

Geologia e Idrogeologia della Conoide del Fiume Marecchia

Paolo Severi¹, Luciana Bonzi¹, Venusia Ferrari²

¹Geologo | Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia – Romagna

²Geologo | Libero professionista

1. Struttura geologica e caratteristiche geometriche degli acquiferi della conoide del Marecchia

Le risorse idriche della conoide alluvionale del Fiume Marecchia rivestono un'importanza strategica per l'approvvigionamento idropotabile dell'intera area riminese. Per conoscere e approfondire le caratteristiche fisiche, idrodinamiche e qualitative dei suoi acquiferi e delle acque in essi contenute, negli ultimi decenni sono stati realizzati numerosi studi di carattere idrogeologico (tra i quali Toni G. & Zaghini M., 1988 e Giuliani G. & Gurnari G., 1994), l'ultimo in ordine di tempo è "Le acque di sottosuolo del Fiume Marecchia" (Giunta Regione Emilia-Romagna, 2002; ARPA Emilia-Romagna, 2006), realizzato da Regione Emilia-Romagna, Provincia di Rimini, Autorità di Bacino Marecchia-Conca ed Hera, con il contributo di ARPA Emilia-Romagna. Le informazioni contenute in questo e nei precedenti studi, sono state utilizzate per la definizione dei più recenti strumenti normativi riguardanti le risorse idriche, quali il Piano di Tutela delle Acque (Regione Emilia-Romagna, 2005), le analisi fatte dalla Regione Emilia-Romagna per l'implementazione della Direttiva Europea quadro sulle acque 2000/60/CE (Regione Emilia-Romagna, 2010), il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Rimini (Provincia di Rimini, 2013).

Dal punto di vista più espressamente geologico, la pubblicazione più recente ed approfondita è il Foglio Geologico "256 - Rimini" (Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, 2005), realizzato nell'ambito del progetto di Cartografia Geologica Nazionale (CARG), dal quale sono state tratte buona parte delle informazioni di carattere geologico riportate di seguito.

La conoide del Marecchia inizia subito a valle della stretta di Verucchio e prosegue sino all'abitato di Santarcangelo di Romagna per arrivare infine al mare, allargandosi verso sud fino al centro di Rimini e verso nord fino oltre l'abitato di Bellaria.

Nella Figura 1 con i diversi colori vengono rappresentati gli ambiti che caratterizzano la conoide: in verde la **pianura intravalliva**, in giallo la **conoide amalgamata** e in azzurro la **conoide multistrato**.

La **pianura intravalliva** è la porzione di conoide più a monte e va dalla stretta di Verucchio a Santarcangelo di Romagna. Essa è costituita da alcuni ordini di terrazzi che poggiano direttamente sul substrato marino argilloso plio-pleistocenico e corrispondenti alle unità AES8 ed AES7 della carta geologica (Figura 2). Questi terrazzi sono costituiti da alcuni metri di ghiaia (di spessore sempre inferiore a 10 m), sovrastati spesso da pochi metri di sedimenti più fini, e sono sede di falde freatiche ali-

mentate essenzialmente dalle piogge locali, dai canali e dal deflusso superficiale ed ipodermico dei versanti adiacenti. Nella stratigrafia degli acquiferi proposta in RIS (Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna, Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998), la pianura intravalliva corrisponde ai complessi acquiferi A0 (unità AES8) ed A1 (unità AES7). Il Marecchia scorre inciso nel substrato marino e laddove entra in contatto idraulico coi terrazzi appena descritti, trovandosi a quote ad essi inferiori, ne drena le acque.

Procedendo verso valle, dove lo spessore delle ghiaie passa rapidamente a molte decine di metri e finiscono gli affioramenti del substrato in alveo, comincia la **conoide amalgamata** (Figure 1 e 2). Qui le ghiaie sono generalmente affioranti o sepolte da uno spessore di sedimenti più fini che diventa via via maggiore procedendo verso mare. All'interno delle ghiaie possono essere presenti dei livelli più fini di modesta estensione laterale, che non interrompono la continuità dei corpi grossolani (foto 1).

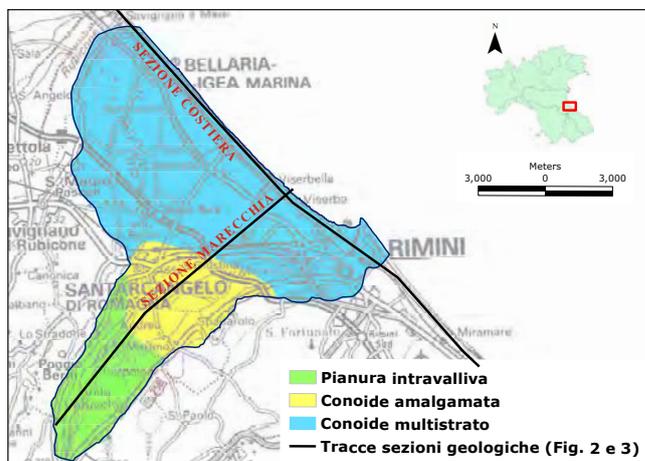


Figura 1 – La conoide del Marecchia e i suoi diversi ambiti: pianura intravalliva, conoide amalgamata e conoide multistrato



Foto 1 : alveo ghiaioso del Marecchia in prossimità della area di Conoide amalgamata

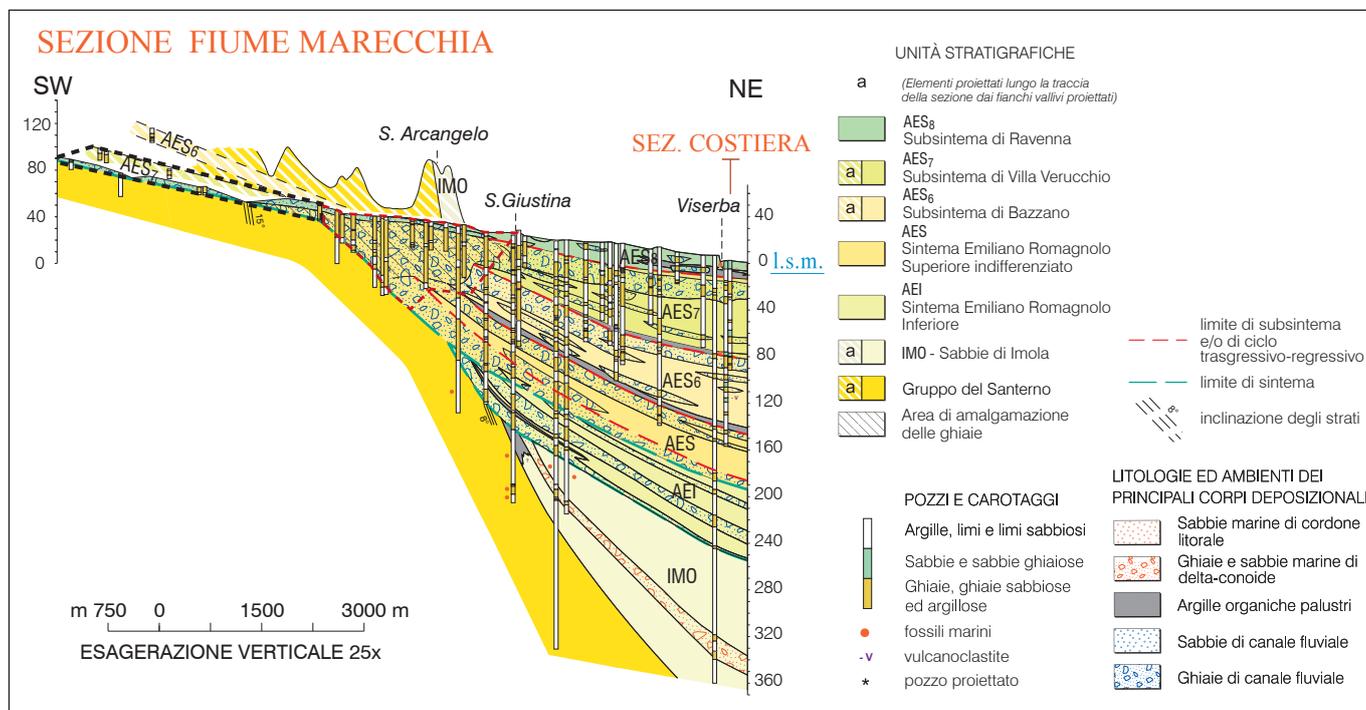


Figura 2 - Sezione geologica della conoide del Marecchia. Sono indicate la piana intravalliva (area a punti rossi); conoide amalgamata (area a punti neri) e la conoide multistrato (a valle delle precedenti)

La geometria della zona di amalgamazione è piuttosto complessa: lo spessore delle ghiaie amalgamate aumenta rapidamente da monte verso valle fino ad un massimo di circa 80 m, per poi assottigliarsi sino a chiudersi nella zona di Santa Giustina (Figura 2).

