

Problematiche nella definizione dello stato ambientale dell'acquifero costiero compreso tra il fiume Fiora e il torrente Arrone (Lazio)

Ugo Chiocchini¹, Rossana Cintoli², Tatiana Lelli³, Vincenzo Piscopo³

¹Dipartimento di Geologia e Ingegneria Meccanica, Idraulica e Naturalistica per il Territorio (GEMINI), Università degli Studi della Tuscia. chiocchi@unitus.it

²ARPA Lazio – Sezione di Viterbo

³Dipartimento di Ecologia e Sviluppo Economico Sostenibile (DECOS), Università degli Studi della Tuscia piscopo@unitus.it

Classification problems of the environmental conditions in the coastal aquifer between Fiora river and Arrone stream (Latium)

ABSTRACT: The contents of Legislative Decree 152/99, concerning the definition of the environmental conditions of water bodies, were applied to a sample section of Northern Latium's coastal aquifer. In the stretch delimited by the mouths of the Fiora River and the Arrone Stream (about 32 km²), the Pleistocene sandy/gravelly formations, resting on a substrate of infrapliocenic grey pelites, give rise to a potable and irrigational water reservoir of local interest. The investigations carried out resulted in the definition of the hydrogeological situation, in an estimate of the potential of groundwater resources, as well as of their chemical and qualitative characteristics. The hydrogeological and hydrogeochemical situation so reconstructed pointed to a qualitative worsening of the resource from the recharge to the discharge areas, due primarily to nitrates of agricultural origin and to chlorides derived from the sea water intrusion. From a quantitative point of view, on the other hand, it appears that the use of groundwater is sustainable only in the short term, if the current methods of utilisation are continued in the future. The definition of the quantitative state of the water body investigated resulted in being particularly problematic, due to the margin of subjectivity permitted by the current legislation.

Key terms: groundwater resources, groundwater quality, coastal aquifer, Montalto di Castro

Termini chiave: risorse idriche sotterranee, qualità delle acque sotterranee, acquifero costiero, Montalto di Castro

Riassunto

I contenuti del Decreto Legislativo 152/99, riguardanti la definizione dello stato ambientale dei corpi idrici, sono stati applicati ad un settore campione dell'acquifero costiero del Lazio settentrionale.

Nella fascia compresa tra i tratti terminali del Fiume Fiora e del Torrente Arrone (circa 32 km²), le formazioni sabbiose e ghiaiose pleistoceniche, poggianti su un substrato di peliti grigie infraplioceniche, costituiscono un serbatoio di acque potabili e irrigue di interesse locale.

Le indagini condotte hanno permesso la definizione dello schema idrogeologico, una stima della potenzialità delle risorse idriche sotterranee, la caratterizzazione chimica e qualitativa delle acque sotterranee. Il quadro idrogeologico e idrogeochimico ricostruito ha evidenziato un peggioramento qualitativo della risorsa dalle zone di ricarica a quelle di recapito, dovuto principalmente ai nitrati di origine agricola ed ai cloruri derivanti dall'ingressione di acqua marina. Dal punto di vista quantitativo invece è risultato che l'utilizzo delle acque sotterranee è sostenibile solo nel breve periodo, se sussistono gli attuali tipi di prelievo. Proprio la definizione dello stato quantitativo del corpo idrico esaminato è stata particolarmente problematica,

in relazione al margine di soggettività che è insito nell'attuale normativa.

Introduzione

Lo sviluppo della normativa rivolta alla protezione delle risorse idriche sotterranee ha subito in Italia, nell'ultimo decennio, un sensibile incremento. Questa tendenza è frutto della necessità di prevenire il degrado qualitativo e quantitativo delle risorse idriche al fine di assicurarne un uso sostenibile, concetto quest'ultimo ampiamente dibattuto da almeno un cinquantennio nella letteratura idrogeologica.

Nella definizione dello stato ambientale dei corpi idrici sotterranei, argomento contenuto nella recente normativa italiana (Decreto Legislativo 152/99), le difficoltà sono connesse con l'interpretazione della stessa normativa, che non sempre esplicita i modi e metodi atti alla definizione, e con la possibilità di reperire dati che possano effettivamente indicizzare quantità e qualità della risorsa. Quest'ultimo problema è ancora più evidente quando l'acquifero non ha una grande potenzialità ma è di interesse solo per l'approvvigionamento idrico locale.

