

Assetto idrogeologico del settore romano del bacino del Fiume Aniene

Hydrogeological setting of the roman Aniene River basin

F. LA VIGNA*, G. CAPELLI*, R. MAZZA*

RIASSUNTO - Il settore terminale del bacino del Fiume Aniene, dal punto di vista idrogeologico, è tra i meno studiati dell'area romana. In questa nota viene presentato un approfondimento sullo schema di circolazione delle acque sotterranee in questo settore della città di Roma posto in riva sinistra del Fiume Tevere, indicativamente compreso tra la S.S. Salaria, la S.S. Casilina e Il Grande Raccordo Anulare.

L'area è caratterizzata da un'urbanizzazione intensa e in continua crescita che, tranne alcuni casi singolari, poco lascia comprendere della natura del sottosuolo e dei complessi acquiferi.

Dove non vi è urbanizzazione è spesso presente un intenso sfruttamento del territorio e delle sue risorse che nei casi peggiori degenera in degrado e abbandono.

In vaste aree il reticolo idrografico è del tutto scomparso, sia perché "semplicemente" interrato dalle coltri dei riporti, sia perché inglobato dal reticolo fognario che ripercorre più o meno fedelmente le direttrici naturali di deflusso.

Tutto ciò ha contribuito a modificare in maniera sostanziale dal dopoguerra ad oggi il naturale assetto idrologico del territorio.

A causa della difficoltà di condurre un rilevamento tradizionale delle litologie, la maggior parte delle correlazioni stratigrafiche è stata effettuata archiviando, validando ed analizzando più di 1000 stratigrafie.

Per quanto riguarda l'idrogeologia, lo studio è stato riferito alle misure di pozzi, sorgenti e portata in alveo effettuate appositamente; essi sono stati correlati e confrontati con dati e misure precedenti reperite nelle fonti bibliografiche.

PAROLE CHIAVE: idrogeologia, aree urbane, rapporti falda fiume, chimico fisica delle acque, Aniene

ABSTRACT - *From a hydrogeological point of view, the lower Aniene river basin is one of the least investigated Roman areas.*

The paper proposes a model of groundwater circulation in this area, which lies in the north-eastern part of Rome, on the left bank of the Tiber river.

Intense and growing urbanisation in the area makes it difficult (except in a few cases) to understand the nature of its subsoil and complex aquifers. Where the area is not urbanised, its land and resources are overexploited, leading - in the worst cases - to degeneration and abandonment.

In wide portions of the area, the water catchment basin has completely disappeared, either buried by man-made fills or incorporated into the sewerage system, which reflects groundwater flowpaths more or less faithfully.

From the post-war period to date, all these phenomena have substantially altered the hydrological setting of the area. Given the difficulty of conducting a conventional lithological survey, stratigraphic correlations were established by collecting, filing, validating and analysing over 1,000 stratigraphic logs.

With regard to hydrogeology, well, spring and in-stream discharge data were collected, correlated and compared with literature data.

KEY WORDS: *hydrogeology, urban areas, river and groundwater exchange, chemical and physics analysis of water, Aniene River*

* Laboratorio di Idrogeologia. - Dipartimento di Scienze Geologiche - Università degli Studi "Roma Tre", Largo San Murialdo, 1 - 00146 Roma.

1 - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

La porzione della città di Roma situata nell'ultimo tratto del bacino dell'Aniene è sorta su un paesaggio molto articolato, che è il risultato di una lunga serie di eventi geologici.

In superficie la geologia spesso è mascherata dalle coltri di riporto antropico, e la sua ricostruzione può essere basata solo su piccoli lembi in affioramento, e su dati di sondaggio.

Dalla nuova cartografia geologica del Comune di Roma in scala 1:10.000 (FUNICIELLO & GIORDANO, allegata a questo volume) si può chiaramente notare che in questo settore sono presenti vulcaniti sia di provenienza albana che sabatina che spesso si interdigitano e vanno a mascherare paleoalvei che sono espressione del reticolo idrografico pre-vulcanico.

In riva destra dell'Aniene dominano le vulcaniti sabatine mentre le albane hanno un il loro mag-

giore sviluppo in riva sinistra. Questi termini vulcanici poggiano su sedimenti prevulcanici continentali. Le incisioni sono state colmate dai depositi alluvionali recenti dell'Aniene e dei suoi affluenti minori.

Tramite l'interpretazione di numerosi dati stratigrafici sono stati realizzati tre profili geologici attraversanti tutta l'area; vengono mostrati tre particolari delle sezioni che evidenziano i rapporti stratigrafici della serie locale.

Il primo transetto (fig. 1) relativo alla confluenza Aniene-Tevere, mostra una profonda incisione del substrato sottostante l'attuale valle del Fiume Aniene; essa è probabilmente impostata su direttrici tettoniche che hanno ribassato questo settore favorendo la deposizione di ingenti spessori di sedimenti ghiaioso sabbiosi (Formazione del fosso della Crescenza, FCZ; Formazione di S. Cecilia, CIL. FUNICIELLO & GIORDANO, questo volume). I sedimenti prevulcanici costituiscono un potente

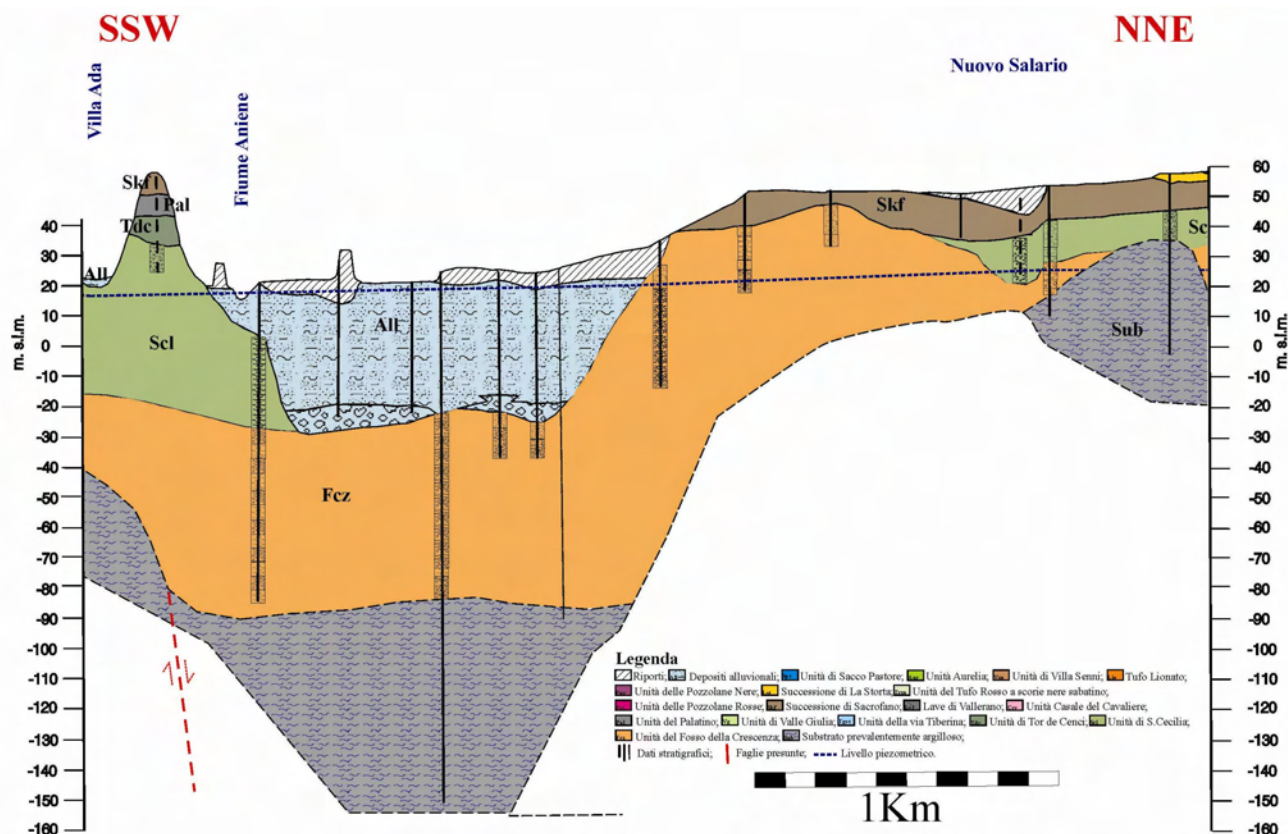


Fig. 1 - Sezione di dettaglio dell'assetto geologico presso la confluenza Aniene-Tevere, tra gli alti dei quartieri Parioli e Nuovo Salaria.