Dal punto di vista idrogeologico, questa parte della conoide rappresenta un acquifero libero molto spesso che funge da zona di ricarica principale di tutta la conoide del Marecchia e che viene alimentato dal fiume, dalle piogge e dalle perdite dei canali che la attraversano. Proseguendo verso mare si passa dalla conoide amalgamata alla **conoide multistrato**, cartografata in azzurro nella Figura 1, in cui le ghiaie non affiorano più (salvo che in una sottile striscia a ridosso del Marecchia, nel suo alveo, dove le ghiaie arrivano sino alla foce - foto 2) e proseguono invece nel sottosuolo, risultando quindi sempre più isolate dalla superficie e separate dal fiume. La conoide multistrato è caratterizzata da un'alternanza di livelli grossolani, in cui le ghiaie sono dominanti, e livelli in cui invece prevalgono le litologie più fini. Come si vede nella sezione geologica (Figura 2), a valle della zona di amalgamazione i corpi ghiaiosi si separano e tra essi si interpongono dei depositi fini di spessore via via crescente verso mare. Dal punto di vista geologico, tali livelli ghiaiosi corrispondono alle porzioni regressive terminali dei cicli deposizionali riconosciuti nel sottosuolo, caratterizzate dallo sviluppo di estesi lobi di conoide alluvionale lateralmente molto vasti e di spessore decrescente da monte verso mare (mai inferiore ai 3-5 metri). Viceversa i livelli fini tra essi interposti, costituiti da alternanze di limi sabbiosi, sabbie limose e argille, hanno uno spessore pressoché nullo a monte (dove affiorano le ghiaie) ed uno spessore massimo (fino a circa 30 metri) nella zona costiera. Queste alternanze cicliche sono il risultato deposizionale della ciclicità climatico - eustatica del Pleistocene (note illustrative del Foglio Geologico "256 - Rimini").



Foto 2 : barre ghiaiose presenti in prossimità della foce del Marecchia

Gli acquiferi di questo settore della conoide sono sede di falde da cui viene prelevato un volume d'acqua molto significativo, tra cui buona parte di quella necessaria all'approvvigionamento idropotabile dell'area in esame. La loro ricarica avviene quasi esclusivamente nelle aree dove le ghiaie della conoide sono affioranti e dunque prevalentemente nella conoide amalgamata precedentemente descritta: da qui l'acqua di ricarica defluisce più o meno lentamente nel sottosuolo fino a giungere al complesso sistema di acquiferi confinati della parte più distale della conoide.

Per quanto riguarda la corrispondenza tra le unità della carta geologica, a cui i diversi corpi ghiaiosi sono attribuiti (Figura 2), e quelle della stratigrafia degli acquiferi proposta in RIS, si fa riferimento alla Tabella 1.

Oltre agli acquiferi di natura alluvionale che caratterizzano la quasi totalità del sottosuolo dell'area in questione, la Figura 2 mostra che nella zona costiera, a circa 80

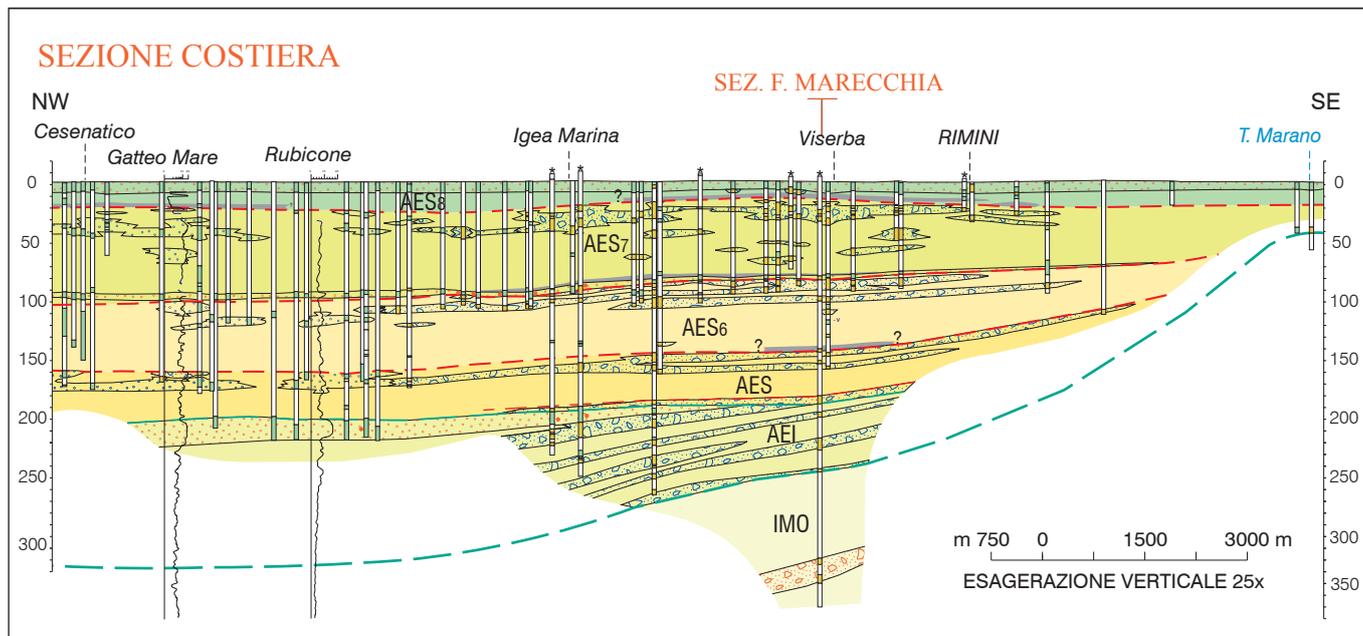


Figura 3 - Sezione geologica della conoide del Marecchia tracciata lungo la costa (vedi figura 2 per la legenda)

Tabella 1 – Corrispondenza tra Unità geologiche (Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES, Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore - AEI, Formazione delle Sabbie Gialle - IMO e Unità Idrostratigrafiche (Gruppi e Complessi acquiferi)

AES	AES8	GRUPPO ACQUIFERO A	COMPLESSO ACQUIFERO A0
	AES7		COMPLESSO ACQUIFERO A1
	AES6		COMPLESSO ACQUIFERO A2
	AES indistinto		COMPLESSO ACQUIFERO A3+A4
AEI		GRUPPO ACQUIFERO B	
IMO		GRUPPO ACQUIFERO C	

m di profondità, al di sopra delle ghiaie dell'unità AES6, è presente un livello di sabbie marine attribuito, nella carta geologica, al Tirreniano. Questo orizzonte marino viene in alcuni casi captato dai numerosi pozzi presenti lungo la costa. Nella sezione geologica di Figura 3, tracciata lungo la costa, è indicato con il puntinato rosso intorno a 100 metri di profondità. La sezione di Figura 3 mostra la continuità laterale dei corpi ghiaiosi al tetto delle unità geologiche e a titolo di esempio si può vedere che i corpi ghiaiosi al tetto di AES7 (A1) ed AES6 (A2) siano estesi dal centro di Rimini sino ad oltre Igea Marina per più di 10 km.

L'altro acquifero di natura marina, saltuariamente interessato da captazione, ha sede nell'unità IMO (sabbie costiere del pleistocene medio basale, corrispondenti al Gruppo acquifero C), come documentato dalla Figura 2.

2. La rete di monitoraggio delle acque sotterranee della Conoide del Marecchia

Nel 2001, nell'ambito del già citato studio "Le acque di sottosuolo del Fiume Marecchia" (Giunta Regione Emilia-Romagna, 2002; ARPA Emilia-Romagna, 2006),

la Provincia di Rimini, con la collaborazione del Servizio geologico regionale, ha implementato una rete di monitoraggio delle acque sotterranee tutt'oggi esistente ed attiva. Sono stati recuperati i dati piezometrici disponibili dagli anni '80 e '90 e, dove necessario, sono stati aggiunti nuovi punti di misura. Seppure nel corso del tempo la rete e la frequenza delle misure siano state per vari motivi modificate o adattate alle esigenze di altri studi, ad oggi sono disponibili per l'intera conoide del Marecchia 12 anni di monitoraggio. Ciò ha permesso di giungere ad un grado molto accurato di conoscenza delle dinamiche delle acque nel sottosuolo ed ha costituito la base per le valutazioni di bilancio idrogeologico della conoide.

Attualmente la rete di monitoraggio è formata da 72 punti, in prevalenza rappresentati da pozzi per acqua; cinque di questi sono invece piezometri perforati appositamente dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna tra il 2001 ed il 2004.

I punti disponibili sono distribuiti in modo il più possibile regolare (circa 1 ogni 1,5 km²), tale da coprire l'intera area della conoide del Marecchia. Note poi la stratigrafia, la profondità e/o la posizione dei filtri, a ciascuno dei punti della rete è stato attribuito l'acquifero captato e dunque oggetto del monitoraggio. Nella figura 4 è riportata l'ubicazione dei punti della rete di monitoraggio, suddivisi per ambito e per acquifero captato: nella pianura intravalliva si trovano 18 punti di misura; nella conoide amalgamata 14; nella conoide multistrato ci sono invece 40 punti suddivisi, in base a filtri e profondità, tra gli acquiferi A0, A1 e A2; un pozzo capta sia l'acquifero A1 che l'acquifero A2; 2 pozzi hanno i filtri in una posizione inferiore alla base dell'acquifero A2.

