

Caratterizzazione geochimica dell'acquifero alluvionale della Piana di Licata (Agrigento)

Dimitra Rapti-Caputo

Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Scienze della Terra, via Saragat, 1 - 44100 Ferrara, cpr@unife.it

Geochemical characterization of the Piana di Licata (Agrigento) alluvial aquifer

ABSTRACT: The preliminary results concerning the hydrodynamic and geochemical conditions of the underground water resources of the region surrounding Licata (Agrigento province, Sicily) are presented. The research was focused on the unconfined aquifer (or locally semiconfined) developed in the Quaternary deposits of the Licata plain. The evolution of the Salso river and the coastal dynamics, characterised by transgressions and coast-line retreats, qualitatively and quantitatively influenced the underground water resources. In this complex geological context, also the anthropogenic activities played a crucial role, especially the farming activity as largely testified by the occurrence of numerous greenhouses that cover most of the plain. The analysis of thermopluviometric data concerning the last 75 years allowed to obtain inferences on the climatic evolution of this region characterised by a mean annual temperature of about 18 °C of mean annual precipitations of only 454 mm. The principal feeding of the aquifer is due to infiltration from precipitations and lateral outflow from the Salso river. The high salinity of the river especially during Summer periods and the intense farming activities played a crucial role for the quality of the aquifer.

Key terms: Licata, aquifer, hydrogeochemistry, desertification.

Termini chiave: Licata, acquifero, idrogeochimica, desertificazione.

Riassunto

Nel presente lavoro vengono presentati i risultati preliminari relativi allo stato idrodinamico e geochimico delle risorse idriche sotterranee del territorio di Licata (provincia di Agrigento). L'interesse è stato focalizzato principalmente sull'acquifero a falda libera, o localmente semiconfinato, che si sviluppa nei depositi quaternari della piana di Licata. L'evoluzione dell'asta fluviale del fiume Salso e la dinamica costiera, caratterizzata da trasgressioni ed arretramento della linea di costa, hanno condizionato le caratteristiche qualitative e quantitative delle risorse idriche sotterranee. In questo complesso quadro sono da aggiungere le attività antropiche ed in particolare le intense attività agricole come queste ultime vengono ampiamente testimoniate dalle numerose serre che coprono tutta la pianura. L'analisi di dati termopluviometrici relativi ad un database di circa 75 anni ha permesso di fare alcune osservazioni sull'evoluzione climatica di questo territorio, caratterizzato da valori medi di temperatura annua di circa 18 °C e da precipitazioni medie annue di appena 454 mm. L'alimentazione principale dell'acquifero avviene per infiltrazione dalle precipitazioni e per le perdite d'acqua dall'alveo del fiume Salso.

L'elevata salinità del fiume soprattutto nei mesi estivi e le intense attività agricole hanno lasciato la loro impronta nelle caratteristiche qualitative degli acquiferi.

Introduzione

Le caratteristiche geochimiche primarie delle acque sotterranee dipendono fortemente dai processi che avvengono a contatto tra matrice solida ed acqua, dalle aree di alimentazione e dai fenomeni di mescolamento tra acque con diverse facies geochimiche (Hem, 1978; Stumm e Morgan, 1970; Lloyd e Heathcote, 1985). Queste caratteristiche molto spesso vengono alterate a causa della presenza degli inquinanti puntuali o diffusi che derivano dalle attività antropiche.

La presente ricerca, realizzata nell'ambito del progetto RIADE (www.raide.net), è focalizzata sugli effetti delle fonti di inquinamento diffuso, generalmente associate ad attività agricole, sulle risorse idriche sotterranee ed in particolare sull'acquifero a falda libera che si sviluppa nella piana di Licata (provincia di Agrigento; fig. 1).

Le prime testimonianze storiche della presenza umana nel territorio licatese risalgono al Neolitico Superiore; mentre successivamente, vi sono ampie testimonianze archeologiche risalenti all'epoca ellenistica, alla dominazione bizantina (VI sec. d.C.), Normanna, Sveva ed Angioina (XII) ed Aragonese (XVI). Sin dal 1309, il porto di Licata divenne il centro ideale per gli scambi con l'entroterra, mentre nel '900, la fine del commercio dello zolfo causa la drastica riduzione degli scambi commerciali e la conseguente perdita di potenza del porto di Licata.

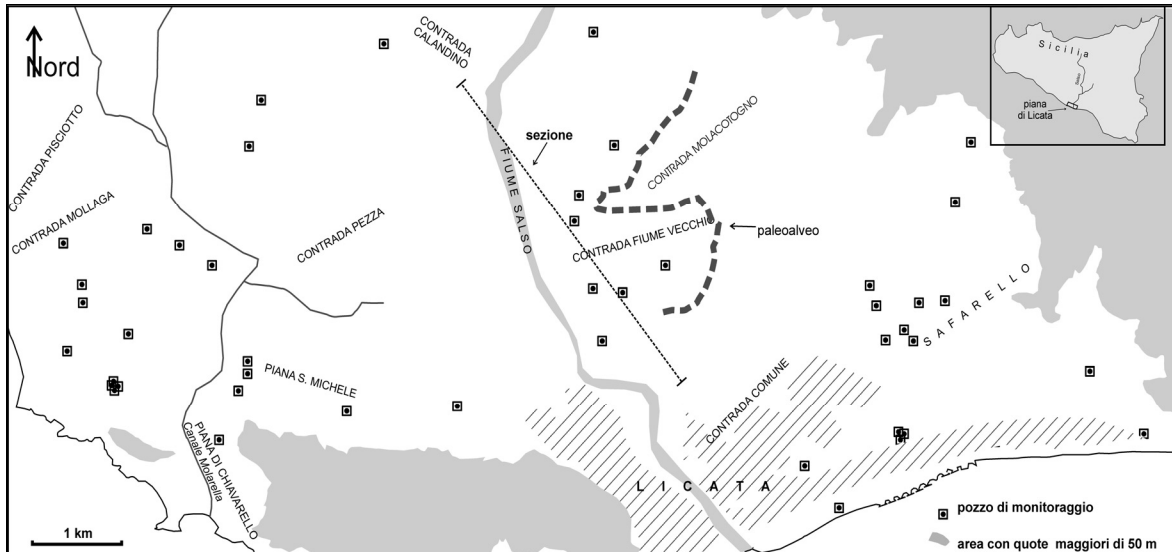


Figura 1: Area di studio e rete di monitoraggio idrogeochimico; in grigio aree con quote maggiore di 50 m
Study area and location of the hydrogeochemical monitoring well; in green the area higher then 50 m