Legenda: Rip - Coltri di terreno di riporto; All - Depositi alluvionali; Lst - Tufi stratificati varicolori di La Storta; Skf - Tufi stratificati varicolori di Sacrofano; Pal - unità del Palatino; Tdc - unità di Tor de' Cenci; Scl - formazione di S. Cecilia; Fcz - formazione del Fosso della Crescenza; Sub - Substrato prevalentemente argilloso; L.s. - Livello piezometrico attuale.

- Detailed geological section near the Aniene's into Tevere River confluence, between Parioli's and Nuovo Salaria districts.

Legend: Rip - Layers of man-made fills; All - Alluvia; Lst - Stratificati varicolori tuffs of La Storta; Skf - Stratificati varicolori tuffs of Sacrofano; Pal - Palatine unit; Tdc - Tor de' Cenci unit; Scl - S. Cecilia formation; Fcz - Fosso della Crescenza formation; Sub - Dominantly clayey bedrock; L.s. - Present piezometric level.



acquifero ospitato da questa depressione con andamento "Appenninico" (Paleotevere 2 FEROCI *et alii*, 1990, MARRA & ROSA, 1995) (fig. 2).

Le serie vulcaniche e vulcanoclastiche sono ben rappresentate nel secondo e terzo transetto; in particolare si nota l'intercalazione tra vulcaniti albane e sabatine nel secondo, mentre nel terzo risulta lampante l'aumento di spessore delle coltri vulcaniche appartenenti esclusivamente al dominio albano andando verso SE. Per quel che riguarda le successioni vulcaniche sono ben evidenti i fenomeni erosivi che hanno modellato le serie tra i diversi episodi eruttivi.

Tutti i transetti mettono in luce le profonde incisioni dei fiumi e dei fossi olocenici colmate fino alla quota attuale da alluvioni (fig. 3).

2 - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

Per definire la circolazione sotterranea, le litologie presenti nell'area vengono suddivise in complessi acquiferi a seconda delle della loro capacità di lasciarsi attraversare dall'acqua (vedi Carta fuori testo. "Carta Idrogeologica del settore terminale del bacino del Fiume Aniene"). La circolazione nelle falde in area romana è sostenuta dal *bedrock* costituito dalle argille plio-pleistoceniche che costituiscono, per il loro basso grado di permeabilità e per il loro spessore, un vero e proprio *aquiclude*. I complessi acquiferi che sovrastano il substrato

sono dal più antico al più recente: il Complesso dei sedimenti pleistocenici (Formazioni di Fosso della Crescenza e formazione di S.Cecilia), Complesso delle vulcaniti (differenziate in carta in sabatine e albane), e delle vulcaniti ad alta permeabilità, il Complesso delle alluvioni recenti e il Complesso delle coltri di riporto.

2.1 - COMPLESSO DEI SEDIMENTI PLEISTOCENICI

I terreni costituenti questo complesso sono dei sedimenti fluvio-lacustri e sono presenti su quasi tutta l'area in esame; sono caratterizzati da spessore variabile da pochi fino a diverse decine di metri nelle zone corrispondenti alla depressione tettonica del "Paleotevere". Il grado di permeabilità varia da "poco permeabile" (argille e limi), fino a "molto permeabile" (sabbie, ghiaie e travertini). I corpi sabbiosi, ghiaiosi e travertinosi sono distribuiti in maniera disomogenea all'interno del complesso e questo provoca una discontinuità nella trasmissività.

Alla base dei sedimenti pleistocenici vi è, tranne alcune zone, un esteso e continuo deposito ghiaioso di spessore variabile da pochi metri a qualche decina; questo orizzonte ghiaioso, sottoposto a terreni limo-argillosi e sovrapposto direttamente alle argille plio-pleistoceniche, contiene un'importante falda in pressione e rappresenta l'acquifero più esteso, continuo e sfruttato nella zona urbana collinare (ALBANI *et alii*, 1972; LOMBARDI, 1966; UNI-

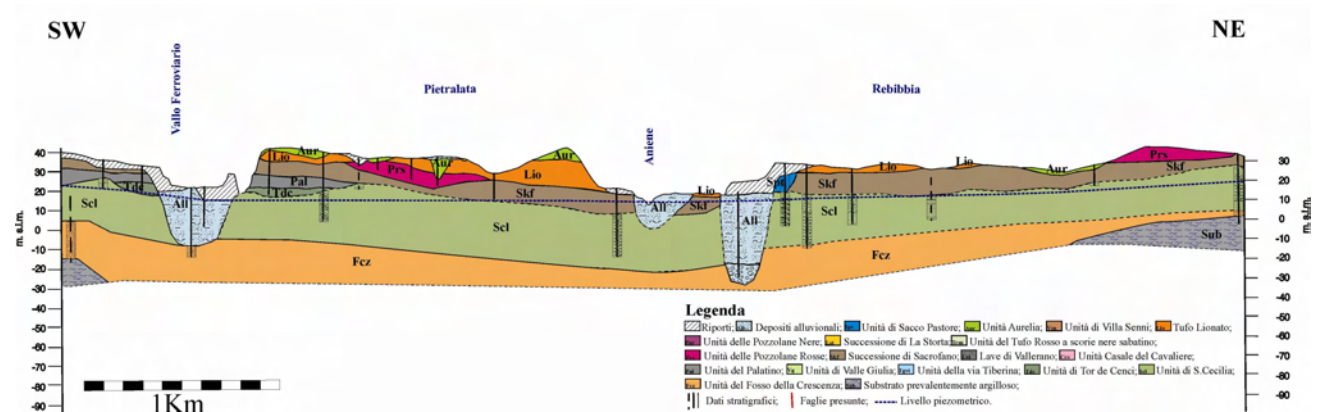


Fig. 2 - Sezione di dettaglio dell'assetto geologico della zona compresa tra il vallo ferroviario (Stazione Tiburtina), l'area di Pietralata e la valle dell'Aniene presso Ponte Mammolo.

Legenda: Rip - Coltri di terreno di riporto; All - Depositi alluvionali; Spt - unità di Sacco Pastore; Aur - formazione Aurelia; Lio - Tufo Lionato; Prs - Pozzolane Rosse; Skf - Tufi stratificati varicolori di Sacrofano; Pal - unità del Palatino; Tdc - unità di Tor de' Cenci; Scl - formazione di S. Cecilia; Fcz - formazione del Fosso della Crescenza; Sub - Substrato prevalentemente argilloso; L.s. - Livello piezometrico attuale.

- Detailed geological section from Tiburtina Railway Station, Pietralata and Ponte Mammolo districts.

Legend: Rip - Layers of man-made fills; All - Alluvia; Spt - Sacco Pastore unit; Aur - Aurelia formation; Lio - Tufo Lionato; Prs - Red pozzolans; Skf - Stratificati varicolori tuffs of Sacrofano; Pal - Palatino unit; Tdc - Tor de' Cenci unit; Scl - S. Cecilia formation; Fcz - Fosso della Crescenza formation; Sub - Dominantly clayey bedrock; L.s. - Present piezometric level.