Nella zona più a valle della conoide amalgamata, i pozzi si differenziano in base all'acquifero captato perché in questa posizione si sono già sviluppati dei livelli fini basali abbastanza continui da separare tra loro i diversi acquiferi. In questa posizione infatti l'amalgamazione è riferita alle sole unità A0 ed A1 (vedi figura 2).

La frequenza delle misure su questi punti è variata nel

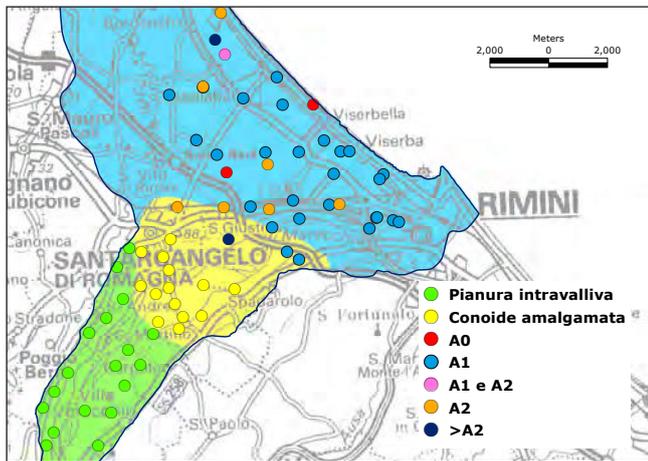


Figura 4 – Rete di monitoraggio attuale della Provincia di Rimini. pz in legenda sta per “piezometro”

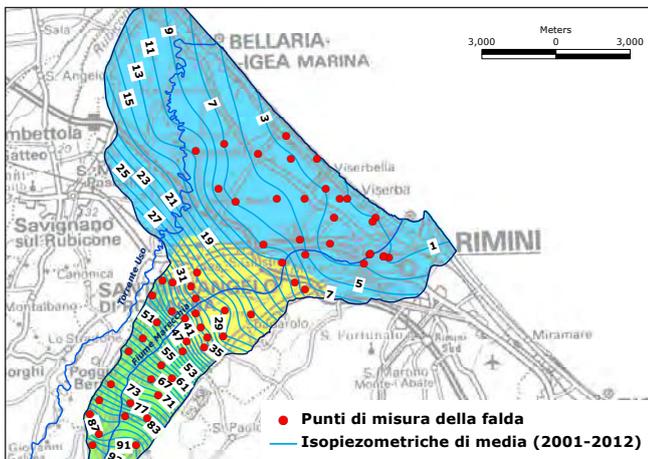


Figura 5 – Superficie piezometrica media di della conoide del Marecchia (2001-2012)

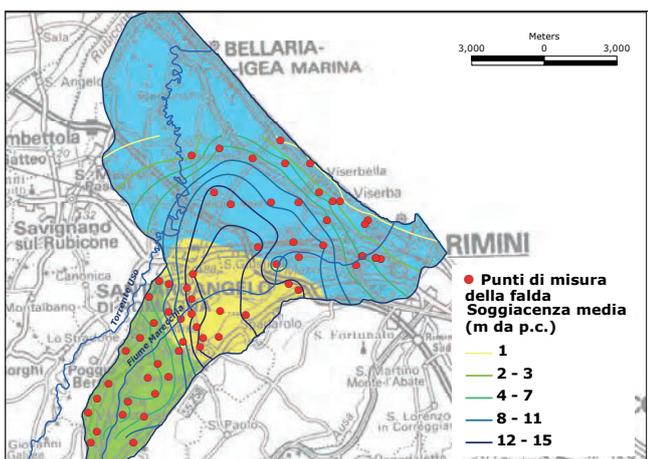


Figura 5b – Soggiacenza media della conoide del Marecchia (2001-2012)

tempo a seconda delle necessità degli studi via via implementati. Attualmente l'intera rete di monitoraggio viene misurata due volte l'anno, una durante il massimo idrologico tardo primaverile (maggio – giugno) ed una nel minimo estivo – autunnale (settembre – ottobre); una sottorete costituita da 36 pozzi, selezionati come più rappresentativi dei diversi contesti idrogeologici, viene invece misurata con cadenza bimestrale. Questa scelta è stata fatta a partire dall'autunno del 2007

quando, a seguito di un periodo particolarmente siccitoso che ha fatto registrare un minimo storico dei livelli di falda, è stato istituito un gruppo di lavoro, coordinato dell'Agenda Regionale di Protezione Civile e a cui partecipano la Regione (Servizio Geologico e Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua) ed ARPA (SIMC e Direzione Tecnica), con lo scopo di valutare, con tutte le competenze disponibili, gli effetti della siccità, con particolare riferimento alla zona romagnola ed alla conoide del Marecchia che ha un'importanza strategica nell'approvvigionamento idrico dell'area riminese.

3. Analisi della superficie piezometrica della conoide del Marecchia

Con i dati di livello disponibili sono state realizzate le mappe dell'andamento della superficie piezometrica della Pianura intravalliva, della Conoide amalgamata e, nell'area della Conoide multifalda, dell'acquifero A1, considerate tutte in connessione idraulica, interpolando i dati col metodo del *kriging*.

Nelle figure che seguono sono rappresentate varie condizioni piezometriche.

Nella Figura 5 è rappresentato il livello piezometrico medio rilevato tra il 2001 e la primavera del 2012. Il livello piezometrico è compreso tra un massimo di 91 m s.l.m. ed un minimo di 1 m s.l.m.. Il gradiente piezometrico, piuttosto elevato nella zona della Pianura intravalliva, diventa via via più blando procedendo verso la porzione distale della conoide. Nella zona di Santarcangelo è evidente l'azione di ricarica del Fiume (e quindi la sua connessione idraulica con la falda della Conoide amalgamata), che viene meno all'altezza dell'Autostrada dove la conoide diventa compartimentata e l'acquifero A1 risulta confinato.

Nella zona intravalliva e nella conoide amalgamata la direzione di flusso è sostanzialmente costante verso nord - nord est. Nell'area della conoide multifalda è invece più articolata: nella parte nord il flusso ha direzione est - nord est e questo è probabilmente dovuto alla ricarica proveniente dai torrenti Rubicone ed Uso; nella zona tra l'autostrada e la costa il flusso ha direzione nord est con alcune variazioni dovute verosimilmente ai prelievi, specie a quelli da pozzi ad uso acquedottistico. La Figura 5b rappresenta invece la soggiacenza media (ovvero la profondità dell'acqua rispetto al piano campagna), rilevata tra il 2001 ed il 2012, calcolata sottraendo il livello piezometrico medio dal piano campagna negli gli stessi punti visti per la piezometria.

Le mappe delle Figure 6 e 7 mostrano invece, rispettivamente, il massimo livello piezometrico (inteso come la media dei massimi piezometrici dal 2001 al 2012) ed il minimo livello piezometrico (inteso come la media dei minimi piezometrici dal 2001 al 2012).

Il livello piezometrico massimo (Figura 6) è compreso tra 92 m s.l.m. ed un minimo di 2 m s.l.m., mentre il livello piezometrico minimo (Figura 7) è compreso tra 91 m s.l.m. -3 m s.l.m. Nell'interpolazione del livello piezometrico massimo sono state inserite anche le quote del fiume Marecchia, laddove esso è in contatto idraulico con la falda (punti verdi in figura 6).

