

**ORGANIZZAZIONE DI INFORMAZIONI
STRATIGRAFICHE PER LA DEFINIZIONE DI
UNITÀ IDROGEOLOGICHE**

Dr. Emanuele Piergentili

Tutor: Dr. Lucio Martarelli

INDICE

1. PREFAZIONE 3

2. ABSTRACT 4

3. RIASSUNTO 5

4. INTRODUZIONE 6

5. METODOLOGIE UTILIZZATE 6

5.1. RICERCA BIBLIOGRAFICA	7
5.2. SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI E ALTRI SOFTWARE UTILIZZATI	7
5.3. INTEGRAZIONE E INTERPRETAZIONE FINALE	9

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DEI COLLI ALBANI 10

7. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 14

7.1 CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA DELL'UNITÀ IDROGEOLOGICA DEI COLLI ALBANI	15
---	----

8. DATI DI SOTTOSUOLO 19

8.1. IL BASAMENTO CARBONATICO.....	19
8.2. IL SUBSTRATO ARGILLOSO-SABBIOSO-GHIAIOSO E LA SERIE VULCANICA	20
8.3. ELABORAZIONE DATI DERIVANTI DALL'ARCHIVIO DELLA L. 464.84	25
8.4. ANALISI DEI DATI IN DUE DIMENSIONI	32
8.5. ANALISI DEI DATI IN TRE DIMENSIONI	34
8.6. RICOSTRUZIONE ANDAMENTO PIEZOMETRICO	37
8.7. ANALISI DATI CON ROCKWORKS.....	43

9. CONCLUSIONI 50

RINGRAZIAMENTI 51

BIBLIOGRAFIA 52

APPENDICI

1. Prefazione

La determinazione dei criteri per la definizione di unità stratigrafiche è materia in continua evoluzione nel campo delle Scienze della Terra. Normative formali e tecnico-operative specifiche, dopo mirate sperimentazioni e verifiche, sono state adottate ormai da alcuni decenni anche in Italia, sebbene nel dettaglio siano continuamente in stato di aggiornamento e revisione. Al contrario, non sono state ancora determinate univocamente le linee guida per la definizione di unità idrogeologiche, che, comunque, devono tenere conto delle caratteristiche di quelle stratigrafiche. E' pertanto operazione di primaria importanza l'organizzazione d'informazioni a carattere stratigrafico sulle formazioni geologiche per riuscire a differenziare queste ultime anche rispetto al loro comportamento rispetto alla presenza dell'acqua, e quindi rispetto alla loro capacità di ospitare falde acquifere. Ovviamente questa caratterizzazione riguardo al ruolo idrogeologico assunto, deve procedere con criteri il più possibile oggettivi, ossia non dipendenti dal ricercatore idrogeologo che la effettua.

A tal proposito il Servizio Geologico Nazionale (ora Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT) ha ritenuto opportuno dedicarsi alla definizione di linee guida per la cartografia idrogeologica a livello nazionale (Quaderni del Servizio Geologico Nazionale, serie III, n. 5, 1995). A supporto di tale problematica è anche avvenuta la promulgazione della Legge n. 464 del 1984, di cui si parlerà nel presente lavoro.

Per contribuire ulteriormente a tale fondamentale questione, il Servizio Geologico, Scienze della Terra e Carte Tematiche, ora Servizio Geologia Applicata e Idrogeologia, del Dipartimento Difesa del Suolo (APAT), su sollecitazione del Settore Idrogeologia istituito nel suo ambito, ha richiesto l'attivazione di stage interni per effettuare sperimentazioni in aree campione. L'area prescelta per il presente stage ricade nel Comune di Ciampino e si inquadra nel distretto vulcanico dei Colli Albani. La forte densità d'informazioni stratigrafiche derivante dai pozzi dell'archivio della Legge n. 464/84 e la disponibilità di sufficienti informazioni di riferimento nella letteratura scientifica (cartografie geologiche, pubblicazioni tecnico-scientifiche, rapporti tecnici di vari enti) ha suggerito quest'area per la conduzione di uno studio con carattere di dettaglio, allo scopo di arrivare alla costruzione di sezioni geologiche interpretative ed, infine, alla definizione delle unità idrogeologiche. Le varie fasi di questo studio, che hanno richiesto un elevato grado di accuratezza, saranno illustrate nel dettaglio nella presente tesi di stage.

Le considerazioni tratte da questo stage potranno in seguito anche contribuire alla definizione di modifiche da apportare alle citate linee guida della cartografia idrogeologica nazionale (Quaderno SGN n. 5).

2. Abstract

The present study, performed within the APAT programme “environmental learning by stages”, was conducted by several different approaches and tools by using at first of a collection of former information available from the scientific literature, which have been discussed and organized in a general synthetic picture. Then, the elaboration by GIS software of the data available from the geodatabase of the information provided by the Italian National Law n° 464 issued the 4th August 1984 was performed to contribute to the knowledge of the local stratigraphical succession and the piezometric surface features and its variation with time.

