

Hydrogeological Field Trip

not peer reviewed



5° Congresso Nazionale di Idrogeologia

1 - 3 dicembre 2021

Complesso SS Marcellino e Festo - Napoli

Le acque sotterranee nelle aree a Est e a Sud di Napoli

Groundwater in the areas East and South of Napoli

Allocca V., Coda S., Corniello A., De Vita P., Ducci D., Fabbrocino S., Forte G., Petrosino P

Introduzione

Nella città di Napoli sono tanti i punti panoramici che incantano i visitatori; tra questi uno dei più significativi è di certo il belvedere della collina di Pizzofalcone, un rilievo che marca il limite orientale della Riviera di Chiaia.

Di qui l'occhio spazia su un orizzonte amplissimo che va dalla Riviera anzidetta, al Castel dell'Ovo, al Vesuvio e, più lontano, alla Penisola Sorrentina, luoghi che da sempre hanno colpito l'immaginario collettivo.

Questa breve Guida vuol rendere *visibile l'invisibile*, cioè focalizzare l'attenzione di chi ammira quei luoghi sulle acque sotterranee che, di quei luoghi, permeano il sottosuolo, lo attraversano e che, talora, presentano caratteristiche minerali poco note.

La Guida affronta l'argomento in maniera piana e sintetica ma è anche corredata da una ricca e aggiornata bibliografia. Può così risultare utile tanto a chi abbia poca dimestichezza con le problematiche delle acque sotterranee quanto anche a chi, più addentro alla materia, voglia approfondire specifici aspetti dei vari siti descritti.

Si trattano qui, quindi, le caratteristiche idrogeologiche dei principali contesti osservabili dalla collina di Pizzofalcone che, più in dettaglio, sono:

- l'area urbana di Napoli ('i' in Fig.1), con focus sul M.te Echia e sul settore del Centro Storico;
- la piana ad Est di Napoli ('ii' in Fig.1);
- il Somma-Vesuvio ('iii' in Fig.1);
- la Penisola Sorrentina (M.ti Lattari - 'iv' in Fig.1).

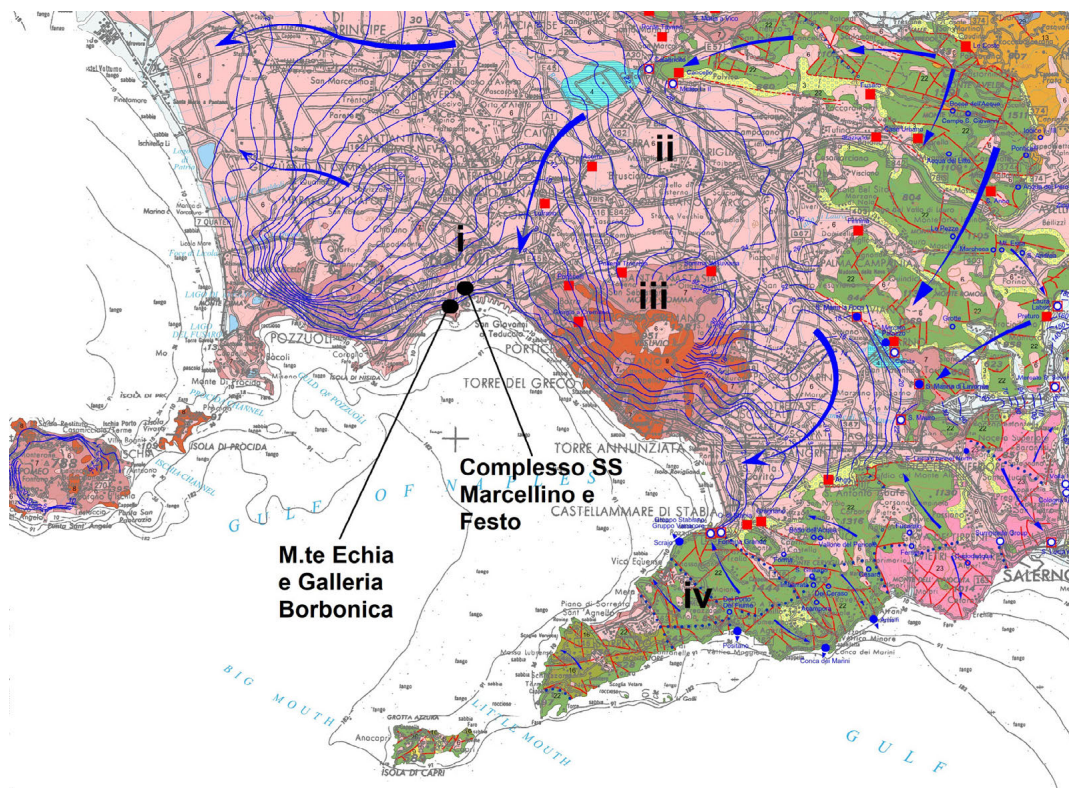


Fig. 1 - Stralcio della Carta Idrogeologica dell'Italia meridionale (De Vita et al. 2018).

Fig. 1 - Extract from the Hydrogeological Map of Southern Italy (De Vita et al. 2018).

Lineamenti idrogeologici dell'area urbana di Napoli

Sulla base della letteratura idrogeologica (Celico et al. 2001; Allocca et al. 2007; Corniello e Ducci 2019; De Vita et al. 2018), l'area urbana di Napoli può essere suddivisa nelle seguenti 3 aree:

- a. l'area occidentale che comprende le piane piroclastico-alluvionali e palustri di Agnano e Bagnoli e la collina di Posillipo. È caratterizzata da un assetto stratigrafico-strutturale assai variabile (Fig. 2) da porre in relazione con le caratteristiche dei terreni presenti (depositi alluvionali, piroclastiti sciolte e lapidee) e con la presenza di numerose lineazioni vulcano-tettoniche. Ne deriva uno schema di circolazione idrica sotterranea per falde sovrapposte, ma tra loro interconnesse sia per l'interdigitazione di depositi a vario grado di permeabilità che tramite flussi verticali di drenanza. L'area di ricarica principale corrisponde alla zona compresa tra l'abitato di Marano ed il retroterra di

- Pozzuoli; il recapito delle acque sotterranee è nel settore costiero compreso tra Pozzuoli e la piana di Bagnoli (Fig. 3);
- b. il settore centrale è delimitato a W dalla collina di Posillipo e comprende le colline dei Camaldoli, Capodimonte e Vomero-M.te Echia nonchè il Centro Storico di Napoli. Qui l'acquifero comprende tufi (ascrivibili principalmente all'eruzione flegrea del Tufo Giallo Napoletano - 14 kyr, b.p.) e depositi piroclastici (Fig. 2 e Fig. 3) a cui sono intercalati sedimenti marini in prossimità della fascia costiera;
- c. il settore orientale corrisponde alla zona bassa della Valle del fiume Sebeto; l'acquifero è caratterizzato da una forte eterogeneità, essendo costituito da piroclastiti flegree e vesuviane, più o meno rimaneggiate in ambiente alluvionale, a cui sono intercalati, localmente, sedimenti marini e palustri.

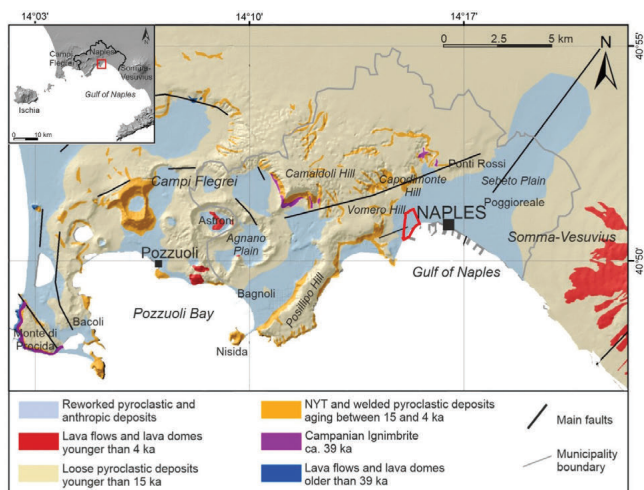


Fig. 2 - Carta geologica dei Campi Flegrei e dell'area urbana di Napoli (Petrosino et al. 2021).

Fig. 2 - Geolithological map of Phlaegrean Fields and urban area of Naples (Petrosino et al. 2021).

Lineamenti idrogeologici del M.te Echia

Il monte Echia è un modesto rilievo tufaceo che, dalle colline di S. Martino, si estende verso il mare fino allo scoglio di Castel dell'Ovo. Di fatto rappresenta uno spartiacque morfologico tra la Riviera di Chiaia (verso W) e la zona di P.za Municipio.

