

Quick analysis of the characteristic hydrogeological parameters of an aquifer, using empirical formulas and the implementation of the clay substrate map: the case study of the shallow aquifer of the S. Eufemia Lamezia plain (Central Calabria - Italy)

Valutazione speditiva dei parametri idrogeologici caratteristici di un acquifero, attraverso l'uso di formule empiriche e l'implementazione della carta del substrato argilloso: il caso studio dell'acquifero superficiale della piana di S. Eufemia Lamezia (Calabria Centrale - Italia)

Enzo Cuiuli

Riassunto: In Calabria, esistono pochi lavori di idrogeologia quantitativa. Pertanto il presente studio, vuole fornire un contributo alla conoscenza idrogeologica della regione ed in particolare dell'acquifero superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia caratterizzata da un acquifero multistrato. L'area di studio, è ubicata nel settore tirrenico del "Graben di Catanzaro", un'importante struttura tettonica che ricade nel più ampio contesto dell'Arco Calabro Peloritano. L'acquisizione di nuovi dati litostratigrafici ed idrogeologici, relativi a perforazioni per ricerca idrica, ha consentito di ampliare la conoscenza dell'acquifero freatico della piana di S. E. Lamezia. Nell'area di studio esiste un altro numero di pozzi abusivi su cui non si hanno dati, poiché non dichiarati e realizzati senza uno studio idrogeologico di base. Pertanto sono privi di prove di portata ed informazioni relative alle profondità di perforazione, stratigrafie e modalità costruttive. Tuttavia un certo numero di pozzi è autorizzato ed i dati disponibili, sono: stratigrafia, misura del Livello Statico/Dinamico, Portata critica (Qc) ed in alcuni casi anche l'abbassamento specifico (Δs). Pertanto con questi dati, usando formule empiriche, è stata effettuata una valutazione speditiva dei parametri idrogeologici caratteristici dell'acquifero. Inoltre interpolando, con metodo geostatistico, i dati stratigrafici è stata restituita la carta del substrato

argilloso. In particolare, utilizzando i dati di pozzo sono stati stimati speditivamente la Trasmissività [T] ed il Coefficiente di Immagazzinamento [S] con l'impiego di formule empiriche. Dalla Trasmissività è stata derivata la Conducibilità Idraulica [K]. Lo spessore dello strato saturo (b) dell'acquifero è stato ricavato direttamente dalle stratigrafie dei pozzi censiti oppure, in quei pochi casi in cui non era nota la stratigrafia, per differenza tra i valori ricavati dalla carta isopiezometrica e la carta del tetto del substrato argilloso qui presentata. Il Gradiente idraulico [i] è stato calcolato graficamente dalla carta piezometrica dell'acquifero. In conclusione questo studio, attraverso l'implementazione della carta del substrato argilloso ed una valutazione speditiva dei principali parametri idrodinamici, mira a fornire un contributo alla definizione del modello idrogeologico dell'acquifero superficiale della Piana che rappresenta uno strumento di fondamentale importanza per la protezione e la corretta gestione della risorsa idrica.

Keywords: S. Eufemia Lamezia plain, shallow aquifer, transmissivity, storage coefficient.

Parole chiave: Piana di S. Eufemia Lamezia, acquifero superficiale, trasmissività, coefficiente d'Immagazzinamento.

Enzo CUIULI 

Geologo
cuiuli@libero.it – e.cuiuli@arpacal.it

Ricevuto/Received: 14 November 2018-Accettato/Accepted: 20 December 2018
Pubblicato online/Published online: 21 December 2018

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

© Associazione Acque Sotterranee 2018

Abstract: In Calabria, there are few works of quantitative hydrogeology. Therefore, the present study aims to provide a contribution to the hydrogeological knowledge of the region and, in particular, of the shallow aquifer of the S. E. Lamezia plain, characterized by a multi-layer aquifer. The study area is located in the Tyrrhenian sector of the "Graben of Catanzaro, an important tectonic structure in the wider context of the Calabrian Peloritano Arc. The acquisition of new lithostratigraphic and hydrogeological data, related to drillings for water research, has allowed expanding the knowledge of the phreatic aquifer of S. E. Lamezia plain. In the study area, there is a high number of abusive wells without data, not declared and are made without a basic hydrogeological study. Therefore, they are free of flow rate tests and information about the drilling depth, stratigraphy and construction methods. However, a certain numbers of wells is authorized and the available data are: Stratigraphy, static and dynamic level, critical flow rare (Qc) and, in some cases, also the specific lowering (Δs). Therefore with these data, using empirical formulas, a quick analysis of the hydrogeological parameters characteristic of the aquifer it was done. Moreover, interpolating the stratigraphic data with a geostatistic method the map of the clay substrate was returned.

In particular, the Transmissivity (T) and the Storage coefficient (S) were calculate with empirical formulas using well data. From the Transmis-

sivity. the Hydraulic conductivity (K) is derived. The hydraulic gradient from the piezometric map graphically is calculated. The thickness of the saturated layer (b) of the aquifer was obtained directly from the stratigraphy of the wells surveyed or, in those cases in which stratigraphy was not known, from the differences between the values obtained from the isopiezometric map and the map of the clay substrate.

In conclusion, this study, with the implementation of the clay substrate map and a quick analysis of the main hydrodynamic parameters, aims to provide a contribution to the definition of the hydrogeological model of the shallow aquifer of the Plain that represents a fundamental tool for the protection and the correct management of the water resource.

Introduzione

La stima della Trasmissività (T), del Coefficiente d'Immagazzinamento (S) e della Conducibilità Idraulica (K) è di grande importanza negli studi idrogeologici poiché costituiscono indicatori fondamentali del comportamento idrodinamico dell'acquifero (Celico 1986; Boonstra et al. 1981; Di Molffetta 1992; Shibasaki 1996). In merito alla determinazione di questi parametri la letteratura nazionale ed internazionale recente e meno recente evidenzia che l'interpretazione dei dati derivanti da prove di pompaggio rappresenta la metodologia più attendibile e rigorosa per la loro determinazione. Tuttavia queste prove hanno un alto costo di realizzazione e difficoltà di esecuzione legate alla strumentazione impiegata, alla lunga durata della prova ed alla necessaria accuratezza nella lettura dei dati. Pertanto quando si deve caratterizzare un acquifero spesso, il numero di prove di pompaggio è limitato, insufficiente o addirittura inesistente, rendendo difficoltosa la determinazione dei parametri idrodinamici e la loro distribuzione spaziale rispetto all'acquifero studiato. In questi casi una soluzione valida, in studi idrogeologici di grande e media scala, come quello proposto, può essere rappresentato dall'impiego di formule empiriche per la stima della Trasmissività [T] (Logan 1964; Celico 1986; Boonstra et al. 1981; Di Molffetta 1992; Shibasaki 1996, 1999; Tebakari et al. 2015) e del Coefficiente d'Immagazzinamento [S] (Lohman 1972; Boonstra et al. 1981; Younger 1993; Shibasaki 1999; Todd et al. 2005). Inoltre, il gradiente idraulico potrà essere determinato dalla carta isopiezometrica, (Castany 1963; Celico 1986), mentre la Conducibilità Idraulica [K] potrà essere derivata dalla Trasmissività conoscendo lo spessore dell'acquifero.