Allo scopo di verificare quali siano le problematiche insite nel percorso che conduce alla definizione della classe

di qualità ambientale dei corpi idrici, è stato esaminato un piccolo sistema idrogeologico (esteso per circa 32 km²) ricadente nella fascia costiera laziale. Si tratta di un acquifero dalla scarsa potenzialità (Boni et alii, 1986; Capelli & Mazza, 1994) ma che è di fondamentale importanza per la realtà locale del comprensorio comunale di Montalto di Castro in provincia di Viterbo, in quanto contribuisce all'approvvigionamento del fabbisogno di acque potabili ed irrigue nel periodo estivo.

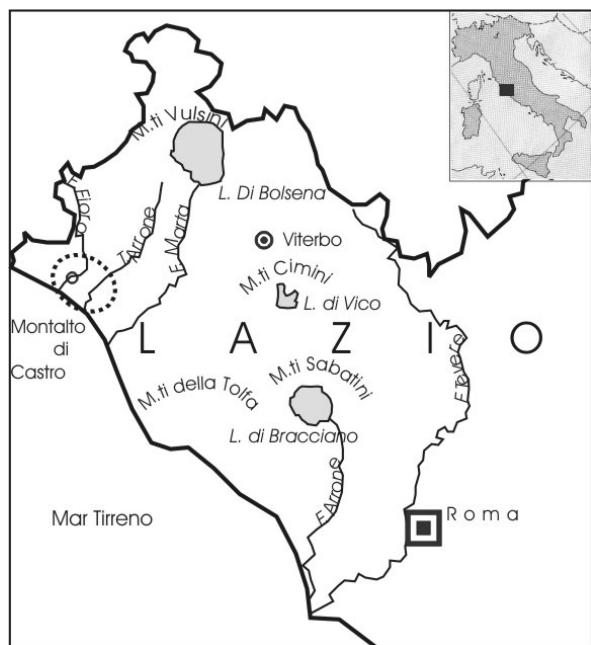


Figura 1 – Ubicazione dell'area di studio
Location of the study area

Lineamenti geologici e caratterizzazione idrogeologica delle unità affioranti

L'area in esame, compresa tra il F. Fiora e il T. Arrone, appartiene alla fascia tirrenica del Lazio (Fig. 1), il cui assetto geologico e morfologico è connesso soprattutto ad accadimenti quaternari. L'attività vulcanica plio-pleistocenica dei distretti Tolfetano-Cerite e Vulsino ha prodotto un ingente quantità di materiale piroclastico, creando blandi rilievi in prossimità della costa più o meno paralleli alla catena appenninica. Nel Pliocene e nel Quaternario l'area tirrenica è stata soggetta a ripetute trasgressioni e regressioni che hanno modellato la costa fino alle sue forme attuali (Bosi et alii, 1990).

Nei dolci rilievi collinari (quota massima di circa 60 m s.l.m.) che caratterizzano l'area affiorano alcune unità continentali e marine pleistoceniche. Il substrato pre-quaternario è rappresentato dai sedimenti pelitici di piattaforma dell'Unità di S. Bartolomeo (APAT, in stampa) del Pliocene inferiore. Questa unità è trasgressiva sul Flysch della Tolfa, unità ligure esterna (Abbate & Sagri, 1970) del Cretaceo superiore - Eocene a sua volta sovrascorso

sulle unità meso-cenozoiche della Successione Toscana.

Le unità litostratigrafiche affioranti sono dalla più antica (Bosi et alii, 1990): Insieme di Campomorto, costituito prevalentemente da sabbie quarzose con lenti di ghiaie e intercalazioni di peliti, e Insieme dell'Arrone, comprendente prevalentemente conglomerati e peliti del Pleistocene inferiore; piroclastiti del Pleistocene medio di incerta collocazione stratigrafica; Formazione di Barca di Parma del Pleistocene medio, comprendente sabbie e ghiaie; Lave di Pontecchio tefritiche; Formazione del Fiora del Pleistocene medio, costituita prevalentemente da sabbie e ghiaie; Formazione di Casale Palombini del Pleistocene medio-superiore (?), composta da sabbie più o meno limose con ciottoli calcarei, silicei e di scorie vulcaniche; sedimenti fluviali terrazzati sabbioso-ghiaiosi e Gruppo di Pian di Spille del Pleistocene superiore, costituito da sedimenti ghiaioso-sabbiosi; sedimenti sabbioso-ghiaiosi e limoso-sabbiosi alluvionali, depositi sabbiosi di duna e di spiaggia dell'Olocene.