GEO, 1986). L'orizzonte ghiaioso è stato spesso troncato lateralmente dai processi erosivi legati ai bassi livelli di stazionamento del mare che hanno dato luogo alle depressioni vallive sia dei corsi d'acqua principali come Tevere e Aniene, sia dei loro affluenti minori. Data la distribuzione di questi sedimenti lungo un asse ad andamento appenninico, e dato l'andamento delle piezometriche che progradano verso la confluenza Aniene-Tevere, la zona di ricarica degli orizzonti acquiferi è da identificare verso la periferia a Sud-Est di Roma.

2.2 - COMPLESSO DELLE VULCANITI

I terreni vulcanici albanici e in minima parte sabatini, presenti in spessori variabili in molte zone dell'area presa in esame, sono costituiti da orizzonti a diversa permeabilità. Principalmente i depositi vulcanici possono essere "poco permeabili" quando massivi e litoidi, "permeabili per fratturazione", come molte lave o colate piroclastiche fratturate, o "permeabili per porosità", come molti tufi particolarmente porosi e i depositi pozzolanacei. Gli spessori delle vulcaniti nell'area in esame sono modesti nella porzione settentrionale e aumentano a partire dal quartiere Tiburtino (vedi fig. 3) procedendo

verso Sud.

La circolazione idrica quindi assume importanza solo nei corpi pozzolanacei che hanno continuità idraulica (Complesso delle vulcaniti ad alta permeabilità). La falda regionale scendendo con una circolazione radiale dalle alture albane alla periferia del distretto verso Roma, viene fortemente drenata dai grandi fossi affluenti del Tevere e dell'Aniene dando inoltre luogo, presso la località di Salone, all'importante emergenza dell'Acqua Vergine, anticamente convogliata in acquedotto dai romani e tuttora captata dall' ACEA.

2.3 - COMPLESSO DELLE ALLUVIONI RECENTI

Come la maggior parte dei corpi alluvionali, quelli dei corsi d'acqua principali e secondari che hanno inciso il paesaggio romano posteriormente all'attività vulcanica sono caratterizzati da terreni disomogenei costituiti da corpi irregolari di argille, limi, torbe, sabbie e ghiaie alternati verticalmente e lateralmente. La permeabilità per porosità è molto variabile a seconda che si tratti di argille limi e torbe "poco o affatto conduttive", o di sabbie e ghiaie, da "mediamente" a "molto permeabili". La complessa struttura e distribuzione sia laterale che

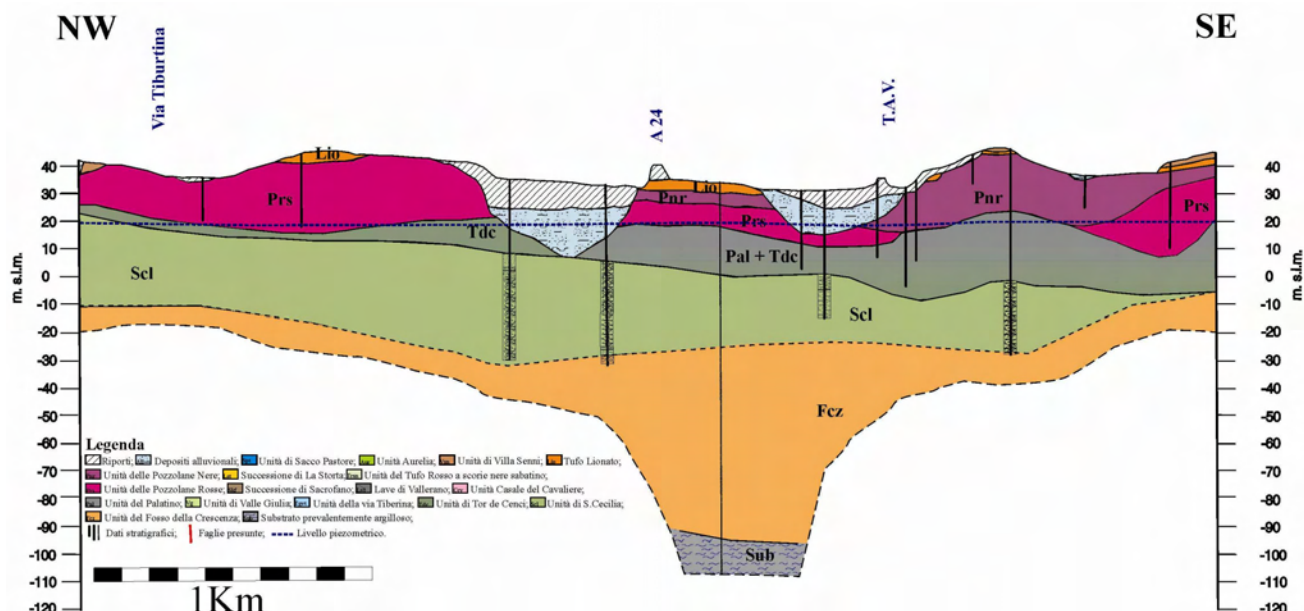


Fig.3 - Sezione di dettaglio dell'assetto geologico del settore più a SE dell'area in esame.

Legenda: Rip - Coltri di terreno di riporto; All - Depositi alluvionali; Lio - Tufo Lionato; Pnr - Pozzolane Nere; Prs - Pozzolane Rosse; Pal - unità del Palatino; Tdc - unità di Tor de' Cenci; Scl - formazione di S. Cecilia; Fcz - formazione del Fosso della Crescenza; Sub - Substrato prevalentemente argilloso; L.s. - Livello piezometrico attuale.

- Detailed geological section about the South-Eastern studied area.

Legend: Rip - Layers of man-made fills; All - Alluvia; Lio - Tufo Lionato; Pnr - Black pozzolans; Prs - Red pozzolans; Pal - Palatine unit; Tdc - Tor de' Cenci unit; Scl - S. Cecilia formation; Fcz - Fosso della Crescenza formation; Sub - Dominantly clayey bedrock; L.s. - Present piezometric level.



verticale di questi terreni rende possibile l'esistenza di svariate circolazioni idriche sospese di limitata importanza.

Un particolare interesse presenta, in questo complesso, l'orizzonte di ghiaie basali del Tevere che si sviluppa alla base della spessa coltre di limi argille e sabbie, seguendo l'andamento della valle principale e l'ultimo tratto delle valli degli affluenti. Le ghiaie costituiscono un orizzonte pressoché continuo, dello spessore variabile da qualche metro ad oltre dieci metri, che poggia direttamente sulle argille plio-pleistoceniche il cui tetto si abbassa di quota andando verso Sud scendendo da -30/-40 m s.l.m. fino a -70/-80 m s.l.m. in corrispondenza della foce del fiume (MANFREDINI, 1950).

La circolazione idrica nelle ghiaie di base delle alluvioni del Tevere risulta in pressione ed è ricaricata dalle formazioni detritiche affioranti a Nord di Roma e per travaso da molti acquiferi posti a ridosso delle rive.

2.4 - COMPLESSO DELLE COLTRI DI RIPORTO

In un'area urbanizzata le coltri di riporto antropico devono essere considerate come lo strato più giovane della serie; esse sono costituite da materiali vari e possono raggiungere anche spessori notevoli.

La disomogeneità dei materiali rende questi terreni differentemente permeabili, e questo genera spesso circolazioni complesse. Livelli saturi nei riporti si riscontrano un po' ovunque, non solo nel centro storico, e diventano importanti in corrispondenza della piana tiberina, dell'Aniene e degli affluenti maggiori, laddove questi terreni sono andati ad interrare i corsi d'acqua e le paludi antiche (LANCIANI, 1881; MARINI ZUCCO, 1885; VENTRIGLIA, 1971).