Attualmente, il paesaggio della piana di Licata, con quote altimetriche tra 0 e 50 m *slm*, è stato fortemente condizionato:

a) dall'evoluzione della linea di costa; infatti, negli ultimi secoli, sulla base di testimonianze storiche (Amore *et al.*, 2002), si sono verificati forti fenomeni di trasgressione e/o di arretramento della linea di costa. La causa di tali spostamenti può essere attribuita principalmente al variare degli apporti solidi, all'evoluzione idrografica del fiume Salso e, secondariamente, agli interventi antropici (es.

invasi, cave). In particolare, dal 1823 al 1960 si verifica un avanzamento della linea di costa con velocità pari a 3 m/anno, nel periodo 1823-1886, e di 10 m/anno negli anni 1886-1952. Nello stesso periodo, la foce del Salso si sposta verso oriente. Dagli anni sessanta però ad oggi, il sistema deltaico del Salso rappresenta un tipico esempio di condizioni *wave-dominated*; caratterizzato da un forte arretramento della linea di costa con velocità media pari a 10 m/anno.

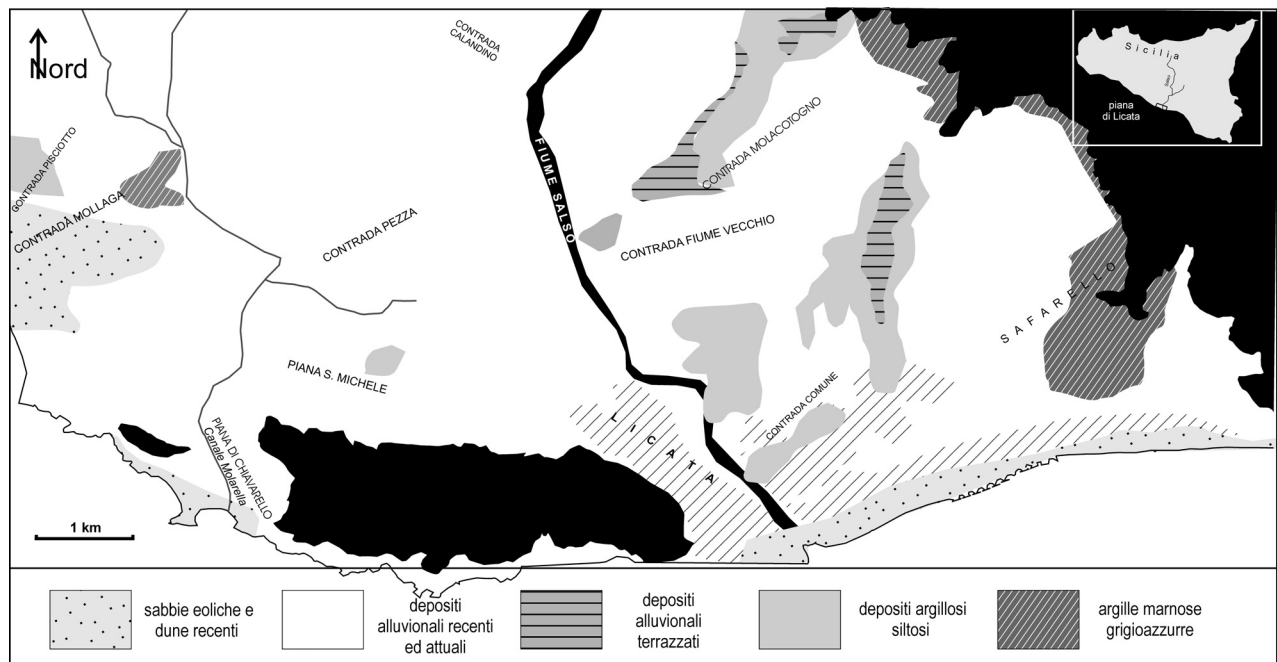


Figura 2: Carta geologica semplificata della piana di Licata (da Grasso *et al.*, 1997); in nero aree con quote maggiore di 50 m
*Simplified geological map of the Licata plain (from Grasso *et al.*, 1997); in black the area higher than 50 m*

b) dalla dinamica fluviale dell'Imera Meridionale o Salso. Durante gli eventi piovosi estremi, l'acqua fuoriesce dagli argini fluviali allagando vaste aree. Vanno ricordate le piene del novembre 1915 che distrusse il ponte 'vecchio' di Licata e provocò la morte di 109 persone; quelle del 1 gennaio 1973 e del 25 ottobre 1976 con portate massime che raggiunsero i 2281 m³/s ed i 3170 m³/s rispettivamente. Sono inoltre da ricordare le piene del 1980, 1985 e 1991, durante le quali grande parte della piana si allagò.

Le colture prevalenti nella piana di Licata sono di tipo seminativo protette (serre e tunnel) con prevalenza di peperoni, fagiolini, carciofi, pomodoro, zucchine e cetrioli (Regione Siciliana, 2002). Gli agricoltori, utilizzano due cicli produttivi; il primo autunnale-invernale ed il secondo invernale-primaverile. Per il sistema di coltura adottato sono richieste due o tre irrigazioni settimanali.

In questo territorio, per la determinazione dello stato qualitativo e la modalità di alimentazione delle risorse idriche sotterranee sono stati analizzati dati stratigrafici, geologici, idrologici, idrogeologici ed idrogeochimici.