The final aim of the study was to identify and characterize the aquifer structure and the hydrogeological units in the study area, on the basis of the defined stratigraphical and hydrogeological settings.

The local stratigraphical succession, which hosts aquifer layers, was defined, from top to bottom, as follows:

- *IV pyroclastic Tuscolano-Artemisio flow: “Tufo di Villa Senni” and “Pozzolanelle” (Auct.);*
- *III pyroclastic Tuscolano-Artemisio flow: “Tufo Lionato” and “Pozzolane inferiori” (Auct.);*
- *Pyroclastic rocks and lavas intercalated in the II pyroclastic Tuscolano-Artemisio flow (Auct.);*
- *II pyroclastic Tuscolano-Artemisio flow: “Pozzolane rosse” (Auct.);*
- *I pyroclastic Tuscolano-Artemisio flow: “Tufo pisolitico” (Auct.).*

In particular, the III pyroclastic Tuscolano-Artemisio flow and the II pyroclastic Tuscolano-Artemisio flow host most of the main aquifer layers. In the first stratigraphical unit, which correspond to a stratified tuffs hydrogeological complex, the local “surface” aquifer occurs, while the second unit, corresponding to the “pozzolane” complex, hosts the local “basal” aquifer.

3. Riassunto

Il seguente lavoro di tesi, redatto per lo Stage interno APAT di Formazione Ambientale, è stato condotto con diversi e vari metodi e strumenti, ed ha sviluppato come primo approccio la raccolta di lavori pregressi dalla letteratura scientifica, estrapolando e sintetizzando da questi le informazioni disponibili. Di seguito è stata effettuata un'elaborazione dei dati residenti nel *geodatabase* delle informazioni fornite dall'applicazione della Legge 4 agosto 1984 n. 464, per mezzo di applicativi G.I.S. al fine di approfondire le conoscenze sulla successione stratigrafica locale e sui livelli piezometrici con un approccio multi-temporale, basato sul confronto tra lo stato attuale e quello derivante da dati precedenti.

Scopo finale dello studio è stato quello di identificare e quindi definire gli andamenti degli acquiferi e delle unità idrogeologiche distinte nell'area di interesse, in relazione all'assetto geologico e idrogeologico dell'area.

Si è notato che la successione stratigrafica che ospita i livelli acquiferi, ricostruita dalle informazioni della letteratura, può essere schematizzata, dall'alto verso il basso, come segue:

- IV colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo di Villa Senni” e “Pozzolanelle” (*Auct.*);
- III colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo Lionato” e “Pozzolane inferiori” (*Auct.*);
- piroclastiti e lave intercalate del II ciclo (*Auct.*);
- II colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Pozzolane rosse” (*Auct.*);
- I colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo pisolitico” (*Auct.*).

In particolare, la III colata piroclastica e la II colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio sono le unità che ospitano con maggiore frequenza gli strati acquiferi. La III colata piroclastica, che corrisponde al Complesso idrogeologico dei tufi stratificati, è l'unità idrogeologica che ospita un acquifero “superficiale”, mentre la II colata piroclastica, corrispondente al Complesso delle pozzolane, ospita un acquifero “basale”, ossia localizzato in posizione stratigrafica inferiore ed in corrispondenza della base della successione stratigrafica.

4. Introduzione

L'obiettivo di questo studio è stato quello di organizzare le unità stratigrafiche al fine di conseguire una caratterizzazione delle unità idrogeologiche facenti parte del complesso vulcanico dei Colli Albani. La metodologia adottata ha previsto l'utilizzo di strumenti tradizionali, quali la raccolta di informazioni bibliografiche, e di altri di nuova concezione quali sistemi geografici informatizzati e applicativi appositamente sviluppati per indagini geologiche e idrogeologiche.

È stato possibile interpretare le successione stratigrafiche dell'area di indagine ricavate dalla letteratura scientifica, relazionare le relative informazioni ottenute con quelle contenute nel *geodatabase* della Legge 4 agosto 1984, n. 464, effettuare delle analisi spaziali con particolari *software* ed, infine, definire le unità idrogeologiche.

Grazie all'utilizzo dei dati raccolti dall'Ing. S. Furnari nell'ambito dello svolgimento della tesi specialistica in Ingegneria Ambientale durante una campagna di misurazione di livelli di falda relativa a settembre 2005, è stato possibile impostare uno studio multi-temporale dei livelli piezometrici dell'area.

Integrando tutte le informazioni raccolte con i risultati del presente studio si è giunti alla definizione degli andamenti degli acquiferi e delle unità idrogeologiche caratterizzanti l'area di interesse.