All'interno del M.te Echia, e negli immediati dintorni, diversi pozzi profondi hanno rinvenuto acque minerali, spesso sulfuree, bicarbonato-calciche o bicarbonato-alcaline e ricche di CO₂, del tutto assenti in altri settori della città. D'altro canto, prima della realizzazione dei pozzi, il carattere peculiare di questo settore cittadino era rivelato dalla presenza delle Sorgenti del Chiatamone (Fig. 4), acque sulfureo-ferruginose che venivano a giorno nei pressi del lungomare, nella zona ove è ora l'Albergo Continental. Queste sorgenti sono state attive fino al 1973, quando l'epidemia di colera ne determinò la chiusura.

Il Monte Echia, detto anche Pizzofalcone, è il remnant di un edificio vulcanico costruito da un'eruzione la cui età è

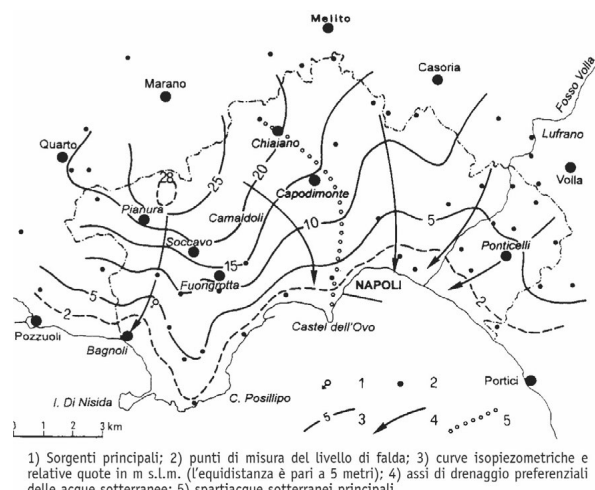


Fig. 3 - Curve di eguale livello della falda nell'area urbana di Napoli riferita al maggio 1997 (Celico et al. 2001).

Fig. 3 - Contours of groundwater level in the urban area of Naples for May 1997 (Celico et al. 2001).

controversa. La maggior parte degli autori, infatti, lo ritiene più antico dell'Ignimbrite Campana (ca. 40 ka b.p.) e parte di quei residui di antichi vulcani allineati lungo una direttrice che, partendo da Chiaia, raggiunge il corso Vittorio Emanuele (Isaia et al. 2016). Considerazioni basate per lo più su dati morfologici portano altri autori (Cole et al. 1994) a ritenere che Monte Echia sia invece un apparato più recente del Tufo Giallo Napoletano (datato ca. 15 ka b.p.).

I depositi sono essenzialmente costituiti da un tufo litificato di colore giallastro (ricco di cavità antropiche – Minin et al. 2013) composto essenzialmente da sottili livelli di cenere ricchi in lapilli. Le successioni alternano livelli planari con livelli a sand-waves, in cui sono frequenti le laminazioni incrociate. Nella parte alta dell'affioramento sono presenti orizzonti di lapilli grossolani, e con scarsa matrice, spessi alcune decine di centimetri (Fig. 5). L'intero deposito contiene blocchi con evidenti impronte da impatto, la cui analisi farebbe collocare il vent a mare a largo di Chiaia. Il meccanismo eruttivo ipotizzato è quello secondo il quale

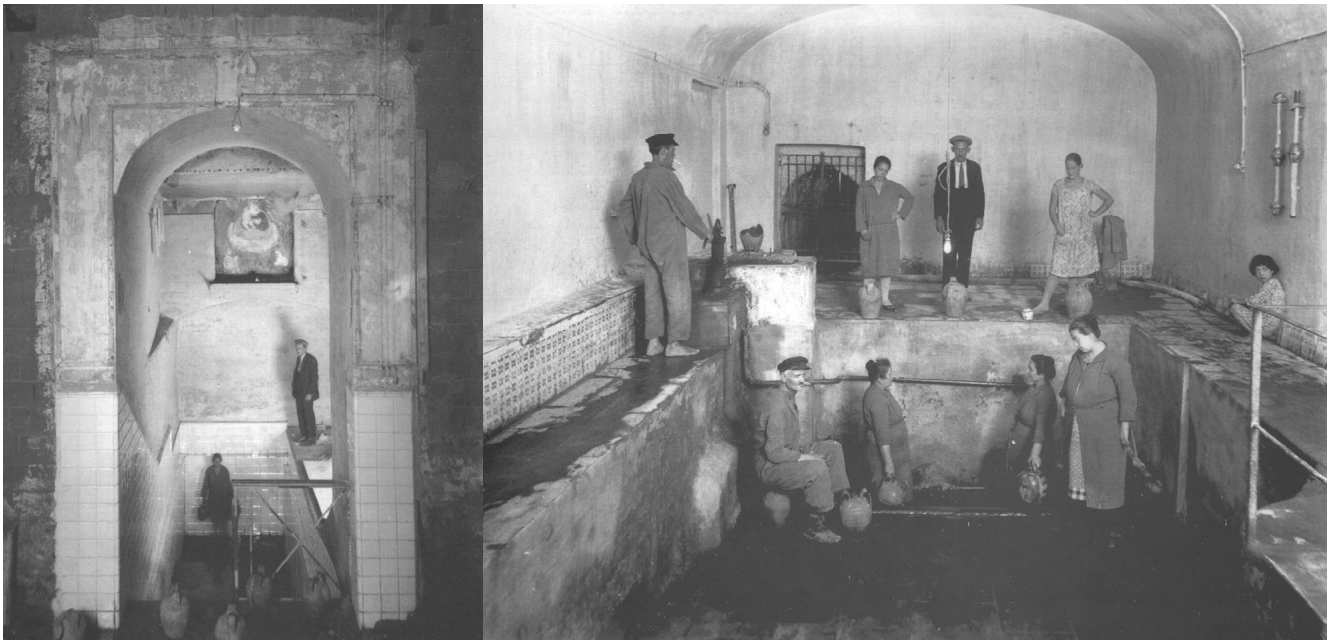


Fig. 4 - Sorgente del Chiatamone: interni; anni Trenta (da Arch. Troncone in Archivio Parisio 1998).

Fig. 4 - Chiatamone spring: inner area; 30s (by Arch. Troncone in Archivio Parisio 1998).

ad una prima fase freatomagmatica (che mise in posto le correnti piroclastiche diluite rappresentate dai livelli cineritici laminati o a stratificazione incrociata) è seguita una fase stromboliana, responsabile della messa in posto dei livelli di lapilli grossolani.

Al M.te Echia, al di sotto dei tufi giallastri seguono (verso il basso) piroclastiti sciolte e di grossa granulometria.



Fig. 5 - L'affioramento dei prodotti di Monte Echia sulla collina di Pizzofalcone.

Fig. 5 - Outcrop of Echia Mt. deposits on Pizzofalcone hill.

Nelle aree pianeggianti ai lati del M.te Echia, i dati disponibili (Fig. 6; Fig. 7 - Sez. c-c') indicano le stesse litologie presenti nel rilievo; tuttavia l'effetto di più fasi tettoniche (Caliro et al. 1997) ha portato i vari materiali ad occupare posizioni altimetriche diversificate, come ben evidenzia, ad esempio, il passaggio tufi/piroclastiti basali.

Nella zona di Palazzo Reale (dove di fatto è disponibile il dato stratigrafico più profondo - D'Erasmus 1931) le piroclastiti sottoposte ai tufi si ritrovano infatti a circa 230 m sotto il livello del mare, al M.te Echia sono invece a circa 80 m sotto il livello del mare mentre nella collina di Capodimonte si rinvengono al di sopra del livello marino (Fig. 7 - Sez. a-a').

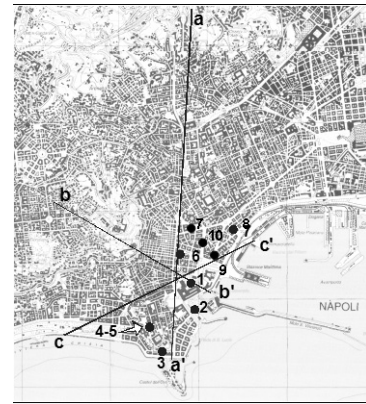


Fig. 6 - Ubicazione delle sezioni geologiche e dei punti di prelievo di acque sotterranee minerali e non (cfr. Tab. 1)

Fig. 6 - Location of geological cross-sections and sampling points for mineral and non-mineral groundwaters (cf. Tab. 1).