Idrogeologia

L'area centrale e meridionale della Sicilia è caratterizzata da estesi affioramenti di rocce argillose e rocce evaporitiche che condizionano fortemente le caratteristiche qualitative e quantitative delle risorse idriche. Tali litologie sono state coinvolte negli eventi collisionali che hanno prodotto la Falda Tardorogena plio-pleistocenica di Gela. Dal punto di vista strutturale, in generale, tutti i lineamenti tettonici sono associati ai movimenti della falda di Gela (Grasso et al.,

1997; Grasso et al., 1998; Roda, 1965). In particolare, nella pianura di Licata affiorano le seguenti litologie (Grasso et al., 1997; fig. 2).

a) sabbie eoliche e dune recenti che si sviluppano principalmente ad est del porto di Licata, lungo la spiaggia, e al settore occidentale nella contrada Mollaga e Pisciotto. Il coefficiente di permeabilità è dell'ordine di 10⁻² cm/s.

b) *depositi alluvionali recenti ed attuali* costituiti prevalentemente da lenti limose, sabbiose e talvolta ghiaiose. Si tratta di terreni agricoli, seminativi, irrigui con colture orticole prevalenti con tunnel. Il coefficiente di permeabilità dei terreni può variare tra 10⁻³ e 10⁻² cm/s, dove prevale la frazione sabbiosa, e tra 10⁻⁴ e 10⁻³ cm/s nelle aree con prevalenza di sedimenti a granulometria più fine.

c) *depositi alluvionali terrazzati* che affiorano principalmente nella Contrada Calandino e nel settore settentrionale della contrada Comune costituiti da ciottoli ben arrotondati con una distribuzione caotica in una matrice di sabbie fini. Il coefficiente di permeabilità di tale formazione può variare tra 10⁻² e 10⁻³ cm/s.

d) *depositi argillosi siltosi e argille marnose grigio-azzurre* presentano bassi valori del coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10⁻⁶ cm/s.

Sulla base delle colonne stratigrafiche dei pozzi ed utilizzando come criterio 'la capacità idrica' delle litologie incontrate nel sottosuolo della piana di Licata, un corpo acquifero costituito da lenti sabbiose o limo-sabbiose talvolta ghiaiose è presente fino alla profondità di 10 m dal piano campagna; tali lenti si trovano in comunicazione idraulica tra di loro (fig. 3).

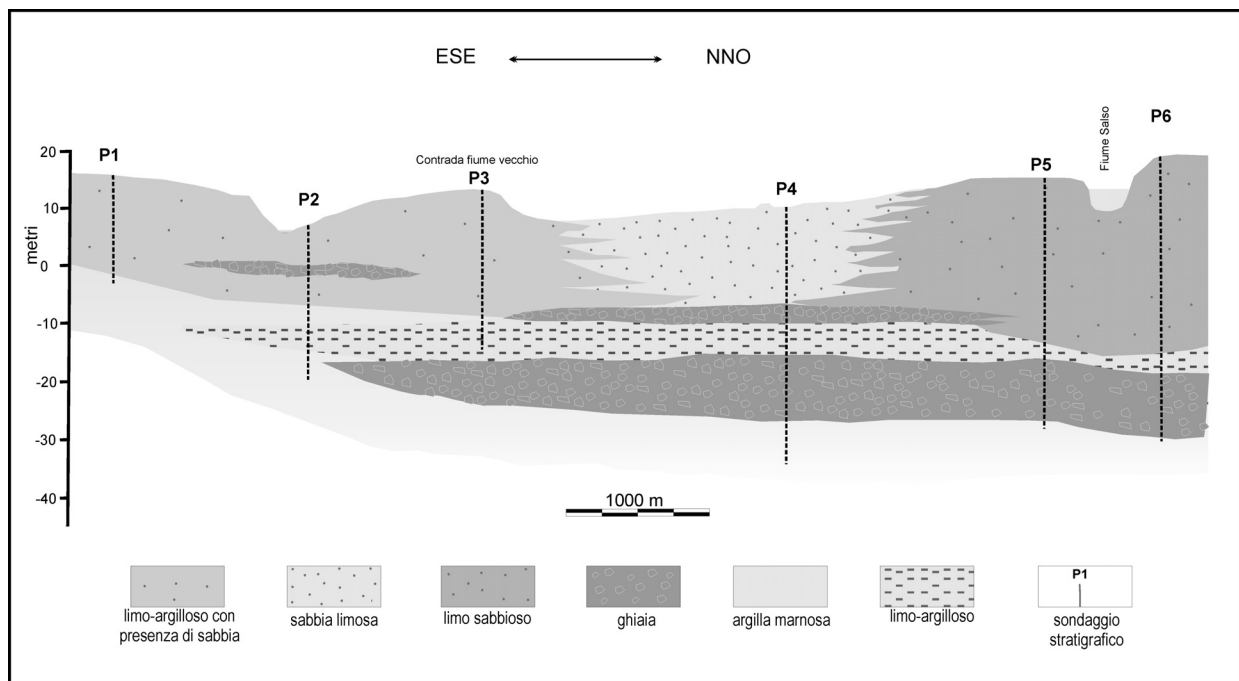


Figura 3: Sezione idrogeologica interpretativa (per la posizione veda figura 1)
Interpretative hydrogeological section (for the position see figure 1)

Si tratta di un acquifero a falda libera o localmente semiconfinato, fortemente eterogeneo sia a scala orizzontale sia verticale, che viene sfruttato in tutto il territorio tramite numerosi pozzi a grande diametro, in pietra, i più vecchi, fino a quelli più recenti realizzati con anelli di cemento di diametro variabile tra i 4 e 6 m e di profondità di 4-12 m. Le caratteristiche geometriche di tale acquifero sono fortemente condizionate dall'evoluzione geomorfologica che ha interessato il territorio negli ultimi millenni e dai fenomeni di sovralluvionamento del fiume Salso. Misure di soggiacenza effettuate nel mese di maggio 2004 hanno messo in evidenza variazioni tra i 0,6 e 8 m. La bassa soggiacenza in combinazione delle elevate permeabilità

della zona non satura rendono questo acquifero molto vulnerabile alle fonti di inquinamento superficiale (fig. 4).

