

Considerazioni sulle caratteristiche idrochimiche delle falde nelle aree flegrea e vesuviana

ALFONSO CORNIELLO

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale
Università di Napoli Federico II

RIASSUNTO

Vengono delineate le caratteristiche chimiche delle acque sotterranee delle aree flegrea e vesuviana ponendo in risalto i fattori su di esse influenti (geologia, contaminazione marina, apporti endogeni etc.). Sono altresì individuati per le zone indicate i profili idrochimici caratteristici e le modifiche che gli stessi subiscono per effetto dei predetti fattori.

Si tratta di una panoramica generale (che prescinde dunque da specifiche situazioni locali) realizzata sulla scorta della vasta letteratura scientifica disponibile (cfr. bibliografia), nonché di esperienze e ricerche personali.

PREMESSA

Il carattere vulcanico delle aree flegrea e vesuviana e la loro prossimità al mare sono elementi che influenzano marcatamente le acque sotterranee e talora conferiscono ad esse connotazioni assai specifiche. Sono ad esempio assai ricche di fluoruri, a luoghi notevolmente saline od ancora con alti tenori in Fe, Mn ed As.

Tutto ciò condiziona in maniera severa il loro utilizzo ed impone un'attenzione particolare nei casi in cui sia necessario definire i "valori di

Parametro	Valori di Fondo Naturali (*)	Limiti secondo il D. Lgs. 152/2006 ed il DM 471/99
Mn	1104 µg/l	50 µg/l
Fe	3106 µg/l	200 µg/l
As	380 µg/l	10 µg/l
Be	9 µg/l	4 µg/l
Pb	19 µg/l	10 µg/l

(*) Valori di fondo proposti da una *Commissione di Esperti* ed approvati con Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, emanato di concerto con il Ministro delle Attività Produttive ed il Ministro della Salute e d'intesa con la Regione Campania.



Fig. 1 – Limiti delle caldere legate all'Ignimbrite Campana (in rosso) ed al Tufo Giallo Napoletano (in nero) (da Orsi et al., 1998).

fondo” (VF), intesi come *la concentrazione di una sostanza in un corpo idrico sotterraneo corrispondente all'assenza di alterazioni antropiche o presenti in minima parte* (cfr. ISPRA, 2009; D. Lgs. 152/2006 e D. Lgs. 30/2009). Così, ad esempio, nelle acque sotterranee del sito ex aree industriali di Bagnoli i “valori di fondo” riconosciuti per taluni parametri (colonna 2 della tabella a pagina 125) sono considerevolmente più elevati di quelli di norma tollerabili (colonna 3).

1. AREA FLEGREA CONTINENTALE

L'area flegrea continentale presenta le quote maggiori all'altezza dell'Eremo dei Camaldoli; da qui le

zone a nord e ad est degradano con regolarità verso la Piana Campana.

Il settore a sud e ad ovest, sempre rispetto all'Eremo dei Camaldoli, presenta invece una morfologia assai articolata: coincide infatti con la depressione delle *caldere* dei Campi Flegrei *Auct.* (Fig. 1) al cui interno si sono sviluppati molti vulcani di tipo esplosivo (Astroni, Agnano, Gauro, M.te Nuovo etc.) dopo l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (circa 15000 anni fa) (CNR, 1987; Di Vito et al., 1999).

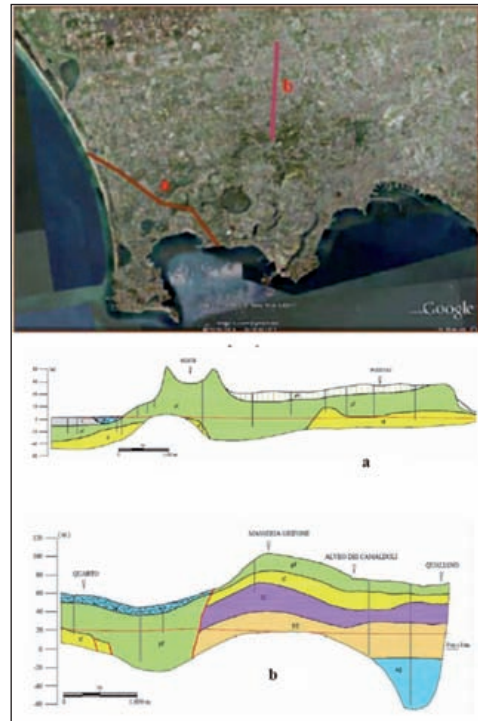


Fig. 2 – Sezioni idrogeologiche e loro ubicazione. pf (piroclastiti sciolte); tf (tufo giallo napoletano); IC (Ignimbrite Campana); pg (piroclastiti grossolane); ag (depositi prevalentemente argillosi). La piezometria è indicata dalla linea rossa (Autorità di Bacino Nord-occidentale della Campania, 2004).

1.1 Lineamenti idrogeologici

A nord dell'Eremo dei Camaldoli, nel sottosuolo, si incontrano cineriti a diverso grado di litificazione (Bellucci, 1994) e sovente con grandi scorie e pomici. Gli spessori, unitamente al grado di diagenesi, vanno diminuendo a misura che ci si allontana verso nord ed est. Il grado di permeabilità globale è piuttosto basso. Segue quindi, verso il basso, la successione litologica riportata nella Sezione b di Figura 2.

Il settore a sud dell'Eremo dei Camaldoli è più articolato e la dorsale stessa su cui sorge l'Eremo, e la sua prosecuzione nella dorsale di Posillipo, marcano un'ulteriore suddivisione in quanto i rilevanti spessori tufacei locali hanno scarsa

permeabilità (Comune di Napoli – Servizio Urbanistica, 1993).