Gli elementi morfoevolutivi dell'area di maggiore interesse ai fini idrogeologici sono un paleoalveo del F. Fiora, che dalla zona di Archi di Pontecchio arrivava fino alla costa tirrenica nei pressi del Porto delle Murelle, e più ordini di terrazzi marini e fluviali dislocati a varie quote (Ambrosetti et alii, 1981; Bosi et alii, 1990).

Le unità lito-stratigrafiche sopra descritte sono riconducibili a cinque complessi idrogeologici (Fig. 2).

Il *complesso pelitico*, corrispondente all'Unità di S. Bartolomeo, costituisce il substrato su cui poggiano tutti gli altri complessi. Esso è caratterizzato da un bassissimo grado di permeabilità relativa per porosità e svolge l'importante ruolo di impermeabile di base dell'acquifero.

Il *complesso sabbioso-limoso-ghiaioso* include l'Insieme di Campomorto, l'Insieme dell'Arrone e le piroclastiti del Pleistocene medio. Il grado di permeabilità dell'insieme è medio per porosità, con variazioni locali in funzione dei litotipi prevalenti.

Il *complesso lavico*, corrispondente al modesto affioramento delle Lave di Pontecchio, è caratterizzato da permeabilità per fessurazione, con grado relativo variabile da medio ad alto.

Il complesso *sabbioso-conglomeratico*, comprendente la Formazione di Barca di Parma, la Formazione del Fiora, la Formazione di Casale Palombini ed il Gruppo di Pian di Spille, è permeabile per porosità e secondariamente per fessurazione con grado relativo da medio ad alto. Tale complesso è il più esteso e continuo nell'area in esame, rappresenta il principale acquifero ed è caratterizzato da uno spessore variabile fino ad un massimo di circa 30 m. La falda ospitata è generalmente libera, ma le intercalazioni pelitiche possono consentire l'esistenza di settori semiconfinati.

Il *complesso alluvionale*, comprendente i depositi alluvionali ed i depositi di duna costiera antichi, recenti e attuali, ha uno spessore massimo di circa 10 m ed è caratterizzato da una permeabilità per porosità con grado

relativo variabile in funzione della granulometria dei depositi.