5. Metodologie utilizzate

Il presente studio è stato condotto con diversi e vari metodi e strumenti. In particolare sono state sviluppate le seguenti fasi:

- ricerca bibliografica (reperimento dei diversi articoli in merito all'argomento trattato, estrapolazione dei concetti fondamentali espressi da diversi autori ed elaborazione di un quadro di sintesi);
- analisi dei dati con sistemi informativi geografici (elaborazione del *geodatabase* ottenuto dall'applicazione della Legge 464, con gli applicativi G.I.S.);
- integrazione e interpretazione finale.

5.1. Ricerca bibliografica

La ricerca delle fonti letterarie, sulle quali si è basata l'interpretazione dei dati, è stata realizzata presso la biblioteca dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, APAT. Questa è stata effettuata considerando articoli e pubblicazioni che trattano di studi riguardanti il distretto vulcanico dei Colli Albani, con particolare riferimento all'analisi delle successioni stratigrafiche ed allo schema tettonico strutturale dell'area, unitamente all'esame dell'assetto idrogeologico e dei dati ricavati dai sondaggi effettuati. Dalle informazioni presenti in letteratura sono stati ricavati ed interpretati le successioni stratigrafiche. Queste sono state elaborate e disegnate utilizzando software applicativi di grafica (CorelDraw, della *software house* Corel, e Adobe Photoshop, sviluppato dalla casa produttrice Adobe), ottenendo delle interpretazioni di sintesi.

5.2. Sistemi informativi geografici e altri *software* utilizzati

Altra fonte di dati utili per l'analisi è stato il *geodatabase* della Legge 4 agosto 1984, n. 464 che attualmente è in via di implementazione tramite informatizzazione delle comunicazioni che pervengono in forma cartacea all'APAT utilizzando un applicativo dedicato e sviluppato a questo scopo. Il *geodatabase* è strutturato utilizzando il linguaggio di programmazione SQL all'interno dell'applicativo Microsoft Access presente nella *suite* di programmi Microsoft Office. La banca dati presenta un doppio collegamento dinamico basato su puntamenti e *query*: uno "in entrata", con cui si rendono informatizzate le comunicazioni cartacee, e l'altro "in uscita", con i sistemi informativi geografici G.I.S., che permettono di visualizzare i dati, effettuare analisi ed elaborazioni con lo scopo di produzione di cartografia tematica. L'insieme degli applicativi G.I.S. della *software house* ESRI permettono di effettuare studi su *set* di dati tenendo presente le nozioni di base della geologia e dell'idrogeologia e di applicare quindi metodologie di analisi geostatistica, quali ad esempio il *kriging*, per ottenere delle informazioni da applicare al campo di interesse. Grazie a tali *suite* di programmi sono state ottenute visualizzazioni dei dati:

- in due dimensioni con l'applicativo ArcMAP, considerando una localizzazione su un piano con un sistema di riferimento universale secondo la proiezione trasversa di Mercatore, che divide la terra in 60 fusi,

- o in tre dimensioni, grazie all'estensione Spatial Analyst e 3D Analyst ed il *software* ArcSCENE, implementando anche i valori delle altezze,
- o infine in quattro dimensioni, inserendo anche il parametro tempo e potendo così effettuare delle analisi multi-temporali.

La flessibilità e l'omogeneità del trattamento dei dati permette di effettuare degli aggiornamenti e delle modifiche di questi stessi in tempo reale e dinamico, associandoli all'esportazione in formati riconosciuti da *software* sviluppati per usi diversi. Grazie all'utilizzo di un altro applicativo, RockWorks, si possono effettuare inoltre altre visualizzazioni in tre dimensioni, potendo così costruire dei modelli idrogeologici.

La Legge 4 agosto 1984, n. 464 prevede la comunicazione al Servizio Geologico d'Italia (ora Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT, delle informazioni riguardanti “studi ed indagini, a mezzo di scavi, pozzi, perforazioni e rilievi geofisici, per ricerche idriche od opere di ingegneria civile, al di sotto dei trenta metri dal piano campagna”¹. Le informazioni, di carattere amministrativo e tecnico, vengono analizzate, elaborate e poi inserite, per mezzo di un *software* applicativo, in un geodatabase. Da quest'ultimo possono essere consultate le descrizioni litologiche originali, presenti nel modulo 4 (Fig. 1) e fornite dalle eventuali ditte di perforazione o dai professionisti geologi.

¹ Art. , D.Lgs. 4/ 8/1984, n. 464

[illegible]

Fig. 1 – Modulo associato alla seconda comunicazione di fine indagine relativa al D.Lgs. 4/8/1984, n. 464 contenente le informazioni amministrative (in rosso), tecniche (in verde) e relative alle stratigrafie (in blu).

Tali informazioni pervengono in una forma non standardizzata e spesso senza una classificazione litologica secondo la terminologia presente nelle legende delle carte geologiche ufficiali. Per semplificare e snellire l'approccio si è proceduto ad un'interpretazione di tali descrizioni seguendo una metodologia basata sulla tipologia litologica prevalente, rispettando comunque le caratteristiche delle formazioni riconosciute. In definitiva, è stata effettuata una correlazione delle sequenze stratigrafiche alla stratigrafia di sintesi risultante dal paragone delle informazioni desunte dalle successioni presentate da Manfredini (1967)² e da de Rita (1990)³.