A volte le potenzialità idriche di queste coltri sono notevoli per cui è ipotizzabile che oltre alla ricarica zenitale, vi siano apporti anche provenienti da emergenze sorgive interrate, nonché da perdite del sistema acquedottistico e fognario.

3 - CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE

Il reticolo idrografico minore nel contesto urbano risulta destinato a scomparire per essere convogliato in collettori fognari, tuttavia un ristretto numero di fossi confluiscono ancora naturalmente verso l'Aniene, e localmente sono presenti aree

sorgive che costituiscono un vero relitto del paesaggio pre-urbano.

Questi corsi d'acqua sono stati rilevati per calcolarne la portata in alveo.

3.1 - BACINO DEL FOSSO DI TOR SAPIENZA

Con un estensione areale di più di 110km² quello del Fosso di Tor Sapienza è il più grande sottobacino dell'Aniene nel suo tratto urbano. Partendo dalle pendici dei Colli Albani a circa 400 m. s.l.m. i fossi che compongono il bacino percorrono più di 20 km fino ad arrivare con una pendenza media del 1,5% alla confluenza con l'Aniene posta alla quota di circa 20 m. s.l.m.

Il bacino interessa quasi l'intera porzione meridionale dell'area studiata. Esso presenta un reticolo costituito da numerosi piccoli corsi d'acqua che confluiscono nel Fosso di Tor Sapienza poco prima della sua immissione nell'Aniene.

3.2 - AREA UMIDA DELLA CERVELLETTA

L'area detta "Cervelletta" è collocata all'interno del sottobacino del Fosso di Tor Sapienza, a ridosso del quartiere Colli Aniene, ed è limitata a Sud dal tratto urbano dell'Autostrada A24, a Est da via di Tor Cervara e a Nord dal collettore fognario Roma Est. (fig. 4)

L'area è definita umida in quanto i suoli sono saturati da una emergenza diffusa perenne che costituisce un relitto della morfologia che caratterizzava alcuni paesaggi della campagna romana alcuni decenni or sono. L'affioramento della falda



Fig. 4 - Vista aerea dell'Area Umida della Cervelletta, con evidenziato il micro-reticolo idrografico e l'area depressa.

- View about "Cervelletta" wetland, and its micro drainage network.

permette lo sviluppo di stagni e piccole aree palustri popolate da specie animali e vegetali tipiche di questo contesto ambientale.

Morfologicamente tutta l'area risulta depressa e limitata da alture sia artificiali, (coltri di riporto



Fig. 5 - Il Fosso di Pratolungo nei pressi del GRA, al limite dell'area urbanizzata.

- Pratolungo Stream along GRA Highway.



Fig.6 - Processo di convogliamento del reticolo idrografico minore in collettori fognari, nella foto il Fosso di Casal 'de Pazzi.

-Urban areas expansion. A lot of streams disappear under several meters of made ground to flow into waste-water drains. Casal 'de Pazzi Stream case.

della A24, del quartiere Colli Aniene o del Collettore Roma Est) che naturali (sperone tufaceo del Casale della Cervelletta). La quota media della porzione depressa dell'area è circa 18 m.s.l.m., mentre le alture naturali si elevano per poco più di 30 m.s.l.m.

La quota media dell'area depressa è la stessa della zona d'espansione dell'Aniene e infatti fino a non molti anni fa era anch'essa un'area d'esondazione del vicino fiume. In questo contesto la presenza del Collettore Roma Est, che dal piano campagna alluvionale si alza per più di tre metri, gioca un ruolo di barriera non indifferente.

Dalla cartografia, dalle immagini aeree e dall'osservazione in sito si riscontra un micro-reticolo idrografico in parte artificiale, risalente all'epoca della bonifica, che drena le acque sorgive. In particolare l'acqua oltre a sgorgare in maniera diffusa e senza evidenti polle sorgive entra nella zona depressa tramite il Fosso della Cervelletta, la cui sorgente è situata a poche centinaia di metri più a monte; dall'area umida poi le acque sono convogliate in un canale di eduazione principale che confluisce direttamente nel collettore Roma Est.

In generale si può affermare che le sorgenti dell'Area umida della Cervelletta, poste al livello delle pozzolane risentano della circolazione regionale della falda albana.

L'acqua fuoriesce essenzialmente da una sorgente eccentrica che riversa il suo flusso nell'area umida e secondariamente da un'emergenza diffusa identificabile nella stessa area depressa.

3.3 - FOSSO DI PRATOLUNGO

Posizionato in riva destra dell'Aniene, (fig. 5) il Fosso di Pratolungo drena un territorio che complessivamente si estende per circa 70 km² in direzione Nord-Est Sud-Ovest, rimanendo compreso tra le quote di 150 e di 21 m.s.l.m. alla confluenza con l'Aniene. Questo bacino, piuttosto esteso, rientra nell'area di studio solo per una piccola parte.

Le litologie su cui si sviluppa sono molto varie. Esso infatti attraversa nel suo settore più a monte, i terreni della serie calcarea mesozoica (pendici dei Monti Cornicolani), e nel suo medio corso quelli plio-pleistocenici marini e continentali.

3.4 - BACINO DEL FOSSO DI CASAL 'DE PAZZI

Questo bacino è drenato da tre fossi che confluiscono (ormai in collettore), (fig. 6) poco prima



di riversarsi nell'Aniene a 17 m.s.l.m.; il Fosso della Cinquina, il Fosso della Cesarina e il Fosso di S. Basilio.

Il bacino esteso per circa 30 km², ha una forma romboidale allungata in direzione Nord-Est e trova la sua culminazione a Fondi di Tor Lupara (110 m.s.l.m.), fuori dal limite dell'area in studio.

In questo bacino, la presenza di terreni in affioramento da mediamente a poco permeabili posti sul *bedrock* costituito dalle argille plio-pleistoceniche fa escludere la presenza di importanti orizzonti acquiferi.

All'epoca del rilevamento il Fosso della Cinquina e il Fosso di S. Basilio erano completamente secchi. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle portate dei corsi d'acqua e delle sorgenti diffuse misurate (tab. 1)

4 - CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

L'assetto idrogeologico del bacino dell'Aniene, alla sua confluenza con il Fiume Tevere non è mai stato studiato ad una scala di dettaglio. Questo lavoro, che si avvale della nuova cartografia geologica di Roma 1:10.000 (FUNICIELLO & GIORDANO, in questo volume), viene a colmare questa lacuna e si basa sui dati reperiti nel corso di una recente campagna di rilievi idrogeologici. Fondamentale, tuttavia, è stata la consultazione dei noti lavori di Ventriglia (VENTRIGLIA 1971, 1990, 2002) e l'esperienza acquisita in analisi precedenti dagli autori (CAPELLI *et alii* 2001, CAPELLI & MAZZA 2005/a, CAPELLI & MAZZA 2005/b, *et alii* 2005, LA VIGNA *et alii* 2006)

4.1 - IDROGEOLOGICA

La campagna sperimentale si è concentrata principalmente sul reperimento di pozzi e piezometri

necessari per il rilevamento piezometrico e chimico-fisico. Come presumibile tale lavoro ha comportato uno notevole sforzo per il superamento delle difficoltà ambientali.

Le curve isopiezometriche sono state costruite riferendosi ai circa 125 punti di misura utilizzati nel corso della campagna 2004 (fig. 7).

