambito dell'equazione del bilancio le uscite rimangono pertanto un'incognita, da valutare indirettamente eguagliandole alle entrate.

A partire dalle equazioni 4.3.1 e 4.3.2 si avrà pertanto:

$$\Sigma E = \Sigma U \rightarrow I_{cs} + I_{ae} + P_{raf} = S_{FT} + S_{tC} \rightarrow S_{FT} + S_{tC} = 1.6 + 2.5 + 10.5 = 14.6 \text{ l/s} \quad (4.3.3)$$

Con S_{FT} potata di sorgenti e stillicidi sul fiume Tronto, e S_{tC} potata di sorgenti e stillicidi sul torrente Castellano. Il valore di 14.6 l/s attribuito all'insieme delle sorgenti e degli stillicidi lungo il bordo delle scarpate sembra piuttosto elevato sia se confrontato con le sorgenti censite durante i sopralluoghi effettuati, sia se paragonato con i valori di portata attribuiti da CESARI (1903) alle stesse sorgenti. Cesari riferisce infatti che dei 10.5 l/s misurati lungo il fianco della scarpata, solo 4.1 sono da

attribuire alle sorgenti, mentre i restanti 6.4 sono da attribuire al contributo delle chiaviche.



Figura 4.3.1 – Scarpata al di sotto del muro del Giardino Saladini. Le sorgenti non sono ben visibili a causa della fitta vegetazione. Foto da Via Porta Tufilla.

Sebbene i dati di Cesari si riferiscano a portate estive misurate al termine di un periodo siccitoso (fine agosto 1901), e sebbene il Cesari non tenga conto di alcune delle sorgenti emergenti sul fianco meridionale del terrazzo alluvionale, sulla sinistra idrografica del torrente Castellano, la discrepanza tra i valori da lui calcolati e quelli derivanti dal calcolo del bilancio idrogeologico sembra troppo elevata. Questa discrepanza sembra principalmente dovuta al valore attribuito in questo lavoro alle perdite dalla rete acquedottistica, che risulterebbero nettamente superiori all'alimentazione naturale.

5. CONCLUSIONI

Questo lavoro ha permesso di confermare in buona parte i risultati delle precedenti indagini eseguite sull'acquifero del centro storico di Ascoli Piceno. La falda indagata ha uno spessore compreso tra 1 e 2 m nella zona di monte e di poche decine di centimetri nella zona di valle, in prossimità della scarpata destra del fiume Tronto (area NE della città). Il drenaggio avviene da SO a NE, come già evidenziato nella carta piezometrica di CESARI (1903). I dati utilizzati per definire l'andamento della superficie piezometrica sono risultati idonei al trattamento geostatistico con il metodo *Kriging Ordinario*; questo metodo consente, a differenza dei metodi deterministici, di stimare l'incertezza associata ai dati predetti e di minimizzare al meglio l'errore quadratico medio. Tuttavia dal punto di vista pratico i risultati ottenuti con questo tipo di interpolazione sono analoghi a quelli che si ottengono interpolando i dati con il metodo deterministico *IDW*; l'andamento della superficie piezometrica e i gradienti risultano infatti analoghi nei due casi. Per la determinazione dei parametri idrogeologici dell'acquifero al momento è disponibile una sola prova di pompaggio, eseguita in un foro di sondaggio nell'area nord orientale della città, senza l'ausilio di piezometri. I dati di detta prova hanno consentito di stimare la trasmissività dell'acquifero e la sua permeabilità. La trasmissività risulta pari a $8.9 \cdot 10^{-4}$ e a $2.4 \cdot 10^{-4}$ m²/s a seconda che venga calcolata in discesa o in risalita. La permeabilità risulta pari a $6.6 \cdot 10^{-4}$ e $1.8 \cdot 10^{-4}$ m/s rispettivamente in discesa ed in risalita. Il valore della permeabilità, relativamente basso, è influenzato dalla presenza della matrice sabbioso-limosa. Per quanto riguarda il coefficiente di immagazzinamento non è stato possibile stimarlo, a causa del fatto che i dati sono stati registrati solo all'interno del pozzo. Preme sottolineare che la stima del coefficiente di immagazzinamento, che nel caso di acquiferi freatici coincide con la porosità efficace, sarebbe di grande importanza, perché consentirebbe di valutare le variazioni di livello della falda sotto diverse ipotesi di