In Calabria esistono pochi lavori di idrogeologia quantitativa quali lo "Studio organico sulle risorse idriche sotterranee" (Cas.Mez. 1978), il "Piano Tutela delle Acque" (SOGESID 2009), ed alcuni lavori su limitate porzioni di territorio. Tale carenza deriva, principalmente, dall'estrema difficoltà nel reperimento dei dati di base e dalla frammentarietà degli stessi. Infatti la piana di S.E. Lamezia è caratterizzata dalla presenza di una quantità enorme di pozzi, in gran numero abusivi, di cui si disconoscono le profondità esatte, le modalità costruttive ed in cui spesso non sono state eseguite prove di portata finalizzate al corretto sfruttamento dell'opera di captazione. Tuttavia una ridotta porzione dei pozzi esistenti

è autorizzata e si conoscono: le stratigrafie, la profondità e le modalità costruttive anche se la disponibilità di prove di portata di lungo periodo è veramente molto limitata. Infatti la portata di esercizio ed il dimensionamento della pompa vengono definiti con prove di portata di breve periodo (max 3 gradini) quando disponibili. Inoltre nella maggioranza dei casi vengono indicati solo: i livelli di falda (statico/dinamico) le portate critiche (Qc) e talvolta anche quelle di esercizio (Qe) ed i rispettivi abbassamenti (Δs); quindi la determinazione dei principali parametri caratteristici dell'acquifero in maniera diretta, da prove di portata, è molto difficoltosa.

La piana di S. Eufemia Lamezia è ubicata, in corrispondenza dell'omonimo golfo, lungo il versante tirrenico calabrese ed è caratterizzata dalla presenza di una complessa struttura idrogeologica composta da tre falde sovrapposte separate tra loro da orizzonti argillosi (Fig. 1) (Cas.Mez. 1978; SOGESID 2009; Cuiuli 2012, 2015). Mediante le stratigrafie acquisite è stata restituita la carta del tetto del substrato argilloso (Fig. 2) che corrisponde al letto dell'acquifero superficiale e sono stati ricostruiti i profili geologici (Figg. 3 e 4) la cui traccia è riportata in carta. Inoltre sono stati censiti, le portate critiche (Qc) ed i relativi abbassamenti specifici (Δs), i livelli di falda (statico/dinamico) di un numero significativo di pozzi. In totale sono stati utilizzati i dati di n. 132 pozzi di cui n. 97 con sola stratigrafia, n. 22 con stratigrafia e dati idrogeologici, n. 13 con soli dati idrogeologici. Pertanto il presente studio mira a fornire sia un contributo alla conoscenza idrogeologica della Piana di S. E. Lamezia, attraverso l'implementazione della carta del substrato argilloso e la stima speditiva dei principali parametri idrogeologici dell'acquifero superficiale, sia una metodologia applicativa, nei casi in cui non si dispone di prove di pompaggio, per la definizione della geometria degli acquiferi e dei principali parametri idrodinamici che sono di fondamentale importanza nella costruzione di un modello idrogeologico dell'acquifero poiché, la loro lettura integrata, è funzionale alla protezione, alla pianificazione ed alla corretta gestione della risorsa idrica.

Inquadramento geologico – strutturale, geomorfologico ed idrogeologico

La Piana di S. Eufemia Lamezia ricade nel settore tirrenico del "Graben di Catanzaro", struttura tettonica d'importanza regionale nel più ampio contesto geologico dell'Arco Calabro Peloritano (Amodio Morelli et al. 1976). Il graben è colmato da depositi plio-quadernari ed è stato generato da faglie sub-verticali con direzione prevalente WNW – ESE con una componente di trascorrenza sinistra, la quale talvolta può diventare predominante (Gulla et al. 2005). Il bordo settentrionale del graben è individuato dalla faglia, d'importanza regionale, "Gizzeria – Nicastro – Pianopoli – Marcellinara" (Sorriso-Valvo e Tansi 1996; Gulla et al., 2005), che corrisponde ad un tratto della più estesa faglia Lamezia-Catanzaro (Tansi et al. 2007) e ricade, in parte, nel settore settentrionale dell'area di studio (Fig. 1), dove la scarpata di faglia è in parte mascherata da conoidi di dimensioni rilevanti (Tortorici et al. 2002; Gulla et al. 2005).

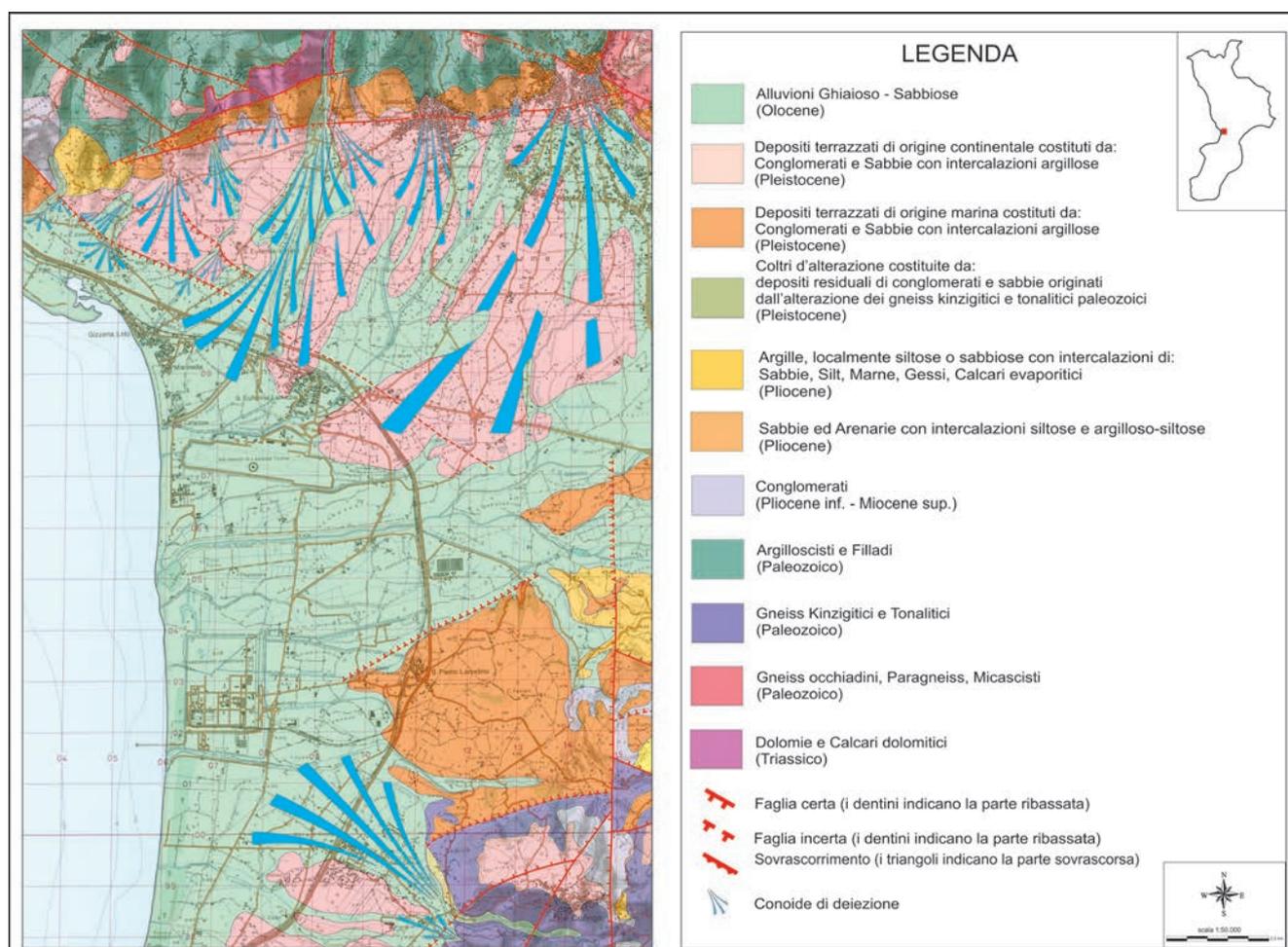


Fig. 1 - Carta Litologica - Strutturale della Piana di S. Eufemia Lamezia.