Nell'analisi geologica precedente si è visto che esistono molti acquiferi sospesi. Di conseguenza, non essendo dato sapere a quali acquiferi specifici attingano la maggior parte dei pozzi e se essi incontrino, o meno, più di una falda, le curve isopiezo-

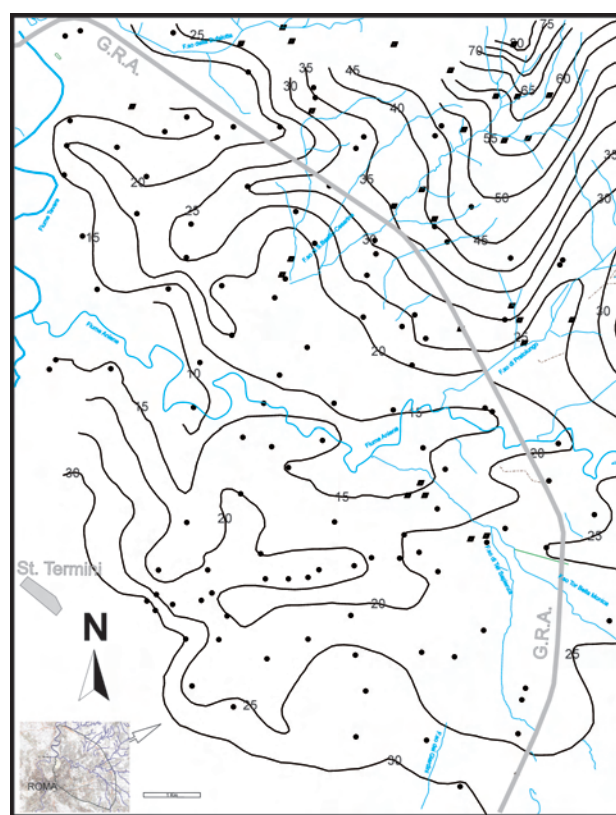


Fig. 7 - Carta semplificata delle isofreatiche sperimentali con punti di rilevamento.
- Simplified Water table Map of lower Aniene River basin with surveying points.

Tab. 1 - Misure di portata in alveo e relativi volumi.
- Water flow measures about surveyed streams.

Corso d'Acqua (Stream)	Quota (elev.)	Portata misurata (flow)	Periodo misura (season-year)
F.so di Tor Sapienza	25 m.s.l.m.	15.7 l/s	Estate/Summer 2004
Sorg. Cervelletta	18 m.s.l.m.	16.3 l/s	Estate/Summer 2004
F.so di Pratolungo	24 m.s.l.m.	8.1 l/s	Estate/Summer 2004
F.so della Cesarina (B. C. 'de Pazzi)	25 m.s.l.m.	20.7 l/s	Estate/Summer 2004

metriche sono state tracciate riferendosi ad un ipotetico livello di saturazione medio diffuso su tutta l'area in esame.

Per comprendere l'assetto idrogeologico del settore settentrionale della Città di Roma occorre osservare la carta piezometrica assieme ai profili idrogeologici (vedi carta fuoritesto. "Carta Idrogeologica del settore terminale del bacino del Fiume Aniene").

Dalla cartografia si può dedurre come nel settore esistano importanti fenomeni di scambio falda-fiume. Evidentemente il livello di base della circolazione è costituito dall'Aniene che scorre, fino alla confluenza con il Tevere a quote inferiori ai 20 m. s.l.m.

L'apporto a questo fiume in riva sinistra è consistente in quanto esso è dovuto alla potente circolazione albana che si canalizza nelle paleo incisioni fluviali impostatesi nelle fasi di basso stazionamento del livello marino. In questo lato, i gradienti sono bassi ma i valori di permeabilità e trasmissività da medi ad elevati e gli spessori del saturo consistenti.

In riva destra non è presente una circolazione altrettanto potente. Il *bedrock* va risalendo di quota verso Nord, determinando una progressiva riduzione dello spessore degli acquiferi impostati prevalentemente in depositi terrigeni pleistocenici e secondariamente da depositi vulcanici per lo più sabatini e subordinatamente albanici.

Il gradiente piezometrico è più elevato rispetto al versante sinistro sia per l'imposizione data dal tetto del substrato a bassa permeabilità sia per i più bassi valori di permeabilità che caratterizzano gli acquiferi. Il modesto spessore della coltre satura, la

giacitura del tetto dell'*aquiclude* e una ricarica legata alla sola infiltrazione locale, fanno sì che il drenaggio verso i corsi d'acqua e il rendimento dei pozzi, siano modesti.

4.2 - CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

I parametri chimico-fisici speditivi misurati durante la campagna 2004 sono stati analizzati e descritti statisticamente e successivamente è stata

Tab. 2 - Statistica descrittiva dei dati di Conducibilità elettrica.

- Descriptive statistics about groundwater electric conductivity data.

Popolazione- Population	156
Valore minimo – Minimum	331
Valore massimo – Maximum	2530
Range	2199
Media - Mean	739.26
Deviazione Standard – St. Dev.	322.45
Errore Standard – St. Error	25.82
Mediana	656.5
Somma -	115324
Somma quadratica	101370428
Varianza - Variance	103976.91
Skewness	3.14
Kurtosis	11.65

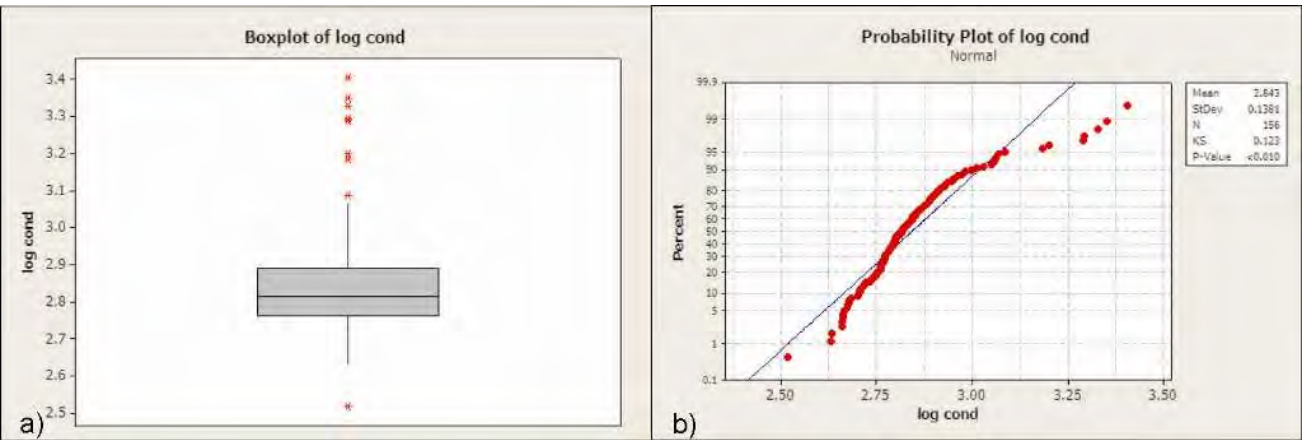


Fig. 8 - Statistica descrittiva dei dati relativi ai logaritmi delle misure di conducibilità elettrica($\mu\text{S}/\text{cm}$) delle acque sotterranee. a) Boxplot; b) Diagramma di probabilità cumulata.
- Descriptive statistics about logarithmic groundwater electric conductivity data ($\mu\text{S}/\text{cm}$). a) Boxplot; b) Normal probability plot.



