

FILIPPO ANDOLINA¹, ANTONIO CIMINO¹,
SANTINO ORECCHIO², SANTINA SAMBATARO¹

¹ Dipartimento di Chimica e Fisica della Terra - Sezione Geofisica,
Università di Palermo, Via Archirafi 36, 90123 Palermo (*email cimino@unipa.it*)

² Università di Palermo, Dip. di Chimica Inorganica,
Parco d'Orleans, 2, 90100 Palermo (*email orecchio@unipa.it*)

LA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE IN AREE CARSICHE COSTIERE DEL PALERMITANO E SUA RELAZIONE CON LA VULNERABILITÀ ALL'INQUINAMENTO

RIASSUNTO

Il presente lavoro presenta una descrizione della cartografia di rischio idrogeologico all'inquinamento prodotta in questi anni in Sicilia Occidentale, ricercando le possibili correlazioni tra i diversi parametri interessati. saranno quindi oggetto di confronto la vulnerabilità intrinseca, la qualità delle acque sotterranee e l'indice di pericolo territoriale all'inquinamento. In particolare sono stati oggetto di indagine quei settori costieri dove la prossimità – con le zone in esame – di unità carbonatiche, fortemente permeabili per fessurazione e carsismo, ha condizionato sia il regime delle acque sotterranee nelle piane alluvionali, sia la loro qualità. Saranno quindi esaminate le piane di Carini e di Palermo, con particolare riferimento alle rispettive porzioni settentrionali. I numerosi dati territoriali raccolti nei *database* informatizzati sono stati sottoposti a successive elaborazioni, consentendo un raffronto sia spaziale, sia temporale tra aree con differenti caratteristiche composizionali delle acque.

SUMMARY

This paper presents an overview of the hydrogeological risk mapping performed in Western Sicily in the last years, investigating the possible correlations among the different considered parameters. More in detail, comparisons will be executed among intrinsic vulnerability, groundwater quality and territorial pollution risk. In particular, Authors describe coastal sectors where outcroppings of close permeable karst conditioned groundwater regime as well as its quality. In particular, the Carini and Palermo plains will be discussed, with particular reference to their Northern sectors. The numerous territorial data, collected and organized in georeference databases, have been conveniently elaborated, allowing spatial and temporal comparisons among areas with different chemical compositions of groundwater.

INTRODUZIONE

In questi ultimi anni la cartografia ha conosciuto aspetti innovativi, alla ricerca di rappresentazioni sintetiche del territorio che presentassero un'immediata utilità. Tutte le carte territoriali contenenti esaurienti descrizioni di tutti gli elementi, ad esempio d'interesse idrogeologico, potevano infatti apparire troppo complesse per una rapida consultazione. Una svolta decisiva avvenne tra la fine degli anni '80 ed i primi anni '90, durante i quali si avviò un processo di raccolta ed elaborazione, sintetizzandole, di numerosissime informazioni, al fine di produrre un nuovo modello di cartografia parametrica e di sintesi.

Il presente contributo intende presentare i più recenti risultati dell'impegno profuso in tale

direzione in Sicilia, conseguiti per merito di coordinamenti e progetti che hanno visto la positiva collaborazione di ricercatori di differente estrazione. Le aree selezionate (le piane di Carini e di Palermo) sembravano presentare, d'altronde, le migliori caratteristiche per essere considerate a tal proposito delle aree *esemplari* nell'ampio scenario dei numerosi casi di contaminazione ambientale in Sicilia. In esse, peraltro, sono stati effettuati i primi tentativi di archiviazione ed elaborazione di sintesi di parametri geologici, geochimici e geofisici (CIMINO, 1990). Per questi settori *campione* della Sicilia Nord-Occidentale vengono quindi presentate alcune carte che riassumono le condizioni di vulnerabilità, qualità e pericolo d'inquinamento delle acque sotterranee.

La recente disponibilità di dati sulla distribuzione dei centri d'inquinamento potenziale delle falde nella piana di Palermo, nell'ambito della realizzazione di complete cartografie di pericolo territoriale, si aggiunge al quadro delle conoscenze miranti alla definizione del rischio idrogeologico. Sarà infine posta in evidenza la relazione tra la vulnerabilità degli acquiferi selezionati all'inquinamento e la loro effettiva vulnerazione, confermando come la stretta relazione tra le cartografie presentate possa portare un concreto contributo alla definizione del rischio idrogeologico all'inquinamento.