Fig. 1 - Lithological and Structural map of S. Eufemia Lamezia plain.

Di contro il bordo meridionale del graben è stato generato da due faglie meno evidenti: la “Jacurso – Copanello” e la “Maida – Case San Fantino” (Sorriso-Valvo e Tansi 1996; Cuiuli 2004; Gulla et al. 2005). Questa ultima faglia ricade in parte nel settore meridionale dell’area di studio (Fig. 1). Altra importante struttura tettonica della piana è la faglia del torrente “Zinnavo” che passa, con andamento WNW–ESE, lungo la costa. Questa faglia che ribassa ulteriormente verso SSW i sedimenti quaternari di riempimento della piana è ben evidente sia perché disloca una conoide di deiezione, sia perché lungo la “scarpata di faglia” si sono impostate altre due nuove conoidi, più recenti (Tortorici et al. 2002; Gulla et al. 2005) (Fig. 1). Il settore meridionale dell’area di studio è ulteriormente caratterizzato dalla presenza di due faglie normali, afferenti al sistema orientato NNE–SSW e N-S (Tortorici et al. 2002; Gulla et al. 2005). La prima è la faglia di S. Pietro Lametino mentre la seconda è un segmento di una più estesa faglia, di importanza regionale, che interessa il settore meridionale del graben (Fig. 1). La maggiore evidenza morfologica dell’attività delle faglie descritte sono i tipici indicatori morfostrutturali quali terrazzi e scarpate morfologiche, faccette triangolari ecc. (Sorriso-Valvo e Tansi

1996; Tortorici et al. 2002; Cuiuli 2004; Gulla et al. 2005).

I caratteri litologico - strutturali dell’area di studio sono rappresentati nella figura 1, dove i tipi litologici sono stati derivati dalla carta geologica (CASMEZ 1967), mentre i dati strutturali sono stati desunti dalla letteratura. Tutti i dati litologici e strutturali sono stati successivamente semplificati ed opportunamente accorpati ai fini del presente studio.

Depositi Sedimentari

- Alluvioni Ghiaioso - Sabbiose (Olocene): terreni di origine fluviale, costituiti da depositi di conoide e sabbie eoliche;
- Depositi terrazzati (Pleistocene): di origine continentale e marina sono costituiti da sabbie e conglomerati formati da ciottoli di rocce metamorfiche immersi in una matrice sabbiosa grossolana;
- Coltri di alterazione (Pleistocene): depositi residuali di conglomerati e sabbie generati dall’alterazione dei gneiss kinzigitici e tonalitici paleozoici;
- Argille Siltose o Sabbiose (Pliocene): depositi argillosi, con intercalazioni sabbiose, siltose e marnose, e lenti di gessi e calcari evaporitici;



Fig. 2 - Carta del substrato argilloso dell'acquifero superficiale della piana di S.E. Lamezia con ubicazione dei pozzi censiti
 Fig. 2 - Clayey substrate map of shallow aquifer of S. E. Lamezia plain with the location of surveyed wells.

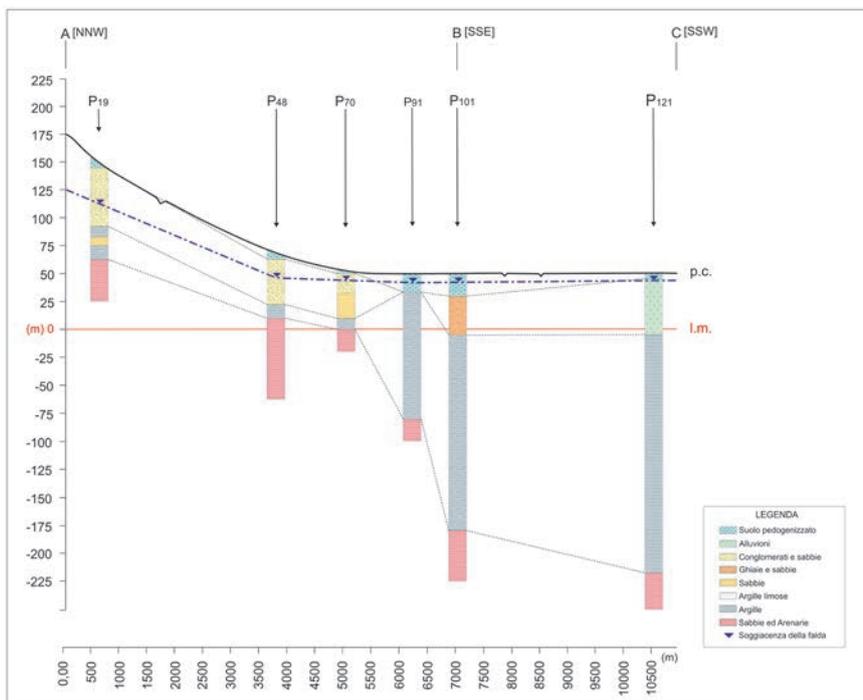


Fig. 3 - Profilo Geologico A – B – C
 Fig. 3 - Geological profile A – B – C.

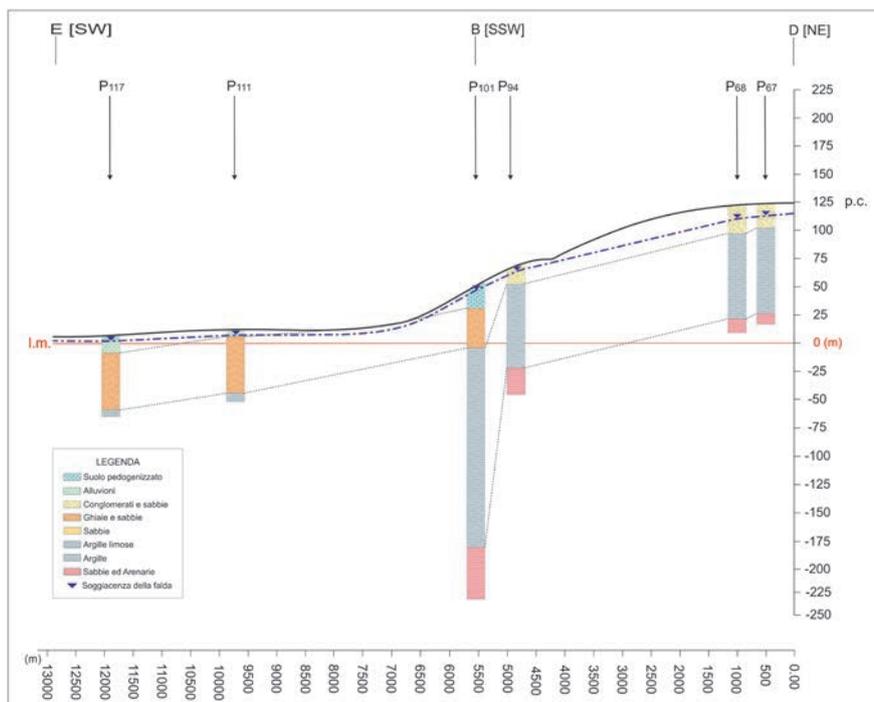


Fig. 4 - Profilo Geologico D – B – E.
 Fig. 4 - Geological profile D – B – C.