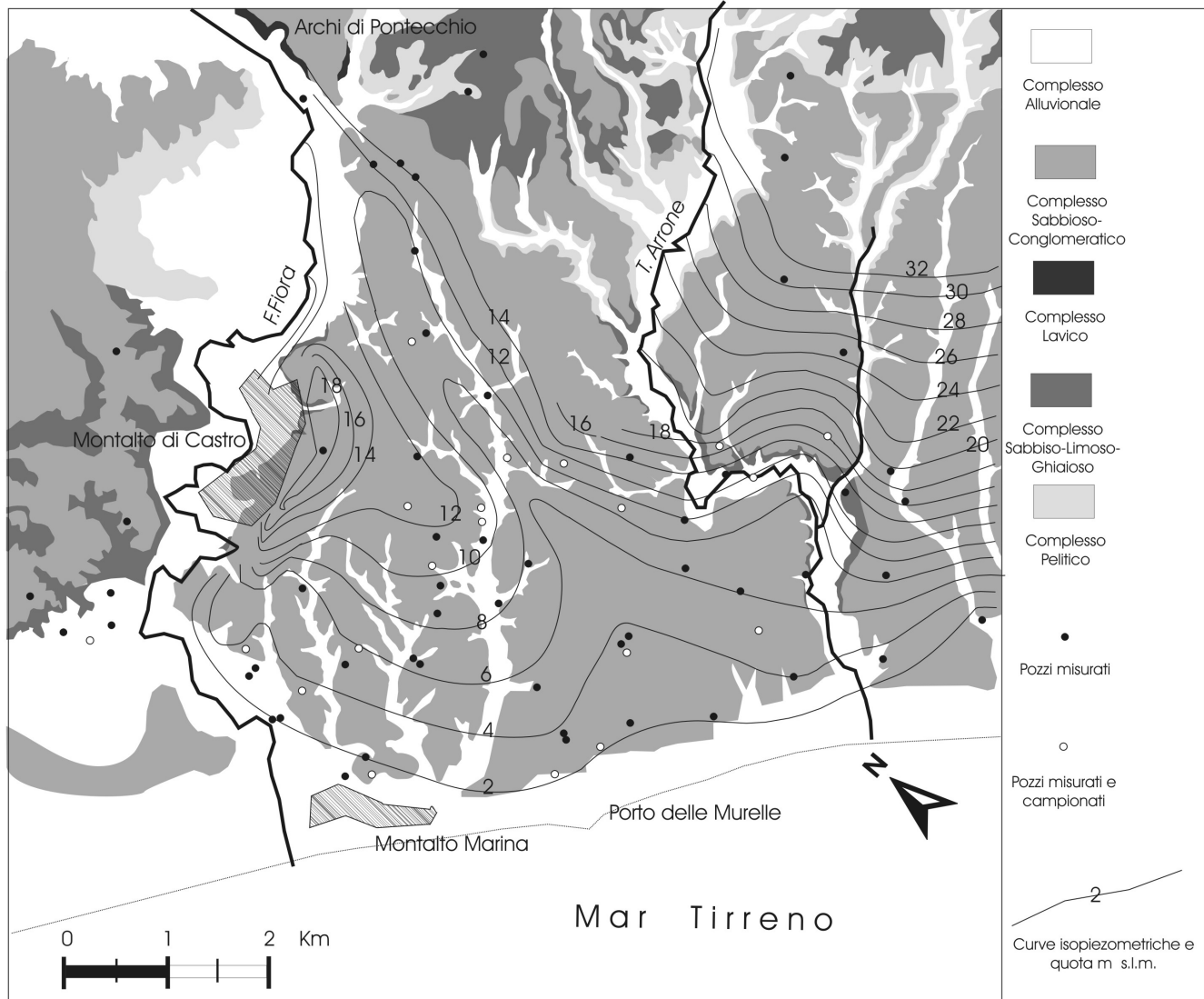


Figura 2 – Carta idrogeologica schematica
Simplified hydrogeologic map

Schema idrogeologico e potenzialità delle risorse idriche sotterranee

Lo schema di circolazione idrica sotterranea è stato ricostruito attraverso misure piezometriche condotte su 80 pozzi (nel luglio-agosto 2003 e nel febbraio 2004), misure di portata in alcune sezioni significative della rete idrografica e l'acquisizione e l'interpretazione di prove di emungimento.

I dati piezometrici evidenziano la presenza di una falda unica e libera, alla scala di indagine, ospitata principalmente nei complessi sabbioso-conglomeratico ed alluvionale, con deflusso generale di tipo parallelo ed orientato verso la linea di costa (Fig. 2). Una direzione preferenziale di flusso sotterraneo si estende per tutta la lunghezza dell'area

indagata, da Archi di Pontecchio al Porto delle Murelle, e coincide con il paleoalveo del Fiume Fiora. Presso l'abitato di Montalto di Castro, l'articolata morfologia del substrato pelitico infrapliocenico, evidenziata dall'affioramento del complesso sabbioso-limoso-ghiaioso, comporta una ridotta profondità dell'impermeabile relativo che implica la formazione di un alto piezometrico. La presenza di questo alto piezometrico e le quote dell'alveo del Fiora condizionano il deflusso sotterraneo in questa zona, dando luogo a direzioni di flusso proprio verso il corso d'acqua.

Il gradiente piezometrico è compreso tra qualche unità per mille e qualche unità per cento. Questa variabilità è correlabile con la trasmissività dell'acquifero, considerato che i valori più bassi del gradiente si ritrovano nelle zone di drenaggio sotterraneo e nella fascia costiera (Fig. 2).

Durante i rilievi piezometrici nel periodo estivo, in alcuni pozzi in pompaggio presenti nella fascia più prossima alla costa sono state misurate quote della falda al di sotto del livello del mare.

La trasmissività dell'acquifero è stata desunta da cinque prove di pompaggio. Risultano valori del parametro compresi negli ordini di grandezza 10^{-3} - 10^{-5} m²/s; i più elevati sono relativi ai pozzi ubicati nella zona di recapito della falda.

Per quanto riguarda i rapporti tra acque superficiali e sotterranee, le misure di portata condotte in passato (Capelli & Mazza, 1994) e nel corso del presente studio (dicembre 2003 e maggio 2004) sul F. Fiora e sul T. Arrone hanno evidenziato incrementi in alveo, nei tratti che riguardano l'area di studio, di alcune centinaia di litri al secondo, per il primo corso d'acqua, ed alcune decine di litri al secondo, per il secondo. Di queste quantità solo una parte però è da attribuire all'acquifero in esame, considerato che gli anzidetti corsi d'acqua rappresentano il recapito anche di settori di acquifero esterni all'area di studio.