5.3. Integrazione e interpretazione finale

Ultima fase è l'integrazione e l'interpretazione dei dati inseriti nella banca dati, originariamente resi in formato informatizzato, e la loro utilizzazione per l'elaborazione

² Manfredini – Servizio Geologico d'Italia, 1967, pp. 129-237.

³ de Rita & Rosa – Rend. Soc. Geol. It., 1990, pp. 143 – 146.

finale. Lo scopo di questa fase conclusiva è stato quello di associare i complessi idrogeologici alle informazioni stratigrafiche di sintesi residenti nel geodatabase, opportunamente riconosciute ed elaborate.

6. Inquadramento geologico dell'area dei Colli Albani

Nel territorio laziale sono compresi quattro distretti vulcanici, risalenti al Pleistocene, che sono, procedendo da Nord verso Sud, il distretto Cimino-Vicano, quello Vulsino, quello Sabatino ed infine quello dei Colli Albani. Quest'ultimo si estende dalla riva sinistra dei fiumi Tevere e Aniene verso il settore meridionale della Campagna Romana e verso la parte settentrionale della Pianura Pontina fino alla base dei Monti Prenestini (Fig. 2). L'area ricoperta da questo distretto vulcanico è di circa 1500 km², ed è caratterizzata dall'apparato vulcanico dei Colli Albani, che domina la pianura della Campagna Romana. Tale rilievo ha la forma di un cono troncato in modo asimmetrico alla sommità (Capelli *et al.*, 2005)⁴. La struttura dello "strato-vulcano albano" influenza la morfologia della regione dei Colli Albani a causa dell'alternanza di depositi prodotti durante le fasi esplosive ed effusive del ciclo del complesso vulcanico caratterizzato da un'attività eccentrica e dalle conclusive esplosioni freatomagmatiche (Fornaseri *et al.*, 1963⁵; de Rita *et al.*, 1988⁶, de Rita *et al.*, 1995⁷, Marra & Rosa, 1995⁸).

⁴ Capelli – Quaderni di tecniche ambientale, Pitagora Editrice Bologna, 2005.

⁵ Fornaseri – CNR, Roma 1963.

⁶ de Rita, Funicello & Parotto - Progetto Finalizzato "Geodinamica", Gruppo Naz. Vulcanologia, 1988

⁷ de Rita, Faccenna, Funicello & Rosa – *The Volcano of the Albans Hills: Stratigraphy and volcano-tectonics*, R. Trigila, 1995, pp. 34 – 71.

⁸ Marra & Rosa – Mem. Descr. della Carta geol. D'It., 1995, pp. 49 – 118.