- Sabbie ed Arenarie (Pliocene): di granulometria da media a fine; presentano localmente intercalazioni siltose ed argillose – siltose;
- Conglomerati (Pliocene inf. – Miocene sup.): costituiti da ciottoli di rocce metamorfiche arrotondati immersi in una matrice sabbiosa.

Basamento Cristallino Metamorfico

- Argilloscisti e Filladi (Paleozoico);
- Gneiss Kinzigitici e Tonalitici (Paleozoico);

- Gneiss occhialini, Paragneiss, Micascisti(Paleozoico);
- Dolomie e Calcari dolomitici (Triass): affiorano in finestra tettonica nel settore settentrionale dell’area di studio.

Tutti i litotipi afferenti al basamento cristallino metamorfico, in affioramento, si presentano intensamente fratturati e alterati tanto da assumere in superficie l’aspetto di un sabbia grossolana.

Dal punto di vista geomorfologico nel graben di Catanzaro ed in particolare nell’ area di studio, il motore delle dinamiche geomorfologiche è la tettonica. Infatti, è evidente il generale



motivo a gradinata dovuto al rigetto delle faglie sub-verticali che hanno dislocato i vari settori della piana.

Dal punto di vista idrogeologico, in generale, lo schema di circolazione idrica sotterranea, ricostruito in base ai dati disponibili (Cas.Mez., 1978; SOGESID, 2009) ed agli studi effettuati (Cuiuli 2012, 2015), è articolato in:

- Un acquifero superficiale non confinato, oggetto del presente studio, che ha sede nei depositi alluvionali, nei fondo valle e nei depositi sabbiosi costieri (Cas.Mez. 1978; Cuiuli 2012), ed è caratterizzato da una piezometria compresa tra i 160 m e i 2,5 m dal livello del mare (Fig. 5) (Cuiuli 2012).
- Un acquifero intermedio in pressione, confinato al tetto ed al letto che ha sede nei depositi Sabbioso - Arenacei pliocenici a profondità comprese tra i 180 m e i -280 m circa dal livello del mare (Cuiuli 2015).
- Un acquifero profondo attestato a profondità maggiori (oltre i - 300 m di profondità dal livello del mare) su cui al momento si hanno pochi dati (Cas.Mez. 1978; SOGESID 2009; Cuiuli 2015).

In particolare la carta piezometrica dell'acquifero superficiale (Cuiuli 2012) (Fig. 5) delinea uno schema di circolazione idrica sotterranea caratterizzato da:

- “Zona di ricarica” della falda localizzata, nelle aree più interne della piana, nel settore settentrionale, a ridosso dei primi rilievi collinari. Questa zona ha isofreatiche concave verso l'alto, con linee di flusso divergenti che tendono a confluire verso i principali assi di drenaggio tracciati in carta;
- “Zone di drenaggio” sono ubicate nella fascia mediana e costiera della piana. Le isofreatiche mostrano concavità verso il basso e direzioni di flusso che tendono a convergere verso gli assi di drenaggio preferenziali posti al centro delle stesse;
- “Spartiacque sotterranei” e “Assi di drenaggio preferenziali”; ricostruiti in base all'interpretazione della morfologia isopiezometrica, condizionano la circolazione idrica sotterranea.

La carta piezometrica riprodotta in figura 5 (Cuiuli 2012) è stata costruita utilizzando il livello statico di falda rilevato in n. 36 pozzi. Poiché i pozzi non sono omogeneamente distribuiti sulla area di studio come metodo d'interpolazione geostatistico è stato utilizzato un kriging ordinario basato su di un semivariogramma lineare. Lo stesso criterio è stato utilizzato per costruire le altre cartografie qui presentate come si dirà nel successivo paragrafo.

Metodologia e risultati

La Trasmissività (T), il Coefficiente d'Immagazzinamento (S), la Conducibilità Idraulica (K) sono di grande importanza negli studi idrogeologici, poiché costituiscono indicatori fondamentali del comportamento idrodinamico dell'acquifero. Questi parametri vengono determinati in maniera rigorosa attraverso l'interpretazione delle prove di pompaggio. Tuttavia in mancanza di tali prove una soluzione valida

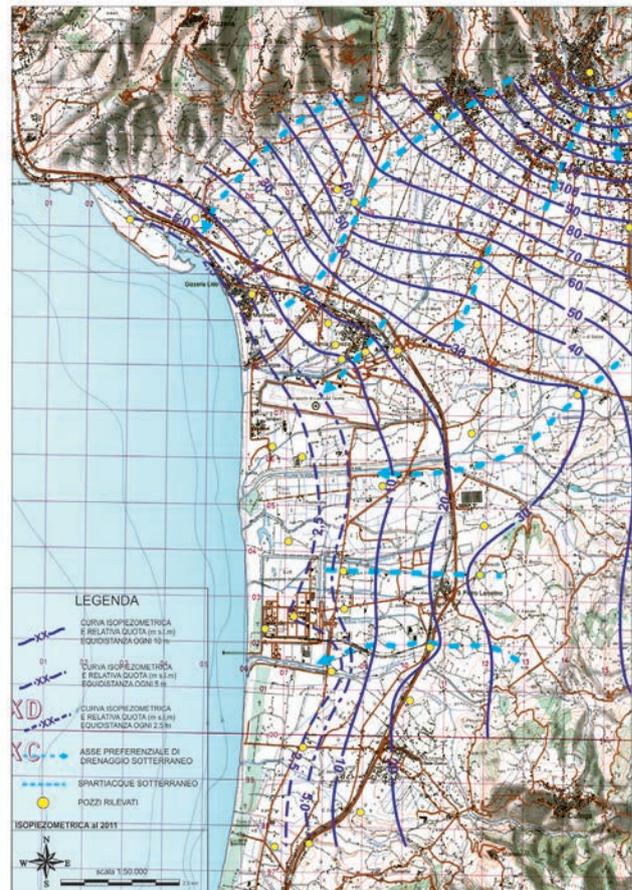


Fig. 5 - Carta isopiezometrica della Piana di S. E. Lamezia (Cuiuli 2012).

Fig. 5 - Isopiezometric map of S. E. Lamezia Plain (Cuiuli 2012).

per la stima di (T) e di (S), in studi idrogeologici di media scala, è rappresentato dall'impiego di formule empiriche mentre il valore di (K) può essere derivato dalla Trasmissività conoscendo lo spessore (b) dello strato saturo.

Come già precisato in premessa, l'area di studio è caratterizzata da molti pozzi abusivi privi di dati; tuttavia un certo numero di opere di captazione è autorizzato. Pertanto l'acquisizione di nuovi dati litostratigrafici ed idrogeologici, relativi a perforazioni per ricerca idrica, realizzati a vario titolo nella piana, hanno permesso di implementare la conoscenza dell'acquifero freatico superficiale. Mediante le numerose stratigrafie acquisite (n.119) è stata restituita la carta del tetto dei depositi argillosi (letto dell'acquifero superficiale). Inoltre per un numero cospicuo di pozzi (n. 35) sono disponibili: livello statico/dinamico, portata critica (Qc), abbassamento specifico (Δs).