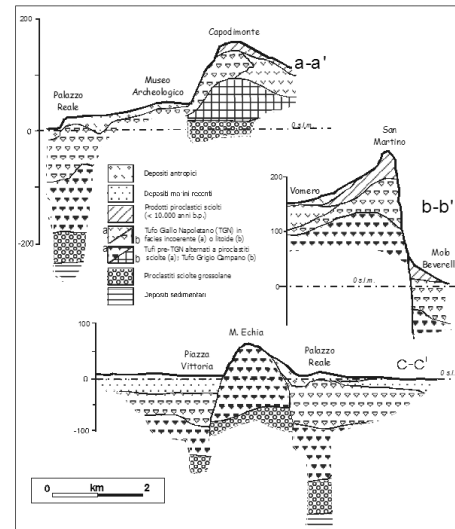


Fig. 7 - Sezioni geologiche (le tracce sono in Fig. 6) (Corniello et al. 2000).

Fig. 7 - Geological cross-sections (traces are in Fig. 6) (Corniello et al. 2000)

La circolazione idrica sotterranea nella zona di interesse, e al suo intorno, è nota da numerosi studi (cfr. bibliografia in Corniello e Ducci 2019) che hanno posto in evidenza una falda freatica, accolta prevalentemente nelle piroclastiti basali, che dalle colline muove verso il mare (Fig. 8).

In prossimità della costa, la presenza di significativi spessori di tufi s.l. (decisamente poco permeabili: $10^{-4} < T < 10^{-5}$ m²/s), la cui base è spesso al di sotto del livello della falda, determina la separazione delle acque sotterranee in due falde: una più superficiale e freatica nei materiali piroclastici e/o sedimentari a tetto dei tufi (ed in parte anche in questi) ed un'altra, confinata, nelle piroclastiti alla base dei tufi.

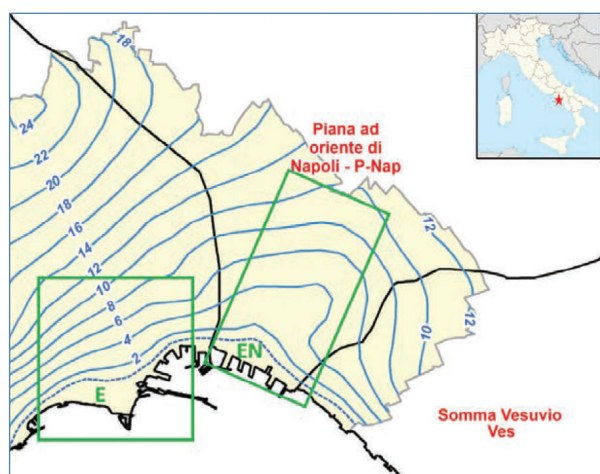


Fig. 8 - Settore orientale del Comune di Napoli (in giallo). E: Area di Monte Echia; EN: Piana a oriente di Napoli. In blu i livelli delle acque sotterranee nell'anno 2003 (m s.l.m.) (Corniello e Ducci 2019).

Fig. 8 - Eastern sector of the Municipality of Naples (in yellow). E: Area of Echia Mt.; EN: Plain east of Naples. In blue, the groundwater contours in 2003 (m a.s.l.) (Corniello et al. 2019).

Le caratteristiche chimiche della falda superficiale sono riassunte nella Tab. 1 (nn. 5-10). Si tratta di acque bicarbonato-alcaline, con residuo fisso medio di 780 mg/l e con un rapporto alcalino terrosi/alcalini medio pari a 0.5.

Diversi pozzi perforati nella zona del M.te Echia hanno invece intercettato acque minerali con caratteristiche nettamente diverse da quelle fin qui esaminate (nn. 1, 2, 4 di Fig. 6). Va tra l'altro ricordato che nella zona venivano a giorno le Sorgenti del Chiatamone sulfureo-ferruginose (n. 3 in Fig. 6). Tra questi pozzi, di particolare interesse è quello perforato nel giardino di Palazzo Reale per volere del Re Ferdinando II per sopperire alla deficienza di acque potabili nella città. La perforazione fu realizzata a percussione (da 1846 al 1859) utilizzando un macchinario fatto venire dalla Francia e venne approfondita fino a 465 metri dal p.c. Durante la perforazione furono incontrate acque artesiane con livello piezometrico ad alcuni metri sul l.m. (da 4 a 21.4 - D'Erasmus 1931). Le acque risultarono sulfuree e ferruginose e furono usate dalla popolazione come acque minerali. Acque con caratteristiche simili furono rinvenute anche in un altro pozzo perforato (sempre al tempo dei Borboni) in prossimità di Piazza Vittoria (Cangiano 1947; Lambertini e Mondelli 1961).

Cessato il loro utilizzo, venne a perdersi anche la memoria dell'uso di queste acque e la stessa posizione del pozzo all'interno dei giardini di Palazzo Reale era ormai solo approssimativamente nota.

Nei primi mesi del 1999 la fuoriuscita di acque ferruginose da una caditoia a griglia nei pressi del Palazzo Reale richiamò l'attenzione su questo antico manufatto e sui fenomeni idrominerali ad esso connessi. Le indagini svolte in tale circostanza portarono ad individuare la complessa struttura sotterranea (Fig. 9) che accoglieva la perforazione del 1846 (Corniello et al. 2000).

Tutte le acque minerali hanno caratteristiche chimiche simili come si evince dalla Tab. 1. Il tenore degli ioni

Tab. 1 - Caratteristiche salienti delle acque indicate in Fig. 6. I valori sono in meq/l, se non diversamente indicato; AT - alcalino-terrosi, A - alcalini. (a) Corniello et al. (2000); (b) Lambertini e Mondelli (1961); (c) Lambertini e Scorza (1956); (d) Meo (1952); (e) Comune di Napoli - Servizio Urbanistica (1993), Corniello e Ducci (2014).

Tab. 1 - Main characteristics of the waters indicated in Fig. 6. The values are in meq/l, unless otherwise indicated; AT - alkaline earth, A - alkaline. (a) Corniello et al. (2000); (b) Lambertini e Mondelli (1961); (c) Lambertini e Scorza (1956); (d) Meo (1952); (e) Comune di Napoli - Servizio Urbanistica (1993), Corniello e Ducci (2014).

n	Nome	DATA	CO ₂ mg/l	T °C	dH °F	TDS mg/l	pH	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	AT/A
1	Palazzo Reale (a)	giu-99			230	3505	6,7	20,0	2,3	25,3	23,4	14,2	0,7	56,5	0,2	2,2
2	Circ. Canottieri (b)	set-61	2640	17	260	5160		45,8	0,0	25,0	26,0	28,8	0,0	69,0	0,0	1,1
3	T. Chiatamone (b)	1938	1725					35,5	3,6	11,7	10,5	24,9	0,2	37,2	0,0	0,6
4	Gal. Vittoria min. (a)	1989	1180	19	192	4480	6,3	41,4	3,8	22,4	16,0	23,3	0,1	59,8	0,1	0,8
5	idem falda sup. (a)	1990	13	16	21	901	6,9	9,1	0,9	2,8	1,4	3,6	2,7	6,5	1,5	0,4
6	Via Roma (c)	1955	5	14	6	609	7,2	6,8	0,9	1,1	0,1	2,3	0,9	4,5	1,1	0,2
7	Via dei Fiorentini (d)	1952		15	6	566	7,9	6,4	0,8	1,0	0,1	2,2	0,7	4,5	0,9	0,2
8	n. 464 (e)	1992			21	1014		8,2	1,5	3,0	1,2	3,2	2,5	6,8	0,2	0,4
9	n. 282 (e)	1992		15	7,9	796	7,6	9,5	0,6	1,1	0,4	3,8	1,4	4,3	0,7	0,2
10	n. 283 (e)	1992		17	7,9	879	7,0	6,8	0,7	3,9	0,8	2,7	2,2	4,9	1,0	0,6

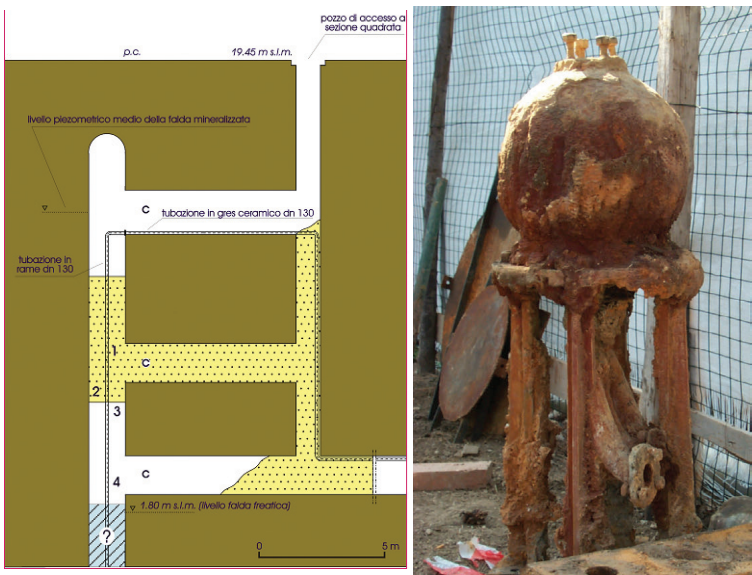


Fig. 9 - Parte alta del pozzo di Palazzo Reale. c) cunicoli; in puntinato, il materiale detritico rimosso nei lavori di recupero (Corniello e Ducci 2014). Posizione di alcuni dispositivi idraulici ritrovati durante lo scavo: (1) ruota in ghisa; (2) travi con boccole di metallo; (3) sfera cava di metallo (vedi foto) (4) fondo dello scavo.