LA QUALITÀ DELLE ACQUE SOTTERRANEE NEL PALERMITANO

In Sicilia Nord-Occidentale, fenomeni di straordinaria importanza sociale, quali l'abbandono delle zone rurali interne e la tendenza a concentrare gli insediamenti produttivi nelle aree costiere, hanno contribuito negli ultimi decenni ad urbanizzare pesantemente le zone più prossime alla linea di costa. A tale sorta di migrazione centrifuga ha contribuito il continuo accentrarsi, nelle grandi aree metropolitane costiere, di attività terziarie. La stessa agricoltura, ristretta in spazi sempre più angusti ed esercitata in maniera intensiva, ha richiesto un crescente consumo d'acqua e di sostanze chimiche. Le risorse idriche sotterranee (*R.I.S.*) sono quindi divenute ad elevato rischio d'inquinamento, tanto per l'impoverimento quantitativo (dovuto sia ai mancati apporti, sia al sovrasfruttamento), quanto per lo scadimento delle caratteristiche qualitative (CIMINO, 1989). La siccità, che ha caratterizzato l'intera isola negli ultimi anni, non viene peraltro considerata un fattore decisivo nell'ambito di quella che viene definita *crisi di disponibilità di acque di buona qualità*: la chiusura dei pozzi è infatti imputabile soprattutto al pesante intervento dell'uomo nell'ambito di una generale, irrazionale gestione delle risorse idriche nel loro complesso, come oramai viene riconosciuto dagli stessi organismi competenti.

L'impatto delle attività antropiche ha quindi determinato il deterioramento delle risorse idriche, mentre la crescita della domanda ne ha determinato l'impoverimento. Il depauperamento della falda ha favorito il conseguente aumento dell'intrusione marina, che si aggiunge agli inquinanti prodotti da scarichi urbani ed industriali, nonché – come detto – all'uso di fertilizzanti e pesticidi in agricoltura.

Pur interessata da tali fenomeni, la fascia costiera dell'area metropolitana di Palermo costituisce ancora uno dei settori con gli acquiferi più cospicui della Sicilia. In particolare, le aree pianeggianti di Palermo e Carini, per le stesse caratteristiche di permeabilità degli acquiferi e per il loro rapporto con i rilievi carbonatici circostanti che ne costituiscono le aree d'alimentazione (*reservoirs*), consentono il formarsi di consistenti falde (Fig. 1). Lo studio di queste, oltre a costituire oggetto d'interesse per la ricerca scientifica, ricopre un rilevante ruolo socio-economico, poiché le risorse idriche sotterranee costituiscono ancora una primaria fonte d'approvvigionamento.

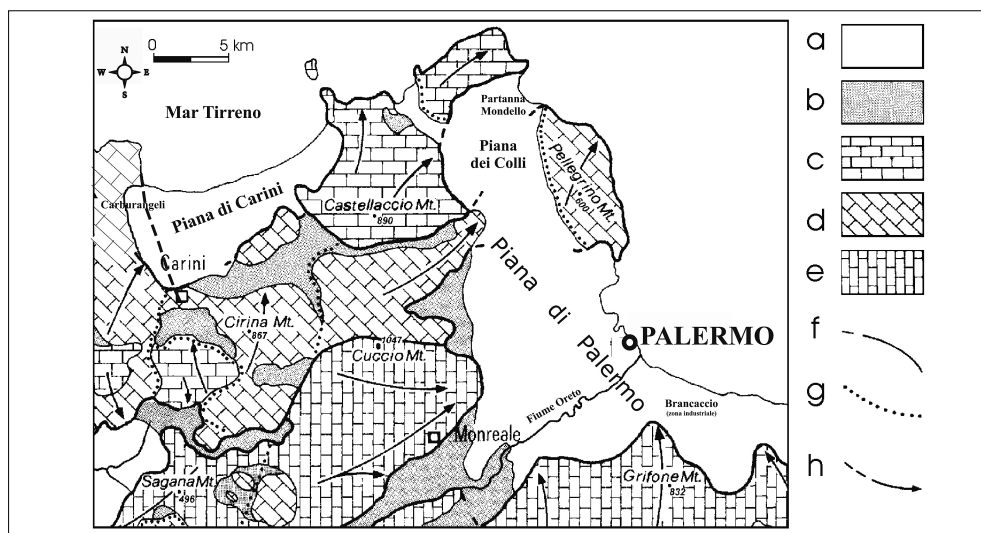


Fig. 1 - Schema idrogeologico dei settori di Palermo e Carini.

a: calcareniti e sabbie del Pliocene-Quaternario (permeabilità per porosità); b: flysch argilloso del Terziario (impermeabile); c, d, e: calcari e dolomie del Mesozoico (permeabilità per fessurazione e carsismo) appartenenti alla Piattaforma Panormide (c), alla scarpata della Piattaforma Panormide (d) ed al Bacino Imprese (e); f: principali linee tettoniche di importanza idrogeologica; g: probabili spartiacque sotterranei; h: principali direzioni di scorrimento delle acque sotterranee (da BARTOLOMEI *et al.*, 1983, modif.).