In entrambi i casi, le maggiori differenze rispetto alla piezometria media si riscontrano nell'andamento delle

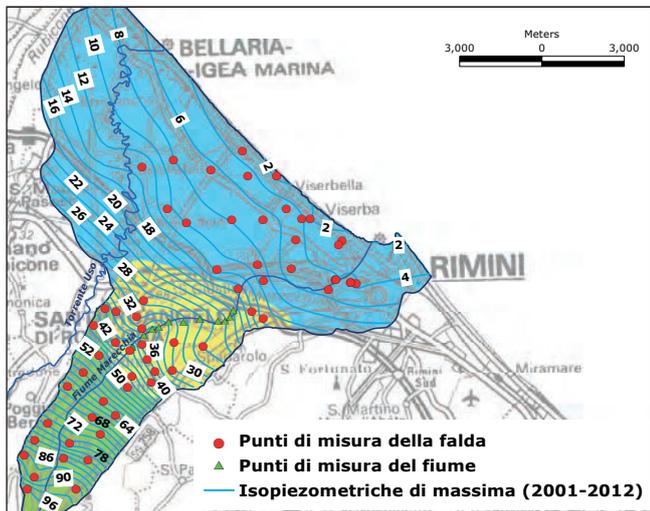


Figura 6 – Superficie piezometrica di massima della conoide del Marecchia (2001-2012)

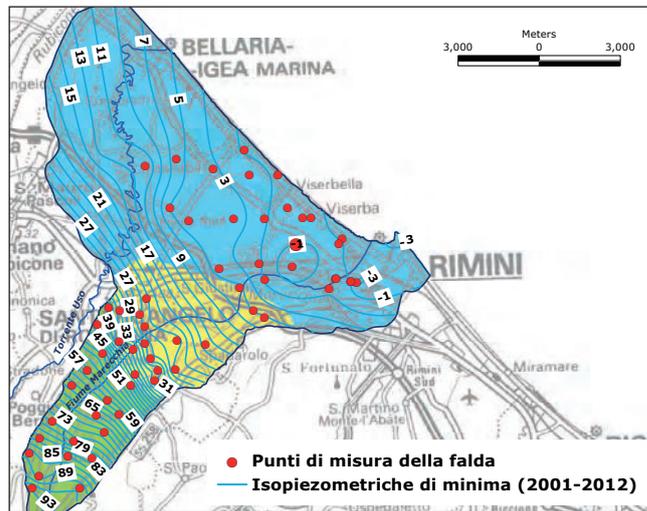


Figura 7 – Superficie piezometrica di minima della conoide del Marecchia (2001-2012)

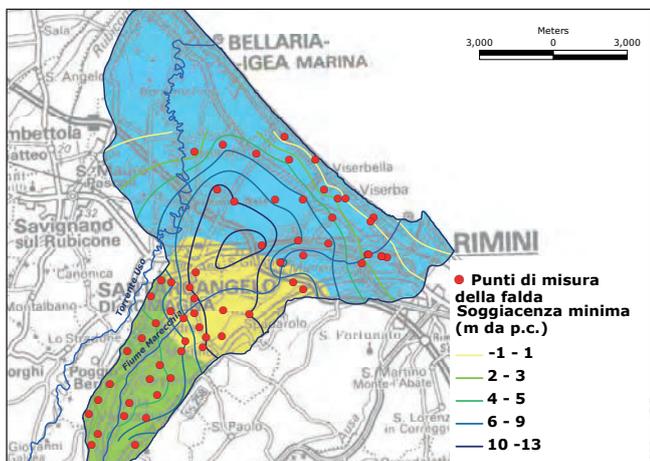


Figura 6b – Soggiacenza minima della conoide del Marecchia (2001-2012)

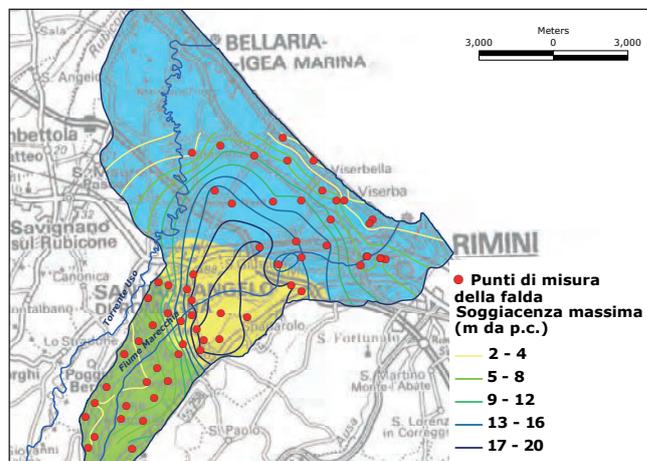


Figura 7b – Soggiacenza di massima della conoide del Marecchia (2001-2012)

direzioni di flusso nella zona della conoide multifalda. La piezometria di massima (Figura 6) presenta un gradiente leggermente più elevato rispetto alla media. È evidente la funzione alimentante del fiume, nei confronti della falda, nella zona tra Santarcangelo di Romagna e l'autostrada, mentre si rileva la funzione drenante del fiume stesso nella zona a monte di Santarcangelo di Romagna. La Figura 6b rappresenta la soggiacenza minima rilevata tra il 2001 ed il 2012, calcolata sottraendo il livello piezometrico massimo dal piano campagna.

Nella piezometria di minima (Figura 7) si evidenzia un forte cono di depressione ad Ovest di Rimini con una porzione di territorio in cui le quote delle isopiezometriche si trovano al di sotto del livello del mare, probabilmente per effetto dei prelievi.

La Figura 7b rappresenta la soggiacenza massima rilevata tra il 2001 ed il 2012, calcolata sottraendo il livello piezometrico minimo dal piano campagna.

Nella Figura 8 è infine rappresentata l'escursione piezometrica media, ovvero la differenza tra il livello piezometrico medio massimo ed il livello piezometrico medio minimo. Nella zona della Pianura intravalliva e nella Conoide amalgamata, dove l'acquifero è freatico, l'oscillazione della falda rappresenta un'effettiva

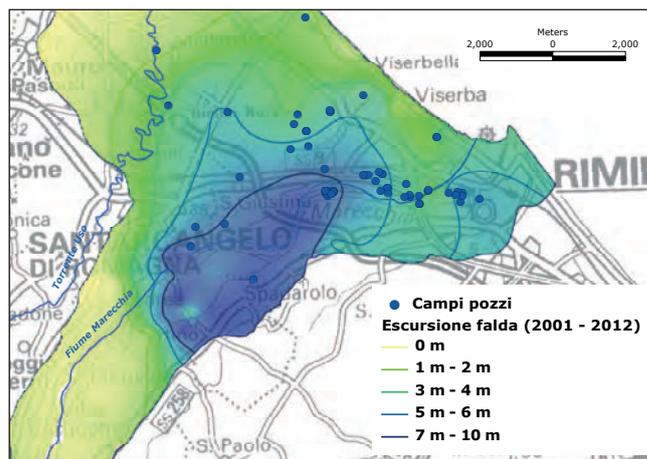


Figura 8 – Escursione piezometrica media della conoide del Marecchia (2001-2012)

variazione di volume di acqua e può quindi essere indicativa della quantità d'acqua che entra o esce dal sistema. Ciò permette di stimare, pur grossolanamente, la ricarica media annua della conoide, corrispondente alla porzione rinnovabile della risorsa. Nella zona della Pianura intravalliva gli acquiferi sono molto sottili ed il

gradiente della falda è alto, per questo motivo l'oscillazione della falda è scarsa, dato che tutta l'acqua che vi entra fluisce rapidamente verso le parti più distali. Nella zona della Conoide amalgamata, dove l'acquifero è più spesso ed altamente trasmissivo, si ha il massimo della oscillazione della falda; l'area della Conoide multifalda è invece la più sfruttata dai pozzi e presenta delle zone con diversa escursione tra minimo e massimo piezometrico, collegate probabilmente al differente sfruttamento della risorsa nei diversi periodi dell'anno. In tale caso, comunque, dato lo stato di confinamento o al più di semi-confinamento dei livelli permeabili, le variazioni piezometriche rappresentano cambiamenti di stato della pressione dell'acquifero, e non un diverso volume della risorsa.

Nella sola zona della conoide amalgamata, il volume dell'acquifero interessato dall'oscillazione media della falda è di circa 110 milioni di m³. Considerando una porosità efficace delle ghiaie di circa 0,3 (valore utilizzato in ARPA Emilia-Romagna, 2006) si può convertire l'oscillazione calcolata in un volume idrico di circa 33 milioni di m³ annui, corrispondenti a circa 1 m³/sec. Tale valore fornisce quindi una stima della ricarica media annua della conoide del Marecchia nel decennio considerato. Nel periodo monitorato, la media annua delle precipitazioni nella zona di ricarica diretta della conoide è stata di 774.4 mm (stazione di Sant'Arcangelo di Romagna, Annali Idrologici APRA Emilia-Romagna), corrispondente a circa 0.52 m³/sec (sui 21 km² di superficie zona di ricarica). Sulla base di studi appositamente realizzati (ARPA Emilia Romagna, 2006) l'infiltrazione efficace risulta essere variabile tra il 30 ed il 40 % della precipitazioni, in relazione alla diversa tipologia di suolo presente. Ciò significa che il contributo alla ricarica della conoide operato dalle precipitazioni efficaci dovrebbe essere compreso tra 0.16 e 0.21 m³/sec. La restante parte della ricarica dovrebbe quindi essere prevalentemente operata dal fiume Marecchia, la cui portata media annua è stata stimata in circa 6 m³/sec (Regione Emilia-Romagna, 2005).

In figura 9 è rappresentata la dinamica del livello piezometrico di alcuni punti di monitoraggio, rappresentativi dei diversi ambiti della conoide.

Nella zona intravalliva (esempio pozzo 91) i pozzi mostrano generalmente un minimo piezometrico estivo tra Agosto ed Ottobre ed un massimo che può invece essere tardo primaverile (Aprile - Giugno) o invernale (Dicembre - Febbraio). Trattandosi di un acquifero libero di spessore piuttosto modesto, l'oscillazione della falda è molto contenuta ed è nell'ordine del metro con massimi di poco superiori a 2 m. I minimi storici sono stati registrati nell'estate del 2003, del 2004 e del 2007. I principali picchi di massimo sono invece nell'inverno del 2002, del 2004 e del 2005.