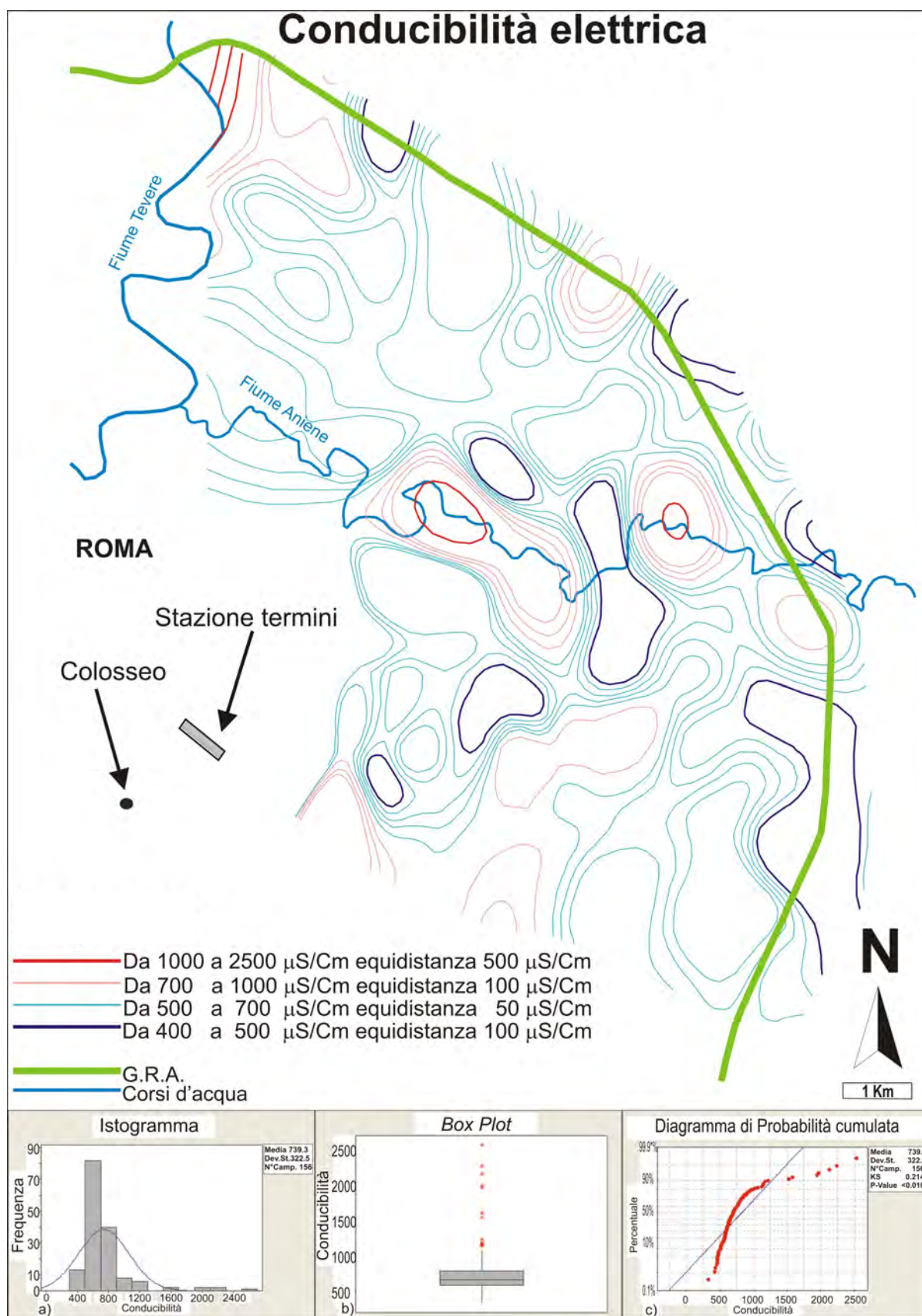


Fig. 9 - Carta semplificata delle isolinee di conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) delle acque sotterranee e relativa statistica descrittiva dei dati ; a) Istogramma di frequenza; b) Boxplot; c) Diagramma di probabilità cumulata.

- Simplified ground water Electric Conductivity Map ($\mu\text{S}/\text{cm}$) and descriptive statistics about data. a) Histogram; b) Boxplot; c) Normal probability plot.

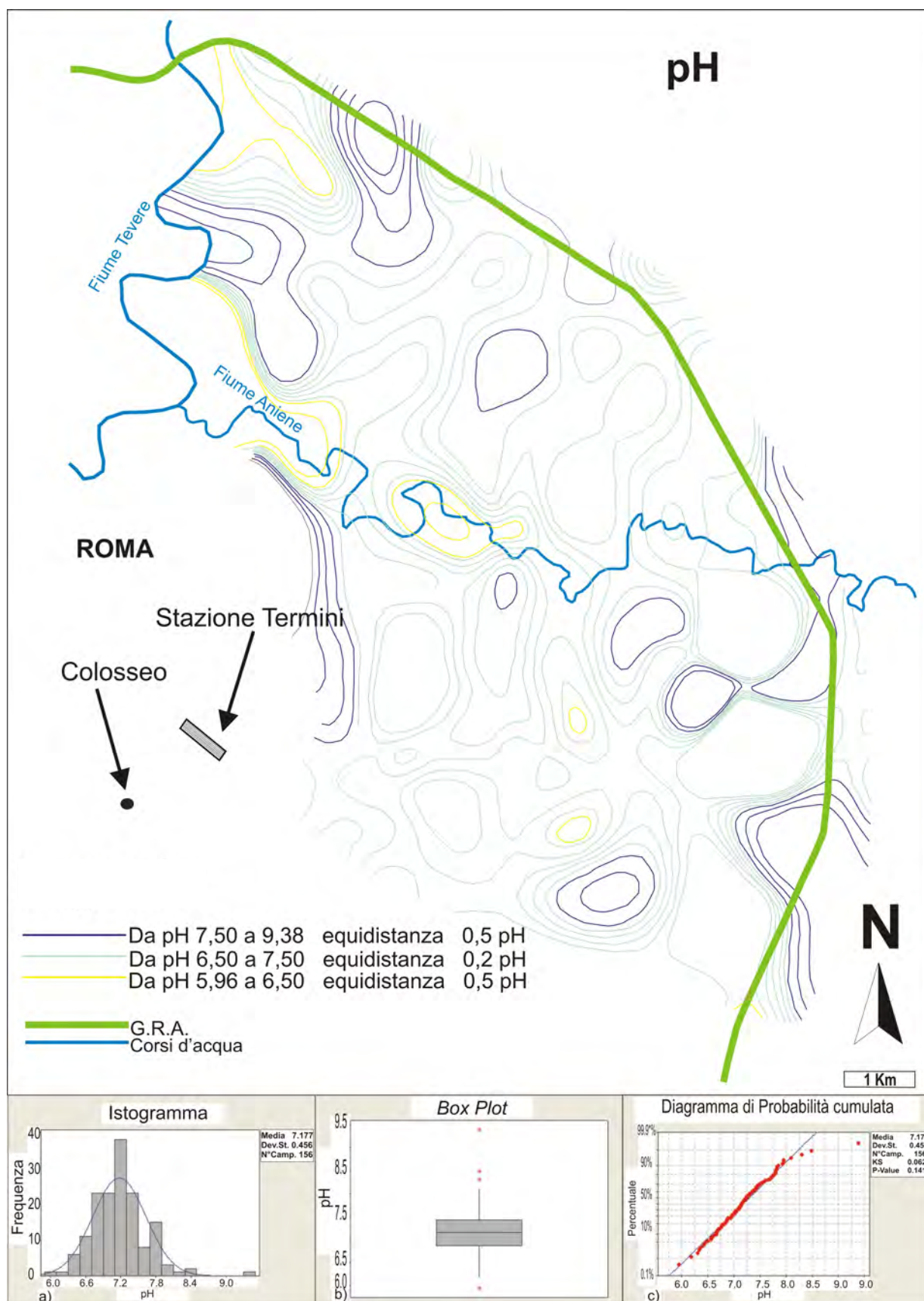


Fig. 10 - Carta semplificata delle isolinee di pH delle acque sotterranee e statistica descrittiva dei dati; a) Istogramma di frequenza; b) Boxplot; c) Diagramma di probabilità cumulata.