LA CARTOGRAFIA DI RISCHIO IDROGEOLOGICO: LE AREE DI PALERMO E CARINI

Il progetto sopra menzionato, tuttora in corso, ha fin qui prodotto una cospicua cartografia tematica e di sintesi riguardante le principali caratteristiche idrogeologiche, nonché i vari elementi tipici del rischio idrogeologico d'inquinamento. Per le menzionate aree di Palermo e Carini sono state realizzate la mappa della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento con il metodo SINTACS (CIVITA e DE MAIO, 2000), le mappe della qualità di base delle acque sotterranee anche redatte in fasi successive e, limitatamente alla piana pertinente al capoluogo siciliano, la cartografia relativa alla sensibilità territoriale all'inquinamento. Per tutte le mappe sono stati utilizzati programmi GIS.

A tali mappe si è pervenuti attraverso uno studio interdisciplinare che ha schematicamente riguardato le seguenti fasi principali:

- 1) Acquisizione di dati geologici, idrogeologici, stratigrafici, geofisici e chimico-fisici, anche già disponibili.
- 2) Censimento dei punti di acqua e loro georeferenziazione.
- 3) Elaborazione dei dati con inserimento in *database* e loro rappresentazione per mezzo di carte tematiche con l'uso di sistemi GIS.

È infine da menzionare il processo finale dello studio che riguarda gli Enti Responsabili, cui la cartografia prodotta viene messa a disposizione per una razionale gestione delle risorse idriche.

La procedura di elaborazione dei dati comprende successive operazioni di *overlay* di importanti parametri di interesse idrogeologico, attraverso operazioni di incrocio tra matrici. Si rimanda – per una trattazione più completa – alla bibliografia riportata.

Il primo parametro di sintesi qui riportato è la *vulnerabilità intrinseca*, ovvero naturale,