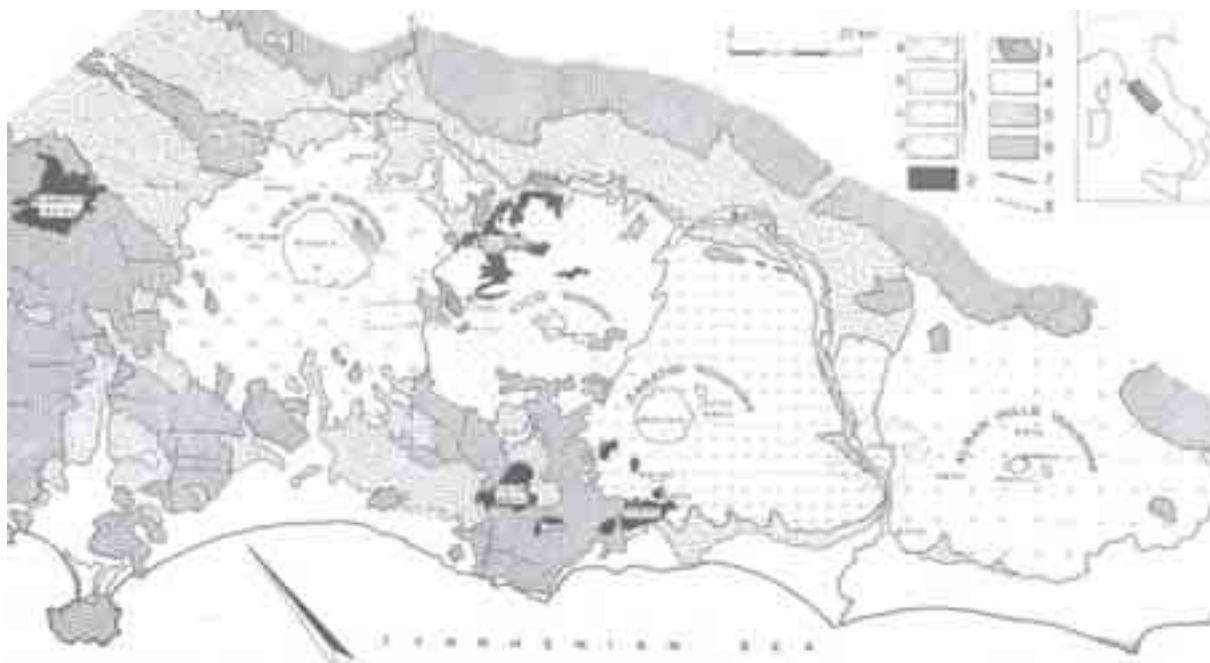


Fig. 2 – Schema geologico del dominio vulcanico periterrinico laziale. Legenda: 1 – Vulcaniti alcalino potassiche (Quaternario) (a – distretto vulcanico dei Monti Vulsini; b – distretto vulcanico dei Monti Vicani; c – distretto vulcanico dei Monti Sabatini; d – distretto vulcanico dei Colli Albani); 2 – Vulcaniti acide (Pliocene-Pleistocene); 3 – Travertino; 4 – Sedimenti continentali e costieri (Quaternario); 5 – Sedimenti argillosi e sabbiosi (Miocene superiore-Pliocene-Pleistocene inferiore); 6 – Successioni prevalentemente sedimentarie (Carbonifero-Miocene inferiore); 7 – Faglie; 8 – Faglie sepolte) (modificata da Capelli *et al.*, 2005⁴)

Il distretto dei Colli Albani si sviluppa su un'area che è stata fortemente influenzata da eventi tettonici che hanno dato luogo a numerosi sistemi di faglie. Tale fenomenologia ha causato un abbassamento, anche di migliaia di metri, del substrato calcareo rispetto alle zone limitrofe, affioranti verso Sud ed Est ed una suddivisione a zolle. Le differenze morfologiche superficiali della zona dei Colli Albani hanno subito un livellamento grazie a deposizioni di spesse coltri di argilla causate da ripetute ingressioni marine; l'odierna area depressa si trova in corrispondenza della costa tirrenica e comprende la fossa pontina e quella romana. Le zone a Nord e a Nord-Est del centro abitato della città di Roma risultano ad una quota più alta rispetto a quella a Sud della capitale, che è interessata dal vulcano dei Colli Albani.

I Colli Albani sono attualmente morfologicamente caratterizzati dagli orli craterici del recinto esterno e di quello interno. Il primo ha un diametro di circa 10 km mentre il secondo di 2 km. I collassi delle caldere avvenute durante la prima fase di attività eccentrica del vulcano sul lato Sud-SudOvest hanno conferito al recinto esterno una forma

asimmetrica somigliante ad un ferro di cavallo. Il recinto interno, di minori dimensioni, costituisce l'area dei Campi di Annibale e presenta un andamento pianeggiante dal punto di vista morfologico, con una quota di circa 750 m (Capelli *et al.*, 2005)⁴.

L'esistenza dei complessi sistemi di fratture nell'area di studio, che risulta fortemente "fagliata" e "ribassata", ha facilitato, agendo da vie preferenziali, la venuta a giorno della massa magmatica. L'apparato vulcanico dei Colli Albani ha avuto un'attività legata non ad un singolo condotto principale bensì a più camini indipendenti, alimentanti un numero vario di bocche di esplosione. La diffusione dei prodotti piroclastici e lavici è dovuta, infatti, all'esistenza di tali bocche di esplosione eccentriche, che hanno creato una diffusione di tali prodotti oltre l'estensione degli stessi Colli Albani. La presenza di terreni di copertura più recenti crea una non semplice individuazione delle successioni vulcaniche. Il substrato dei Colli Albani, di tipo sedimentario, è composto da tre successioni principali: quella basale di tipo carbonatico-sedimentario, quella formata dai sedimenti neo-autoctoni neogenici della facies marina, che, come detto in precedenza, hanno svolto il ruolo di riempimento delle zone più depresse, ed infine i sedimenti argillosi ed argilloso-sabbiosi facenti parte della facies continentale del Pleistocene. Al di sopra di queste successioni è presente la coltre vulcanica prodotta durante le fasi di attività del distretto sotto forma di materiali di tipo eruttivo, costituiti da frammenti elastici derivati dai processi vulcanici o da alterazione/erosione secondaria (Capelli *et al.*, 2005)⁴.

Lo spessore delle vulcaniti è ricostruibile prendendo in esame la morfologia del tetto delle litoformazioni sedimentarie pre-vulcaniche e considerando le quote relative al piano campagna. Il substrato sedimentario, infatti, può essere schematizzato in diversi complessi con un grado di permeabilità basso. Dalla morfologia di tale substrato si possono stimare la consistenza del materiale vulcanico e l'eventuale presenza di spartiacque sotterranei. Le vulcaniti che costituiscono il substrato creano, nei pressi del comune di Ciampino, una delle culminazioni del materiale sedimentario. Le altre sono riscontrabili nelle zone di Pomezia-Pratica di Mare e l'alto di Cisterna (Capelli *et al.*, 2005)⁴.