La Trasmissività (T) è stata stimata mediante la formula di Logan (1964):

$$T = 1.22 * Q_s \quad \text{[Con } Q_s = Q_c / \Delta s \text{]}$$

(Celico 1986; Boonstra et al. 1981; Di Molfetta 1992; Shibasaki 1996; Tebakari et al. 2015)

Che utilizza la correlazione esistente tra Portata specifica (Qs) e Trasmissività (Theis et al. 1963).

Il Coefficiente d'Immagazzinamento (S) è stato stimato

mediante la formula di Lohmann (1972)

$$S = 3 \times 10^{-6} * b$$

con b = spessore dello stato saturo
(Boonstra et al. 1981; Younger 1993; Shibasaki 1999; Todd et al. 2005)

Che sfrutta la proporzionalità diretta tra lo spessore saturo (b) dell'acquifero ed il coefficiente d'Immagazzinamento [S] (Lohmann 1972; Todd et al. 2005).

La geometria dell'acquifero è stata definita analizzando ed interpolando i dati estrapolati dalle stratigrafie censite, restituendo la carta del substrato argilloso. Gli spessori (b) dell'acquifero sono stati ricavati direttamente dalle stratigrafie dei pozzi in cui si avevano a disposizione anche i dati di portata e di abbassamento oppure, in quei pochi casi in cui non era nota la stratigrafia ma solo portata e l'abbassamento specifico, per differenza tra i valori ricavati dalla carta isopiezometrica (Cuiuli 2012) (Fig. 5) e la carta del tetto del substrato argilloso

qui presentate (Fig. 2).

La Conducibilità Idraulica dell'acquifero è stata stimata nei medesimi punti applicando la formula:

$$K = T/b$$

Derivata dalla formula di Darcy (Castany 1982; Celico 1986).

Interpolando i dati censiti ed i risultati delle formule empiriche sopra riportate, applicate ai pozzi per cui si aveva disponibilità di dati, sono state derivate: la carta del Substrato Argilloso (Fig. 2), la carta della Trasmissività [T] (Fig. 6), della Conducibilità Idraulica [K] (Fig. 7) e del Coefficiente d'immagazzinamento [S] (Fig. 8).

Il metodo d'interpolazione utilizzato per derivare tutte le cartografie qui presentate è il kriging. Questo metodo geostatistico si basa, essenzialmente, sulla definizione di un variogramma e sulla costruzione di un previsore ottimo dato

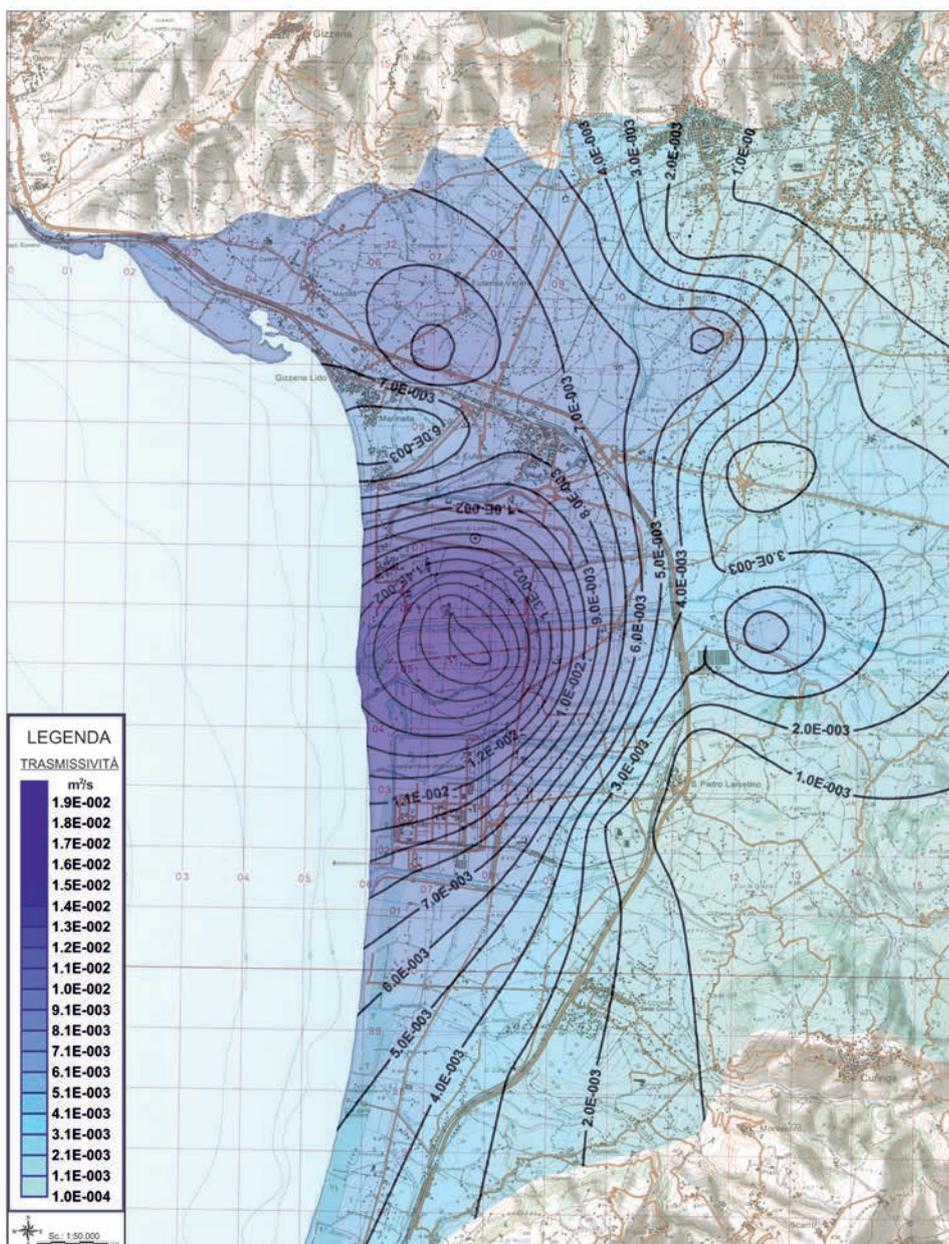


Fig. 6 - Carta della Trasmissività(T) dell'acquifero freatico superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia.

Fig. 6 - Transmissivity map of shallow aquifer of S. Eufemia Lamezia plain.