Nei pozzi della conoide amalgamata (esempio pozzo 129) è più evidente l'oscillazione stagionale, con i minimi estivo - autunnali ed i massimi tardo primaverili (e talvolta invernali). Nella conoide amalgamata la falda oscilla mediamente tra i 4 e i 10 m (con picchi fino a 20 m). I minimi storici sono stati registrati nell'estate del 2003 ed in quella del 2007 e 2008, mentre i massimi più visibili sono quelli dell'inverno 2002 - 2003, dell'inverno 2005 - 2006 e della primavera del 2010. Molto interessante è

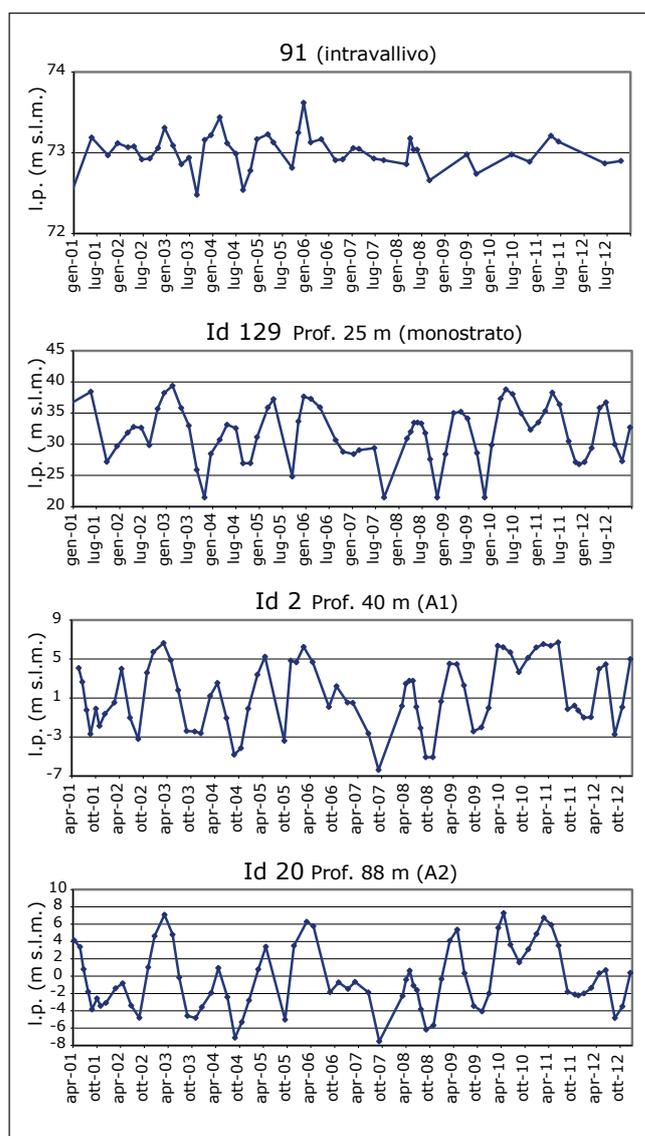


Figura 9 - Dinamica del livello piezometrico in alcuni punti di monitoraggio, rappresentativi dei diversi ambiti della conoide (pozzo 91 pianura intravalliva, 129 conoide amalgamata monostrato, 2 acquifero confinato A1, 20 acquifero confinato A2)

notare come nel 2010, che è stato un anno decisamente piovoso, il picco di minimo sia molto modesto e sia anzi ad un livello piezometrico paragonabile ai massimi degli anni precedenti.

L'andamento del livello piezometrico nei pozzi di monitoraggio degli acquiferi confinati A1 (esempio pozzo 2) e A2 è molto simile. Anche in questo caso la piezometria minima si registra in estate e la massima in tarda primavera. L'oscillazione piezometrica è compresa mediamente tra 4 e 10 m; i minimi storici sono registrati nell'estate del 2004 ed in quella del 2007, mentre i massimi più rilevanti sono nella primavera del 2003 ed in quella del 2010. Anche in questo caso il minimo del 2010 ha un valore assoluto molto elevato rispetto ai minimi rilevati negli altri anni.

In alcuni pozzi di monitoraggio è infine evidente che nel 2012 il picco di massimo sia stato raggiunto più tardi ed abbia un livello piezometrico inferiore a quello dei due anni precedenti, paragonabile al livello degli anni più siccitosi del decennio monitorato.

Durante le diverse campagne di monitoraggio, nei periodi di massimo piezometrico, alcuni pozzi dell'acqui-

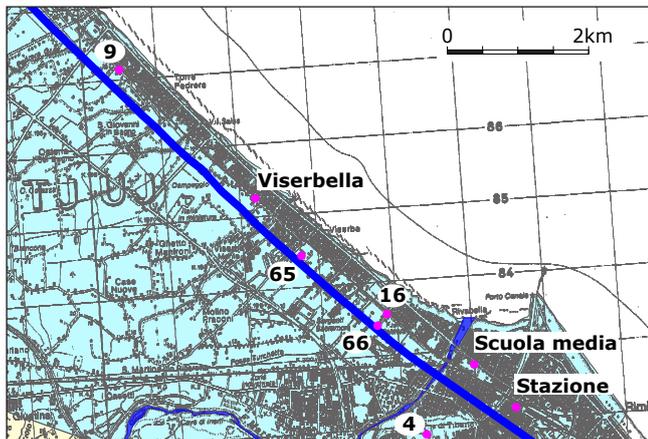


Figura 10a - Pozzi che durante il periodo monitorato sono stati almeno una volta fluenti. La linea blu indica la falesia di erosione marina

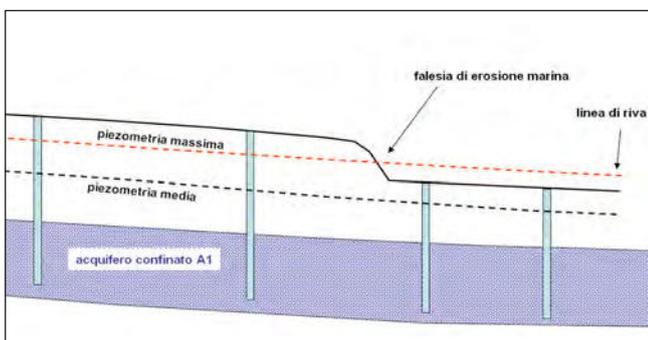


Figura 10b - Sezione geologica schematica in prossimità della falesia costiera presso Viserbella

fero confinato A1, ubicati quasi esclusivamente lungo la costa, sono risultati essere fluenti, ovvero con un livello piezometrico superiore al piano campagna (Figura 10a). Dal punto di vista geologico è interessante sottolineare che tutti questi pozzi, salvo l'Id4, sono situati a valle della falesia di erosione marina posta in prossimità della costa (descritta nelle Note Illustrative del Foglio geologico n. 256, Rimini). In corrispondenza della falesia si ha un abbassamento di diversi metri del profilo topografico della conoide. Di conseguenza nei periodi di alto piezometrico, caratterizzati quindi da una pressione alta, la falda raggiunge facilmente quote superiori a quelle del piano campagna, come schematicamente mostrato nella Figura 10 b.

Nella zona della conoide amalgamata dove, come visto, le oscillazioni della falda sono massime, può invece accadere che nei periodi di minimo piezometrico alcuni pozzi si asciughino. Nella Figura 11 sono rappresentati i pozzi che si sono asciugati almeno una volta nel corso del monitoraggio. Trattandosi di pozzi che captano, come detto, l'acquifero amalgamato, la loro profondità (riportata nella Figura in questione) può essere interpretata come lo spessore di acquifero che si asciuga nei periodi di magra.