Alimentazione dell'acquifero

L'alimentazione principale dell'acquifero si effettua per infiltrazione dalle precipitazioni, dalle irrigazioni e dalle perdite dell'acqua dall'alveo del fiume Salso. Per la definizione della potenziale quantità d'acqua delle piogge che va ad arricchire l'acquifero, ed il periodo di alimentazione sono stati analizzati i dati termopluviometrici mensili della stazione climatica di Licata, che si trova a quota di 142 m *s.l.m.*, relative al periodo 1921-2000.

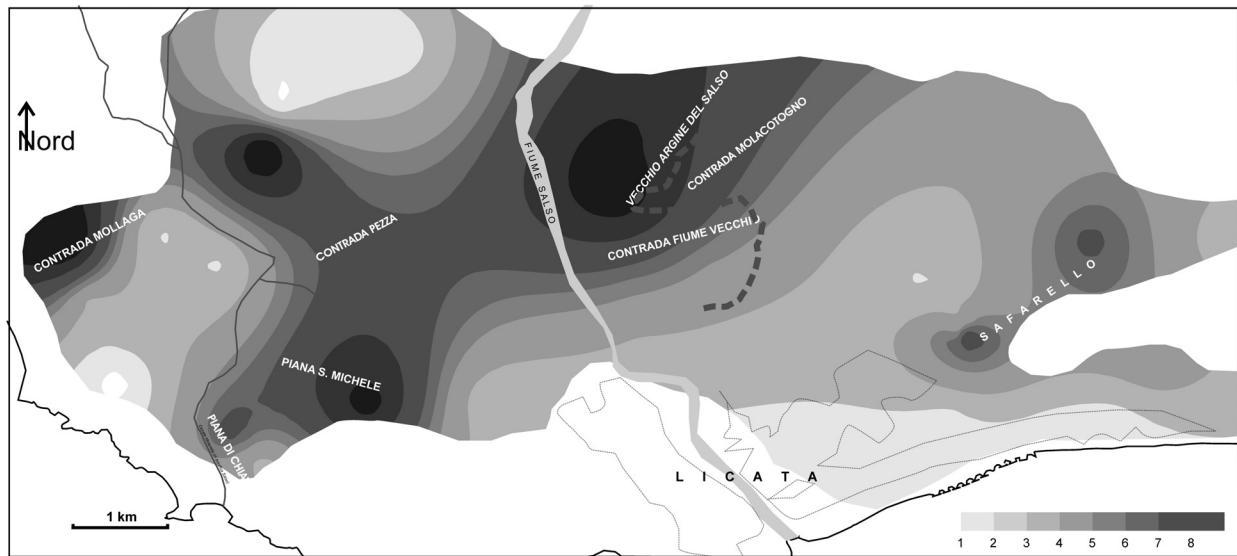


Figura 4: Distribuzione spaziale della soggiacenza (m)
Spatial distribution of the water depth (m)

Le precipitazioni annue per il periodo di osservazione sono di 454 mm con variazioni tra i 205,8 mm, nel 1952, ed i 1091 mm, nel 1923. In particolare, dall'istogramma della distribuzione delle precipitazioni annue (fig. 5;) risulta che:

a) periodi di elevata piovosità si sono alternati a periodi di bassa piovosità, mentre gli anni con pioggia maggiore di 550 mm rappresentano solamente il 14% dell'ottantennio di osservazione;

b) gli anni 1921-1925 corrispondono al periodo più piovoso in assoluto con precipitazioni medie che raggiungono i 904 mm;

c) un prolungato periodo (24 anni) di bassa piovosità, con precipitazioni medie che non superano i 409 mm, dal 1977 al 2000, interrotto dall'anno piovoso del 1976 con 758,8 mm di pioggia.

Dalla distribuzione delle precipitazioni medie mensili relative al periodo 1921-2000 si osserva la graduale diminuzione delle precipitazioni da dicembre a luglio, che risulta il mese più secco dell'anno con appena 4,4 mm di pioggia. Dal mese di ottobre invece, fino a gennaio abbiamo

un brusco aumento delle precipitazioni che raggiungono in questo ultimo mese i 78,3 mm. Infatti, la scarsità delle piogge da maggio a settembre, in corrispondenza delle elevate temperature, favorisce un'evapotraspirazione 'quasi totale' delle acque con conseguente abbassamento del livello piezometrico degli acquiferi. In questi periodi, quasi tutti i pozzi a falda libera che sfruttano gli strati acquiferi più superficiali rimangono completamente secchi. A causa della mancanza di acqua le attività agricole (coltivazione in serre) vengono sospese.

Dalla distribuzione delle temperature medie mensili riferite al periodo 1925-2000 nella stazione di Licata possiamo osservare che (fig. 6):

a) la temperatura media annua è di 18,1 °C con variazioni tra i 15,7 °C, nel 1934, ed i 19,9 °C, negli anni 1993, 1994 e 1999.

b) un periodo "freddo" da 1926 al 1960 con un temperatura media di 18,03 °C ed un periodo più caldo dal 1982 ad 2000, con temperatura media di 19,01 °C; gli anni intermedi, invece, sono stati caratterizzati da variazioni di

temperature non significative. Comunque si potrebbe dire che gli anni intermedi rappresentano il periodo di passaggio tra un clima più freddo ad un più caldo.

c) è evidente la presenza di un andamento positivo delle temperature annue che, nel periodo 1993-2000, raggiungono i valori più elevati di 19,6 °C.

d) le temperature massime si osservano nei mesi estivi, mentre il mese più freddo dell'anno è gennaio con una temperatura media mensile pari a 11,55 °C.

La ricarica degli acquiferi si effettua in generale dal mese di ottobre fino a marzo, mentre negli altri mesi dell'anno prevale il fenomeno dell'evapotraspirazione e del ruscellamento superficiale. Nella piana di Licata, a causa delle scarse pendenze in corrispondenza delle formazioni affioranti caratterizzate da una media permeabilità, il ruscellamento può essere considerato minimo anche se non sono disponibili informazioni dirette.