Le coltri prodotte durante le successive fasi dell'attività vulcanica del distretto dei Colli Albani comprendono prodotti piroclastici, colate laviche, scorie, livelli di cenere, di lapilli e di sabbie vulcaniche. Tali vulcaniti raggiungono spessori che vanno da pochi metri ad oltre i mille.

Possono essere, quindi, riconosciute le varie tipologie di prodotti causati dai diversi tipi di attività vulcanica del distretto. I fenomeni associati alle diverse fasi dell'attività del vulcano dei Colli Albani sono derivati sia da esplosioni magmatiche e freatomagmatiche,

che da effusioni laviche. La quantità volumetrica di magma e la tipologia dei fenomeni ne permette quindi la catalogazione in tre epoche diverse.

Durante la prima epoca, del Tuscolano-Artemisio, che va da 0.6 a 0.3 Ma, l'attività principale ha avuto luogo nella zona centrale dell'apparato vulcanico. Come conseguenza di ciò si sono verificati forti cambiamenti morfologici: la formazione della caldera, per mezzo dello svuotamento del condotto, il conseguente abbassamento dell'area ed il franamento delle pareti interne del recinto con una ostruzione totale e/o solo in parte del condotto principale dell'apparato stesso. Tale fenomeno ha dato poi luogo all'attuale "recinto esterno".

L'epoca successiva, delle Faete, si è verificata da 0.3 a 0.2 Ma. La massa magmatica, a causa della spinta verso l'alto da parte dei gas, ha aperto un nuovo condotto nell'area centrale del "recinto esterno" che era precedentemente ostruito per effetto del collasso della caldera durante la prima epoca. Si è creata, dunque, una nuova struttura, l'attuale "recinto interno", di dimensioni ridotte rispetto alla precedente origine, che ha dato origine ai Monti delle Faete e che si è elevata dal fondo del vecchio cratere per una quota di circa duecento metri. Durante questa epoca l'attività vulcanica può essere ricondotta ad una fenomenologia di tipo stromboliano (Fig. 3).

L'epoca conclusiva è quella "idromagmatica", avvenuta da 0.2 Ma a 5000 anni fa. Durante questa fase si è avuta una deposizione dei prodotti vulcanici nell'atrio dei due recinti, a causa dell'interazione del magma in fase di risalita con le acque di falda presenti. Tale fenomeno ha dato origine, a causa delle esplosioni eccentriche, a due crateri nei quali sono presenti gli attuali laghi di Albano e Nemi.

Le successioni vulcaniche di interesse per il presente studio deposte durante le suddette epoche ed il loro substrato sono schematizzate nella Fig. 9.



Fig. 3 – Carta strutturale schematica del distretto vulcanico dei Colli Albani (in evidenza in rosso l’area dove ricorrono le bocche di emissione) (modificata da Capelli *et al.*, 2005⁴).

7. Inquadramento idrogeologico

All’interno dell’area Laziale possono essere definite cinque tipologie di successioni, per ognuna delle quali si identificano differenti complessi idrogeologici con una propria capacità di immagazzinamento e propri valori di trasmissività, in cui vengono raggruppate formazioni tra loro idrologicamente omogenee.

Le successioni riscontrate sono (Capelli *et al.*, 2005)⁴:

- quella carbonatica, costituita dal complesso dei calcari di piattaforma carbonatica, dal complesso dei calcari detritici e dal complesso dei calcari selciferi (Triassico superiore-Eocene);
- quella continentale, costituita dal complesso dei travertini, dal complesso dei conoidi e dei detriti di versante e dal complesso delle alluvioni, dei depositi di spiaggia e dunari (Pleistocene medio-superiore);
- quella marina, di transizione e costiera, costituita dal complesso delle ghiaie e sabbie e dal complesso delle sabbie (Messiniano-Pleistocene medio);
- quella vulcanica, costituita dal complesso delle lave, dei laccoliti e dei coni di scorie, dal complesso delle pozzolane e dal complesso dei tufi stratificati e delle facies freatomagmatiche (Pleistocene);
- quella a bassa permeabilità, costituita dal complesso dei depositi terrigeni, con caratteri di flysch (Oligocene superiore-Miocene inferiore).