4. Relazioni tra la dinamica della superficie piezometrica e gli afflussi meteorici

Le principali fonti di ricarica della conoide sono rappresentate dalle precipitazioni efficaci e dalla dispersione

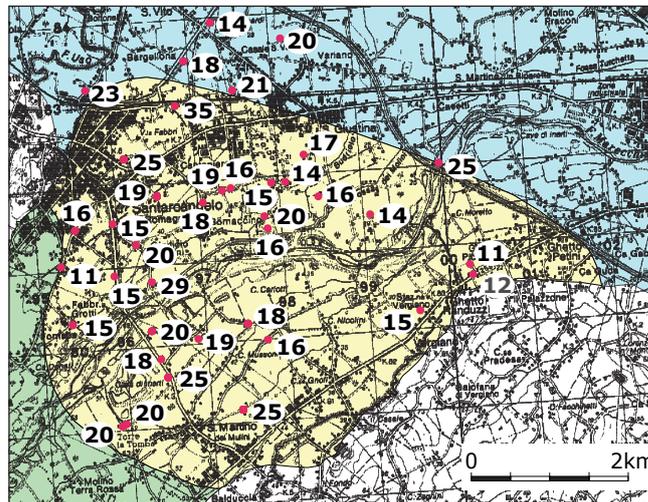


Figura 11 - Ubicazione dei pozzi che, durante il periodo monitorato, si sono seccati almeno una volta. Il numero indica la profondità del pozzo e corrisponde allo spessore asciutto di acquifero

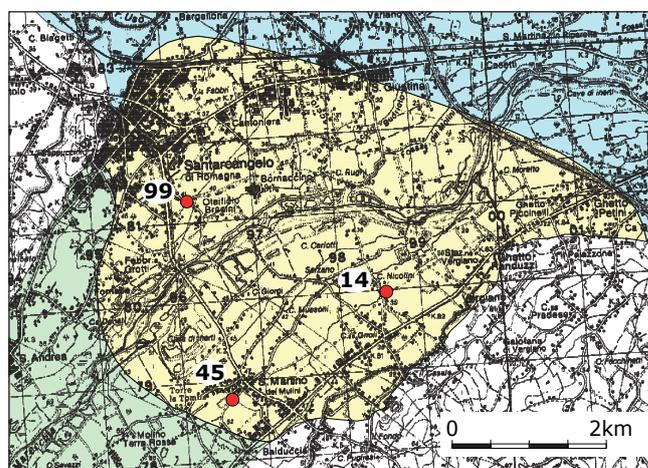


Figura 12 - Ubicazione dei pozzi analizzati per il confronto risalita del livello piezometrico - pioggia

dall'alveo del Marecchia. Senza voler entrare nel merito di valutazioni specifiche sul bilancio della conoide, è possibile, grazie alla grande quantità di misure a disposizione, fare delle semplici osservazioni di tipo empirico sulle modalità di ricarica della conoide, valutando le relazioni tra la dinamica della superficie piezometrica e l'afflusso meteorico.

A tal proposito sono stati messi a confronto i valori della risalita piezometrica, riferiti al periodo autunnale-primaverile, con le piogge cumulate nello stesso intervallo di tempo. L'analisi è stata condotta su tre punti ricadenti nella zona di amalgamazione della conoide, corrispondente alla zona della massima ricarica (Id14; Id45 e Id99 in Figura 12). Per quanto riguarda le precipitazioni i valori provengono dal pluviometro di Santarcangelo di Romagna e sono espressi come precipitazione totale mensile.

Il grafico di Figura 13a rappresenta per il pozzo Id 45 la relazione tra la risalita piezometrica (in ascissa) ed i millimetri di pioggia caduti (in ordinata) per 5 differenti stagioni di ricarica. I singoli valori riferiti ai diversi periodi sono riportati nella tabella compresa nella figura.

Con lo stesso criterio si sono costruiti gli altri grafici riportati nella figura 13b, dove vengono riportati tutti e tre i pozzi analizzati.

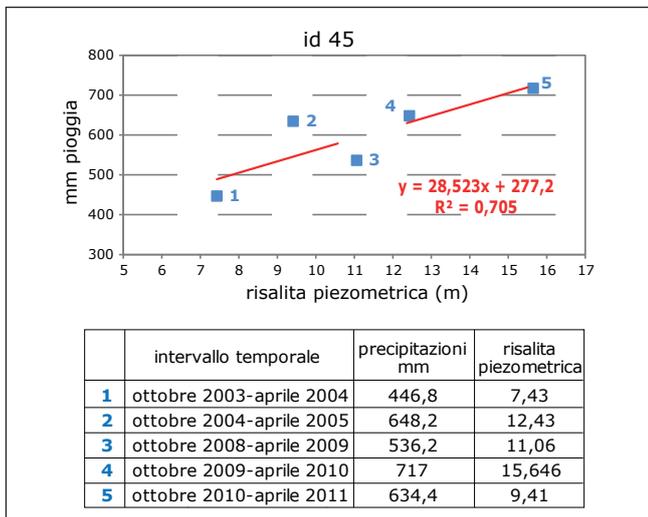


Figura 13a - Relazione tra risalita del livello piezometrico e precipitazioni nel pozzo id 45

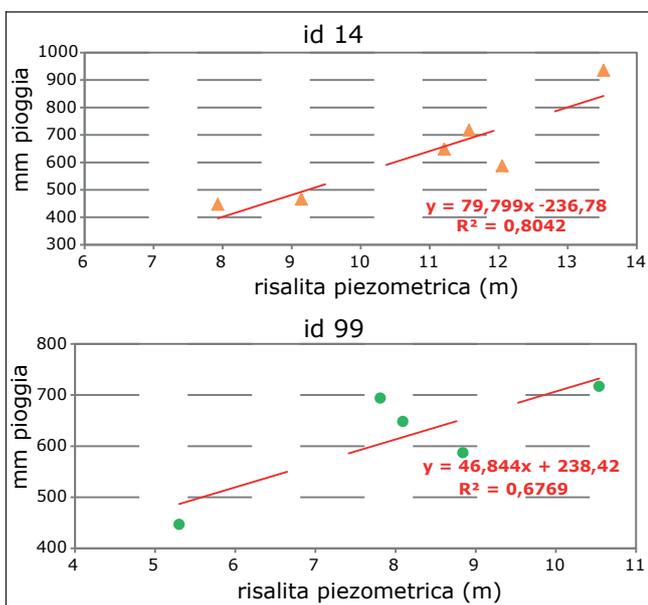


Figura 13b - Relazione tra i valori di risalita del livello piezometrico e le precipitazioni nei pozzi id 45, 14 e 99

Dal confronto tra i valori dei due parametri emerge una relazione lineare diretta tra la quantità di pioggia caduta e l'innalzamento del livello piezometrico: ad una maggiore quantità di pioggia caduta corrisponde una maggiore risalita della falda (Figura 13b).

Le equazioni che legano le due variabili considerate hanno un valore di R^2 alto (compreso tra 0.68 e 0.81) e questo indica la bontà della relazione ricavata.

Nonostante le equazioni relative ai tre andamenti siano differenti tra loro, è evidente comunque una certa omogeneità tra la quantità di pioggia caduta ed il conseguente incremento del livello piezometrico nei tre punti di monitoraggio: per esempio in tutti i grafici, al valore di 500 mm di pioggia corrisponde una risalita del livello piezometrico nell'intervallo 7-8 metri.

È inoltre importante sottolineare che le relazioni individuate derivano unicamente dal confronto empirico tra i millimetri di pioggia caduti e l'innalzamento del livello e prescinde quindi da ogni altro tipo di variabile quale l'entità dei prelievi, la portata del fiume (che dipende

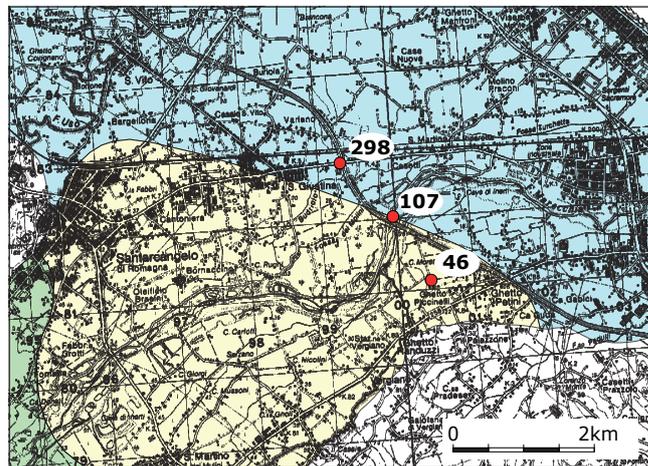


Figura 14 - Ubicazione dei piezometri con installate sonde per il monitoraggio in continuo

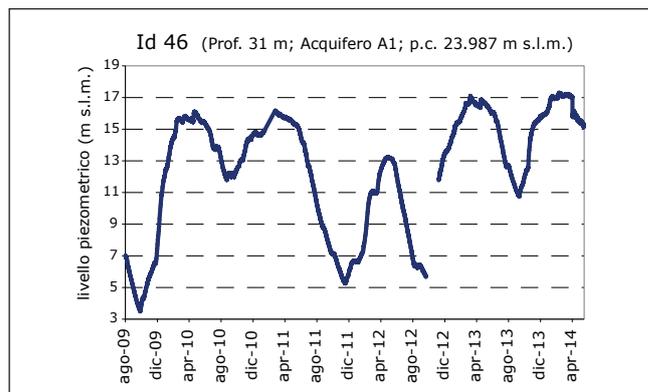


Figura 15 - Regime piezometrico nel piezometro con Id46

dal regime delle precipitazioni in tutto il bacino imbrifero), il regime locale delle precipitazioni, la temperatura dell'aria.

5. Analisi dei dati del monitoraggio in continuo

Per avere una maggiore accuratezza nella ricostruzione del regime piezometrico e per poter quindi fare considerazioni più specifiche sulla dinamica degli acquiferi, in tre dei piezometri appartenenti alla rete di monitoraggio sono state installate sonde per la misura in continuo con cadenza oraria di: livello piezometrico, conducibilità elettrica (compensata a 20°C) e temperatura.