- Simplified ground water pH Map and descriptive statistics about data; a) Histogram; b) Boxplot; c) Normal probability plot.



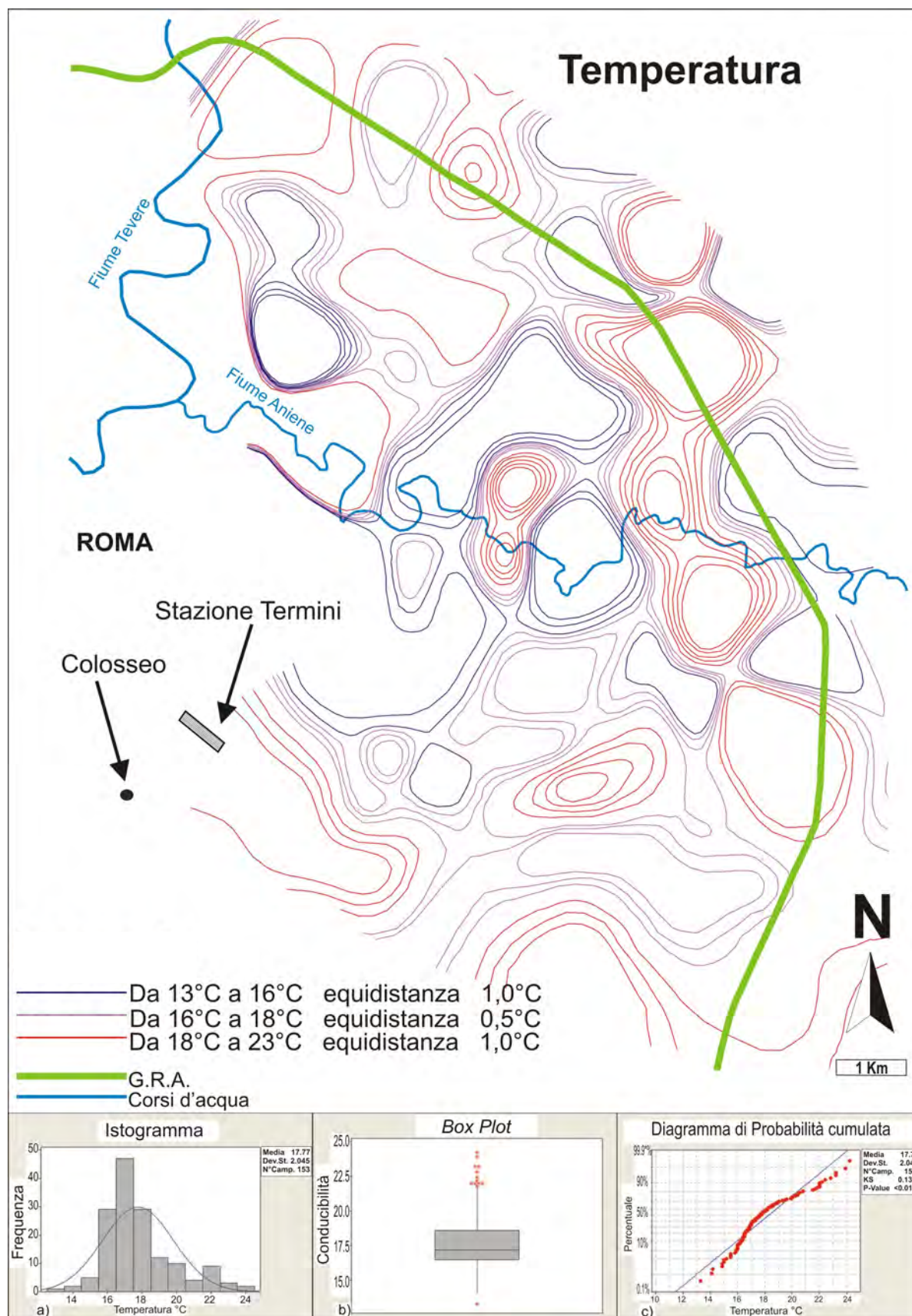


Fig. 11 - Carta semplificata delle isolinee di temperatura (°C) delle acque sotterranee e statistica descrittiva dei dati; a) Istogramma di frequenza; b) Boxplot; c) Diagramma di probabilità cumulata.

- Simplified ground water Temperature Map (°C) and descriptive statistics about data; a) Histogram; b) Boxplot; c) Normal probability plot.

realizzata con metodologia deterministica “*inverse-distance*” una cartografia relativa alla distribuzione dei valori dei vari parametri.

I dati della conducibilità come è possibile vedere dall’istogramma di frequenza (fig. 9a, tab.2) si presentano abbastanza dispersi verso i valori più alti e dal *boxplot* (fig. 9b) è possibile notare come il *range* interquartile è compreso tra valori di poco superiori a 500 e 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Anche dal *boxplot* la dispersione è evidente così come il valore positivo di *skewness* (fig. 9c).

Trasformando i dati in logaritmo la dispersione diminuisce, la distribuzione si avvicina di più ad una distribuzione normale e anche i dati anomali diminuiscono. Questo è dimostrato anche dal test

Tab .3 - Statistica descrittiva dei dati di pH.
- *Descriptive statistics about groundwater pH.*

Popolazione- Population	156
Valore minimo – Minimum	5.95
Valore massimo – Maximum	9.38
Range	3.43
Media - Mean	7.2
Deviazione Standard – St. Dev.	0.45
Errore Standard – St. Error	0.04
Mediana	7.16
Somma -	1119.65
Somma quadratica	8068.22
Varianza - Variance	0.21
Skewness	0.78
Kurtosis	2.85

Tab .4 - Statistica descrittiva dei dati di Temperatura.
- *Descriptive statistics about groundwater Temperature.*

Popolazione- Population	153
Valore minimo – Minimum	13.3
Valore massimo – Maximum	24.2
Range	10.9
Media - Mean	17.77
Deviazione Standard – St. Dev.	2.05
Errore Standard – St. Error	0.17
Mediana	17.2
Somma -	2718.1
Somma quadratica	48923.83
Varianza - Variance	4.18
Skewness	1.04
Kurtosis	0.85

di Kolmogorov-Smirnov fatto sulla serie di dati reale e logaritmica (fig. 8a,b).

L’andamento nello spazio delle curve di conducibilità (fig.9) descrive una situazione piuttosto omogenea, ma presenta alcuni picchi localizzati in zone dove l’interferenza con le acque superficiali inquinate (Aniene, Tevere, Fosso di Pratolungo) potrebbe essere una giustificazione plausibile per valori superiori a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e con picchi fino a 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La serie dei dati di pH è quella che meglio rispecchia una distribuzione normale;(fig. 10a, tab.3) si può notare infatti dall’istogramma di frequenza come la serie si disponga quasi simmetricamente rispetto al valore neutro di 7 (media 7.1). Pur presentando uno *skewness* leggermente positivo si nota dal *boxplot* (fig. 10b) come questa dispersione verso i valori più bassi di pH dipenda da solo tre misurazioni puntuali. Del resto anche dal test di kolmogorov-smirnov si nota come sul diagramma di probabilità cumulata i dati ricalchino quasi tutto l’andamento della retta e come l’indice K-S sia molto vicino allo “zero” (fig. 10c).

Anche le curve relative al pH presentano un andamento omogeneo con picchi di acidità in corrispondenza di misure effettuate nei pressi dell’Aniene e nell’area in riva destra (fig.10).

La serie dei dati di temperatura presenta un andamento piuttosto tendente alla normalità con una media di 17.8 °C, anche se dall’istogramma di frequenza(fig. 11a, tab.4) si nota una leggera dispersione e una seconda popolazione relativa ai valori più alti. Dal *boxplot* che mostra chiaramente il *range* interquartile compreso approssimativamente tra 17 e 18 °C, si nota la stessa popolazione anomala segnalata dagli *outliers* (fig. 11b).