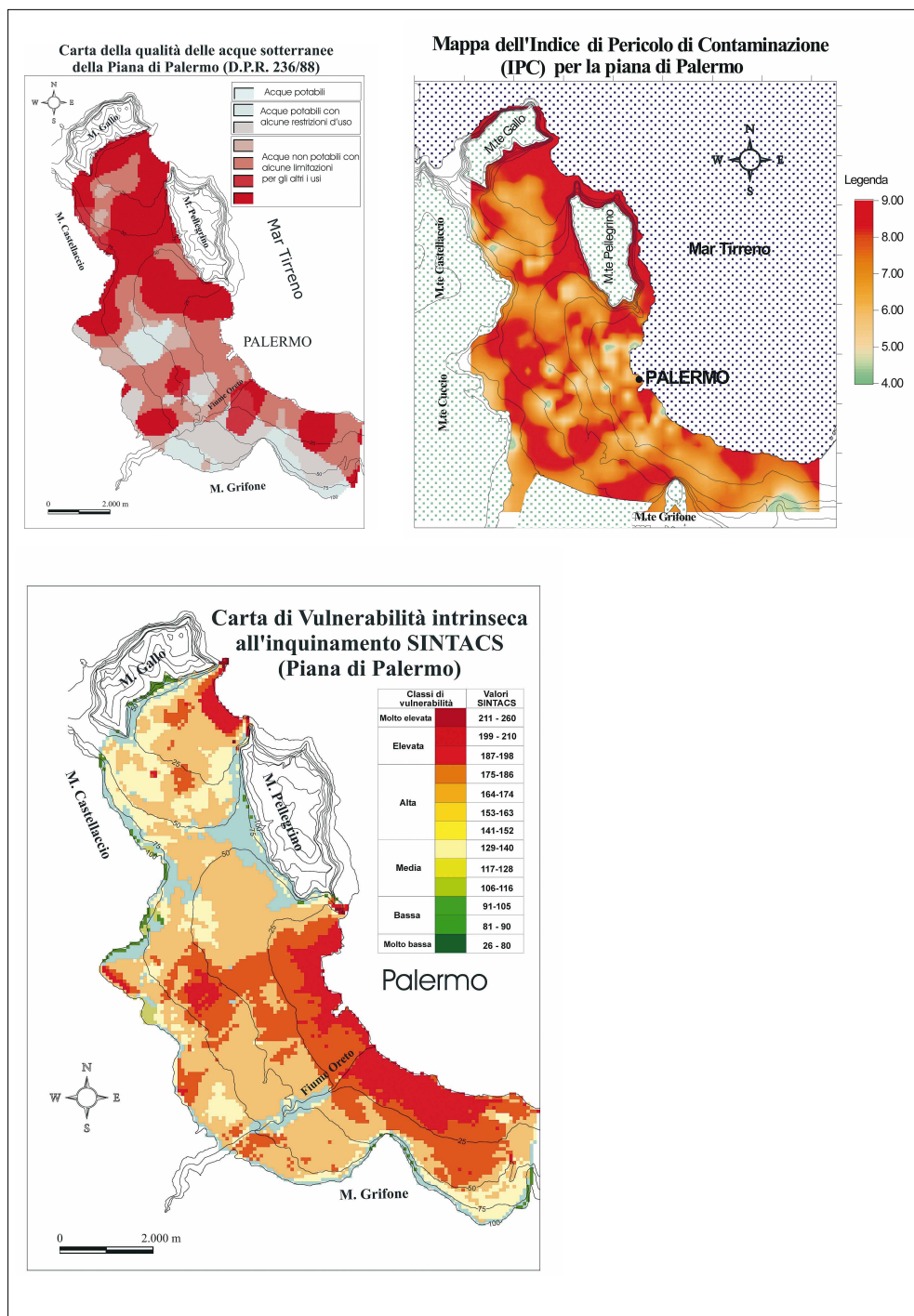


Fig. 2 - Confronto cartografico tra vulnerabilità SINTACS, qualità delle acque sotterranee (secondo DPR 236/88) ed indice di pericolo di contaminazione per la piana di Palermo (cartografia da CIMINO *et al.*, 2000; ADORNI *et al.*, 1997; CIMINO e ANDOLINA, 2002).

all'inquinamento, il cui significato, di relativa complessità e di non immediata comprensione, è ben riferito da vari autori (VRBA e ZAPOROZEC, 1994). Per le pianure di Palermo e Carini sono state realizzate le mappe di vulnerabilità intrinseca mediante il metodo SINTACS di valutazione a punteggi e pesi (CIMINO e LO BRUTTO, 1997; CIMINO *et al.*, 2000). La qualità di base delle acque sotterranee è relativa al complessivo valore del soggetto a rischio, qui rappresentato dalla falda idrica o, meglio, dagli stessi pozzi che coltivano la falda (ADORNI *et al.*, 1997). Il pericolo territoriale dipende da distribuzione e densità dei Centri di Pericolo (CDP), potenzialmente in grado di contaminare la falda e, quindi, un punto di approvvigionamento idrico rappresentato da un pozzo o da una sorgente (CIMINO e ANDOLINA, 2002). In dipendenza della sua tipologia, ad ogni CDP viene assegnato un *indice di pericolo di contaminazione IPC* (ANDOLINA *et al.*, 2001), la cui distribuzione sarà oggetto di confronto in questo lavoro.

LE PRIME CORRELAZIONI QUALITATIVE NELLE DUE AREE DEL PALERMITANO

Valutato il degrado degli acquiferi nelle aree esaminate e redatte le menzionate carte della qualità di base, è sembrato interessante cercare, tra i vari elementi considerati, una correlazione utile alla validazione della definizione della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento. S'intendeva, cioè, analizzare se ed in qual modo le porzioni più vulnerabili delle due aree risultassero parimenti vulnerate, vale a dire inquinate. Per la piana di Palermo, disponendo anche dell'indice di pericolo di contaminazione, è stato possibile eseguire un ulteriore raffronto con questo.

Per la piana di Palermo sono state pertanto confrontate la mappa della qualità di base delle acque dapprima con la vulnerabilità SINTACS all'inquinamento, successivamente con la densità dell'indice di pericolo di contaminazione IPC. Limitatamente all'area di Palermo sono quindi mostrate assieme le tre mappe di *vulnerabilità, qualità e IPC* (Fig. 2).

Per la piana di Carini (Fig. 3) sono state confrontate le mappe della vulnerabilità SINTACS (CIMINO *et al.*, 2000, *op. citata*) e della qualità delle acque sotterranee (SAMBATARO, 2000) riguardante essenzialmente le concentrazioni degli ioni cloro, sodio e calcio.

Numerosi sono i settori delle aree di Palermo e Carini dove l'elevata vulnerabilità intrinseca all'inquinamento viene correlata con l'alto degrado delle risorse idriche sotterranee, principalmente dove sono presenti fenomeni d'ingressione marina per sovrasfruttamento idrico. Si vedano per esempio le aree di *Mondello* nella porzione NE della piana di Palermo (Fig. 2) e di *Carburangeli-Piraineto* nel settore NW della piana di Carini (Fig. 3). Nella prima area l'inquinamento per intrusione marina interessa le formazioni sabbioso-arenacee costiere, vulnerabili all'inquinamento. Nella seconda area, le unità carbonatiche affioranti, che presentano un'elevata vulnerabilità, risultano parimenti vulnerate. Per entrambe si pone peraltro – a seguito anche del confronto eseguito – un grave problema di recupero. Si specifica che in questa fase di confronto per l'area di Palermo, è stata utilizzata una mappa di qualità di base delle acque sotterranee redatta in una prima fase del progetto, la quale utilizzava i dettami del DPR 236/1988 (ADORNI *et al.*, 1997, *op. citata*). Questa mappa di qualità è stata elaborata nello stesso periodo nel quale veniva realizzata la mappa di vulnerabilità per la piana di Palermo. Viene pure qui mostrata una seconda mappa di qualità, redatta successivamente in conformità ad un più recente provvedimento legislativo (DL 152/1999) (Fig. 4), per suggerire come vi sia stata una mitigazione dell'inquinamento in alcuni settori (SAMBATARO, 2000).