Si tratta dei piezometri Id46, Id107 e Id298, tutti relativi all'acquifero A1 ed ubicati nella zona di amalgamazione (Figura 14). Altre 3 sonde per il monitoraggio in continuo sono state installate in altrettanti piezometri ubicati lungo la costa, di cui si tratterà al successivo paragrafo. Nel piezometro Id46 il monitoraggio è iniziato nel mese di agosto 2009 e prosegue tutt'oggi (Figura 15) ed è relativo solamente al livello piezometrico.

L'escursione piezometrica massima misurata in questo piezometro è di circa 12.5 m ed è conseguenza della intensa risalita nel novembre 2009 – febbraio 2010 concomitante con precipitazioni abbondanti.

Il grafico evidenzia inoltre quanto già osservato in precedenza: il minimo del 2010 si trova addirittura ad un

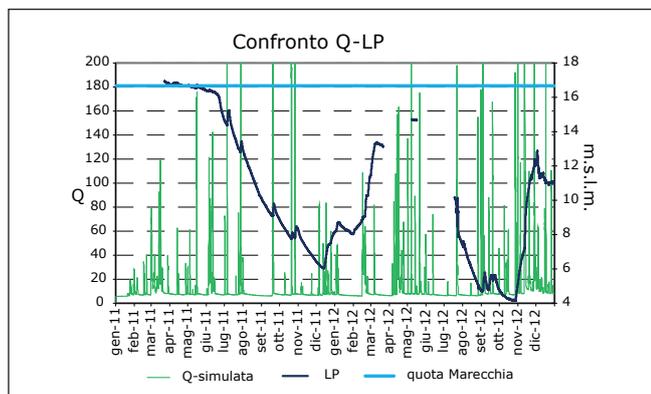


Figura 16 – Livello piezometrico in Id 107 e portata simulata del Marecchia (dato fornito da ARPA Emilia-Romagna)

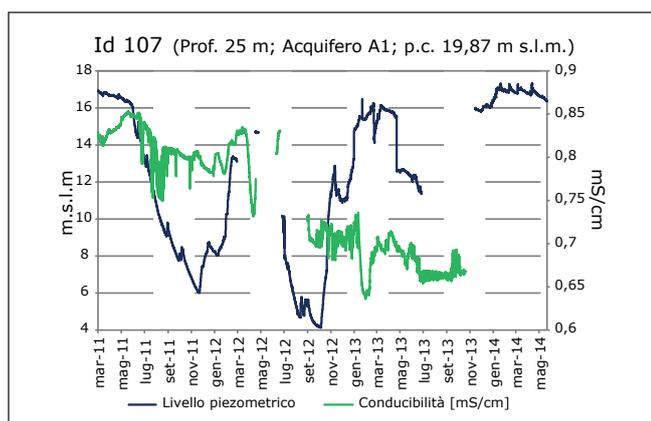


Figura 17 – Regime piezometrico (linea blu) e conducibilità elettrica (linea verde) nel piezometro Id107

livello paragonabile al massimo del 2012. Il grafico mostra per l'anno 2012 come l'intervallo di tempo relativo alla discesa dal massimo al minimo piezometrico sia più breve rispetto agli anni precedenti, evidentemente in relazione alle dinamiche della ricarica e dei prelievi. Nella Figura 16 è rappresentato il confronto tra il regime piezometrico nel punto Id107 (che si trova in area golenale, a 85 m dal fiume), monitorato dal mese di marzo del 2011 a tutt'oggi, e la portata del Marecchia, simulata con un apposito modello matematico, i cui risultati sono stati gentilmente forniti da ARPA Emilia-Romagna. La figura evidenzia che il livello piezometrico è fortemente influenzato dalla portata del fiume, infatti ai picchi di portata del fiume corrispondono degli istantanei innalzamenti dei livelli piezometrici, a dimostrazione della connessione idraulica tra l'acquifero A1 ed il Marecchia.

È interessante notare che, nel periodo di diminuzione del livello compreso tra giugno e dicembre 2011, i singoli eventi di piena producono un piccolo e temporaneo aumento di livello, mentre nel periodo di risalita del livello fra novembre e dicembre 2012, le piene concorrono alla risalita generale della falda.

L'escursione massima misurata in questo piezometro è di circa 12 m.

Si osservi che il livello del fiume è circa 16,5 m s.l.m., pertanto solamente nella primavera del 2011 la falda ha avuto all'incirca la stessa quota del fiume; durante tutta la restante parte del periodo monitorato il letto del fiume è sempre stato a quota maggiore della falda.

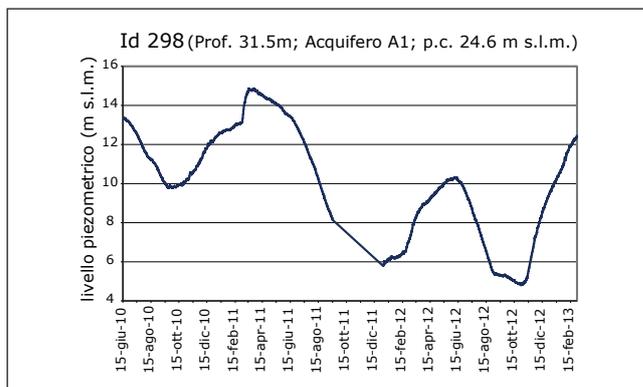


Figura 18 – Oscillazione del livello piezometrico nel piezometro con Id 298

L'andamento della conducibilità elettrica, comparata al livello del piezometro Id107, è mostrato nella Figura 17. La conducibilità è caratterizzata da valori bassi, compresi tra 0,63 e 0,85 mS/cm. Il grafico mostra che, in molti casi in cui il livello aumenta, come visto in concomitanza con le piene del fiume, la conducibilità elettrica diminuisce a riprova dell'arrivo di acqua più dolce proveniente dal fiume (il Marecchia in questa posizione ha una conducibilità elettrica di circa 0,35 mS/cm). La temperatura della falda nel periodo di osservazione oscilla tra 11,6 °C e 15,6 °C.

Il monitoraggio in continuo nel piezometro Id298 è iniziato a giugno del 2010 e continua tutt'oggi (Figura 18). Il livello mostra un andamento sinusoidale con massimi primaverili e minimi autunnali o invernali, influenzati dal regime delle precipitazioni. Anche in questo piezometro il minimo tardo estivo del 2010 è stato mitigato dalle consistenti precipitazioni ed è rimasto quindi a valori assoluti più elevati della media. Nel 2012 si registra, come negli altri punti, un massimo a quota molto inferiore al 2011 e una discesa del livello piezometrico da massimo a minimo più rapida che negli anni precedenti.

L'escursione massima misurata in questo piezometro è di circa 10 metri. La conducibilità elettrica, generalmente stabile a 1 mS/cm, si è innalzata sino a 1,4 mS/cm durante la primavera del 2011; la temperatura è variata molto poco, essendo stata compresa tra 14,3 e 14,8 °C.

6. Ingressione di acque salate nel primo acquifero confinato

Come si vede dalla sezione geologica di Figura 2, gli acquiferi della conoide del Marecchia proseguono oltre la linea di riva, al di sotto del fondale del mare Adriatico. Facendo particolare riferimento all'acquifero A1 (ovvero alla porzione ghiaiosa sommitale dell'unità AES7) nella sezione si vede che esso si trova, nella zona costiera, a circa 20 m di profondità dalla superficie. Al di sopra delle ghiaie, un acquitarzo di argille ricche in sostanza organica, spesso alcuni metri e arealmente continuo, separa l'acquifero dalle sabbie della spiaggia attuale che si trovano in diretto contatto con le acque del mare. I dati a disposizione hanno messo in luce che sia plausibile una connessione con il mare anche per il primo acquifero confinato, infatti, durante periodi particolarmente siccitosi, nelle acque di questo acqui-

fero sono stati rilevati forti aumenti di salinità. E' possibile quindi che il livello di argille sia localmente interrotto (cosa che comunque non risulta dalle stratigrafie disponibili), o che la connessione idraulica tra il primo acquifero confinato ed il mare sia dovuta ai pozzi presenti nella zona costiera che mettono in comunicazione artificialmente la falda freatica (connessa naturalmente con il mare) con le falde confinate sottostanti.

Sono noti, ad esempio, episodi di salinizzazione in questo acquifero nel periodo siccitoso a cavallo tra gli anni '80 e '90 (Giuliani & Gurnari, 1994) quando, a causa delle scarse precipitazioni, era stato necessario aumentare fortemente il prelievo dai pozzi per soddisfare la richiesta di acqua. A seguito di tale eccezionale emungimento si osservarono forti aumenti salinità in falda. Anche in uno studio realizzato nel 2005 dall'Ente gestore (Romagna Acque – Società delle Fonti) nell'ambito di una Valutazione di Impatto Ambientale, vengono indicati, in alcuni pozzi utilizzati a fini idropotabili, degli aumenti di concentrazione dello ione cloruro, che talvolta arriva a superare il limite di legge per le acque a consumo umano di 250 mg/l (D.Lgs 31/01).