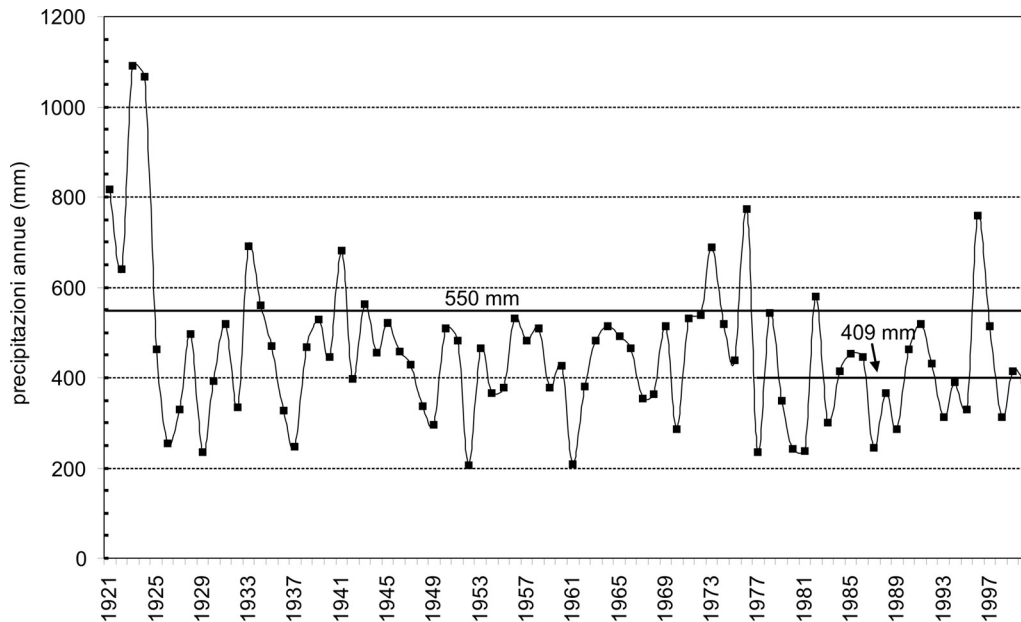


Figura 5: Diagramma di distribuzione delle precipitazioni annue (mm; stazione climatica di Licata)
Diagram of the distribution of the annual precipitation (mm; climatic station of Licata)

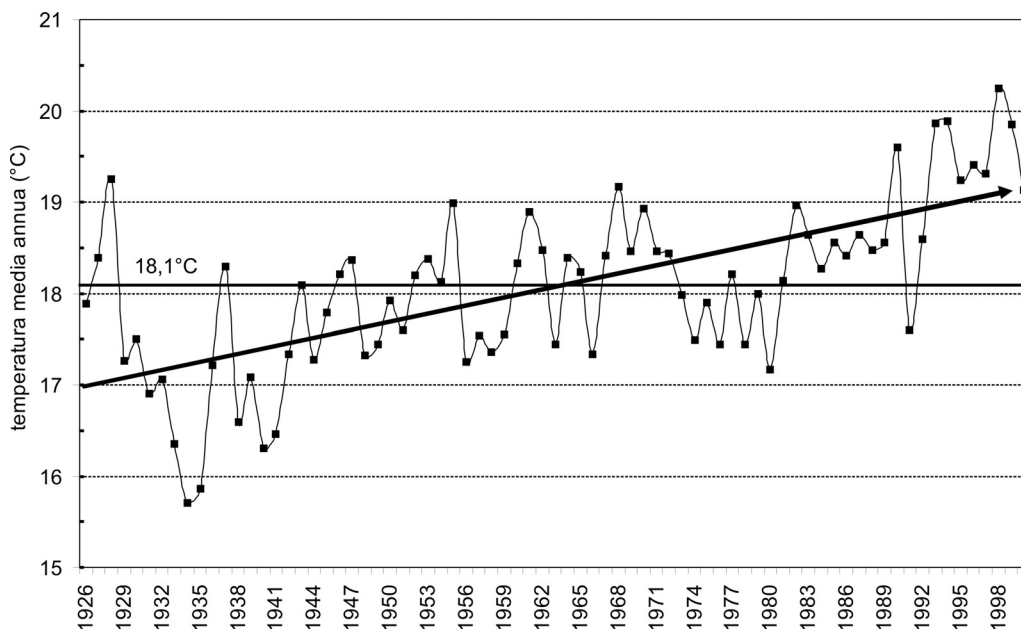


Figura 6: Diagramma di distribuzione delle temperature medie annue (°C; stazione climatica di Licata)
Diagram of the distribution of the annual precipitation (mm; climatic station of Licata)

Dal punto di vista climatico, basandosi sull'indice di qualità del clima (CQI), come questo viene definito nel modello Medalus (European Commission, 1999), la piana di Licata è caratterizzata da clima semiarido di bassa qualità con valore medio dell'indice di aridità pari a -49.

Idrogeochimica

Per la determinazione delle caratteristiche qualitative delle risorse idriche sotterranee, nel periodo maggio-giugno 2004, è stato effettuato un campionamento in una rete di 45 pozzi a grande diametro (fig. 1). *In situ*, sono stati misurati i parametri chimico-fisici delle acque quali pH, conducibilità elettrica e temperatura, mentre in laboratorio sono state analizzate le concentrazioni ioniche in Ca, Mg, SO₄, NO₃ e Cl utilizzando metodi spettrofotometrici, in HCO₃ con metodi colorimetrici, in K e Na con l'assorbimento atomico e il contenuto in alcuni metalli pesanti utilizzando le procedure standard del plasma massa. L'analisi di tali dati ha messo in evidenza la presenza di acque neutre fino a basiche con elevati valori di conducibilità elettrica accompagnati da elevato contenuto in cloruri, solfati, nitrati e sodio (Tab. 1; fig. 7).