Fig. 9 - Upper part of the well of the Royal Palace. c) tunnels; the dotted is the debris removed in the recovery works (Corniello e Ducci 2014). Position of some hydraulic devices found during the excavation: (1) cast iron wheel; (2) beams with metal bushings; (3) hollow metal sphere (see photo) (4) bottom of the excavation.

principali è sempre superiore a quello delle acque non mineralizzate (nn. 5-10 di Tab. 1), tranne che per i solfati; pressoché assenti sono le forme ossidate dell'azoto mentre alti sono i tenori in Fe (alcuni mg/l). Tali connotazioni sono ben interpretabili (Corniello et al. 2000) facendo riferimento ad un ambiente fortemente riducente (si ricorda tra l'altro che nel pozzo di Palazzo Reale, alla profondità di circa 340 m dal p.c., veniva indicata la presenza di sabbia acquifera "che tramandava forte odore di nafta" - D'Erasmus 1931). Un contributo alle elevate quantità di CO₂ può derivare anche da locali apporti endogeni connessi al vulcanismo dell'area e veicolati verso l'alto da discontinuità tettoniche; al riguardo, di particolare significato sono quelle, con accertata attività nel tardo Pleistocene ed Olocene, che limitano verso S il rilievo di M.te Echia (Amato et al. 2009; Fig. 10).

Il tufo a tetto delle acque sotterranee più profonde le preserva dalla contaminazione marina e riduce le interazioni con la falda superficiale.

Il chimismo di queste acque più profonde è del tutto singolare nell'ambito della città di Napoli infatti, allontanandosi dalle zone indicate (che ricadono in un'area di alcuni kmq), anche in profondità non si rinvergono più acque con tale mineralizzazione.



Fig. 10 - In tratteggio le principali faglie ad attività olocenica. Il cerchio indica il Centro Storico di Napoli, la freccia il M.te Echia (Amato et al. 2009).

Fig. 10 - Main faults with Holocene activity are hatched. The circle indicates the historic center of Naples, the arrow indicates Echia Mt. (Amato et al. 2009).

Lineamenti idrogeologici del Complesso dei Santi Marcellino e Festo (Centro Storico di Napoli)

Il Complesso dei Santi Marcellino e Festo, antico complesso monastico risalente al VIII secolo d.C., si trova nel Centro Storico della Città di Napoli, ad una quota di 25 m s.l.m. ed a circa 500 m dall'attuale linea di costa (Fig. 11).

L'assetto stratigrafico (Fig. 12) è caratterizzato da un banco tufaceo posto a circa 15 m dal p.c., ascrivibile all'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (TGN - 15 Ka b.p.), giustapposto a depositi piroclastici post-TGN ed a terreni di riporto; al di sotto del TGN si rinvergono piroclastiti pre-TGN, intercalate a depositi di origine marina.

Recenti indagini, condotte nell'ambito del progetto PON03PE_00163_1 Social Network delle Entità dei Centri Storici (SNECS), hanno permesso di approfondire le conoscenze di questo settore (Petrosino et al. 2021). La realizzazione di 2 sondaggi profondi (105 e 120 m) ha così evidenziato la presenza di 5 complessi idrogeologici (Fig. 12):

- complesso piroclastico (< 15 ka), costituito da depositi piroclastici da caduta con inclusi antropogenici - *grado di perm.: medio alto*;
- complesso marino-palustre (Olocene) caratterizzato da un'alternanza di sabbie marine fini e limi palustri - *grado di perm.: medio basso*;
- complesso TGN (15 ka) che presenta una facies pseudo-coerente e una litoide - *grado di perm.: medio*;
- complesso pre-TGN (> 15 ka) formato da piroclastiti flegree a diverso grado di coerenza - *grado di perm.: basso*;
- complesso marino (> 15 ka): depositi di spiaggia antica - *grado di perm.: alto*.

Le perforazioni hanno attraversato una falda freatica nel TGN (Unconfined Volcanic Aquifer - UVA in Fig. 12) e (tra 80 e 120 m) una seconda falda semiconfinata (Deep Sedimentary Aquifer - DSA in Fig. 12) nel complesso marino (il carico idraulico è qui superiore a quello della falda freatica e ciò determina un flusso di drenanza attraverso il complesso pre-TGN).

Tra il Complesso dei Santi Marcellino e Festo e la linea di costa si è inoltre osservata una risalita del livello di falda di circa 2 metri tra il 1890 e il 2005 imputabile all'effetto barriera causato dalla costruzione di opere sotterranee ed impermeabilizzazioni nella zona costiera. In conseguenza di ciò, come osservato in altri settori della Città Metropolitana di Napoli (Allocca et al. 2021a; 2021b; Stellato et al. 2020), negli ultimi decenni sono stati registrati fenomeni di groundwater flooding in edifici pubblici e privati.

Dal punto di vista idrochimico, le acque dell'acquifero UVA presentano facies bicarbonato-alcalina, mentre le

acque dell'acquifero DSA sono ascrivibili alla facies solfato-clorurato-alcalina. Entrambe sono classificabili come acque medio-minerali.

Nell'ambito del progetto SNECS è stato realizzato anche un impianto geotermico a bassa entalpia (per la climatizzazione di due locali del Complesso dei Santi Marcellino e Festo) che rappresenta il primo dimostratore nel Centro Storico di Napoli per l'efficiamento energetico di edifici ad alto valore storico-culturale. L'impianto è di tipo *closed loop* ed è realizzato con sonde verticali a doppia U in PEAD calate in pozzo (Massarotti et al. 2021).

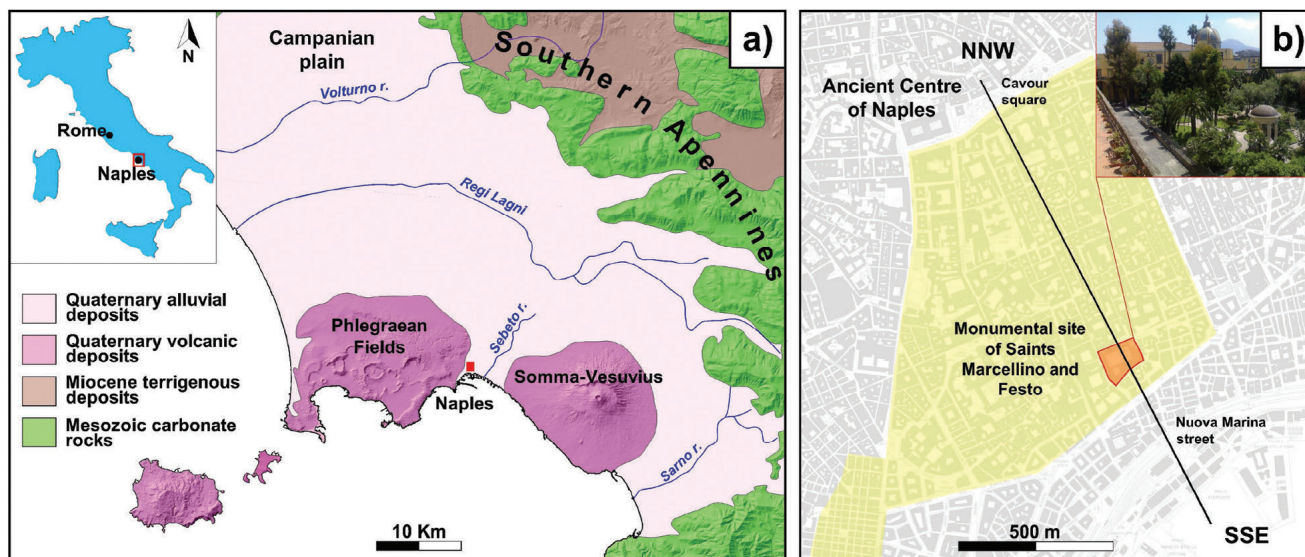


Fig. 11 - Ubicazione del Complesso dei Santi Marcellino e Festo (Massarotti et al. 2021).