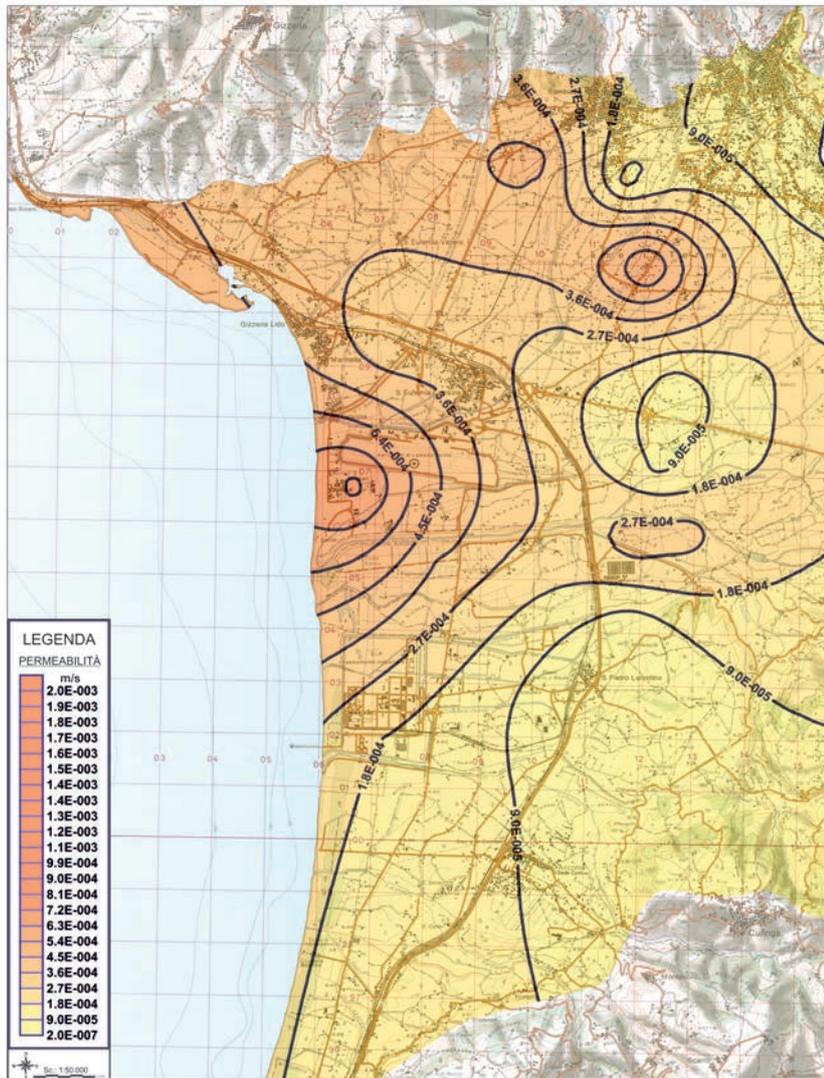


Fig. 7 - Carta della Conducibilità Idraulica (K) dell'acquifero freatico superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia.

Fig. 7 - Hydraulic conductivity map of shallow aquifer of S. Eufemia Lamezia plain.

dalla combinazione lineare dei dati che minimizzi l'errore quadratico medio, partendo dall'assunzione che il parametro da interpolare può essere trattato come una variabile. Ossia per dati rilevati in punti vicini esiste una correlazione spaziale mentre per dati relativi a punti distanti vi sia indipendenza statistica. In particolare, nel caso di studio, considerata la distribuzione non omogenea dei punti di rilevamento sulla piana, è stato utilizzato un kriging ordinario, basato su un semivariogramma lineare. Pertanto il programma utilizzato ha plottato l'andamento della variabile, per ogni cartografia implementata, utilizzando una griglia regolare di nodi equamente spaziata, partendo dai dati disponibili o ottenuti con le formule empiriche sopra riportate, distribuiti disomogeneamente sul territorio studiato.

Le cartografie prodotte hanno consentito di tracciare uno schema idrogeologico preliminare dell'acquifero studiato. In particolare dallo studio condotto si evince l'influenza della tettonica sulla circolazione idrica sotterranea. In generale le faglie presenti dislocando i vari settori della piana sono responsabili delle maggiori pendenze nel settore interno della

piana che determinano maggiori gradienti idraulici in queste aree. Inoltre dalle cartografie prodotte, relative ai parametri T ed S, si rileva, in particolare, che i valori maggiori di questi parametri si riscontrano lungo la costa (Fig. 6, 7, 8), in un'area corrispondente al settore più profondo dell'acquifero, delimitato da tre importanti faglie, già descritte (Fig. 1, 2). Quest'ultime hanno ribassato questo settore della piana determinando la maggiore profondità, rispetto al contesto e, di conseguenza, un maggiore spessore dell'acquifero da cui la Trasmissività ed il Coefficiente di Immagazzinamento sono direttamente proporzionali. Le faglie che bordano il settore sono la "faglia di Zinnavo" (WNW – ESE), la "faglia di S. P. Lametino" (NNE-SSW) ed il segmento (N-S) di una più estesa faglia che interessa il bordo meridionale del graben. Inoltre in quest'area si registrano i maggiori valori di K poiché questo settore depresso della piana oltre ad avere i maggiori spessori dell'acquifero è anche riempita da Depositi ghiaiosi sabbiosi permeabili.

L'analisi delle stratigrafie evidenzia che l'acquifero superficiale ha sede principalmente nei depositi alluvionali

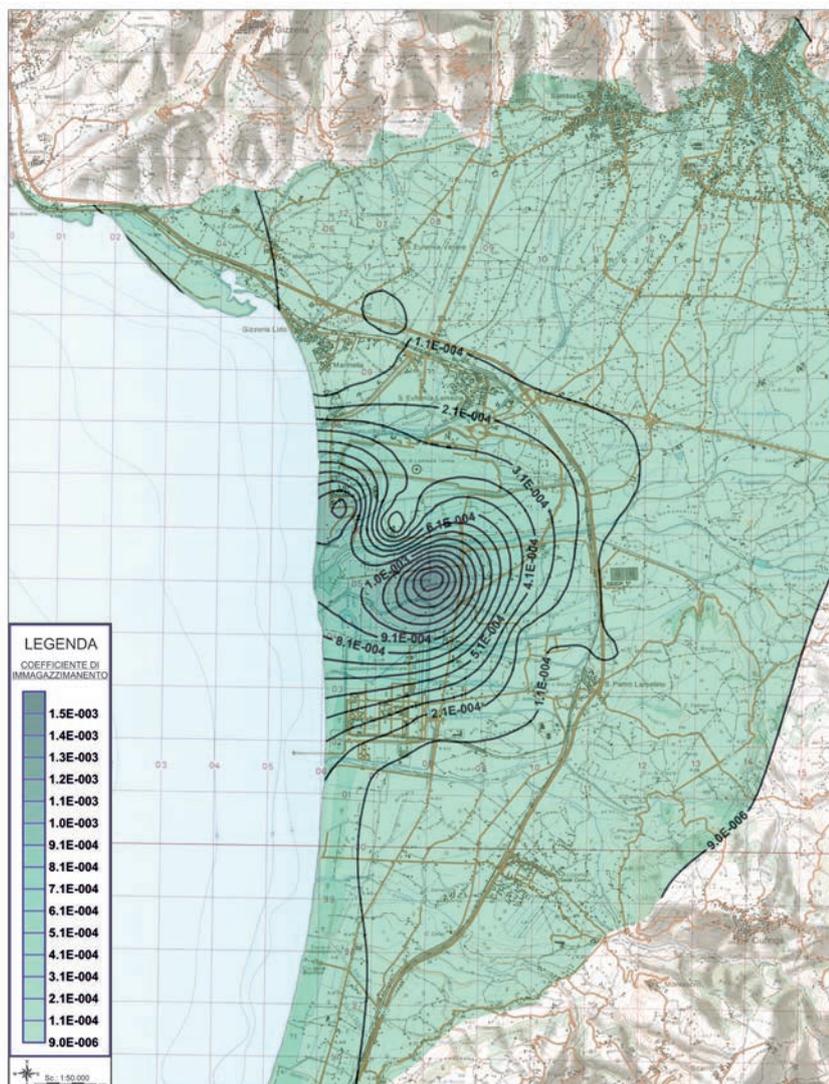


Fig. 8 - Carta del Coefficiente d'Immagazzinamento (S) dell'acquifero freatico superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia.