Tabella 1: Descrizione statistica dei parametri chimici (CE: conducibilità elettrica a 20°C)

Statistical description of the chemical data. (CE electrical conductivity a 20°C)

	min	max	media
CE (mS/cm)	0,53	14,85	6,26
ph	7,08	9,51	7,67
Ca (mg/l)	66,5	1544	593
Mg (mg/l)	0,2	602	180
K (mg/l)	32	139	62
Na (mg/l)	72,5	1853	717
HCO ₃ (mg/l)	72	334	171,5
Cl (mg/l)	29,6	4767	1552
SO ₄ (mg/l)	63	2940	1530
NO ₃ (mg/l)	10	1070	149
Fe (µg/l)	2	4504	275
Mn (µg/l)	0,3	1776	70
Se (µg/l)	12	591	158
As (µg/l)	5,3	84,3	33
Co (µg/l)	0,5	30,5	10
Ni (µg/l)	0,6	46,2	15
Cu (mg/l)	0,7	80	23,4

In particolare, la conducibilità elettrica delle acque (a 20°C) presenta oscillazioni tra i 530 e i 14850 µS/cm con

valore medio pari a 6260 µS/cm (fig. 8). I valori più elevati sono rilevati nel settore occidentale della piana di San Michele; in sinistra idrografica del fiume Salso nell'area della contrada Fiume Vecchio, e lungo la fascia costiera. I valori più bassi (<3000 µS/cm), invece, sono stati osservati nel settore occidentale (contrada Mollaga).

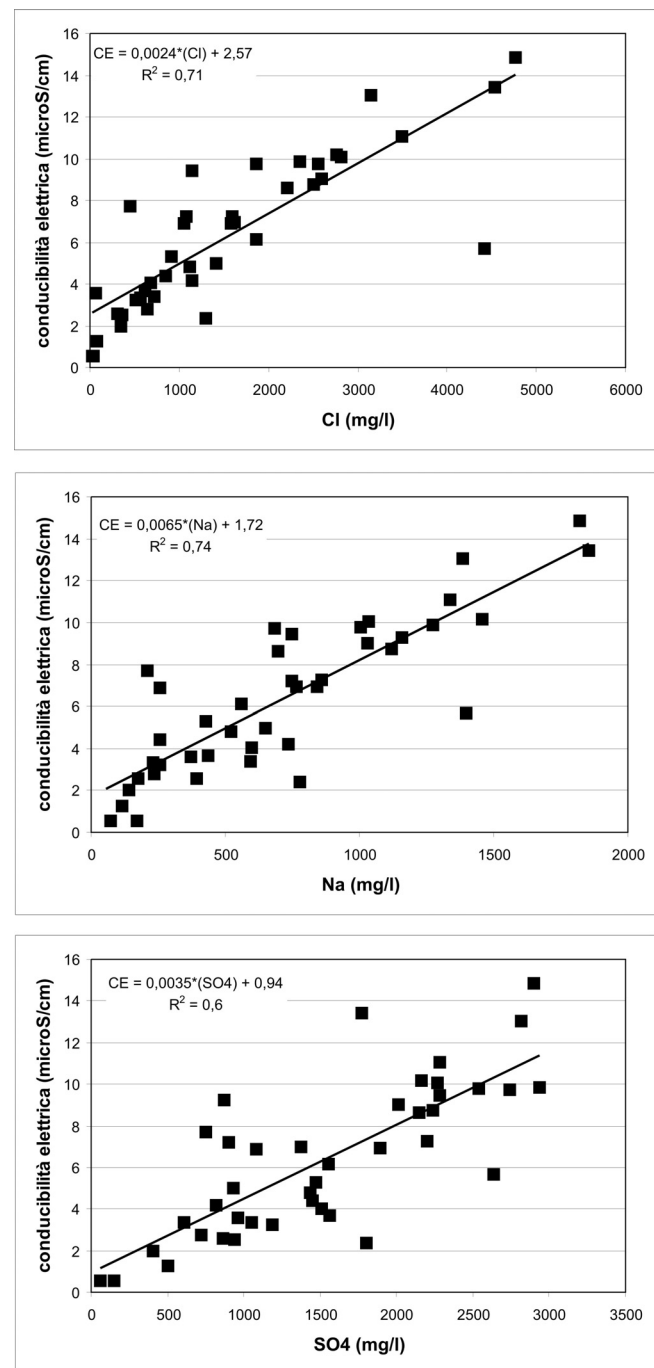


Figura 7: Rapporto tra conducibilità elettrica delle acque e concentrazioni ioniche in cloruri, potassio e solfati.

Relationships between the electrical conductivity of the water and the ionic concentration in chlorides, sodium and sulphates

Sulla base dei valori rilevati ed utilizzando metodi statistici di analisi dei dati, il tenore di fondo attuale per quanto riguarda il parametro della conducibilità elettrica è pari a 3900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La distribuzione spaziale dei cloruri è simile a quella della conducibilità elettrica. Le elevate concentrazioni lungo la fascia costiera (>4000 mg/l) e in destra idrografica del Salso sono dovuti ad estesi fenomeni di intrusione di acque salate. Infatti, nelle stesse zone il contenuto in sodio supera i 1000 mg/l. Il tenore di fondo attuale per quanto riguarda i cloruri ed i sodio è rispettivamente di 602 e 257 mg/l.

I solfati presentano in generale elevate concentrazioni in tutta la piana di Licata con un valore medio pari a 1530

mg/l; mentre, i valori più bassi (<1000 mg/l) si osservano nel settore occidentale della piana. L'elevato tenore di fondo (890 mg/l) di questo parametro dovrebbe probabilmente essere la somma di due componenti che sono la natura mineralogica dei sedimenti e la presenza di fenomeni di inquinamento.

I nitrati provenienti esclusivamente dalle attività agricole presentano valori medio pari a 149 mg/l, con tenore di fondo pari a 32,5 mg/l. Dobbiamo tenere conto che siamo nella fase terminale del periodo di raccolta dei prodotti agricoli, mentre la maggior quantità di concimi e fitofarmaci viene utilizzata nella fase iniziale della crescita delle piante.