La porzione settentrionale della piana di Palermo (*Piana dei Colli*) è caratterizzata, oltre che dalla presenza della discarica municipale di Bellolampo situata a NW su terreni carbona-

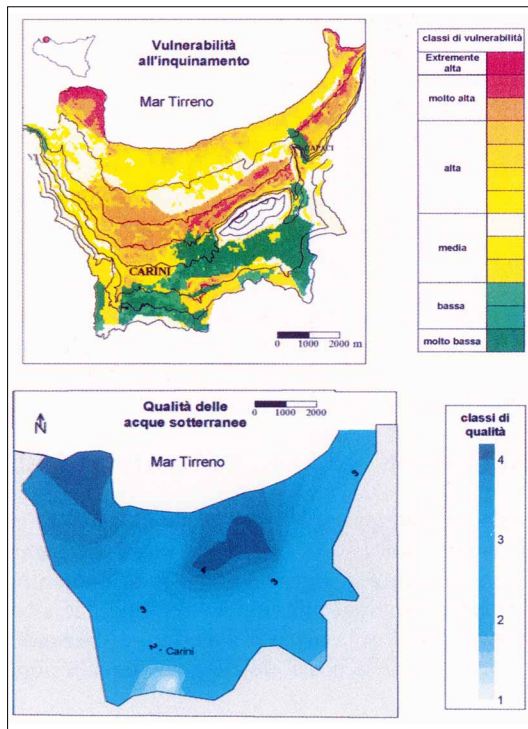


Fig. 3 - Confronto cartografico tra vulnerabilità SINTACS e qualità delle acque sotterranee per la piana di Carini (CIMINO *et al.*, 2000; SAMBATARO, 2000).

palermitana di Partanna – Mondello, in piena correlazione con la peggior qualità delle acque sotterranee riscontrata. Lo stesso avviene nella porzione SE (area industriale di *Branaccio* e tratto terminale del fiume Oreto), oltre che lungo gli altri corsi d'acqua trasformati in fogne a cielo aperto. In tutte queste aree vi è peraltro un'elevata concentrazione di centri di pericolo CDP. L'ormai storico fenomeno d'inquinamento marino per sovrasfruttamento interessa quindi aree (*Partanna-Mondello, Favorita, Sferracavallo, Cardillo*) pure considerate vulnerabili. L'intrusione marina avviene anche attraverso le unità carbonatiche carsificate presenti in prossimità della costa (*M. Gallo, M. Pellegrino*), oltre che attraverso le rocce arenacee diffuse lungo la costa, permeabili per porosità.

Nell'area di Carini i fenomeni d'inquinamento sono evidentemente legati, oltre che alla diffusione dei CDP, all'elevata carsificabilità e fatturazione delle rocce carbonatiche nella porzione NW (*Carburangeli-Piraineto*), le quali identificano questo settore come estremamente vulnerabile all'inquinamento. Lineamenti tettonici (faglie con direzione regionale NNW-SSE,) costituiscono percorsi d'infiltrazione preferenziale per l'intrusione marina (Fig. 1).

Vi sono tuttavia anche aree dove tale correlazione non appare, o è comunque meno evidente. Per queste ultime interessante è la considerazione di un altro elemento del rischio idrogeologico all'inquinamento, vale a dire il pericolo territoriale citato sopra. Ebbene, può essere evidentemente decisiva la presenza o meno di più centri di pericolo, e quindi la loro distribuzione e densità, per stabilire una *correlazione* o un'*anti-correlazione*. A tale scopo, il confronto della qualità delle acque anche con la densità dell'IPC (Fig. 3) può consentire un loro

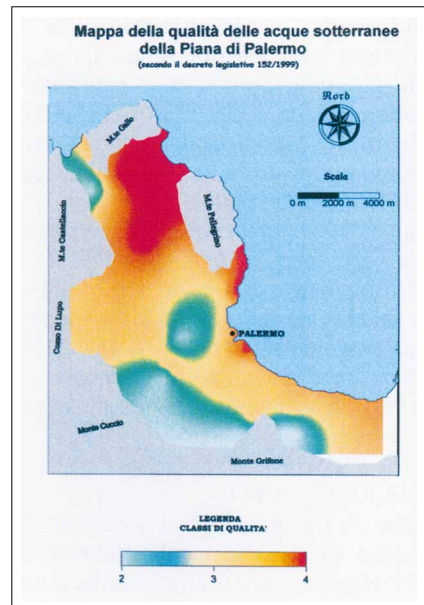


Fig. 4 - Mappa della qualità di base delle acque sotterranee della piana di Palermo (DL 152/1999) (SAMBATARO, 2000).

ti molto permeabili, dall'elevata vulnerabilità a NE delle formazioni sabbiato-arenacee costiere della borgata