prelievo. Per approfondire ulteriormente le conoscenze dell'acquifero, andando oltre il modello concettuale qui presentato, sarebbe da valutare l'eventualità di costruire un modello idrogeologico alle differenze o agli elementi finiti. A tale scopo, una stima il più possibile precisa del coefficiente di immagazzinamento e la conoscenza della trasmissività in zone diverse dell'acquifero sarebbero indispensabili. Poiché, in base ai dati di letteratura il raggio d'influenza dei pozzi sembra essere molto ridotto, sarebbe opportuno realizzare dei piezometri ad una distanza dai pozzi non superiore ai 10 m.

L'analisi dei dati termo-pluviometrici ha permesso di valutare l'entità degli ingressi verso l'acquifero del centro storico di Ascoli. Su scala media annua l'infiltrazione diretta è risultata pari a 1.6 l/s e l'apporto da aree esterne pari a 2.5 l/s, per un totale di circa 4 l/s. Secondo i dati forniti dalla CIIP S.p.A., allo stato attuale le perdite dalla rete acquedottistica sarebbero in media di 10.5 l/s. La portata complessiva della falda risulterebbe quindi dell'ordine dei 14.6 l/s, e dovrebbe corrispondere alle emergenze lungo le sponde del fiume Tronto e del torrente Castellano, in corrispondenza del contatto tra la coltre detritica ed il substrato arenaceo. Vista l'impossibilità di misurare direttamente le portate delle emergenze lungo le scarpate, si è ritenuto opportuno stimarle calcolando la portata della falda sulla base dei valori di trasmissività ottenuti dalla prova di emungimento. A partire dal valore calcolato di trasmissività, è stata valutata la portata media di un tubo di flusso, della larghezza di 200 m, all'interno del quale ricade il pozzo su cui è stata eseguita la prova di pompaggio. La portata di questo tubo di flusso è risultata compresa tra 3.56 e 0.96 l/s, a seconda che la trasmissività fosse calcolata in discesa o in risalita. Tenendo conto del rapporto tra la larghezza del tubo di flusso considerato e l'ampiezza del centro storico in direzione NO-SE, perpendicolarmente alle linee di flusso, e considerando le variazioni del gradiente idraulico (in media inferiore al 2%), si può estrapolare un valore della portata totale della

falda compreso tra 3 e 10 l/s circa. I valori calcolati risultano quindi inferiori ai 14.6 l/s precedentemente stimati. Questa discrepanza, insieme ad una valutazione speditiva delle portate basata sui sopralluoghi effettuati in corrispondenza delle scarpate nei periodi di massima ricarica, fa ritenere che il valore delle perdite dalla rete acquedottistica comunicato dalla CIIP S.p.A., di circa 10.5 l/s, sia sovrastimato. Sembra meno probabile che una discrepanza di questa entità sia dovuta ad una estensione dell'area di ricarica della falda maggiore di quella ipotizzata. L'intervento recentemente eseguito sulla rete acquedottistica sembra quindi avere limitato le perdite più di quanto non si ritenesse, e una ulteriore riduzione, porterebbe presumibilmente un contributo determinante per la soluzione del problema dell'innalzamento della falda; una stima più accurata delle perdite permetterebbe di valutare se una loro riduzione sarebbe sufficiente, da sola, a risolvere il problema dell'innalzamento della falda o se sarebbe necessario intervenire *a latere* mediante emungimento da pozzi. Nel caso in cui non risultasse sufficiente ridurre le perdite, dato l'esiguo spessore della zona satura, il modesto raggio d'influenza registrato durante le prove di emungimento e l'intensa urbanizzazione, sembra che, per la falda di Ascoli, l'emungimento da pozzi sia da preferire alla realizzazione di trincee drenanti, che al contrario hanno dato buoni risultati in altre aree (AL-RASHED AND SHERIF, 2001; ZAMFIRESCU ET AL., 2006). Le fasi operative da seguire per ridurre l'innalzamento della falda possono essere così sintetizzate:

- 1) Accertamento dello schema della rete acquedottistica del centro storico e installazione di strumenti di misura delle portate in punti strategici della rete stessa.
- 2) Quantificazione e ubicazione delle perdite.
- 3) Installazione di misuratori di livello della falda in continuo almeno nelle zone dell'acquifero dove si concentrano le perdite.

4) Caratterizzazione idrogeologica quantitativa dell'acquifero al fine di definire i valori dei parametri idrogeologici nelle diverse aree.

5) Valutazione dell'abbassamento della superficie freatica in risposta alla riduzione delle perdite dalla rete acquedottistica sulla base del valore del coefficiente di immagazzinamento, attualmente non noto.

Nel caso in cui la riduzione delle perdite dalle rete acquedottistica dovesse non essere sufficiente a risolvere gli attuali problemi legati alla risalita della falda, andrebbe probabilmente studiato uno schema di emungimento diffuso, basato sul prelievo da pozzetti o pozzi ad uso privato. L'ubicazione e la portata dei punti di prelievo andrebbe studiata tenendo conto delle situazioni più critiche in termini di soggiacenza, di entità delle perdite e di parametri idrogeologici caratteristici dell'area.

BIBLIOGRAFIA

AL-RASHED M.F., SHERIF M.M. (2001) – *Hydrogeological aspects of groundwater drainage of the urban areas in Kuwait City. Hydrogeological aspects of groundwater drainage of the urban areas in Kuwait City.* Hydrol. Process. **15**: 77-795.

AL-SEFRY S.A., SEN Z. (2006) – *Groundwater Rise Problem and Risk Evaluation in Major Cities of Arid Lands – Jeddah Case in Kingdom of Saudi Arabia.* Water Resources Management. **20**: 91-108.

ARDUINI C., CARRARO E., GANGEMI M., DI PALMA F. (2007) – *Sistema Informativo Falda: dalla banca dati ai progetti di studio sulla qualità delle risorse idriche sotterranee.* Rapporto del Servizio Gestione Acque Sotterranee - Direzione Ambiente. Provincia di Milano.

CESARI E., (1903) – *Elementi tecnici per lo studio di un progetto di fognatura per la città di Ascoli Piceno.* Stabilimento grafico Cesari. Ascoli Piceno.

DI MATTEO L., DRAGONI W. (2006) – *Climate change and water resources in Limestone and Mountain Areas: the case of Firenzuola Lake (Umbria, Italy).* In: Proceedings of 8th Conference on Limestone Hydrogeology. Neuchâtel, Switzerland, 21-23 September 2006, 83-88.

MARUCCI V. (STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA E GEOTECNICA) (2009) – *Pozzi ed acque sotterranee nel centro storico di Ascoli Piceno: una strategia di valorizzazione. Studio Geologico ed Idrogeologico. Rapporto Tecnico Conclusivo.* Ascoli Piceno.

SPERANZA L. (2010) - *Pozzi ed acque sotterranee nel centro storico di Ascoli Piceno: una strategia di valorizzazione. Unità Idrogeologica. Rapporto Conclusivo del Coordinatore.* Ascoli Piceno.

ZAMFIRESCU FL., POPA I., DANCIU AL. (2006) – *Gravitational drainage systems in urban areas: case study (Galati town, Romania).* Environ. Geol., **49**: 887-89.