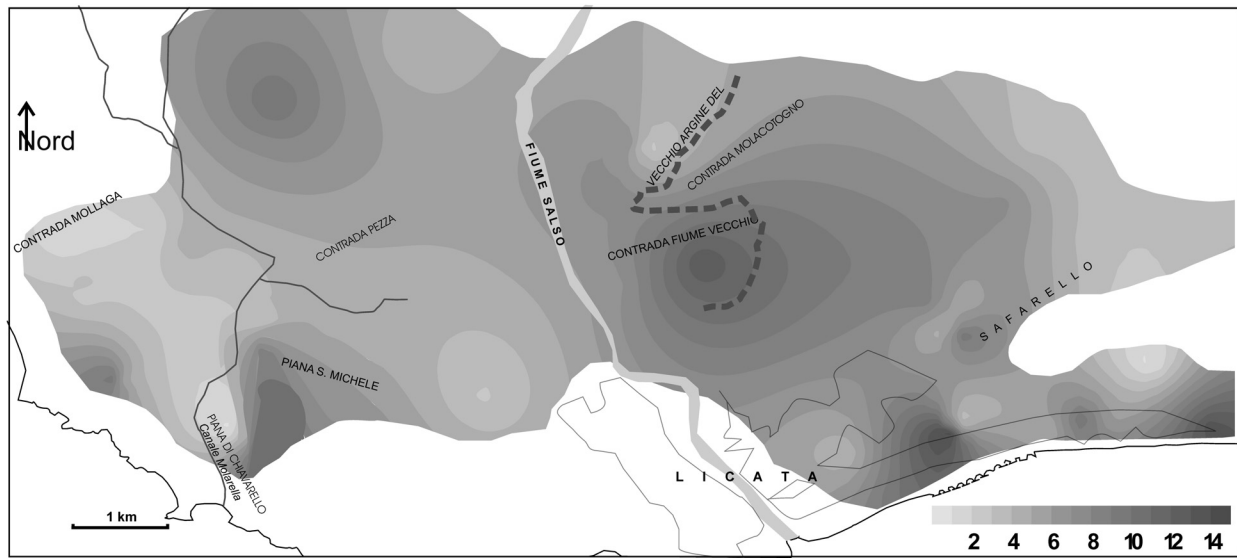


Figura 8: Distribuzione spaziale della conducibilità elettrica (mS/cm)
Spatial distribution of the electrical conductivity (mS/cm)

L'indice del rapporto di assorbimento del sodio (SAR) presenta variazioni tra 2 e 15 con un valore medio pari a 6,2. In circa 50% dei campioni, tale indice ha valori tra 8 e 12, mentre l'indice del carbonato di sodio residuale (RSC) presenta valori bassi che non superano i 0,2.

La distribuzione dei dati sul diagramma di Piper (Piper, 1944;) permette di determinare che le acque appartengono alla facies di Ca-SO_4 e di Na-Cl , nelle aree interessate da fenomeni di intrusione di acque salate. Per quanto riguarda gli anioni, il parametro che presenta maggiore variabilità sono i solfati.

Per quanto riguarda gli elementi in tracce (tab. 1), il ferro ed il manganese presentano basse concentrazioni e solamente localmente si osserva un brusco aumento di tali parametri. Valori di ferro superiori a 53 $\mu\text{g}/\text{l}$, che corrispondono al tenore di fondo, e di 2 $\mu\text{g}/\text{l}$ per il manganese sono attribuiti a locali fenomeni di contaminazione delle acque.

Particolare interesse presenta il diffuso inquinamento da selenio ed arsenico, elementi ad elevata tossicità. Tutti i

campioni analizzati presentano un tenore di fondo pari a 54 $\mu\text{g}/\text{l}$ per il selenio e 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ per l'arsenico, mentre il valore proposto per questi elementi dal D.M. 417/99 è di 10 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Infine, le acque presentano basso contenuto in cobalto, nickel, rame e piombo con valori che non superano i 31, 47, 80 e 7 $\mu\text{g}/\text{l}$, rispettivamente.

Conclusioni

L'acquifero a falda libera che si sviluppa nella piana di Licata presenta evidenti fenomeni di degrado qualitativo dovuto alle estese ed intense attività agricole. Gli elevati valori di tenore di fondo attuale di conducibilità elettrica, del contenuto in cloruri, solfati, sodio, e di alcuni elementi in tracce ad elevata tossicità come l'arsenico possono essere attribuiti all'utilizzo di pesticidi e fitofarmaci nelle pratiche agricole, senza però escludere la presenza di elevati tenori di fondo naturali dovuti alla tipologia dei sedimenti.

La principale alimentazione dell'acquifero si effettua per:

a) infiltrazione dalle precipitazioni. Dal 1993 al 2000, è stato osservata una diminuzione delle precipitazioni medie annue che non superano i 409 mm ed un aumento delle temperature. La combinazione di questi due fattori favorisce l'evapotraspirazione delle acque provocando, nello stesso tempo, la diminuzione dell'infiltrazione efficace.

b) dall'acqua di irrigazione proveniente dai pozzi a grande diametro oppure da prelievi diretti dal fiume Salso. In generale, però lo stato qualitativo del fiume risulta scadente con oscillazioni della conducibilità elettrica tra

2000 e 14000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (fig. 9). Tali elevati valori sono dovuti all'interazioni che avvengono al contatto delle acque piovane con la formazione gessoso-solfifera che affiora nel bacino idrografico dello stesso fiume (Roda, 1971). Secondo lo storico Benedetto Rocco anche il nome Licata, deriva dal halykàs/ halykàdos (dal greco "salato") e quindi significa 'città posta sul fiume salato'.

c) infiltrazione laterale lungo il suo tratto dal fiume Salso.