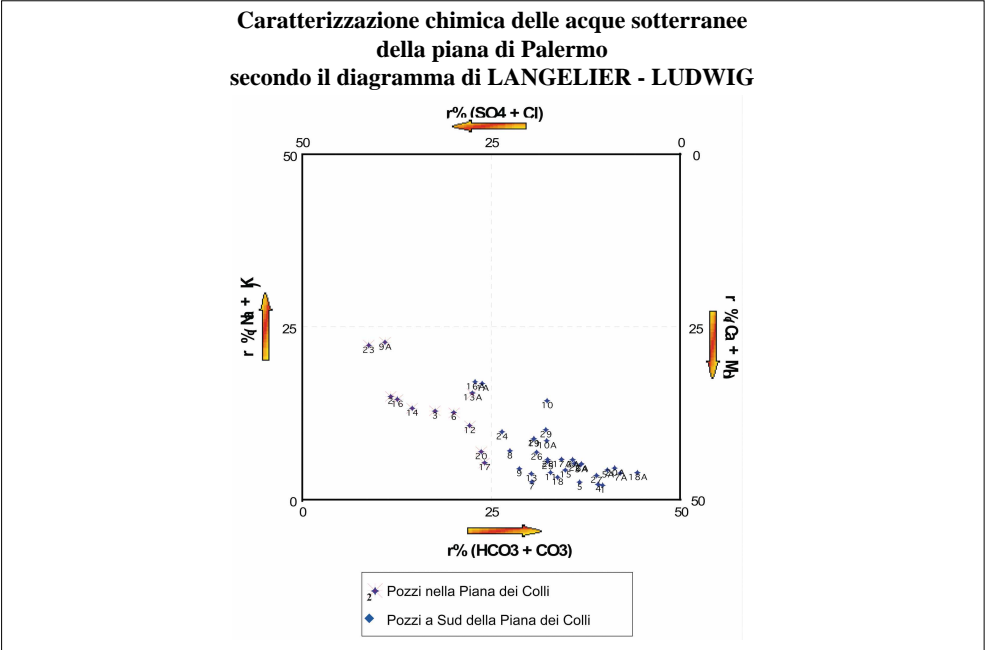


Fig. 5 - Diagramma di Langelier-Ludwig di caratterizzazione delle acque sotterranee della piana di Palermo (LANGELIER e LUDWIG, 1942) (SAMBATARO, 2000).

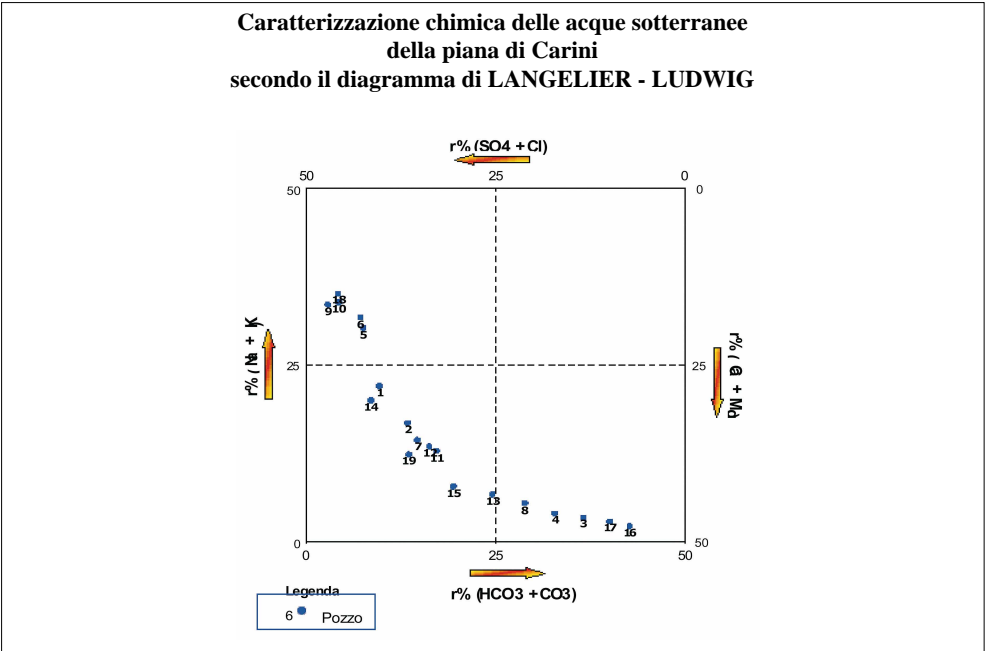


Fig. 6 - Diagramma di Langelier-Ludwig di caratterizzazione delle acque sotterranee della piana di Carini (LANGELIER. & LUDWIG, 1942).