Una valutazione di prima approssimazione della potenzialità delle risorse idriche sotterranea è stata condotta relativamente ad un'area di circa 32 km².

A tale scopo sono stati considerati i dati pluviometrici della stazione meteorologica di Montalto di Castro relativi al periodo 1955-1999, determinando il valore di precipitazione media annua pari a 799 mm. Utilizzando i dati di temperatura media mensile, è stato possibile, applicando il metodo di Thornthwaite-Mather, calcolare l'evapotraspirazione reale media annua, risultata pari a 514 mm. La ripartizione dell'eccedenza idrica tra infiltrazione efficace e ruscellamento è stata valutata considerando un coefficiente di infiltrazione potenziale pari a circa il 65%. Risulta, pertanto, una potenzialità dell'infiltrazione media annua di 185 mm. Questo valore rapportato all'estensione dell'area di riferimento equivale ad un volume medio annuo di circa 6×10^6 m³.

Questa stima della ricarica media è confrontabile con quella del flusso idrico sotterraneo in uscita dal sistema in esame, se si considerano la piezometria e la trasmissività della zona di recapito dell'acquifero. Applicando la relazione di Darcy alle fasce di acquifero prossime al tratto costiero ed al F. Fiora risulta, infatti, un flusso idrico sotterraneo compreso tra 0.15 e 0.20 m³/s.

Caratteristiche chimiche e qualità delle acque sotterranee

Le analisi chimiche delle acque sotterranee hanno riguardato 20 pozzi, scelti fra gli 80 censiti per le misure piezometriche (Fig. 2). Le determinazioni dei principali parametri chimici e chimico-fisico sono state effettuate nel febbraio del 2004 in campo e, soprattutto, presso i laboratori del Dipartimento Provinciale ARPA Lazio di Viterbo.

Le acque esaminate presentano una temperatura variabile da 11 a 20°C e valori di conducibilità elettrica compresi tra

700 e 2000 µS/cm. La conducibilità elettrica ed il contenuto dei cloruri aumentano per i campioni relativi alla fascia costiera; ciò è riconducibile all'influenza della mobilizzazione dell'interfaccia acqua dolce - acqua salata dovuta a pozzi in emungimento.

Facendo riferimento agli ioni maggiori è possibile riconoscere due facies geochimiche: una comprende acque bicarbonato-alcalino-terrose meno saline, l'altra acque solfato-clorurato-alcalino-terrose più saline (Fig. 3). Ad eccezione di alcuni casi isolati, le acque solfato-clorurato-alcalino-terrose sono concentrate prevalentemente nella fascia costiera, mentre quelle bicarbonato-alcalino-terrose riguardano le aree più interne, ovvero quelle di ricarica dell'acquifero.

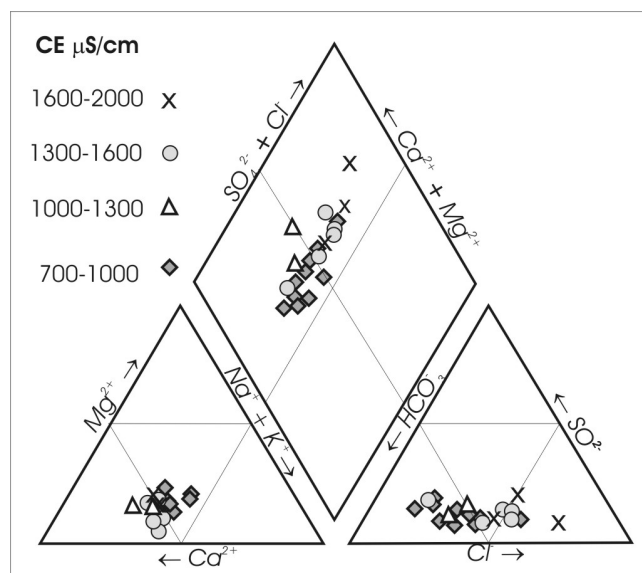


Figura 3 – Diagramma di Piper
Piper diagram

La valutazione della qualità delle acque sotterranee è stata condotta con riferimento ai macrodescrittori considerati nel Decreto Legislativo 152/99, ovvero conducibilità elettrica, cloruri, nitrati, solfati, ione ammonio, ferro e manganese.