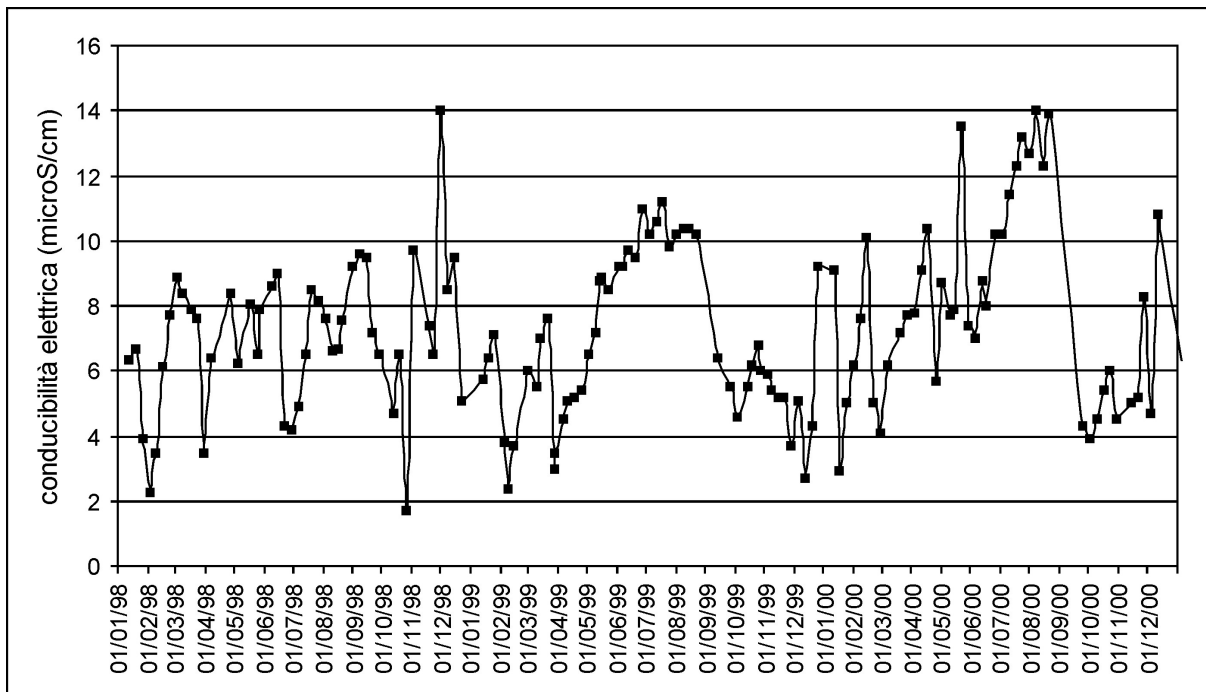


Figura 9: Variazioni della conducibilità elettrica del fiume Salso
Variation of the salinity of the Salso River

Infine, nella piana di Licata, il continuo utilizzo nelle pratiche agricole, delle acque ad elevata salinità ($\text{CE} > 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$) e concentrazioni in sodio ($\text{SAR} > 6$) potrebbero provocare un'ulteriore salinizzazione e degrado del suolo e dei terreni irrigati. Tenendo conto che, a scala mondiale, circa 21% dei terreni irrigati è danneggiato dal sale, nelle aree interessate dai fenomeni di intrusione delle acque marine si ritiene opportuno un maggior controllo del livello piezometrico dell'acquifero e l'utilizzo per l'irrigazioni delle acque di maggiore qualità.

Lo stato qualitativo dell'acquifero a falda libera in combinazione all'elevata salinità del fiume Salso e la presenza di un clima semiarido di bassa qualità rendono la

piana di Licata un territorio ad elevatissimo rischio di desertificazione.

Ringraziamenti

Un profondo ringraziamento al sindaco del Comune di Licata, al personale dello stesso Comune ed al personale dell'Assessorato Agricoltura e Foreste di Licata per la loro disponibilità nella raccolta dei dati di campagna; ed ai dott. Errante ed Agro per l'aiuto nella raccolta dei dati stratigrafici. Inoltre, ai professori Carmela Vaccaro dell'Università di Ferrara e Luigi Tortorici dell'Università di Catania per la loro collaborazione.

Bibliografia

Amore, C., Geremia, F. and Randazzo, G. (2002) Historical evolution of the Salso River mouth with respect to the Licata harbour system (Southern Sicily, Italy), in: Gomes, F.V. et al. (Ed.) (2002). Littoral 2002: 6th International

Symposium Proceedings: a multi-disciplinary Symposium on Coastal Zone Research, Management and Planning, Porto, 22-26 September 2002: volume 2. pp. 253-260.

centro-meridionale), S.E.L.C.A., Firenze.

European Commission (1999) The MEDALUS project Mediterranean desertification and land use. Project report. Kosmas c., Kirkby M.,

- Geeson N (eds.), EUR 18882, V.
- Grasso M., Licorish W. H., Diliberto S. E., Geremia F., Maniscalco R., Maugeri S., Pappalardo G., Rapisarda F. e Scamarda G. (1998) Geological Map of the Licata Fold Belt (South Central Sicily): Explanatory Notes. *Annales Tectonicae*, Firenze, XII, 1-2, pp. 51-58.
- Grasso, M., Lickorish, W. H., Diliberto, S. E., Geremia, F., Maniscalco, R., Maugeri, S., Pappalardo, G., Rapisarda, F., and Scamarda, G. (1997) Carta geologica della Struttura a pieghe di Licata (Sicilia)
- Hem J.D. (1978) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. 3rd edition U. S. Geological Survey, Water Supply, paper 1473, 365 pp.
- Lloyd J.W. e Heathcote J.A. (1985) Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater. Oxford University Press, New York, 296 pp.
- Piper A.M. (1944) A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25, 914-923.
- Regione Siciliana (2002) Carta dell'uso del suolo del territorio del comune di Licata. Assessorato Agricoltura e Foreste, Licata, 2002, 47 p.
- Roda, C. (1965) I sedimenti plio-pleistocenici della Sicilia centro-meridionale, *Atti Acc. Gioenia Sc. Nat.*, 17, 37-62.
- Roda, C. (1971) Origine della salinità delle acque del F. Salso o Imera meridionale, *Boll. Acc. Gioenia Sc. Nat.*, 10, 471-530.
- Stumm W. e Morgan J.J. (1970) *Aquatic chemistry*. Wiley Interscience, New York.