Dal test di *Kolmogorov-Smirnov* si può vedere come la distribuzione dei dati si discosti di poco dalla normalità (fig.11c).

L’andamento nello spazio delle temperature relative alle acque sotterranee presenta uno sviluppo piuttosto disomogeneo con diversi “*hot spots*” relativi a valori superiori ai 18°C diffusi in un contesto che comunque per la maggior parte dei casi risulta maggiore di 16°C (fig.11).

Nel settore Nord Orientale della Città, un allineamento di punti “caldi” con direzione “Appenninica”, correlata con le dislocazioni tettoniche riconosciute in bibliografia induce a riflettere su possibili risalite di fluidi endogeni caldi, anche se questa tesi non è supportata dai valori di conducibilità elettrica misurati.



4.3 - DISTRIBUZIONE UTILIZZATORI

La ricerca di pozzi per effettuare misure sperimentali a supporto di questo studio, ha portato a rilevare 141 punti d'acqua uniformemente distribuiti sul territorio d'indagine, rispettivamente consistenti in 8 sorgenti (solo una di discreta portata), 7 sezioni di misura di portata in alveo, 125 tra pozzi e piezometri (fig. 12).

Per quanto riguarda i pozzi e piezometri è stata effettuata una suddivisione percentuale degli stessi in base alle loro tipologie, e alle loro destinazioni d'uso.

Per quel che concerne la tipologia, si può vedere dal grafico come rispetto alla totalità predominano i pozzi trivellati (77,8%); seguono i piezometri (12,6%); pochi pozzi romani (9,6%) la maggior parte dei quali ricadono nelle zone periferiche della città ai confini con la campagna.

Come è immaginabile la tipologia delle destinazioni d'uso in un'area urbanizzata, risulta molto variabile. Come è possibile notare dalla tabella (tab.5), il totale risulta suddiviso in molteplici classi riferite a valori percentuali di norma sotto il 6%. Chi supera questo valore sono in ordine: vivai (7,2%), Comune di Roma (7,2%), aziende agricole (7,2%), centri sportivi (8%), parrocchie (10,4%), ferrovie (12%), privati cittadini (12,8%); il massimo del punteggio spetta alle stazioni di servizio (13,6%).

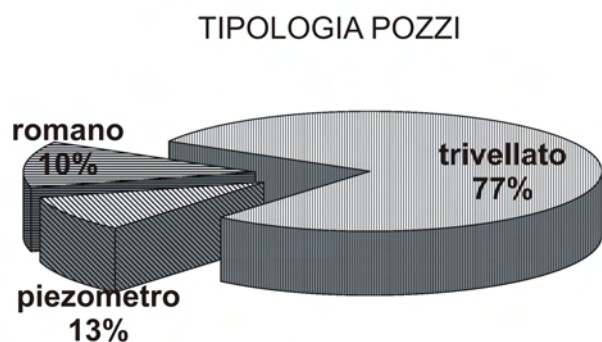


Fig. 12 - Grafico delle tipologie di pozzi rilevati.
- Distribution of well typology in North-East of Rome.

5 - CONSIDERAZIONI FINALI

Con questo studio si è voluto contribuire a colmare le lacune informative dell'idrogeologia del settore romano nordorientale e approfondirne l'assetto geologico ed idrogeologico.

Lo studio ha raggiunto una scala di indagine molto di dettaglio portando a produrre una cartografia idrogeologica molto articolata.

Le piezometrie si riferiscono al livello medio riscontrato nei punti di rilevamento, e danno luogo ad un'unica superficie piezometrica di riferimento per quest'area, ovvero non vengono prese in considerazione le esigue falde acquifere superficiali che possono riscontrarsi, in maniera molto localizzata, al tetto di paleosuoli o livelli in generale meno permeabili.

La presenza di attività industriali nei settori periferici di quest'area può certamente influenzare i valori qualitativi speditivi misurati, d'altro canto la coesistenza conclamata di fenomeni tardovulcanici di risalita di fluidi termominerali, non permette, a questo livello di indagine, di discernere i rapporti di causa-effetto.

Tab. 5 - Distribuzione percentuale della tipologia utilizzatore pozzi.

- Distribution of well use in North-East of Rome.

Tipologia utenti	Percentuale
Centri caravan	0,8%
Istituti scolastici	0,8%
Abbandonati	0,8%
Università	0,8%
Fondazioni scientifiche	0,8%
Complessi ospedalieri	0,8%
Centri sportivi e Club	1,6%
Condomini	2,4%
Imprese edili	3,2%
Istituti religiosi	4,8%
Impianti calcestruzzo	5,6%
Vivai	7,2%
Comune di Roma	7,2%
Aziende agricole	7,2%
Parrocchie	10,4%
Italferr	12,0%
Privati cittadini	12,8%
Staz. di servizio auto	13,6%

BIBLIOGRAFIA

- ALBANI R., LOMBARDI L. & VICINANZA P. (1972) – *Idrogeologia della Città di Roma*. Ingegneria sanitaria, 20 (3), Roma.
- CAPELLI G. (2001) – *Studi di Geologia Ambientale: caratterizzazione idrogeologica delle aree protette di Roma Natura*. Ricerche di base per i piani delle aree naturali protette di Roma Natura. Informatore Botanico Italiano. Bollettino della Società Botanica Italiana. Vol. 33(1) p. 29.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2005) – *Schema idrogeologico della Città di Roma. Gestione della risorsa Idrica e del rischio geologico*. La IV Dimensione. Geologia dell'Ambiente. Supplemento 4/2005. Società Italiana di Geologia Ambientale. Roma.
- CAPELLI G. & MAZZA R. (2005) – *Caratteristiche idrogeologiche dell'area romana*. Ecosistema Roma. Atti dei convegni Lincei 218. pp. 325 – 334. Roma.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (2005) – *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio. Gli acquiferi vulcanici*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale. 78. Pitagora Editrice. Bologna.
- FEROCI M., FUNICIELLO R., MARRA F. & SALVI S. (1990) – *Evoluzione Tettonica e paleogeografia plio-pleistocenica nell'Area di Roma*. Il Quaternario, 3 (2).
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. ED (questo volume) – *Carta Geologica del Comune di Roma*. Parte Prima, Scala 1:10.000. Università degli Studi RomaTRE - Dipartimento di Scienze Geologiche, APAT, Comune di Roma. [www.protezionecivilecomunero.it/CartaRoma%20\(D\)/index.html](http://www.protezionecivilecomunero.it/CartaRoma%20(D)/index.html).
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. Ed (questo volume) – *La nuova carta geologica di Roma (scala 1:10.000); litostratigrafia e organizzazione stratigrafica*.
- LA VIGNA F., TAVIANI S. & MAZZA R. (2006) – *Hydrogeology of North East of Rome: the Aniene River basin*. 5th Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Barcelona, España.
- LANCIANI R. (1981) – *Formae Urbis*. Roma.
- LOMBARDI L. (1966) – *Ricerca d'acqua fuori dalle mura di Roma*. Rass. Lav. Pubbl., 9, Roma.
- MANFREDINI M. (1950) – *Le falde idriche artesiane del sottosuolo di Roma*. Quaderno 3, Serv. Geol. D'It., Roma.
- MARRA F. & ROSA C. (1995) – *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana*. In Mem. descr. Carta Geol. d'It. 50. La Geologia di Roma il Centro Storico. Servizio Geologico d'Italia. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. 1, pp. 49 - 112. Roma.
- MARINI ZUCCO F. (1885) – *Relazione sulle analisi chimiche delle acque del sottosuolo di Roma*. Roma.
- UNIGEO *Idrogeologia del territorio romano entro le Mura Aureliane e geologia delle aree del Palatino e delle Terme di Caracalla*.