Ad ovest della dorsale Camaldoli-Posillipo il territorio ricade all'interno delle *caldere* dell'Ignimbrite Campana e del Tufo Giallo Napoletano (Fig. 1). I materiali presenti sono legati al progressivo colmamento delle stesse ad opera di depositi piroclastici, in genere sciolti, in sede e/o rimaneggiati (zona di Bagnoli, del piano di Quarto etc.). Per quanto noto, il substrato su cui poggiano detti materiali è costituito da zolle ribasate del Tufo Giallo (Sezione a di Fig. 2). Verso la linea di costa occidentale, al di sotto di *depositi piroclastici sciolti* compaiono, di nuovo, l'Ignimbrite Campana e le *piroclastiti grossolane* ad essa sottiacenti (Autorità di Bacino Nord-occidentale

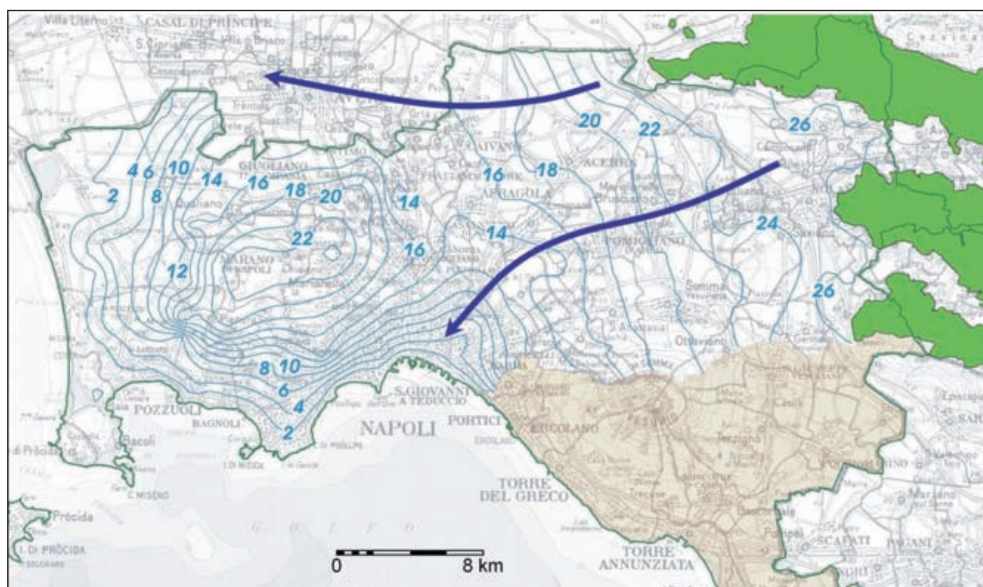


Fig. 3 – Piezometria del febbraio 2003 (valori in m s.l.m.). (Amministrazione Provinciale di Napoli – Settore Ambiente, 2003). In verde sono indicati i massicci carbonatici.

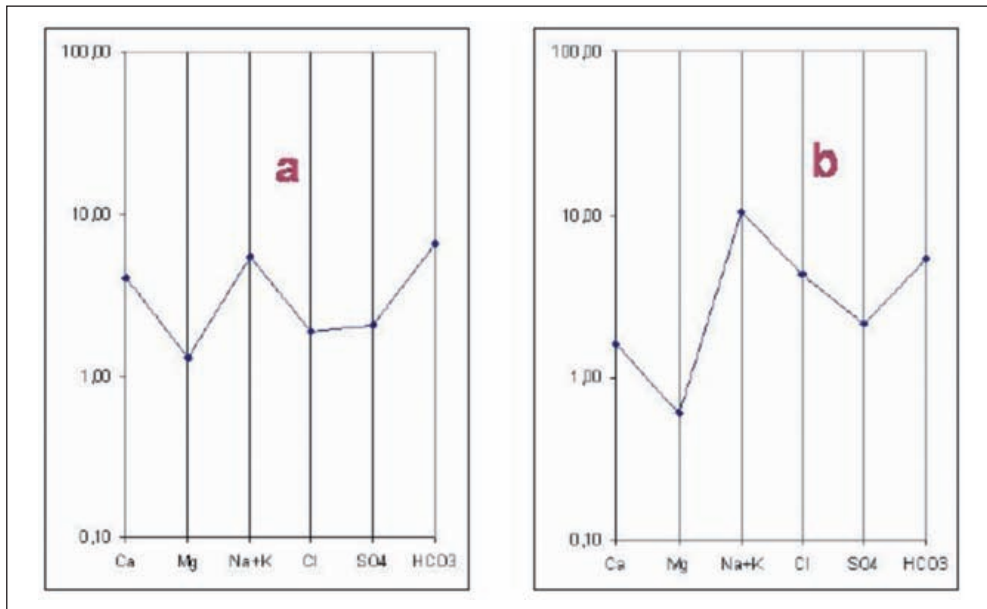


Fig. 4 – Diagrammi di Schoeller-Berkaloff con la composizione chimica media delle due “famiglie” di acque sotterranee flegree (in ordinata i valori sono in meq/l); cfr. testo.

della Campania, 2004).

Ad est della dorsale Camaldoli-Posillipo il grosso dei materiali che si incontra in affioramento (o in perforazione) è costituito dal TGN (lapideo o nella *facies* incoerente) con a tetto le piroclastiti dei vulcani intracalderici ed alla base formazioni tufacee più antiche (*Tufi antichi Auct.*, *Ignimbrite Campana Auct.*) e/o le *piroclastiti grossolane* (cfr. Sezioni in Autorità di Bacino Nord-occidentale della Campania, 2004). La morfologia di tutti questi materiali è collinare, ma, con brusche rotture di pendenza legate a fattori strutturali, si passa verso sud ad una piana costiera ed alla Valle del Sebeto, verso sud-est. Qui si ritrovano i materiali precedenti varia-

mente ribassati, erosi e ricoperti da depositi piroclastici rimaneggiati.