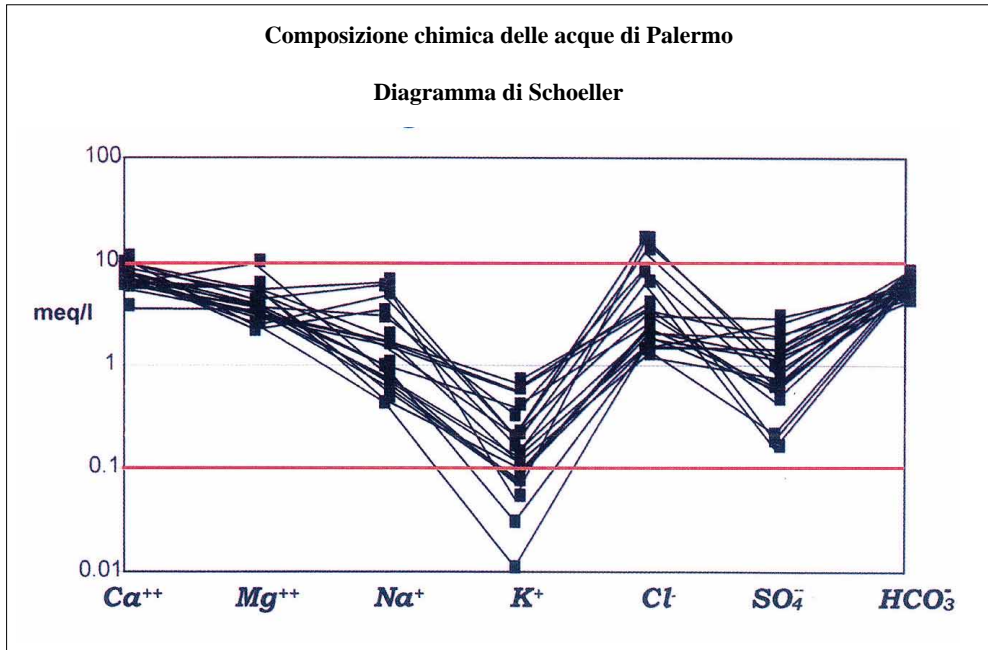


Fig. 7 - Diagramma di Shoeller che indica il range di variazione nelle concentrazioni dei vari anioni e cationi presenti nelle acque sotterranee della piana di Palermo (SAMBATARO, 2000).

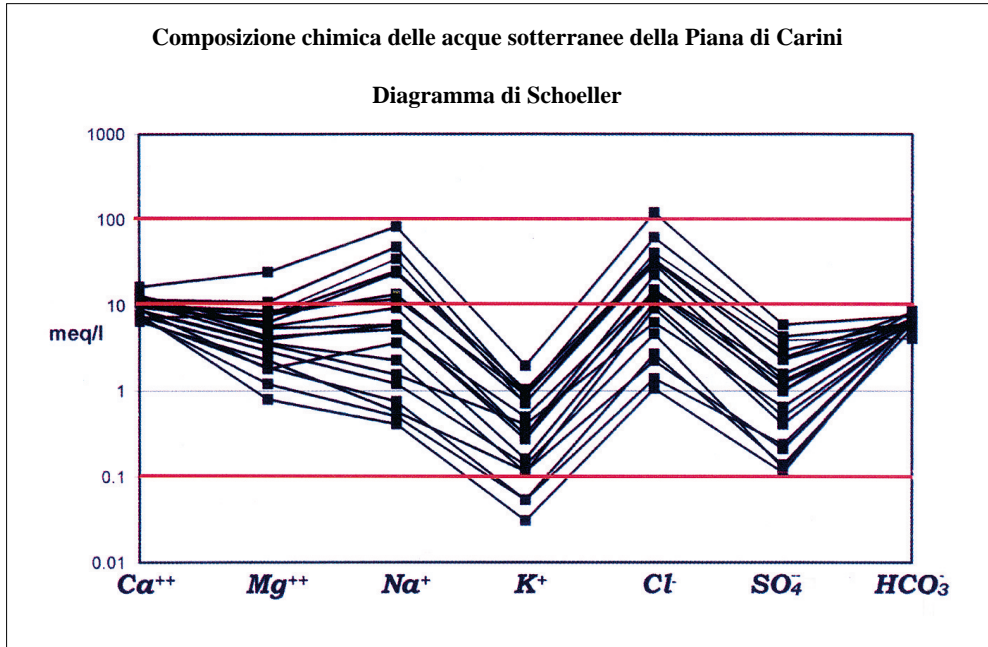


Fig. 8 - Diagramma di Shoeller che mostra il range di variazione nelle concentrazioni dei vari anioni e cationi presenti nelle acque sotterranee della piana di Carini.

rapido, anche se qualitativo, esame e, quindi, una completa discussione sulle relazioni tra i tre parametri mostrati.