I risultati ottenuti in termini di classi di qualità sono rappresentati in Figura 4, dove si nota una prevalenza di acque di scadente qualità. Le cause sono principalmente il contenuto di nitrati (compreso tra 5 e 132 mg/l) e cloruri (compreso tra 47 e 621 mg/l) e secondariamente quello del ferro (da valori minori di 50 µg/l a 493 µg/l). Le acque di classe 2 sono concentrate solo in corrispondenza dell'asse di drenaggio sotterraneo, dove più sviluppato è il flusso idrico e quindi anche l'effetto della diluizione.

Considerato che le acque sotterranee vengono utilizzate principalmente a scopo potabile ed irriguo, è stata approfondita l'attitudine della risorsa proprio in relazione a questi usi specifici.

Per le acque sotterranee destinate al consumo umano si è fatto riferimento alla classificazione di Civita et alii (1993).

Le acque in esame sono risultate, per la maggior parte, appartenenti alla classe C1B2 (9 campioni); cinque campioni ricadono nella classe peggiore (C1C2), mentre la qualità migliore (B1A2) riguarda solo un campione. Le acque appartenenti alle classi B1A2 e B1B2, ossia quelle utilizzabili ai fini potabili senza bisogno di alcun trattamento, sono localizzate lungo l'asse di drenaggio; alla fascia costiera competono le acque appartenenti alle classi peggiori (C1C2, C1B2, C1A2), che necessitano di trattamenti specifici prima di essere destinate all'uso potabile (Fig. 5).

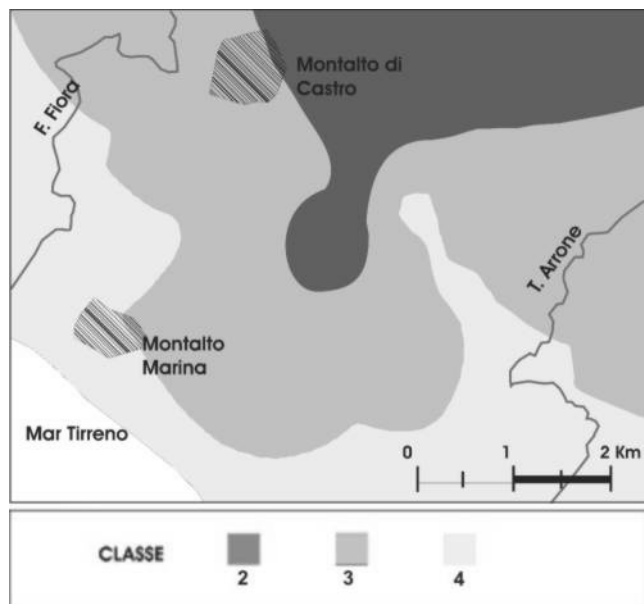


Figura 4 – Carta della qualità delle acque sotterranee secondo il Decreto Legislativo 152/99
Map of groundwater quality based on the Legislative Decree 152/99

Per valutare l'idoneità delle acque sotterranee all'uso irriguo è stata considerata la salinità e la sodicità. La prima è stata determinata sulla base della conducibilità elettrica, per la seconda si è fatto riferimento al rapporto di assorbimento del sodio (S.A.R.). Utilizzando questi due parametri sono state classificate le acque campionate attraverso il diagramma di Wilcox. Esse si collocano in una classe bassa per il rischio di alcalinizzazione ed alta per il rischio di accumulo salino, risultando, quindi, idonee all'irrigazione purché i terreni siano ben drenati.

Problematiche di classificazione quantitativa del corpo idrico sotterraneo

La definizione dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei ha la finalità di classificare gli acquiferi in base alla loro potenzialità, produttività e grado di sfruttamento. In funzione di ciò il Decreto Legislativo 152/99 individua quattro classi dello stato quantitativo degli acquiferi, definibili sulla base delle alterazioni misurate o previste

delle condizioni di equilibrio idrogeologico. L'anzidetta normativa fornisce le indicazioni di principio ma non formula una procedura operativa di classificazione quantitativa.