Fig. 11 - Location of the Monumental site of Saints Marcellino and Festo (Massarotti et al. 2021).

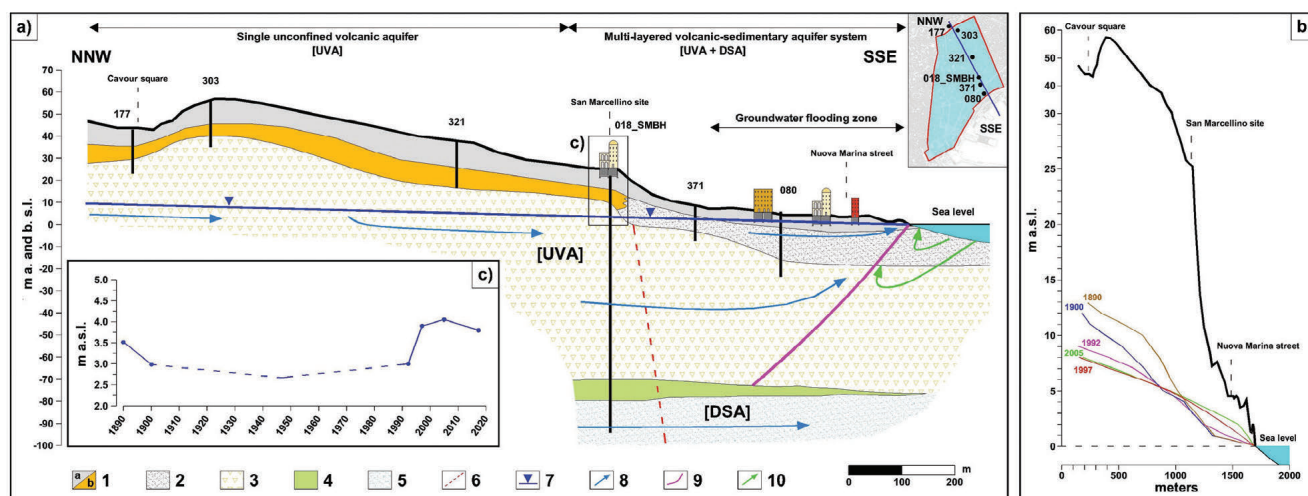


Fig. 12 - Modello idrogeologico del Centro Storico di Napoli e variazioni piezometriche nel periodo 1890-2005. 1) Complesso piroclastico; 2) Complesso marino-palustre; 3) Complesso TGN; 4) Complesso pre-TGN; 5) Complesso marino; 6) Faglia; 7) Livello piezometrico dell'acquifero UVA; 8) Direttoria di flusso; 9) Interfaccia acqua dolce-acqua salata; 10) Flusso acqua salata (Petrosino et al. 2021).

Fig. 12 - Hydrogeological model of the historic center of Naples and piezometric variations in the period 1890-2005. 1) Pyroclastic complex; 2) Marine-marsh complex; 3) TGN complex; 4) Pre-TGN complex; 5) Marine complex; 6) Fault; 7) Piezometric level of the UVA aquifer; 8) Flow direction; 9) Fresh water-salt water interface; 10) Salt water flow (Petrosino et al. 2021).

Lineamenti idrogeologici della piana ad Est di Napoli

Il bacino idrogeologico della piana ad Est di Napoli si estende per circa 300 km² nel settore meridionale della piana Campana (Fig. 13).

Nella piana ad Est di Napoli l'assetto lito-stratigrafico risulta essere molto complesso (Allocca e Celico 2008; Bellucci 1994) in quanto articolato su ripetute intercalazioni di depositi piroclastici e colate laviche e depositi tufacei flegrei e vesuviani.

Anche il settore meridionale della piana, definito Valle del Sebeto, accoglie spessori rilevanti (dell'ordine dei 100 m) di piroclastiti originate dal Somma-Vesuvio e dai Campi Flegrei, spesso risedimentate in ambiente paludoso testimoniato dalla diffusa presenza di livelli torbosi (Fig. 14). Infine, studi recenti di prospezione geofisica profonda (Costanzo e Nunziata 2014) hanno individuato la presenza del substrato carbonatico (Mesozoico), in questo settore di piana, a profondità di circa 2000 m.

La falda della piana ad oriente di Napoli (Figg. 13 e 14) può essere considerata un unico corpo idrico sotterraneo a scala di bacino (Allocca e Celico 2008). Le acque sotterranee convergono dai bordi verso il centro della piana (zona di Lufrano) e la depressione del Volla e hanno recapito finale lungo la fascia costiera (non si rilevano evidenze di intrusioni saline).

Sotto il profilo chimico, le acque sotterranee sono influenzate della natura litologica dell'acquifero (piroclastiti

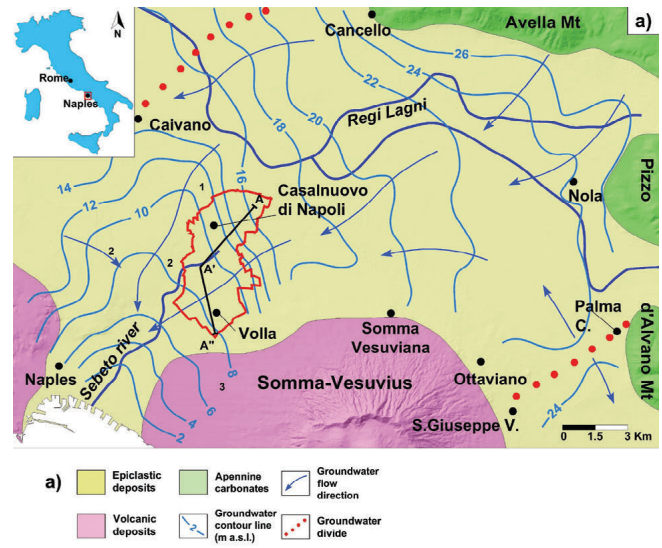


Fig. 13 - Andamento della falda nella Piana a Oriente di Napoli (Allocca et al. 2021a).

Fig. 13 - Contours of the groundwater table in the plain East of Naples (Allocca et al. 2021a).