Fig. 8 - Storage Coefficient map of shallow aquifer of S. Eufemia Lamezia plain.

ghiaioso – sabbioso e nei depositi terrazzati di conoide costituiti da conglomerati e sabbie con intercalazioni argillose. L'acquifero è tamponato al letto da un orizzonte argilloso, localmente limoso – sabbioso di spessore variabile a seconda dei settori della piana (Figg. 3, 4).

Dalla carta della Trasmissività (Fig. 6) che è il parametro idrodinamico più importante, si rileva:

- Una zona di buona trasmissività ($1,9 \cdot 10^{-2} > T > 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$), ubicata nel settore centrale della carta fino alla costa. Questa zona ha inizio a monte del tracciato autostradale e ferroviario, in corrispondenza di un importante sorgente (Palazzo) oggi captata per scopi idropotabili. Questa zona ad elevata trasmissività si snoda sino alla costa seguendo l'alveo del F. Amato ed, in particolare, si restringe in corrispondenza della confluenza del T. S. Ippolito con il F. Amato per allargarsi ed estendersi successivamente sino alla foce dell'Amato con i valori di trasmissibilità più alti rilevati nella piana. Dalla incrocio della carta di trasmissività con la carta isopiezometrica (Cuiuli 2012) (Fig. 5) si rileva che questa

zona di alta trasmissività si sviluppa in corrispondenza del principale asse di drenaggio dell'acquifero superficiale e che i più alti valori di trasmissività si concentrano nel settore di maggior drenaggio della falda. Inoltre dalla carta geologica (Fig. 1) si rileva che i valori più alti di trasmissività si concentrano in quel settore della piana, che è delimitato da tre faglie, descritte in precedenza, che hanno ribassato questo settore determinandone la maggiore profondità, rispetto al contesto e, di conseguenza, un maggiore spessore dell'acquifero da cui la Trasmissività è direttamente proporzionale.

- Una zona di media trasmissività ($2 \cdot 10^{-3} > T > 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) che borda la fascia a maggior trasmissività.
- Due digitazioni a trasmissività più bassa ($T \leq 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) nei settori NE e SE più interni della della piana dove sorgono i principali agglomerati urbani e rispettivamente Lamezia Terme, con le sue frazioni Nicastro e Sambiasi a Nord, Acconia e Curinga a Sud. Dalla carta

Isopiezometrica (Cuiuli 2012) (Fig. 5) si rileva che questi settori corrispondono, in parte, alle zone di ricarica della falda. Queste aree comprendono le zone collinari caratterizzate da litotipi metamorfici; quest'ultimi risultano spesso alterati in superficie formando una coltre assimilabile ad un sabbia grossolana che è sede di limitati acquiferi sfruttati localmente a scopi irrigui.

Anche la carta di distribuzione della Conducibilità Idraulica (Fig. 7) evidenzia lungo la costa, nel settore centrale della piana, la presenza di una zona dell'acquifero maggiormente produttiva, dove si registrano i più alti valori di K poiché quest'area, oltre ad avere i maggiori spessori dell'acquifero, è anche caratterizzata da depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi.

La carta di distribuzione del Coefficiente di Immagazzinamento (Fig. 8) conferma quanto già descritto per le altre due cartografie, anche se in maniera meno definita. Infatti in carta si riconoscono solo due zone con valori minori nei settori interni della piana e maggiori lungo la costa. Infine dalla carta isopiezometrica dell'acquifero superficiale (Cuiuli 2012) è stato determinato graficamente il gradiente idraulico (Celico 1986; Castany 1982) che si riscontra con valori molto variabili nella piana ($3\% > i > 0,8\%$). Questo ampio range di valori evidenzia un acquifero caratterizzato da una significativa eterogeneità litologica.

Anche l'analisi delle portate dichiarate e censite per il presente studio riflette l'andamento generale con valori molto variabili nei vari settori della piana. In particolare le portate più significative sono state riscontrate nella vallata dell'Amato, a partire dal rilevato autostradale e ferroviario verso la costa.

Pertanto l'analisi comparata dei risultati geologici ed idrogeologici ottenuti e delle cartografie prodotte evidenzia una notevole variabilità dei parametri idrodinamici dell'acquifero che è dovuta, verosimilmente, all'eterogeneità granulometrica ed alle variazioni di spessore dei litotipi che caratterizzano l'acquifero alluvionale.

Conclusioni

L'acquisizione di nuovi dati litostratigrafici ed idrogeologici, relativi a perforazioni per ricerca idrica, ha consentito di ampliare la conoscenza dell'acquifero freatico della piana di S. Eufemia Lamezia caratterizzata da un acquifero multistrato (Cas.Mez. 1978; SOGESID 2009; Cuiuli 2012, 2015). Nell'area di studio esiste un altro numero di pozzi abusivi su cui non si hanno dati. Tuttavia un certo numero di pozzi è autorizzato ed i dati disponibili, sono: stratigrafia, misura del Livello Statico/Dinamico, Portata critica (Q_c) ed in alcuni casi anche l'abbassamento specifico (Δs). Pertanto utilizzando questi dati è stata effettuata una stima speditiva dei parametri idrogeologici caratteristici dell'acquifero $\{T, S\}$ mediante l'uso di formule empiriche. Inoltre interpolando con metodo geostatistico i dati stratigrafici è stata restituita la carta del substrato argilloso. La Conducibilità Idraulica $\{K\}$ è stato derivata dalla trasmissività. Lo spessore dello strato saturo (b) dell'acquifero è stato ricavato direttamente dalle stratigrafie dei pozzi censiti oppure, in quei pochi casi in cui non era nota la stratigrafia, per differenza tra i valori

ricavati dalla carta isopiezometrica (Cuiuli 2012) e la carta del tetto del substrato argilloso qui presentata. Il Gradiente idraulico $\{i\}$ è stato invece calcolato graficamente dalla carta piezometrica dell'acquifero. Tutte le cartografie prodotte ed in particolare la carta della Trasmissività hanno evidenziato la presenza di tre zone. Una zona di buona trasmissività e Conducibilità Idraulica ubicata nel settore centrale della carta sino alla costa. Questa zona si snoda grossomodo lungo l'alveo del F. Amato che corrisponde al principale asse di drenaggio della falda riportato nella carta isopiezometrica dell'acquifero (Cuiuli 2012). Inoltre dalla carta geologica si riscontra che questa zona è caratterizzata da depositi ghiaioso sabbiosi permeabili ed è delimitata da tre faglie che ne determinano la maggiore profondità rispetto al contesto; in questo settore si registrano alti spessori dell'acquifero studiato. Le carte prodotte evidenziano inoltre una zona di Conducibilità Idraulica intermedia che borda la fascia precedente ed infine una zona a Conducibilità Idraulica bassa nei settori interni della piana. Anche la carta di distribuzione del coefficiente d'immagazzinamento conferma quanto evidenziato con le altre due cartografie, anche se in maniera meno definita poiché in carta si riconoscono solo due zone con valori minori nei settori interni della piana e maggiori lungo la costa. Il gradiente idraulico è contenuto in un ampio range di valori che nel complesso indica un acquifero caratterizzato da una significativa eterogeneità granulometrica e dalle buone caratteristiche idrodinamiche. Pertanto l'analisi comparata dei risultati geologici ed idrogeologici ottenuti e delle cartografie prodotte evidenzia una variabilità dei parametri idrodinamici dovuta verosimilmente all'eterogeneità granulometrica ed alle variazioni di spessore dei litotipi che caratterizzano l'acquifero alluvionale, con alti valori di $\{i\}$ e bassi valori di $\{T, S\}$ nei settori interni della piana corrispondenti alle aree di ricarica della falda e valori bassi di $\{i\}$ ed alti valori di $\{T, S\}$ lungo la costa nelle aree di drenaggio della falda.