Malgrado l'articolazione geologica del territorio, i dati piezometrici (Fig. 3) indicano che le acque di infiltrazione meteorica concorrono ad alimentare una *falda di base* estesa a tutta l'area flegrea (Corniello & Nicotera, 1982; Celico et al., 1991; Rolandi & Stanzione, 1993; Autorità di Bacino Nord-occidentale della Campania, 2004). La falda presenta un alto nella zona di Marano-Calvizzano ed un deflusso radiale rispetto a tale centro; recapita a mare lungo la linea di costa, mentre altrove dà origine a travasi sotterranei verso la Piana Campana.

Nella zona sud-occidentale, la falda affiora in corrispondenza del

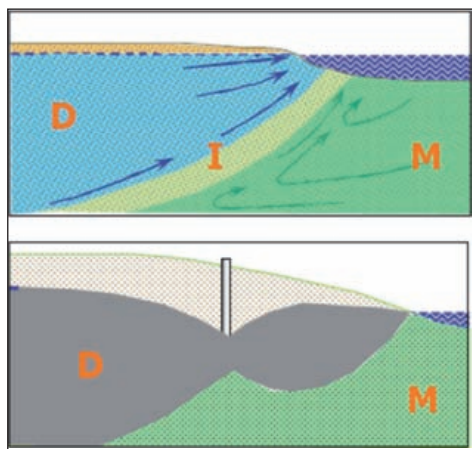


Fig. 5 – Rapporto acqua di falda (D) - mare (M); I: interfaccia. Lo schema in basso mostra l’attivazione della contaminazione marina come conseguenza di forti emungimenti.

lago d’Averno prima di raggiungere il mare per il tramite del lago Lucrino e p.p. attraverso un canale di scarico superficiale. Anche nel settore costiero occupato dal lago Fusaro le acque di falda trovano recapito (prima del mare) in questo bacino lacustre. E’ verosimile che ciò accada anche per il lago Miseno, ma qui mancano dati piezometrici di riferimento. Nella fascia costiera estesa tra Licola e Varcaturro si ha infine l’affioramento della falda sia in maniera diffusa che

attraverso diverse sorgenti (Nicotera, 1959); la portata globale (stimata intorno ai 200 l/s) è raccolta dal collettore di Varcaturro e trasferita a mare tramite idrovora.

Considerando l’assetto piezometrico su un areale più vasto, si nota come l’alto flegreo determini la deviazione del flusso idrico che interessa la Piana Campana limitrofa alle colline flegree (Fig. 3). Ciò di fatto comporta che solo nelle aree periferiche flegree si verifica la commistione con le acque della Piana, mentre altrove vengono conservate le caratteristiche chimiche peculiari degli acquiferi flegrei.

1.2 Caratteristiche idrogeochimiche

Queste ultime sono influenzate da più fattori:

- natura litologica degli acquiferi
- interazione (naturale e/o antropica) con l’acqua marina
- apporti endogeni.

Natura litologica degli acquiferi

L’analisi critica delle numerose analisi chimiche disponibili rivela che nelle acque sotterranee flegree possono essere identificate due “famiglie” i cui profili chimici sono riportati in Figura 4. Il primo (diagramma a) si riferisce ad acque distribuite per lo più alla “periferia” dell’area flegrea, mentre l’altro è

Tab. 1 – Caratteristiche salienti delle acque rappresentate nei diagrammi a e b.

Conducibilità	$\mu\text{S}/\text{cm}$	a	b
durezza	$^{\circ}\text{F}$	27,4	10,1
SO_4 / Cl		1,1	0,6
$\text{Na}+\text{K} / \text{Cl}$		3,0	3,0
Na / K		3,7	9,9
Mg / Ca		0,3	0,4
Cl / HCO_3		0,3	0,7
Na / Ca		1,1	8,0
$(\text{Ca}+\text{Mg}) / (\text{Na}+\text{K})$		1,1	0,2

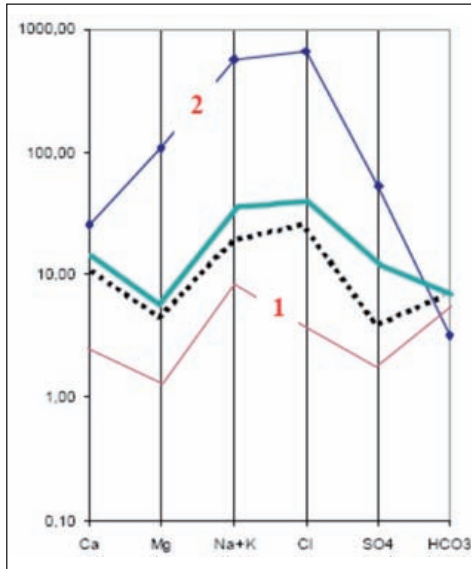


Fig. 6 – Evoluzione chimica (spezzate in puntinato ed in verde) di un'acqua di falda flegrea (profilo 1) per incremento della contaminazione marina; profilo 2: acqua di mare; valori in meq/l (elaborazione da analisi in Lambertini & Esposito, 1960).