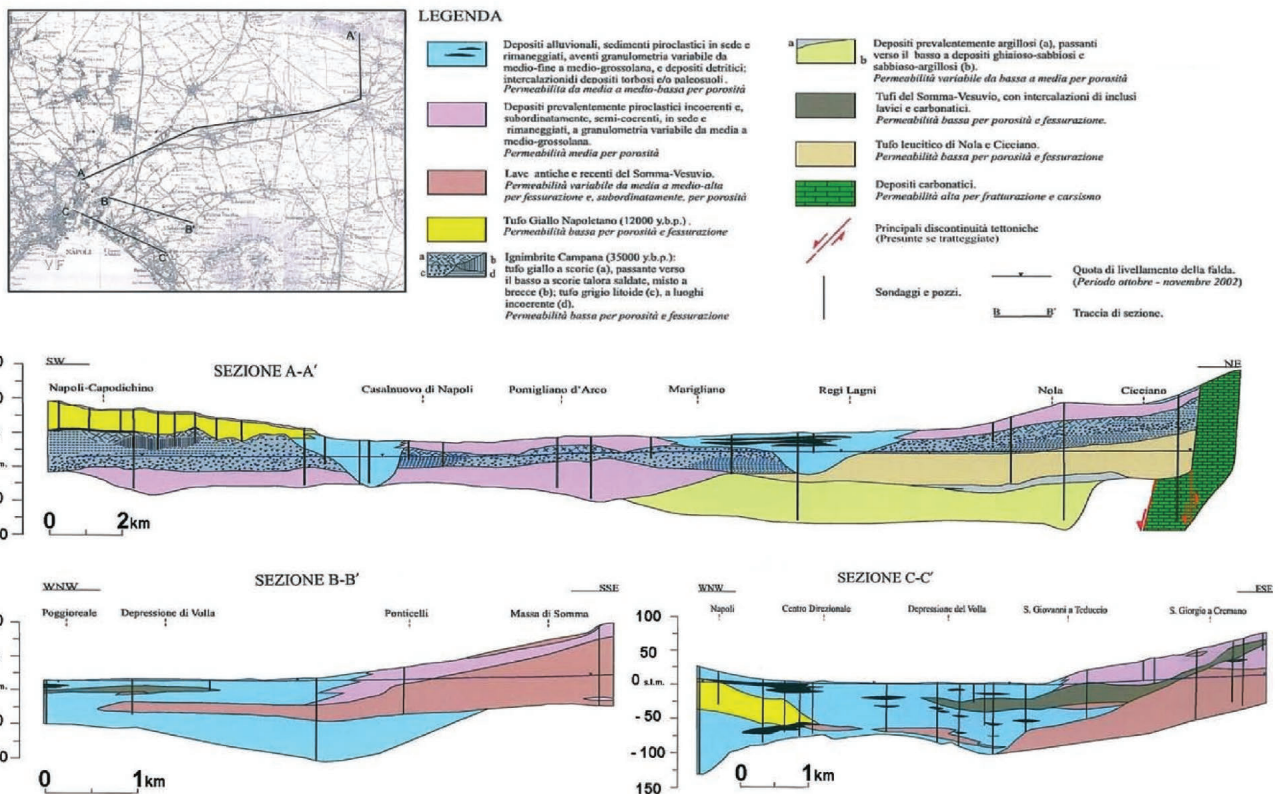


Fig. 14 - Sezioni dell'acquifero piroclastico-alluvionale della piana ad Est di Napoli (Allocca e Celico 2008).

Fig. 14 - Geological cross-section in the pyroclastic-alluvial aquifer in the plain East of Naples (Allocca e Celico 2008).

s.l.) con gli ioni alcalini prevalenti sul Ca e Mg e i fluoruri con valori spesso superiori ai limiti (1.5 mg/l) indicati dal D.Lgs. 31/2001. Lo ione solfato presenta talora contenuti molto bassi per l'ambiente riducente causato dalla presenza di estesi livelli torbosi. A volte anche l'As supera i limiti del Decreto citato sia per la natura degli acquiferi che per le condizioni riducenti.

In questa zona nel 1999 furono segnalati diversi fenomeni riconducibili a innalzamento del locale livello di falda (allagamenti di scantinati etc.). L'approfondimento del fenomeno (Corniello et al. 2003) consentì di escludere che esso fosse dovuto:

- ad una variazione dell'alimentazione naturale della falda;
- alle molte ed importanti opere (il Centro Direzionale, la rete di Collettori, nuove linee ferroviarie: Circumvesuviana e Alifana) che hanno marcatamente interessato il sottosuolo della zona e che di fatto avrebbero potuto creare ostacoli al naturale deflusso delle acque sotterranee.

Gli incrementi di livello osservati furono invece ricondotti alla forte riduzione dei prelievi da falda nella zona di Lufrano (che è a monte idrogeologico rispetto alla Valle); qui infatti detti prelievi, iniziati nel 1946, erano passati da $19 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (nel 1980) agli oltre $86 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ (nel 1989) per poi quasi cessare negli anni 1999-2000 per il rapido degrado qualitativo delle acque estratte.

Un ulteriore contributo all'innalzamento dei livelli di falda fu determinato dalla chiusura di molte attività industriali presenti proprio nella Valle del Sebeto.

Attualmente (da dati rilevati dal Comune di Napoli) i livelli di falda sembrano essersi stabilizzati su valori che si registravano in zona negli anni 30 del secolo scorso (Fiorelli 1926) quando ancora non vi era il massiccio utilizzo della falda (Fig. 15).

Ulteriori studi hanno riguardato la risalita dei livelli piezometrici a scala di bacino e locale (Allocca e Celico, 2008; Allocca et al. 2021a, 2021b; Coda et al. 2019a, 2019b; Coda 2021) attribuiti anche in questo caso al *Groundwater Rebound* (GR), ovvero alla risalita dei livelli piezometrici dovuta alla drastica riduzione dei prelievi (Fig. 16)

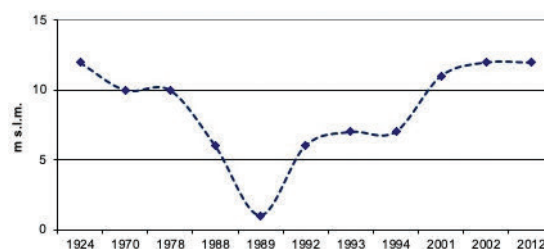


Fig. 15 - Variazioni del livello di falda registrate in uno stesso punto a 5 km dalla costa (da dati di letteratura).

Fig. 15 - Changes in groundwater level recorded in the same point at 5 km from the coast (from literature data).

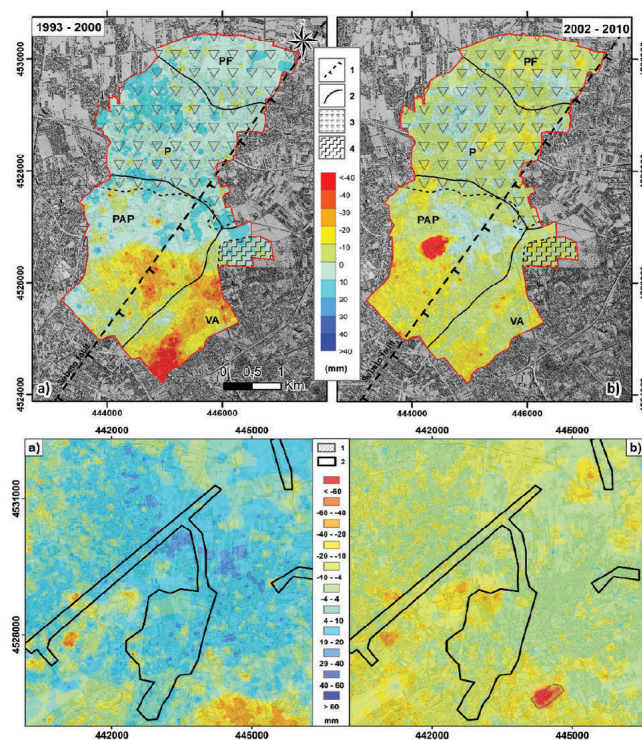
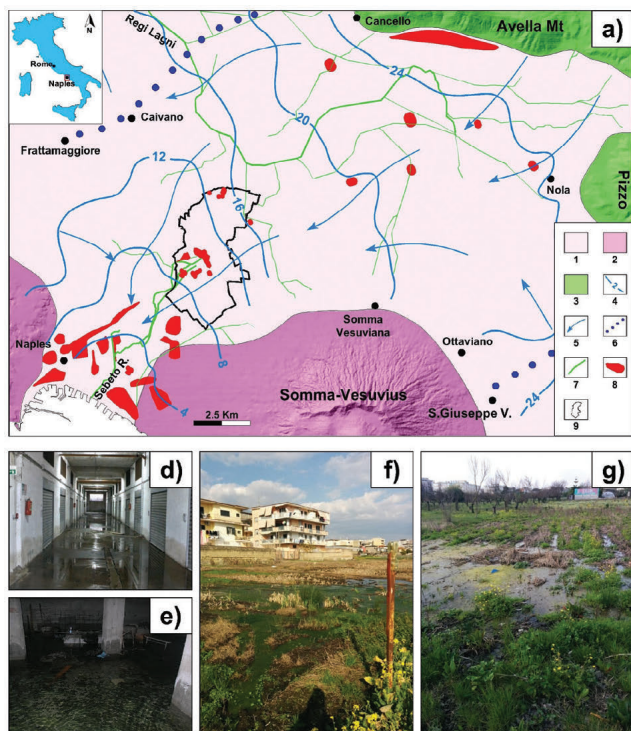


Fig. 16 - Groundwater flooding (GF) nella Piana a Oriente di Napoli (Allocca et al. 2021b – in sinistra) e Carte di deformazione del suolo in due settori della Piana a Oriente di Napoli (Coda et al. 2019a e 2019b);

Fig. 16 - Groundwater flooding (GF) in the East Plain of Naples (Allocca et al. 2021b - left) and Soil Deformation Maps in two sectors of the East Plain of Naples (Coda et al. 2019a and 2019b).

Lineamenti idrogeologici del Somma-Vesuvio

Il sistema vulcanico del Somma-Vesuvio si erge con netta evidenza morfologica a sud-est di Napoli, delimitato dal mare (a SW) e altrove dalla Piana Campana. L'antico vulcano del 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; Celico et al. 1998; Federico et al. 2013):

- una dissimmetria litologica tra il settore settentrionale (Somma) e quello meridionale (Vesuvio) del vulcano;
- il progressivo estinguersi, nel settore a nord, dell'attività eruttiva che è invece continuata nell'altro e che, ancora oggi, si manifesta soprattutto con apporti gassosi profondi (essenzialmente CO₂) e flussi di calore conferendo alle acque sotterranee vesuviane connotazioni specifiche (acque termali). Tali apporti sono concentrati in fasce arealmente contenute (zone di Torre del Greco, Torre Annunziata, Pompei) che quasi sempre ben si correlano a riconosciute discontinuità tettoniche.