7.1. Circolazione idrica sotterranea dell'unità idrogeologica dei Colli Albani

L'unità idrogeologica albana è ubicata in un'area i cui confini sono determinati dalle aste fluviali dei fiumi Tevere, Aniene, Astura, dalla costa Tirrenica e dal bacino del fiume Sacco. Tra tutte le unità idrogeologiche presenti nella regione laziale i limiti di questa risultano ben definiti. Da studi precedenti (Lotti & Associati, 1999)⁹ si può affermare che, nell'area oggetto di studio, sono presenti due acquiferi. All'interno dei depositi a bassa permeabilità che costituiscono lo strato vulcano è ubicato l'acquifero basale, mentre l'altro acquifero, centrale, ha una permeabilità bassa, ed è posto a circa 200 metri di quota. Quest'ultimo fornisce alimentazione ai laghi ed è riconducibile alle formazioni denominate del "Tufo Lionato" e del "Tufo di Villa Senni". La falda regionale basale è oggetto di drenaggio da parte dell'acquifero centrale, che a sua volta viene ricaricato grazie ad aree semiendoreiche.

La circolazione idrica sotterranea è stata oggetto di studi storici con i quali è stato possibile ricostruire le piezometrie, grazie ad analisi cartografiche e sperimentali. Una recente campagna, tenutasi nel 2003 (Capelli *et al.*, 2005)⁴, ha avuto lo scopo di ricostruire l'andamento della falda basale, con la produzione di una carta tematica 1:10000 (Fig. 4)

⁹ Lotti & Associati – Relazione inedita

anche se l'elaborazione dei dati raccolti è complicata dalla presenza di numerosi acquiferi sospesi.

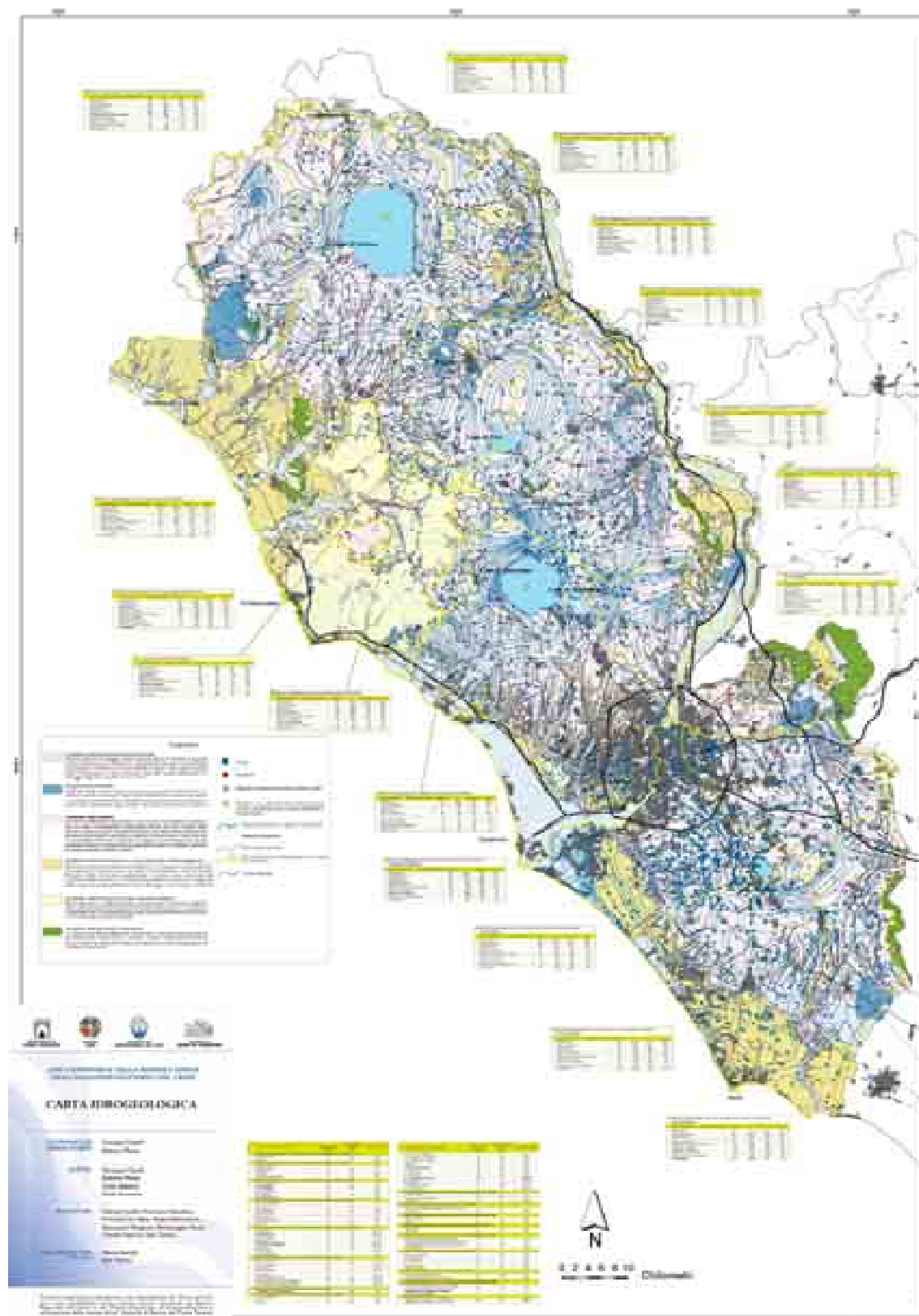


Fig. 4 – Carta idrogeologica degli acquiferi vulcanici del Lazio (Capelli *et al.*, 2005⁴).