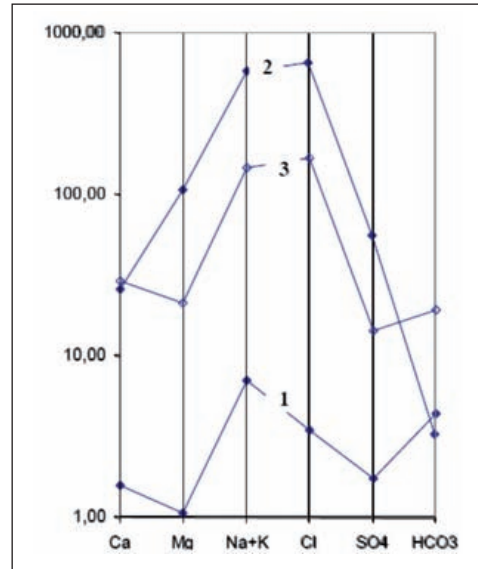


Fig. 7 – Il grafico n. 3 deriva dal mescolamento delle acque n. 1 (acqua di falda flegrea) e n. 2 (mare) e dal contributo di CO₂ di origine endogena (cfr. testo); valori in meq/l.

quello che rappresenta il chimismo più "tipico" dell'area (cfr. anche Corniello et al., 1990; Corniello et al., 2000).

Le differenze tra le due famiglie (Tab. 1) indicano infatti che le prime, caratterizzate da maggiore durezza e da un più elevato rapporto tra alcalino terrosi/alcalini, risentono della commistione con la falda della Piana, a sua volta influenzata dai travasi sotterranei con origine nei rilievi carbonatici ad essa contermini verso est (Fig. 3). Le acque più tipicamente flegree (b) sono invece relativamente più saline e ricche di alcalini.

Interazione (naturale e/o antropica) con l'acqua marina ed apporti endogeni

Le acque sotterranee flegree risentono in vari misura dell'influenza del mare che di fatto limita l'area di interesse ad ovest ed a sud. Come è noto, nelle zone costiere permeabili, l'acqua di falda galleggia su quella marina, più densa, che invade l'acquifero (Fig. 5). Il passaggio tra i due liquidi avviene gradualmente, attraverso una zona di diffusione (o di *transizione*) a salinità crescente verso il basso, detta *interfaccia*, peraltro soggetta a movimenti verticali legati ad oscilla-

zioni del livello marino e della falda. La profondità dell'interfaccia (H_i) dipende in larga misura dalla quota della falda sul livello del mare (H_p) e dalla densità dei due liquidi e può essere stimata con la legge di Ghyben-Herzberg:

$$H_i \approx 37 \cdot H_p$$

o valutata misurando, in una perforazione, la variazione in profondità della conducibilità od ancora con indagini geo-elettriche.

L'effetto della contaminazione marina indotta sulle acque di falda flegrea da un pompaggio spinto e prolungato (Fig. 5) è rivelato, in un caso reale, dalla Figura 6. Questa evidenza, nettamente, come il profilo di un'acqua flegrea (profilo 1) vada, nel tempo, evolvendo verso quello del mare (profilo 2) al crescere della contaminazione (si veda l'andamento sub-parallelo delle spezzate Mg-alcini, alcalinocloruri, cloruri-solfati).

Il grafico di Figura 7 ad un primo esame sembra assai simile al precedente. Esso rivela invece l'influenza di un ulteriore fattore rispetto a quello marino: lo evidenziano gli alti valori dello ione HCO_3 , ed in parte anche del Ca, troppo elevati per essere attribuibili solo al mescolamento delle due acque di partenza (cioè delle acque a cui competono i profili 1 e 2). L'andamento del profilo 3, tenuto conto del vulcanismo ancora attivo dell'area, può

essere spiegato con un significativo apporto profondo di CO_2 che raggiungerebbe la superficie per il tramite di discontinuità tettoniche.

Nel contesto delineato, la falda di acqua dolce (sostenuta da quella marina) riceverebbe apporti fluidi profondi (anche ad elevata temperatura) e particolarmente ricchi in CO_2 ; questi apporti disturberebbero la stratificazione salina tra i due corpi idrici sovrapposti causando, in quello più alto, una contaminazione marina la cui importanza sarebbe legata all'entità degli apporti ed all'eventuale regime di utilizzo della falda.

Al riguardo è importante sottolineare altre due circostanze:

a) il profilo 3 di Figura 7 presenta una quasi totale identità con acque termali delle zone di Bagnoli (Terme Tricarico) e Agnano (Terme Sprudel), rivelando così un meccanismo genetico sostanzialmente analogo;

b) tutte le acque termo-minerali della zona flegrea ricadono in un areale delimitato dalla caldera del Tufo Giallo Napoletano (un'altra area mineralizzata – zona di M.te Echia – si ritrova nell'ambito della città di Napoli; Corniello et al., 2000).

D'altro canto, in contesti geologici diversi (massicci carbonatici dell'Appennino) l'origine di acque mineralizzate (es.: Lete, Telesse, Triflisco etc.) può essere ricondotta parimenti all'influenza di apporti

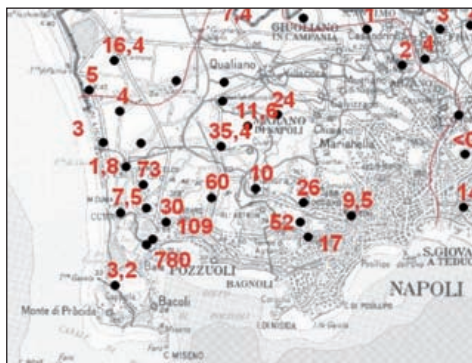


Fig. 8 – As (in $\mu\text{g/l}$) in acque di falda flegree (Autorità di Bacino Nord-occidentale della Campania, 2004).



Fig. 9 – Punti di determinazione dell'alluminio (da Valentino & Stanzione, 2003)



Fig. 10 – Fluoruri (in $\mu\text{g/l}$) in acque di falda flegree (Autorità di Bacino Nord-occidentale della Campania, 2004).

profondi di CO_2 (Corniello & de Riso, 1986; Corniello, 1988, 1994).