Nell'ambito della citata collaborazione con l'Agenzia Regionale di Protezione Civile in merito al monitoraggio delle falde della conoide del Marecchia, nel 2008 si è introdotta, a fianco delle abituali misure di livello della rete illustrata, la misura della conducibilità elettrica specifica in alcuni dei pozzi in esame. Inoltre, al fine di avere più specifiche informazioni sulla salinizzazione del primo acquifero confinato e per poterla eventualmente monitorare nel tempo, nell'aprile del 2009 sono stati installati tre nuovi piezometri a breve distanza dalla linea di riva indicati nella Figura 19: "Viserbella" a circa 300 m dalla linea di riva; "Scuola media" a circa 600 m dal mare ed a circa 300 m dal Marecchia; "Stazione FS" a più di 1 km dalla linea di riva e a 200 m dal porto canale di Rimini. Per installare i tre piezometri sono stati eseguiti dei sondaggi a carotaggio continuo che hanno permesso di verificare con molta accuratezza la stratigrafia e di posizionare correttamente i tratti filtrati in corrispondenza delle ghiaie dell'acquifero A1.

Di questi tre piezometri, l'unico in cui sono stati rilevati valori di conducibilità elevati è quello indicato come "Scuola media". Nella Figura 20, che rappresenta il confronto tra gli andamenti di livello e conducibilità elettrica dal settembre 2011 al maggio 2013, si vede bene che quest'ultima ha valori compresi tra 2.8 mS/cm e 3.2 mS/cm, a fronte di un limite di legge per le acque a consumo umano di 2.5 mS/cm (D.Lgs 31/01).

La conducibilità elettrica varia in modo coerente con l'andamento del livello piezometrico: quando questo si abbassa, lasciando verosimilmente spazio all'ingresso di acqua da mare, la conducibilità aumenta (si veda ad esempio l'agosto 2012); viceversa, quando il carico idraulico aumenta e il cuneo salino viene conseguentemente spinto verso mare, la conducibilità diminuisce (ad esempio nel dicembre e gennaio 2013). La Figura 20 evidenzia molto chiaramente che alle variazioni stagionali del livello si sovrappongono delle oscillazioni ad alta frequenza, ampie alcuni centimetri, verosimilmente dovute alle variazioni di pressione indotte sull'acquifero dalle maree del vicino mare Adriatico. Altri picchi nell'andamento del livello sono invece relativi, presumi-

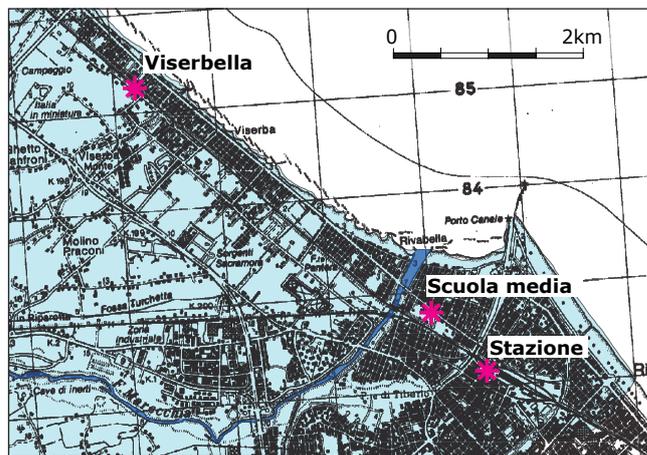


Figura 19 – Ubicazione dei piezometri realizzati per il monitoraggio della salinizzazione del primo acquifero confinato

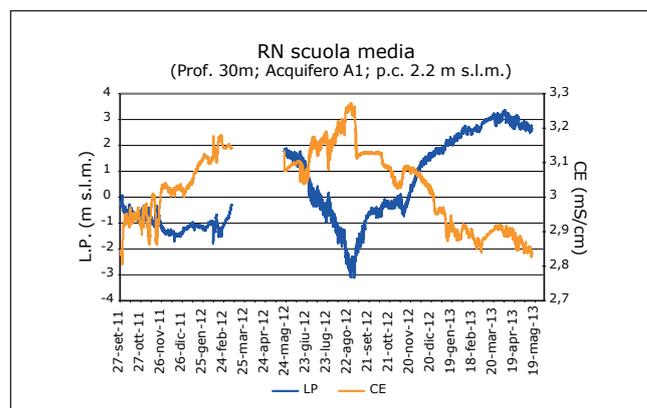


Figura 20 – Livello piezometrico e conducibilità elettrica nel piezometro "Scuola media"

Tabella 2 – Parametri chimico fisici delle acque dei piezometri "Scuola media" e "Stazione FS"

Piezometro Scuola media	Piezometro Stazione FS
Conducibilità elettrica specifica a 20°C: 3350 mS/cm	Conducibilità elettrica specifica a 20°C: 989 mS/cm
pH: 7	pH: 7
Calcio: 316 mg/l	Calcio: 124.8 mg/l
Magnesio: 79 mg/l	Magnesio: 25 mg/l
Sodio: 230 mg/l	Sodio: 61 mg/l
Potassio: 4 mg/l	Potassio: 2 mg/l
Bicarbonato: 279.4 mg/l	Bicarbonato: 445.3 mg/l
Solfato: 14.9 mg/l	Solfato: 25 mg/l
Cloruro: 1050 mg/l	Cloruro: 100 mg/l
Nitrato: <0.1	Nitrato: assenti
Ammoniaca: 1.03 mg/l	Ammoniaca: assente

bilmente, alla presenza di pozzi di emungimento nelle vicinanze del sito o agli effetti di evapotraspirazione. Nel settembre 2009, quando questi piezometri sono stati installati e si è notato l'alto valore della conducibilità, ci si è posti il problema di verificare che la causa di tale salinizzazione fosse effettivamente collegabile all'ingresso del cuneo salino e non ad altre cause. A tal fine sono stati prelevati dei campioni d'acqua sia nel piezometro "Stazione FS" che in quello "Scuola media" e le analisi effettuate dal laboratorio ARPA di Ravenna hanno dato i risultati riportati in Tabella 2.

L'alto valore di sodio e cloruro rilevato nel piezometro "Scuola media" fa quindi propendere per una contaminazione da acque marine, forse veicolata anche dall'emungimento di acqua da pozzi limitrofi.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Prof. Alessandro Gargini dell'Università di Bologna per la dettagliata revisione del testo.

Si ringrazia la Provincia di Rimini per la messa a disposizione dei dati della rete piezometrica della conoide del Marecchia.

Si ringraziano l'Ing. Andrea Chahoud di ARPA Regione Emilia-Romagna e il dott. Massimo Filippini della Provincia di Rimini per le utili discussioni relativamente ad alcune parti del testo.

Si ringrazia il dott. Raffaele Pignone, già responsabile del Servizio Geologico Regione Emilia-Romagna, per aver sostenuto e consentito lo svolgimento dello studio e Simonetta Scappini per il contributo grafico.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

ARPA Emilia-Romagna, 2006 "Studio della conoide alluvionale del Fiume Marecchia: analisi quali - quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica". <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/acque/informazioni>

Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31 "Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 52 del 3 marzo 2001 - Supplemento Ordinario n. 41

GIULIANI G. & GURNARI G., 1994 - La risorsa acqua e Rimini. Un decennio di ricerche e studi. AMIR spa, Rimini, pp 87.

Giunta della Regione Emilia-Romagna, 2002 Deliberazione n. 1421/2002 "Progetto 'Le acque di sottosuolo del Fiume Marecchia' e Protocollo d'intesa tra la Regione Emilia-Romagna, Autorità Di Bacino Marecchia-Conca, Provincia di Rimini e Amir S.P.A."

Giunta della Regione Emilia-Romagna, 2010 Deliberazione n. 350/2010 "Implementazione della Direttiva Europea quadro sulle acque (2000/60/CE)"

Provincia di Rimini, 2013. Piano Territoriale del Coordinamento Provinciale 2007 Variante 2012. Estensione del PTCP al territorio dell'Alta Valmarecchia e di recepimento delle disposizioni di tutela delle acque comprensive della Carta Forestale provinciale. B.U.R. della Regione Emilia-Romagna n.121 del 8 maggio 2013.

Regione Emilia-Romagna, 2005 Piano di Tutela delle Acque. Approvato con Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n. 40 del 21 dicembre 2005.

Regione Emilia-Romagna, 2007 "Le acque di sottosuolo della conoide del Fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della gestione sostenibile della risorsa idrica", report interno

Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998 - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna

Servizio Geologico d'Italia - Regione Emilia-Romagna, 2005. Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio Geologico "256 - Rimini

TONI G. & ZAGHINI M., 1988 - Idrogeologia e geotecnica del conoide del F. Marecchia (FO). Camerdi Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura, Forlì, pp 31.