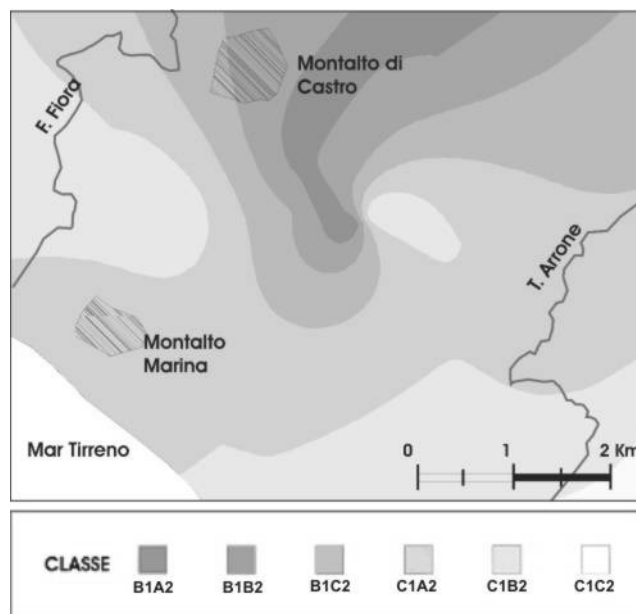


Figura 5 – Carta della qualità delle acque sotterranee secondo la classificazione di Civita et alii (1993)
Map of groundwater quality based on the Civita et alii classification (1993).

Nel presente lavoro, avendo già valutato, seppure in prima approssimazione, la potenzialità delle risorse idriche sotterranee, sono stati stimati i prelievi di acque sotterranee nella zona d'interesse utilizzate ai fini potabili ed irrigui.

Per quanto riguarda l'uso potabile si è fatto riferimento ai dati forniti dal Comune di Montalto di Castro, relativi alla popolazione residente. Da questi dati risulta una popolazione pari a circa 10.000 abitanti nella stagione invernale e 30.000 in quella estiva. Il fabbisogno idrico potabile viene soddisfatto grazie all'acquedotto comunale, alimentato da tre sorgenti, ubicate al di fuori dell'area di studio, e quattro pozzi situati nell'area di studio. Durante la stagione invernale il fabbisogno idrico è completamente soddisfatto dalle sole sorgenti. In estate, quando l'afflusso turistico è maggiore, la domanda è soddisfatta dai pozzi, mediante prelievi per un volume di circa $4.6 \times 10^5 \text{ m}^3$.

Una prima stima dei prelievi ad uso irriguo è stata ricavata considerando l'estensione della superficie irrigua, valutata pari a 10 km^2 . Il fabbisogno idrico delle colture è stato ricavato dalla differenza tra evapotraspirazione potenziale e reale (pari a 351 mm/anno), precedentemente calcolate. E' risultato, quindi, una perdita netta annua ai fini irrigui di circa $3.5 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Sulla base delle precedenti valutazioni, il volume idrico prelevato dalla falda in un anno è complessivamente di circa $4 \times 10^6 \text{ m}^3$. Confrontando tale dato con il volume di

infiltrazione efficace (circa 6×10^6 m³/anno), si evidenzia un utilizzo di circa il 67% della potenzialità delle risorse dell'acquifero.

Il confronto sembrerebbe indicare una situazione di compatibilità tra disponibilità ed uso della risorsa facendo quindi rientrare il corpo idrico nelle classi dello stato quantitativo A o B del Decreto Legislativo 152/99. Tuttavia trattandosi di un acquifero costiero l'incidenza dei prelievi è da valutare anche in relazione all'equilibrio esistente tra acqua dolce ed acqua salata. Peraltro questa problematica scaturisce dall'esame delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee, nonché dai segnalati livelli piezometrici al di sotto del livello del mare in occasione dei rilievi estivi.

Per esaminare questi aspetti, a titolo di esempio, si è fatto riferimento ad una sezione significativa di acquifero costiero. Applicando le relazioni di Ghyben-Herzberg e Darcy sulla base dei dati idrogeologici acquisiti (profondità dell'impermeabile, portata specifica verso mare, e trasmissività dell'acquifero), è stata calcolata la lunghezza del cuneo di intrusione nell'acquifero, dapprima considerando la portata naturale della falda verso mare e poi quella residua al netto dei prelievi valutati sopra. È risultato che, per la diminuzione della portata della falda verso mare pari ai prelievi precedentemente stimati, si triplica la lunghezza del cuneo di intrusione salina verso l'interno rispetto alle condizioni naturali.