La ricchezza in CO_2 nelle acque sotterranee, oltre ad aumentare il contenuto in HCO_3 nelle acque di falda, creerebbe anche, nel sottosuolo, un ambiente favorevole alla messa in soluzione di sostanze quali Fe e Mn.

L'importanza dei disturbi vulcano-tettonici presenti nel sottosuolo flegreo per la risalita dei fluidi profondi è suffragata, oltre che dal precedente punto b), anche dagli studi condotti nell'ex area industriale di Bagnoli (Celico et al., 2001; Bagnoli Futura S.p.A., 2002; Corniello & Pirozzi, 2009). Qui infatti è stato possibile evidenziare come gli anomali tenori in Fe e Mn osservati (come pure in As, solfati e cloruri e gli alti livelli termici) fossero difficilmente riconducibili a contaminazione antropica ma piuttosto correlabili ad importanti direttrici tettoniche locali.

Come già detto, e come indicano la Figura 8 e numerosi dati di letteratura (Brondi et al., 1986; Celico et al., 2001; Valentino & Stanzione, 2003, Autorità di Bacino Nord-occidentale della Campania, 2004; ARPA, 2005), l'arsenico supera sovente i limiti fissati per le acque potabili ($10 \mu\text{g/l}$ – parte B del D. Lgs. 31/2001) nell'ambito della zona delimitata dalla caldera del Tufo Giallo Napoletano.

Nella stessa zona, la Nota di Valentino & Stanzione (2003) segnala altresì la presenza dell'Al in

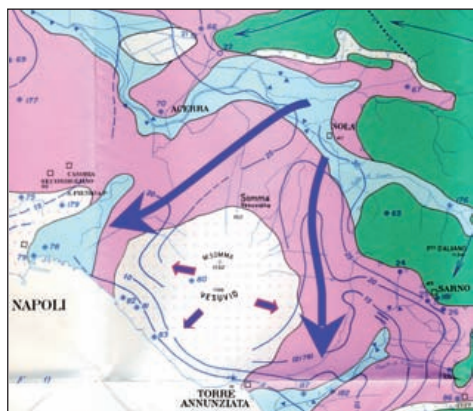


Fig. 11 – Carta idrogeologica del Somma Vesuvio (da Budetta et al., 1994 mod.). In azzurro le curve piezometriche (in m s.l.m.).

concentrazioni superiori ai 200 µg/l (cfr. parte C del D. Lgs. 31/2001). Dalla Figura 9 e dalle tabelle allega- te al lavoro si ricava che:

- l'alluminio si ritrova in quantità significative solo in aree al di sotto di S. Vito
- ove presente, l'Al ha di norma valori intorno a qualche centinaio di µg/l;

- valori particolarmente elevati si osservano nella zona di Baia (fino a 1500 µg/l, ma associati ad un TDS di 36 g/l e ad una temperatura di 72°C) ed alla Solfatara di Pozzuoli (fino a 65000 µg/l con TDS di 7.8 g/l e temperatura di 85°C).

Quasi sempre infine nelle acque di falda flegrea viene superato, per il fluoruro, il limite dei 1500 µg/l (Fig. 10; cfr. parte B del D. Lgs. 31/2001).

2. SOMMA – VESUVIO

2.1 Lineamenti idrogeologici

Il vulcano del Somma-Vesuvio si erge con netta evidenza morfologica a sud-est di Napoli ed è delimitato dal mare (settore sud-occidentale) e, altrove, dalla Piana Campana.

I versanti settentrionali del vulca-

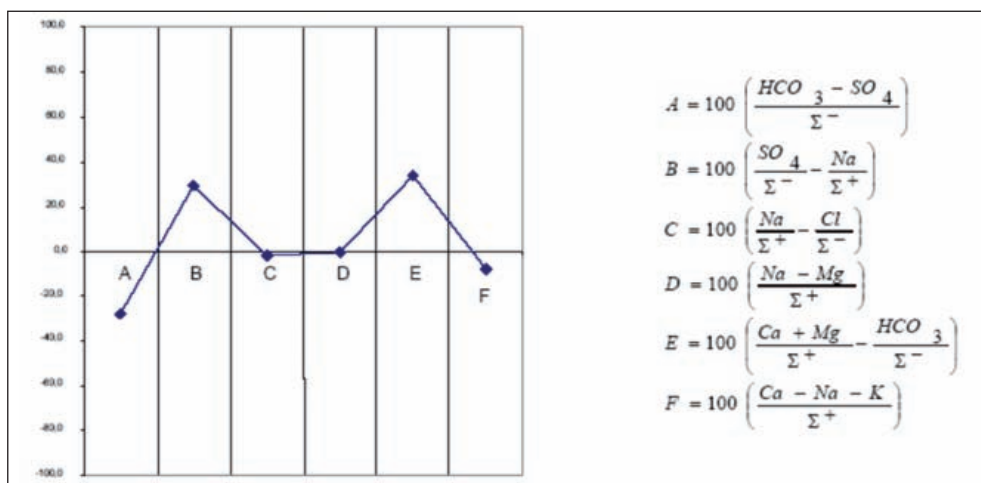


Fig. 12 – Profilo chimico più frequente per acque sotterranee del Somma-Vesuvio campionate nelle zone A di Figura 13; grafico di D'Amore et al. (1983); elaborazioni in meq/l.

no corrispondono al M.te Somma, la porzione più antica dell'edificio vulcanico; è noto infatti (CNR, 1987; Andronico et al., 1995) che il primitivo M.te Somma, a seguito di successivi collassi calderici ha visto sviluppare al suo interno il cono del Vesuvio. Questi collassi hanno riguardato maggiormente il settore meridionale della caldera con la conseguenza di provocare (Bellucci et al., 1993):

a) una dissimmetria litologica tra il settore settentrionale del Somma (lavico-piroclatico) e quello del Vesuvio (prevalentemente lavico);

b) il progressivo estinguersi, nel settore a nord, dell'attività eruttiva che è invece continuata nell'altro e che ancora oggi, manifestandosi soprattutto con venute gassose (essenzialmente CO₂), apporti idrici profondi e flussi di calore, conferisce alle acque sotterranee vesuvia-

ne connotazioni specifiche (Nota d'Elogio, 1979; Bellucci et al., 1993; Celico et al., 1998). Tali apporti sono concentrati in fasce arealmente contenute (zone di Torre del Greco, Torre Annunziata, Terzigno).