In conclusione questo studio vuole fornire sia un contributo alla conoscenza dell'acquifero freatico superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia attraverso l'implementazione della carta del substrato argilloso ed una valutazione speditiva dei principali parametri idrodinamici sia una metodologia applicativa, in assenza di prove di pompaggio, per la definizione della geometria degli acquiferi e dei principali parametri idrodinamici che sono di fondamentale importanza nella definizione di un modello idrogeologico dell'acquifero poiché la loro lettura integrata è funzionale alla protezione alla corretta gestione della risorsa idrica in termini di conoscenza e di pianificazione.

BIBLIOGRAFIA

- Amodio Morelli L, Bonari G, Colonna V, Dietrich D, Giunta G, Ippolito F, Liguori V, Lorenzoni S, Paglionico A, Perrone V, Picarreta G, Russo M, Scandone P, Zanettin-Lorenzoni E, Zuppetta A (1976) L'Arco Calabro-Peloritano nell' orogene Appenninico- Magrebide "The Calabrian-Peloritani Arc in the Apennine-Maghrebide chain". Mem. Soc. Geol. It.17: 1- 60.
- Boonstra NA, Ridder J (1981) Numerical modelling of groundwater basin. International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI: Netherlands.
- Cassa per il Mezzogiorno (1967) Carta Geologica della Calabria (1:25.000). "Geological map of Calabria (1:25.000)".
- Cassa per il Mezzogiorno (1978) Studio organico delle risorse idriche in Calabria - Atlante delle carte piezometriche e della qualità delle acque (1:25,000). "Organic study of water resources in Calabria - Atlas of piezometric and water quality maps". Poligrafica & Cartevalori - Ercolano (NA).
- Castany G (1982) Idrogeologia - principi e metodi, edizione italiana "Hydrogeology - principles and methods". 243pp; Dario Flaccovio ed. (PA)
- Celico P (1986) Prospezioni Idrogeologiche. "Hydrogeological prospecting". 1: 735 pp.; Liguori ed. (NA).
- Cuiuli E (2004) Studio dell'influenza dei caratteri strutturali sulla geomorfologia dell'area compresa tra Il fiume Amato, monte Contessa e monte Covello (Calabria) "Study of the influence of structural characters on the geomorphology of the area between the Amato river, mount Contessa and mount Covello (Calabria)". Geologia dell'Ambiente.4: 9-15.
- Cuiuli E (2012) Contributo alla conoscenza delle caratteristiche idrogeologiche della Piana di S. Eufemia Lamezia (Calabria) - Primi Risultati "Contribution to the knowledge of hydrogeological characteristics of S. Eufemia Lamezia plain (Calabria) - first results". Acque Sotterranee.127: 19 - 32.
- Cuiuli E (2013) La carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero superficiale della Piana di S. Eufemia Lamezia (Calabria) "The groundwater intrinsic vulnerability map of S. Eufemia Lamezia plain (Calabria)". Acque Sotterranee -Italian Journal of groundwater.2/132: 15 - 23.doi: 10.7343/AS-027-13
- Cuiuli E (2015) Considerazioni sull'assetto idrogeologico della piana di S. Eufemia Lamezia attraverso lo sviluppo della carta del tetto dell'acquifero confinato intermedio (Calabria Centrale) "Remarks of hydrogeological setting of S. Eufemia Lamezia plain through the development of the top of intermediate confined aquifer map (central Calabria)" Acque Sotterranee - Italian Journal of groundwater;3/141: 45 - 52. doi: 10.7343/AS - 120 - 15 - 0147.
- Di Molffetta A (1992) Determinazione della trasmissività degli acquiferi mediante correlazione con la portata specifica "Determination of the aquifer transmissivity by correlation with the specific flow rate". Ingegneria e Geologia degli Acquiferi,1: 81 - 86
- Gulla G, Antronico L, Sorriso - Valvo M, Tansi C (2005) Proposta metodologica per la valutazione di indicatori di pericolo e rischio frana a scala intermedia: L' area della stretta di Catanzaro (Calabria - Italia) "Methodological proposal for the evaluation of indicators of landslide hazard and risk to intermediate scale: The area of the Catanzaro graben (Calabria - Italy)". Geologica Romana,38: 97-121.
- Lohman SW (1972) Ground-Water Hydraulics. USGS professional paper. 708: 70 pp.
- Logan J (1964) Estimating transmissibility from routine production tests of water wells, Groundwater.2: 35-37
- Shibasaki N (1996) Relationship between transmissivity and specific capacity for evaluation aquifer characteristics. Journal of Geological Society of Japan, 5: 419-430.
- Shibasaki N (1999) Study of methodology of practical parameter estimation for groundwater modeling based on hydrogeological classification. Journal of Geosciences, Osaka city University;42: 21-43,
- SOGESID (2009) Piano di Tutela delle acque della Regione Calabria "Water Protection Plan of Calabria Region"; Pres. Cons. dei Ministri - Comm. Deleg. Emerg. Amb. In Calabria - Regione Calabria,
- Sorriso-Valvo M e Tansi C (1996) Carta delle grandi frane e deformazioni gravitative profonde di versante della Calabria "Map of the large landslides and deep-seated gravitational slope deformations of Calabria". Selca: Firenze.
- Tansi C, Muto F, Critelli C, Iovine G (2007) Neogene -Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabrian arc (southern Italy). Journal of Geodynamics; 43: 394-414. doi: 10.1016/j.jog.2006.10.00.
- Tebakari T, Kita R (2015) Estimating permeability using the parameter estimation method in a high -permeability area of the Kurobe River alluvial fan, Japan. Procedia Environmental Sciences; 25: 235-242.
- Theis CV, Brown R.H, and Meyer RR (1963) Estimating the transmissibility of aquifers from the specific capacity of wells. U.S.G.S. Water - Supply; Paper 1536 - I: 331 - 341.
- Todd D K, Mayes L W (2005) Groundwater Hydrology. Third Edition; John Wiley and Sons, Inc.
- Tortorici G, Bianca M, Monaco C, Tortorici L, Tansi C, De Guidi G, Catalano S (2002) Quaternary normal faulting and marine terracing in the area of Capo Vaticano and S. Eufemia Plain (Southern Calabria). Studi Geologici Camerti - nuova serie; 1: 156 - 171
- Younger PL (1993) Simple generalized methods for estimating aquifer storage parameters. Quarterly Journal of Engineering Geology - Geological Society Publications;26: 127 - 135;