La geologia del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio è assai articolata in quanto legata a effusioni laviche e a numerosi eventi esplosivi di vario tipo (Santacroce et al. 2003).

La circolazione idrica sotterranea (Celico et al. 1994; Celico et al. 1998), sebbene risulti localmente condizionata dall'alternanza di spessori più o meno permeabili, può definirsi a scala di bacino unitaria, avente carattere prevalentemente freatico. Sui versanti non si ha, infatti, la presenza di importanti emergenze di acque sotterranee e tutte le acque di infiltrazione pluviometrica concorrono ad alimentare una cospicua falda di base che origina un flusso sotterraneo, pressoché radiale (uscendo dal vulcano), con recapiti finali nel mare e nelle piane limitrofe (Fig. 17).

Le acque sotterranee evidenziano la presenza di una facies bicarbonato-solfato-calcica (nel settore settentrionale e nord-occidentale del vulcano) e di una bicarbonato-alcalina (nel settore centrale, in cui prevalgono Na e K e HCO₃) con temperature, in media, inferiori a 20 °C. Solo lungo il margine orientale e meridionale si rinvenivano acque sotterranee tipicamente bicarbonato-calciche.

Lungo il settore meridionale del vulcano, tra gli abitati di Pompei, Boscotrecase e Torre Annunziata sono presenti acque sotterranee con caratteristiche ipotermali, con temperature variabili tra 23 e i 25 °C, con facies bicarbonato-calcica e, subordinatamente, bicarbonato-solfato-calcica. La conducibilità elettrica delle acque in tale settore raggiunge valori variabili tra 3000 e 6000 µS/cm.

Le acque sotterranee, ancora oggi, sono utilizzate per uso plurimo (potabile, irriguo, industriale, termo-minerale). Negli anni 2000-2003 si estraevano dai campi pozzi ad uso idropotabile, ubicati lungo il versante settentrionale ed occidentale, in media circa 16x10⁶ m³/a (fonte GORI S.p.A.). Questi prelievi sono via via diminuiti soprattutto per la necessità di limitare il tenore di fluoruri (di origine naturale, ma superiori al D. Lgs. 31/2001) nelle acque distribuite alle utenze: finalità raggiunta contenendo i prelievi locali e

mescolando le acque estratte con altre, esterne all'area, meno ricche in F (Marati 2008).

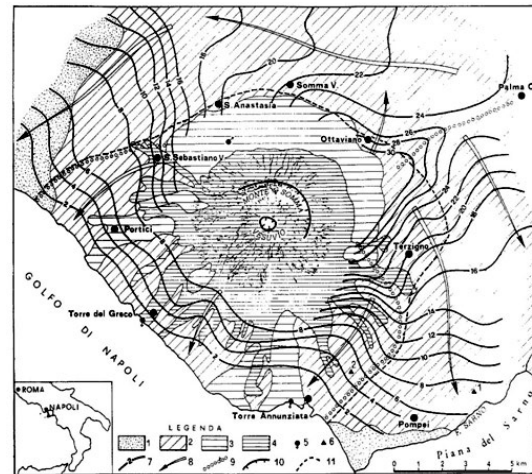


Fig. 2 - Carta idrogeologica dell'area vesuviana: 1) Complesso alluvionale e piroclastico. 2) Complesso piroclastico. 3) Complesso delle piroclasti prevalenti e delle lave. 4) Complesso delle lave prevalenti e delle piroclasti. 5) Sorgenti (portata < 5 l/s). 6) Pozzi ai quali si riferiscono le misure piezometriche riportate in fig. 3. 7) Curve isopiestiche e relative quote in m s.l.m. (Maggio 1994). 8) Principali assi di drenaggio sotterraneo. 9) Spartiacque sotterraneo. 10) Orlo di caldera. 11) Limite dell'area interessata dal calcolo del bilancio idrologico e della portata della falda.

Fig. 17 - Carta idrogeologica dell'acquifero vulcanico del Somma-Vesuvio (Celico et al. 1998).

Fig. 17 - Hydrogeological map of Somma-Vesuvius volcanic aquifer (Celico et al. 1998).

Lineamenti idrogeologici dei Monti Lattari

Il sistema orografico dei Monti Lattari delimita a Sud la Piana Campana, separando di fatto il Golfo di Napoli da quello di Salerno.

La successione sedimentaria (Trias-Cretaceo) dei Monti Lattari è costituita da dolomie, calcari dolomitici e calcari tettonicamente suddivisi in monoclinali complesse rialzate in modo crescente da Sud-Ovest verso Nord-Est ed immerse, globalmente, verso Nord e Nord-Ovest (Cinque 1980; Perrone 1988).

L'articolato assetto stratigrafico-strutturale contribuisce ad individuare più idro-strutture in certa misura interagenti (Celico e Corniello 1979; Piscopo et al. 1995; Ghiara et al. 1996).

Le delimitazioni fra le diverse idro-strutture seguono i contatti tra le formazioni a differente permeabilità e i principali lineamenti tettonici, presentando orientazioni prevalenti NW-SE e SW-NE. Le estese fasce cataclastiche associate ai principali sistemi di faglie (Cinque 1980; Capotorti e Tozzi 1991; Sava e Zuppetta 1991) sono, infatti, responsabili di localizzate ma significative riduzioni di permeabilità. D'altronde, l'affioramento dei termini più antichi della successione sedimentaria nel settore meridionale ed orientale dei rilievi condiziona il flusso idrico sotterraneo contribuendo alla formazione delle importanti emergenze termali e minerali di Castellammare di Stabia (circa 100 l/s) e dello Scrajo (circa 90 l/s) (Piscopo et al. 2000; Corniello et al. 2014). Proprio lungo il margine settentrionale della penisola sorrentina sono distribuite le principali captazioni per uso potabile: la Sorgente di Fontana Grande (circa 300 l/s) nel comune di Castellammare di Stabia e diversi campi pozzi che attingono dai travasi idrici sotterranei verso la Piana del Sarno (circa 1,50 m³/s).