I versanti del vulcano presentano una geologia assai diversificata in quanto i terreni sono derivati da effusioni laviche, ma anche dai numerosi eventi esplosivi di vario tipo (pliniano, sub-pliniano, a condotto aperto) che hanno interessato il vulcano (Andronico et al., 1995; Bellucci, 1998; Cioni et al., 1999; Santacroce et al., 2003).

In ogni caso, l'articolazione litologica non trova riscontro a livello idrogeologico: sui versanti non si ha, infatti, l'emergenza di falde idriche significative e le acque di infiltrazione pluviometrica concorrono ad alimentare una *falda di base*. Ciò si deve sia all'alta permeabilità delle lave, sia al fatto che le stesse piroclastiti non creano soluzioni di continuità idrogeologica: giocano in tal senso la granulometria spesso "grossolana", nonché la discontinuità e la variabilità di spessore dei depositi più fini. La falda di base origina un flusso sotterraneo, pressoché radiale, uscente dal vulcano con recapiti finali, attraverso travasi sotterranei, nel mare e nelle piane limitrofe (Fig. 11).

L'entità globale dei deflussi sotterranei dal vulcano è dell'ordine di 1.6 mc/s a fronte di un'alimentazione pluviometrica stimata in circa

Tab. 2 – Prelievi idrici totali (x 10⁶ m³), nel 2007, dai campi pozzi vesuviani (dati GORI).

Campo Pozzi	Comune	2007
Pugliano	Ercolano	3,3
Tartaglia	San Giorgio a C.	4,3
Pittore		0,2
Casaliciello	Pollena Trocchia	0,5
M. D'Africa	Torre del Greco	0,1
Murata	Cercola	2,0
R.Trieste	Somma V.	0,3
DeSiervo		2,4
Mosca		0,2
Totale		13,4



Fig. 13 – Zone idrochimiche omogenee (cfr. testo).

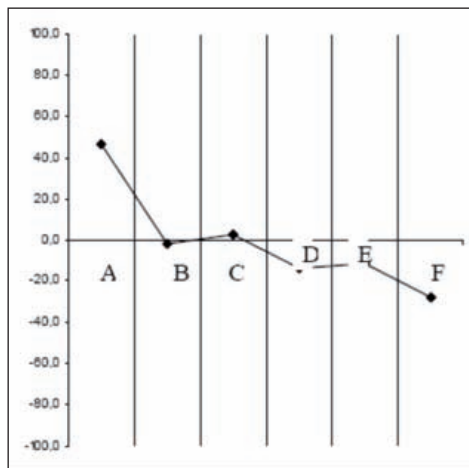


Fig. 14 – Profilo chimico più frequente per acque campionate nella zona gialla di Figura 13. Il grafico utilizzato è quello di Figura 12.

1.2 mc/s: un deficit che in effetti verrebbe sanato da apporti (dell'ordine di 0.4 – 0.5 mc/s) di acque profonde (Celico et al., 1998).

La falda di base è intercettata da numerosi pozzi gestiti dalla GORI SpA (Tab. 2), peraltro causa di estese deformazioni dell'assetto piezometrico locale.

2.2 Caratteristiche idrogeochimiche

Sotto il profilo chimico le acque sotterranee del Somma-Vesuvio sono influenzate in primo luogo dalla natura petrografica delle

rocce serbatoio (lave e piroclastiti che variano da tefriti fonolitiche a leuciti tefritiche) (Bellucci et al., 1993; Celico et al., 1994; 1998). Nella piana a nord dell'edificio vulcanico le acque sotterranee sono più saline e con più elevati valori in Ca e HCO₃ per l'influenza di acque derivanti dal travaso dai massicci carbonatici che si ergono ad est.

Il profilo chimico più frequente per acque campionate nei settori settentrionale ed occidentale (p.p.) del vulcano è quello di Figura 12, mentre nella Tabella 3 sono riportate alcune loro caratteristiche salien-

Tab. 3 – Talune caratteristiche chimiche delle acque delle zone A di Figura 13 (valori in meq/l); AT/A: alcalino-terrosi/alcalini.

SO ₄ /Cl	Na+K/Cl	Na/K	Mg/Ca	Cl/HCO ₃	Na/Ca	AT/A
0,8	2,0	1,1	0,6	0,4	0,7	1,3

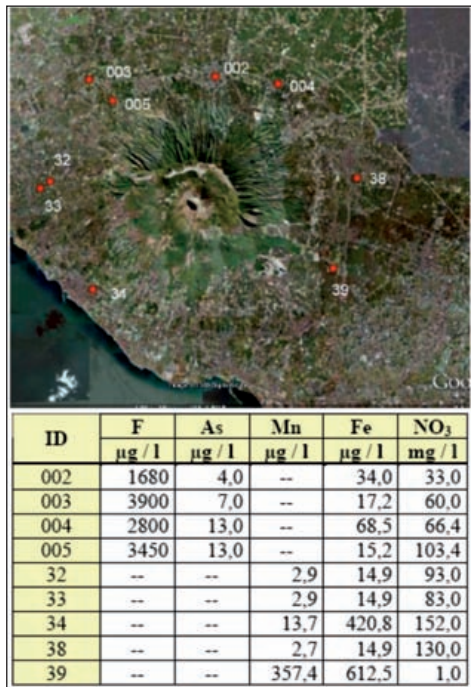


Fig. 15 – Punti di campionamento e dati sulle acque di falda vesuviane (da: Autorità di Bacino Nord-occidentale della Campania, 2004; Autorità di Bacino del Sarno, 2004); -- dato non disponibile.