Oltre a questo effetto bisogna considerare la locale risalita dell'interfaccia acqua dolce – acqua salata in corrispondenza dei pozzi in pompaggio. Ancora a titolo di esempio, considerando la relazione di Schmorak & Mercado (1969) sull'”upconing” e le condizioni di stabilità dell'interfaccia suggerite da Dagan & Bear (1968) e tenendo conto delle caratteristiche tecniche dei pozzi presenti lungo costa, si determinano portate massime possibili non superiori a 0.8 l/s a 300 m dalla costa. Alcuni dei pozzi censiti alla stessa distanza dalla costa superano questo valore di portata nel periodo estivo.

Se si tiene conto di questi ultimi aspetti è evidente che l'attuale uso della risorsa non è sostenibile a lungo termine e pertanto il corpo idrico dovrebbe esser classificato nella classe dello stato quantitativo C del Decreto Legislativo 152/99.

Conclusioni

Le indagini idrogeologiche e idrogeochimiche condotte per un settore dell'acquifero costiero del Lazio settentrionale hanno permesso una valutazione preliminare dello stato ambientale del corpo idrico, facendo riferimento ai contenuti del Decreto Legislativo 152/99. Lo stato ambientale è risultato generalmente scadente, con impatto antropico rilevante sulla quantità e/o sulla qualità della risorsa e con necessità di specifiche azioni di razionalizzazione dell'uso attuale. Sarebbe necessario sicuramente razionalizzare i prelievi dalla falda. Ciò potrebbe essere realizzato agendo sui volumi emunti a scopo irriguo, considerato che i prelievi per uso potabile incidono poco sulla quantità totale di acqua estratta dalla falda e per questo essi andrebbero tutelati.

Durante il processo di applicazione di quanto indicato dalla normativa vigente relativamente alla classificazione delle acque sotterranee sono state riscontrate alcune difficoltà operative. La più evidente riguarda la definizione dello stato quantitativo. A causa dei numerosi fattori naturali e antropici che entrano in gioco non è possibile una classificazione rigorosa; il legislatore lascia, dunque, al tecnico la facoltà di valutare caso per caso il metodo migliore da applicare. La metodica adottata dipende sicuramente dal tipo di dati a disposizione, che spesso risultano incompleti, carenti o di difficile acquisizione.

Il presente studio sottolinea, inoltre, come gli aspetti connessi con la prevenzione del degrado qualitativo delle risorse idriche sotterranee non possano essere disgiunti dalla preliminare comprensione delle modalità di flusso idrico sotterraneo e, quindi, del contesto geologico e idrogeologico specifico.

Bibliografia

- Abbate, E., Sagri M., 1970. The eugeosynclinal sequences. *Sedimentary Geology*, 4, 251 – 340.
- Ambrosetti, P., Bartolini, C., Bosi, C., 1981. L'evoluzione geologica e morfologica quaternaria dell'area adiacente la bassa valle del Fiume Fiora (Viterbo). *Geogr. Fis. Dinam. Quater.*, 4, 104-134.
- APAT. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Fogli Tarquinia e Montalto di Castro. In stampa.
- Boni, C., Bono, P., Capelli, G., 1986. Schema idrogeologico dell'Italia centrale. *Mem. Soc. Geol. It.*, 35, 991-1012.
- Bosi, C., Palieri, L., Sposato, A., 1990. Guida all'escursione sui terrazzi e linee di costa del litorale del Lazio settentrionale. Tarquinia e Montalto di Castro 17 - 18 ottobre 1990. AIQUA. CNR - Centro di Studio per la Geologia Tecnica - Roma, 30 p.
- Capelli G., Mazza, R., 1994. Lineamenti idrogeologici dei terrazzi del Lazio settentrionale. Risultati della campagna di rilevamento 1991-1992. *Geologica Romana*, 30, 589-600.
- Civita, M., Dal Prà, A., Francani, V., Giuliano, G., Olivero, G., Pellegrini, M., Zavatti, A., 1993. Proposta di classificazione delle acque sotterranee. *Inquinamento*, 12, 8-17.
- Dagan, G., Bear, J., 1968. Solving the problem of local interface upconing in a coastal aquifer by the method of small perturbations. *J. Hydr. Research*, 6, 15-44.
- Schmorak, S., Mercado, A., 1969. Upconing of freshwater-seawater interface below pumping well. *Water Resources Res.*, 5, 1290-1311.