BIBLIOGRAFIA

- Allocca V, Celico P (2008) Scenari idrodinamici nella piana ad Oriente di Napoli (Italia), nell'ultimo secolo: cause e problematiche idrogeologiche connesse. *Giornale di Geologia Applicata* 2008, 9 (2) 175-198.
- Allocca V, Celico F, Celico P, De Vita P, Fabbrocino S, Mattia C, Monacelli G, Musilli I, Piscopo V, Scalise AR, Summa G, Tranfaglia G (2007) Carta Idrogeologica dell'Italia Meridionale. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
- Allocca V, Coda S, Calcaterra D, De Vita P (2021a) Groundwater rebound and flooding in the Naples' periurban area (Italy). *Journal of Flood Risk Management*, in stampa.
- Allocca V, Di Napoli M, Coda S, Carotenuto F, Calcaterra D, Di Martire D, De Vita P (2021b) A novel methodology for Groundwater Flooding Susceptibility assessment through Machine Learning techniques in a mixed-land use aquifer. *Science of the Total Environment*, 790, 148067.
- Amato L, Guastaferro C, Cinque A, di Donato V, Romano P, Ruello MR, Perriello Zampelli S, Morhange C, Russo Ermolli E, Irollo G, Carsana V, Giampaola D (2009) Ricostruzioni morfo-evolutive nel territorio di Napoli. Evoluzione tardo pleistocenica-olocenica e le linee di riva di epoca storica. *Méditerranée*, 112, 22-31.
- Archivio Fotografico Parisio, Napoli (1998) Il Borgo di Santa Lucia. Trasformazioni urbane e tradizioni: immagini fotografiche 1870-1950. Cecom snc -Bracigliano (SA).
- Bellucci F (1994) Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana. *Boll. Soc. Geol. It.*, 113, 395-420.
- 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*.
- Caliro S, Franzese G, Galateri C, Galateri G, Imperato M, Milia A, Monetti V, Nardi G, Ortolani F, Pagliuca S, Putignano ML, Stanzione D, Toccaceli RM (1997). Area urbana di Napoli: principali caratteristiche geologiche, stratigrafiche ed ambientali. *Atti del Convegno: Geologia delle grandi aree urbane*, Bologna, 119-144.
- Cangiano L (1847) Sul pozzo che si sta perforando nel giardino della Reggia di Napoli e di talune induzioni geologiche di cui è stato occasione. *Napoli*, 1847
- Capotorti F, Tozzi M (1991) Tettonica trascorrente nella Penisola Sorrentina. *Mem Soc Geol It* , 47, 235-24.
- Celico F, Esposito L, Mancuso M (2001) Complessità idrodinamica e idrochimica dell'area urbana di Napoli: scenari interpretativi. *Geologia tecnica e ambientale*, 2, 35-54.
- Celico N, Celico P, Ghiara MR, Piscopo V, Stanzione D, Aquino S.(1994) Caratteristiche geochimiche delle acque sotterranee dell'area del Somma-Vesuvio (Campania, Italia). *Geologica Romana*, 30, 709-724.
- Celico P, Corniello A (1979) Idrodinamica, potenzialità e possibilità di sfruttamento delle risorse idriche sotterranee dei M.ti Lattari (Campania). *Mem e Note Ist. Geol. Appl. Univ. Napoli* 5, 1-24.
- Celico P, Stanzione D, Esposito L, Ghiara MR, Piscopo V, Caliro S, La Gioia P (1998) Caratterizzazione idrogeologica e idrogeochimica dell'area vesuviana. *Boll. Soc. Geol. It.* 117.
- Cinque A (1980) Il sovraccorrimiento di M.te Faito – Agerola (Penisola Sorrentina). *Rend. Acc. Sc. Fis. e Mat. Serie IV*, 47.
- Coda S (2021) Rising groundwater levels in the Neapolitan area and its impacts on civil engineering structures, agricultural soils and archaeological sites [PhD thesis, University of Naples Federico II]
- Coda S, Confuorto P, De Vita P, Di Martire D, Allocca V (2019) Uplift evidences related to the recession of groundwater abstraction in a pyroclastic-alluvial aquifer of southern Italy. *Geosciences*, 9(5), 215.
- Coda S, Tessitore S, Di Martire D, Calcaterra D, De Vita P, Allocca V (2019b) Coupled ground uplift and groundwater rebound in the Metropolitan City of Naples (southern Italy). *Journal of Hydrology*, 569, 470-482.
- Cole PD, Perrotta A, Scarpati C (1994) The volcanic history of the southwestern part of the city of Naples. *Geological Magazine* 131, 785-799.
- 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, Ducci D (2014) Le acque minerali nella zona del Monte Echia (Napoli). In: (a cura di): D'Agostino e Fabricatore, *History of Engineering - 5° International Conference*. vol. II, p. 1021-1032, Napoli: D'Agostino e Fabricatore, Napoli, maggio 2014.
- Corniello A, Ducci D (2019) Hydrogeochemical characterization of the urban coastal aquifers of Napoli (southern Italy): an overview. *Italian Journal of Groundwater* (2019) - AS28- 375: 11 – 19; DOI: 10.7343/as-2019-375.
- Corniello A, Ducci D, Catalano O, Monti GM (2003) Variazioni piezometriche nella zona orientale della città di Napoli. *Quaderni di Geologia Applicata*, 101, 43-57, ISSN: 1593-8433.
- Corniello A, Ducci D, Catalano O, Monti GM (2003) Variazioni piezometriche nella zona orientale della città di Napoli. *Quaderni di Geologia Applicata*, vol. 101, p. 43-57.
- Corniello A, Ducci D, de Riso R (2000) Le acque minerali della città di Napoli ed il pozzo di Palazzo Reale: aspetti storici, geologici ed idrogeologici. *Convegno Geoben 2000*, Torino, 415-422
- Corniello A, Trifuoggi M, Ruggieri G (2014) The mineral springs of the Scajro spa (Sorrento peninsula, Italy): a case of "natural" seawater intrusion. *Environ Earth Sci.*, 72, 147-156, DOI 10.1007/s12665-013-2942-6.
- Costanzo MR, Nunziata C (2014) Lithospheric VS models in the Campanian Plain (Italy) by integrating Rayleigh wave dispersion data from noise cross-correlation functions and earthquake recordings. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 234, 46-59.
- De Vita P, Allocca V, Celico F, Fabbrocino S, Mattia C, Monacelli G, Musilli I, Piscopo V, Scalise AR, Summa G (2018) Hydrogeology of continental southern Italy. *Journal of Maps* 14, 230-241.
- D' Erasmio G (1931) Studio geologico dei pozzi profondi della Campania. *Boll. Soc. dei Naturalisti in Napoli*, 43, pp. 15-143.
- Federico C, Madonia P, Cusano P, Petrosino S (2013) Groundwater geochemistry of the Mt. Vesuvius area: implications for volcano surveillance and relationship with hydrological and seismic signals. *Annals of Geophysics*, 56, 4, 2013, S0447.
- Fiorelli T (1926) Cenni sull'andamento della falda acquifera nel sottosuolo della zona tra Napoli e Pomigliano d'Arco in relazione colla costituzione geologica e la topografia e idrologia superficiale del territorio medesimo. *Annali del Genio Civile*, fasc. VII, Roma.
- Ghiara MR, Piscopo V, Castaldo C, Fusco C, Lamberti A, Ragone V (1996) Idrodinamica dell'acquifero carbonatico dei Monti Lattari (Campania) alla luce di nuovi dati strutturali, idrogeologici e idrogeochimici – *Atti V Conv. Naz. Giov. Ric. In Geol. Appl.*, Cagliari.
- Isaia R, Iannuzzi E, Sbrana A, Marianelli P, Donadio C, Conforti A, D'Argenio B (2016) Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000- foglio 446-447 Napoli, 1-246.
- Lambertini D, Mondelli G (1961) Relazione sull'analisi di un'acqua profonda rinvenuta nella zona litoranea, in prossimità del Palazzo Reale di Napoli. *Boll. Soc. dei Naturalisti in Napoli*, 70, pp. 185-193.
- Lambertini D, Scorza V (1956) Relazione sull'esame dell'acqua di un pozzo artesiano esistente nell'interno del nuovo palazzo del Banco di Napoli, a Via Rona (Napoli). *Boll. Soc. Naturalisti in Napoli*, 653-7.
- Marati GP (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.
- Massarotti N, Mauro A, Normino G, Vanoli L, Verde C, Allocca V, Calcaterra D, Coda S, De Vita P, Forzano C, Palombo A, Cosenza P (2020) Innovative Solutions to Use Ground-Coupled Heat Pumps in Historical Buildings: A Test Case in the City of Napoli, Southern Italy. *Energies*, 14(2): 296.

Meo F (1952) Relazione sull'esame dell'acqua di un pozzo trivellato durante gli scavi di fondazione dei nuovi fabbricati nelle adiacenze della chiesa dei Fiorentini, in Napoli). *Boll. Soc. Naturalisti in Napoli*, 4-11.

Minin G, De Luzio E, Guarino PM (2013) Il recupero del percorso militare sotterraneo "tunnel borbonico" realizzato da Ferdinando II di Borbone (Napoli). *Geologia dell'Ambiente, Supplemento al n. 2/2013*.

Perrone V (1988) Carta geologica della Penisola Sorrentina. Note illustrative. *Atti 74° Congr. Soc. Geol. It., Roma*.

Petrosino P, Angrisani AC, Barra D, Donadio C, Aiello G, Allocca V, Coda S, De Vita P, Jicha BR, Calcaterra D (2021) Multiproxy approach to urban geology of the historical center of Naples, Italy. *Quaternary International*, 577, 147-165.

Piscopo V, Fusco C, Lamberti A (1995) Idrogeologia dei Monti Lattari (Campania). *Quaderni di Geologia Applicata*, 2, 359-366.

Piscopo V, Allocca V, Brusa G, Cesario M, Monetti V, Pianese L (2000) Il fronte sorgivo di Castellammare di Stabia (Napoli): variazioni del grado di mineralizzazione delle acque sotterranee quali conseguenza dell'eterogeneità di un acquifero carbonatico. *Boll Soc Geologica Italiana*, 119, pp. 567-580.

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.

Sava A, Zuppetta A (1991) Analisi dei lineamenti da satellite in Penisola Sorrentina e nei Monti di Salerno e Avellino. *Appennino campano. Mem. Soc. Geol. It.*, 47, Roma.

Stellato L, Coda S, Arienzo M, De Vita P, Di Rienzo B, D'Onofrio A, Ferrara L, Marzaioli F, Trifuoggi M, Allocca V (2020) Natural and Anthropogenic Groundwater Contamination in a Coastal Volcanic-Sedimentary Aquifer: The Case of the Archaeological Site of Cumae (Phlegraean Fields, Southern Italy). *Water*, 12(12): 3463.