Mn (parte C del D. Lgs. 31/2001) – valore di parametro: 50 µg/l

Fe (parte C del D. Lgs. 31/2001) – valore di parametro: 200 µg/l

NO₃ (parte B del D. Lgs. 31/2001) – valore di parametro: 50 mg/l

As (parte B del D. Lgs. 31/2001) – valore di parametro: 10 µg/l

ti (le acque della zona occidentale p.p. si distinguono dall'altra soprattutto per una più alta conducibilità e per un rapporto Mg/Ca ~ 1)

La zona in giallo in Figura 13 risulta ancora interessata da apporti gassosi profondi (essenzialmente CO₂) e da anomalie termiche (nella falda si registrano temperature fino a 25 °C). Tali apporti, concentrati in fasce areal-

mente contenute nelle zone di Torre del Greco, Torre Annunziata, Terzino, quasi sempre ben si correlano a riconosciute discontinuità tettoniche regionali (Bellucci et al., 1993; Celico et al., 1994, 1998). Qui nelle acque di falda diventa prevalente lo ione bicarbonato, i valori del TDS sono assai elevati (1000 - 4000 mg/l) ed il contenuto in CO₂ oscilla tra 80 e 350 mg/l; il profilo chimico più frequente è infine quello di Figura 14.

Comune a tutte le acque del vulcano è poi la presenza di fluoruri (dovuti alla natura vulcanica degli acquiferi) i cui tenori sono compresi tra 1.9 e 3.0 mg/l con punte fino a 5.3 nelle zone ove sono le acque più mineralizzate (Bellucci et al., 1993; Marati, 2008). In corrispondenza di queste si registrano i valori più elevati anche relativamente a ferro, durezza e SiO₂.

Nella Figura 15 sono infine riportati taluni dati caratterizzanti le acque vesuviane da cui risulta anche un diffuso inquinamento antropico della falda evidenziato dagli alti contenuti in nitrati.

3. CONCLUSIONI

Le considerazioni fin qui sviluppate indicano che in settori della zona flegrea s.s. (area all'interno della caldera del Tufo Giallo Napoletano), nell'ambito della città di Napoli (zona di M.te Echia) ed in

ampi settori a sud e sud-ovest del Somma-Vesuvio possono rinvenirsi acque di falda con caratteristiche chimiche assai peculiari (alti contenuti di CO₂, As, Fe, Mn, F etc.) riconducibili all'assetto geologico locale (almeno nei limiti di concentrazione che l'ampia letteratura ormai disponibile riporta).

Tutto ciò deve suggerire di procedere con la dovuta cautela in studi che comportano la valutazione della *concentrazione di fondo naturale*, quali quelli per siti contaminati (D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.) o finalizzati alla definizione dello *stato qualitativo* delle falde (D. Lgs. 30/2009).

Bibliografia

- AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI NAPOLI – SETTORE AMBIENTE (2003) – *Secondo rapporto sullo stato dell'ambiente*.
- ANDRONICO D., CALDERONI G., CIONI R., SBRA NA A., Sulpizio R., Santacrose R. (1995) - *Geological map of Somma-Vesuvius volcano*. Per. Mineral. 64-8, 77-78.
- ARPA (2005) - *Presenza e diffusione dell'arsenico nel sottosuolo e nelle risorse idriche italiane*. I quaderni dell'ARPA.
- AUTORITÀ DI BACINO NORD-OCCIDENTALE DELLA CAMPANIA (2004) - *Piano di Tutela delle Acque*. Il contributo al Piano di Tutela delle Acque della Regione Campania.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL SARNO (2004) - *Piano Stralcio di Tutela delle Acque* (art. 17 L. 183/89, L.R. 9/84, D. Lgs. 152/99 e s.i.m.).
- BAGNOLI FUTURA S.p.A. (2002) - *Piano di caratterizzazione Bagnoli-Coroglio. Relazione geologica, idrogeologica e geo-chimica*. Dicembre 2002.
- BELLUCCI F. (1994) - *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana*. Boll. Soc. Geol. It., 113.
- BELLUCCI F. (1998) - *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi effusivi ed esplosivi nel sottosuolo dell'area del Somma-Vesuvio*. Boll. Soc. Geol. It., 117.
- BELLUCCI F., CORNIELLO A., DE RISO R. (1993) - *Geology and Hydrogeology of the Somma-Vesuvio Volcano (Southern Italy)*. Memoires of the XXIV Congress of IAH, Oslo.
- BRONDI M., DALL'AGLIO M., GHIARA E., GRIGNANI R. (1986) - *Distribuzione degli elementi minori ed in traccia di interesse tossicologico e nutrizionale nelle acque italiana (origini naturali ed antropiche)*. Acqua Aria, 1986.
- BUDETTA P., CELICO P., CORNIELLO A., DE RISO R., DUCCI D., NICOTERA P. (1994) - *Carta idrogeologica della Campania 1/200.000 e relativa memoria illustrativa*. Atti IV Geoenvironment International Congress: Soil and Groundwater Protection, 2, 565-586, Geda, Torino.
- C.N.R. (1987) - *Phlegrean Fields*. Quaderni della Ricerca Scientifica, 9.
- C.N.R. (1987) - *Somma-Vesuvius*. Quaderni della Ricerca Scientifica, 8.
- CELICO F., CELICO P., GHIARA M.R., PISCOPO V., STANZIONE D., AQUINO S. (1994) - *Caratteristiche geochemiche delle acque sotterranee dell'area del Somma-Vesuvio (Campania)*. Geologica Romana, 30, 709-724.
- CELICO F., ESPOSITO L., MANCUSO M. (2001) - *Complessità idrodinamica ed idrochimica dell'area urbana di Napoli: scenari interpretativi*. Geologia Tecnica ed Ambientale 2/2001.
- CELICO P., DE VITA P., NIKZAD F., STANZIONE D., VALLARIO A. (1991) - *Schema idrogeologico e idrogeochimico dei Campi Flegrei (NA)*. Atti I Conv. Naz. Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Ricerca scient. ed educazione permanente - Univ. Milano, 93, 287-296, Milano.