Un preliminare procedimento quantitativo di calcolo dei coefficienti di correlazione per le due aree ha fornito risultati confortanti per buona parte dei settori delle due aree, parimenti consentendo in ogni caso una complessiva validazione del procedimento di stima del rischio idrogeologico per questa fase del progetto. I diagrammi di LANGELIER-LUDWIG (1942) e di SCHOELLER (1962), mostrati rispettivamente nelle Figg. 5 e 6 e nelle Figg. 7 e 8, mostrano rispettivamente la caratterizzazione delle acque sotterranee nelle due aree e il grado di dispersione nella concentrazione dei diversi costituenti chimici nei differenti punti d'acqua esaminati. Da queste rappresentazioni sintetiche si può facilmente notare come le acque sotterranee della piana di Palermo presentino una minore dispersione composizionale ed una più spiccata caratterizzazione in due famiglie: una tipica del settore settentrionale (Piana dei Colli), con acque *clorurato-solfato-alcalino-terrose* ed una seconda (porzione S e SE) con acque classificate come *bicarbonato-alcalino-terrose*.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati delle operazioni di confronto confermano la validità dei procedimenti condotti, sia dal punto di vista metodologico, sia da quello prettamente idrogeologico. In dettaglio, i processi cartografici di *overlay* delle mappe di transito verso la definizione delle mappe di sintesi sono apparsi idonei nell'ottica di fornire un agile strumento operativo. Il significato riassuntivo delle mappe di vulnerabilità, di qualità e di indice di pericolo di contaminazione ne consente un utile confronto, continuo e periodico, al fine di degli pianificare gli interventi sul territorio e/o di verificarne la correttezza, allo scopo di mitigare il rischio d'inquinamento.

Sono infine da menzionare gli incoraggianti risultati del confronto, pur preliminare, tra mappe di qualità per la piana di Palermo elaborate in epoche differenti: il provvidenziale riposo della falda in settori già pesantemente inquinati consente di suggerire interventi per un suo recupero e riutilizzazione – anche per scopi non convenzionali – nell'ambito di una rinnovata politica di gestione delle risorse idriche nel loro complesso in tutta l'area metropolitana del capoluogo siciliano.

BIBLIOGRAFIA

- ADORNI G., BATTAGLIA M., BONFANTI P., CIMINO A., 1997 – Classification and mapping of base quality of Palermo Plain groundwaters (NW Sicily). XXVII Congress of I.A.H., Nottingham (U.K.), 21-27 sett. 1997. In: "Groundwater in the Urban Environment", I: 279-283.
- ANDOLINA F., CIMINO A., ORECCHIO S., Sambaturo S., 2001 – La qualità delle acque sotterranee ed il pericolo di contaminazione nella valutazione del rischio idrogeologico: la piana di Palermo. *Geologi di Sicilia*, IX: 3-10.
- BARTOLOMEI C., CELICO P., PECORARO A., 1983 – Schema idrogeologico della Sicilia Nord-Occidentale. *Boll. Soc. Geol. It.*, 102: 329-354.
- CIMINO A., 1989 – The intervention of hydrogeophysics to the economics of groundwater exploitation and management in Sicily. In: *Groundwater Economics*: 109-118.
- CIMINO A., 1990 – Prime mappe di rischio idrogeologico per la piana di Palermo. *Atti del "I Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione della Acque Sotterranee: Metodologie, Tecnologie e Obiettivi"*, Marano sul Panaro (Modena), 20-22 sett. 1990, III: 499-516.
- CIMINO A., ANDOLINA F., 2002 – The territorial danger in the cartography of hydrogeological contamination risk in Palermo plain. *Mem. Soc. Geol. It.*, 57: 561-568.

- CIMINO A., LO BRUTTO M., 1997 – Le mappe di vulnerabilità SINTACS degli acquiferi: l'esempio della Piana dei Colli (Palermo). Atti del 2° Congresso Regionale dei Geologi di Sicilia, "La Georisorsa Acqua nel Bacino del Mediterraneo", Erice, 2-4 ott. 1997: 145-159.
- CIMINO A., LO BRUTTO M., MARTORANA R., SCIORTINO A., 2000 – Groundwater quality and aquifer vulnerability in the metropolitan area of Palermo. Mem. Soc. Geol. It., 55: 463-471.
- CIVITA M., DE MAIO M. (2000) – Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, 72, Pitagora, Bologna: 226 pp.
- LANGELIER W. F., LUDWIG H. F., 1942 – Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. J.A.W.W.A. 34: 335-352.
- SAMBATARO S., 2000 – Il rischio idrogeologico nella piana di Palermo: la qualità delle acque sotterranee. Tesi di laurea, Università di Palermo, A.A. 1999-2000, Palermo: 122 pp.
- SCHOELLER H., 1962 - Les eaux souterraines. Masson e C.le Ed., Paris: 642 pp.
- VRBA J., ZAPOROZEC A., 1994 – Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology, 16, Verlag Heinz Heise Ed., Hannover: 131 pp.