- CELICO P., STANZIONE D., ESPOSITO L., GHIARA M.R., PISCOPO V., CALIRO S., LA GIOIA P. (1998) - *Caratterizzazione idrogeologica e idrogeochimica dell'area vesuviana*. Boll. Soc. Geol. It., 117.
- CIONI R., SANTACROCE R., SBRANA A. (1999) - *Pyroclastic deposits as a guide for reconstructing the multi-stage evolution of the Somma-Vesuvius Caldera*. Bull. Volcanol., 60, 207-222.
- COMUNE DI NAPOLI - SERVIZIO URBANISTICA (1993) - *Piano regolatore di Napoli: indagini geologiche per l'adeguamento del P.R.G. alla legge regionale 7-1-1983 n. 9 in difesa del territorio dal rischio sismico*. Relazione inedita.
- CORNIELLO A. (1988) - *Considerazione idrogeologiche su talune acque minerali e termominerali della Provincia di Caserta*. Mem. Soc. Geol. It., 41.
- CORNIELLO A. (1994) - *Lineamenti idrogeochimici dei principali massicci carbonatici della Campania*. Mem. Soc. Geol. It., 51.
- CORNIELLO A., DE RISO R. (1986) - *Idrogeologia ed idrochimica delle sorgenti dell'Agro Telesino (Benevento)*. Geologia Applicata ed Idrogeologia, 21, 53-84.
- CORNIELLO A., DE RISO R., DUCCI D. (1990) - *Idrogeologia ed idrogeochimica della Piana Campana*. Mem. Soc. Geol. It., 45.
- CORNIELLO A., DUCCI D., NICOTERA P. (2000) - *Le acque minerali della città di Napoli ed il pozzo di Palazzo Reale: aspetti storici, geologici ed idrogeologici*. Convegno GEOBEN, Torino, giugno 2000.
- CORNIELLO A., NICOTERA P. (1982) - *Geologia, Idrogeologia e Idrochimica della zona sud-occidentale dei Campi Flegrei*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 16.
- CORNIELLO A., PIROZZI F. (2009) - *Le caratteristiche idrogeochimiche dell'area occupata dallo stabilimento CEMENTIR-ITALIA (Bagnoli - Napoli)*. Relazione inedita.
- D'AMORE F., SCANDIFFIO G., PANICHI C. (1983) - *Some observations on the chemical classification of ground water*. Geothermics, 12, Pergamon Press.
- DI VITO M., ISAIA R., ORSI G., SOUTHON J., DE VITA S., D'ANTONIO M., PAPPALARDO L., PIOCHI M. (1999) - *Volcanism and deformation since 12.000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy)*. J. Volcanol. Geotherm. Res., 91, 221-246.
- ISPRA (2009) - *Protocollo per la definizione dei valori di fondo per le Sostanze Inorganiche nelle acque sotterranee*.
- LAMBERTINI D., ESPOSITO A.M. (1960) - *Le acque del sottosuolo dei Campi Flegrei utilizzate a scopo industriale*. Boll. Soc. Naturalisti in Napoli, vol. LXIX.
- MARATI G.P. (2008) - *La crisi idrica dell'acquedotto regionale ed i problemi qualitativi dell'acqua erogata da GORI nell'area vesuviana*. Acqua e Territorio, anno IV, 16.
- NICOTERA P. (1959) - *Ricerche idrogeologiche nel distretto di bonifica di Licola -Varcaturo (Napoli)*. Geotecnica, 1/1959.
- NOTA D' ELOGIO E. (1979) - *Le acque minerali e termali della provincia di Napoli*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., 15.
- ORSI G., DI VITO M., ISAIA R. (1998) - *Volcanics Hazards and Risk in the Parthenopean Megacity*. CITIES ON VOLCANOES International Meeting (Roma e Napoli).
- ROLANDI G., STANZIONE D. (1993) - *Aspetti idrogeologici e idrogeochimici nei Campi Flegrei settentrionali nell'area compresa tra i vulcani Astroni e Pisani*. Società Nazionale di Scienze Lettere e Arti in Napoli - serie IV - vol. 60.
- SANTACROCE R., SBRANA A., ANDRONICO A., ARRIGHI S., BENVENUTI E., CIONI R., DI VITO M., GURIOLI L., LUPERINI W., MARIANELLI P., Sulpizio R., ZANCHETTA G. (2003) - *Carta Geologica del Vesuvio, 1/15.000*. Progetto CARG, Servizio Geologico Nazionale, CNR.
- VALENTINO G.M., STANZIONE D. (2003) - *Source processes of the thermal waters from the Phlegraean Fields (Naples, Italy) by means of the study of the selected minor and trace elements distribution*. Chemical Geology, 154, 245-274.