L'andamento morfologico della serie pre-vulcanica influenza fortemente la circolazione idrica nella parte periferica dell'Unità Idrogeologica Albana, dove si riconosce un prevalente assetto tipico di uno strato-vulcano. La circolazione regionale ha una direzione centrifuga nei confronti del settore centrale, caratterizzato dalle formazioni calderiche.

La serie vulcanica, posta al di sotto delle successioni marine e continentali di età (Messiniano-Pleistocene medio), ha un'estensione molto ampia verso le zone di Latina e Sermoneta. Questo influisce sul mantenimento, proprio verso SE, dei valori di pressione degli acquiferi limitrofi presenti nella zona pontina.

Orizzonti di tufi e lave compatte o paleosuoli, con il loro grado di bassa permeabilità, definiscono la dislocazione, sui versanti e sull'atrio del vulcano, di molteplici sorgenti. Inoltre possono essere riscontrate numerose falde in comunicazione idraulica tra loro, che risultano essere poste tra una quota di 400 e 200 m s.l.m. e che evidenziano una discontinuità nei livelli idrici. La presenza, infatti, di affioramenti costituiti da questi litotipi a bassa permeabilità e la loro continuità spaziale influenzano le potenzialità di tali falde.

Gli orizzonti sabbiosi e/o ghiaiosi determinano così la maggiore produttività dei tassi di emungimento dei pozzi. Tali orizzonti si riscontrano sopra i livelli delle argille di base o ai livelli delle "Pozzolane rosse" e "Pozzolane nere" che poggiano sulle argille del substrato o sui tufi antichi. È possibile, inoltre, riscontrare anche la presenza di falde all'interno degli strati di sabbie che intercalano le argille siciliane o i limi dei sedimenti lacustri.

I livelli di lave depositi al di sopra della III colata piroclastica della fase tuscolano-artemisia, risultano essere degli orizzonti produttivi poiché costituiscono il percorso preferenziale per il deflusso di una notevole quantità di acqua grazie alla loro morfologia incassata in paleo-valli ed al loro elevato grado di fratturazione.

Nell'area dei Colli Albani vengono distinti quattro bacini idrogeologici:

- il bacino idrogeologico dei corsi d'acqua del versante meridionale;
- il bacino idrogeologico dei corsi d'acqua del versante occidentale;
- il bacino idrogeologico dei corsi d'acqua del versante nord-orientale;
- il bacino idrogeologico dei corsi d'acqua del versante nord-occidentale.

Nel territorio relativo al bacino idrogeologico del versante nord-occidentale, dove ricade l'area di studio, sono presenti numerose perforazioni. In questa zona, che ricade nell'area di ubicazione delle principali caldere del Lago di Albano, e più precisamente dei comuni di

Albano, Rocca di Papa, Grottaferrata, Ciampino, Castel Gandolfo, Marino, Roma e Pomezia, sono presenti molte depressioni dinamiche della superficie piezometrica. L'area interessata da tale bacino si estende dai rilievi centrali delle Faete in direzione della città di Roma, lungo il fiume Tevere fino al suo delta, dove l'acquifero principale è riscontrato ad una profondità di alcuni metri sotto il livello del mare, e alla foce del Rio Torto. I corsi d'acqua presenti, quali il Caffarella, il Vallerano, il Malafede, il Vaccareccia, il Pratica, il Crocetta ed il Rio Torto, che risultano avere un regime perenne all'interno dell'anno idrologico, vengono alimentati dalla falda basale.

In quest'area sono stati riscontrati dei punti di emissioni di gas endogeni relativi alle zone di Cava dei Selci, Via del Sassone, Ciampino e Capannelle. Sono presenti, inoltre, delle faglie, la cui posizione è stata desunta dall'analisi delle differenti quote tra le unità riconosciute e correlabili tra loro. La formazione della caldera, verificatasi al termine della fase eruttiva di Villa Senni (0.336 Ma fa) con il collasso del settore centrale del Lago di Albano, ha dato origine al ribassamento della sequenza del Tuscolano-Artemisia verso SE generando tali faglie. All'interno dei prodotti vulcanici relativi alla fase di attività tuscolano-artemisia è presente uno dei livelli di saturazione del complesso idrogeologico. La circolazione idrica ricade nelle formazioni del Tufo lionato, nei pressi dell'edificio vulcanico, e delle Pozzolane nere e rosse, avvicinandosi al centro abitato della città di Roma. Relativamente alla presenza dei Tufi pisolitici si riscontra una separazione dell'acquifero basale, presente nel complesso sedimentario rispetto a quello superiore, che ha luogo nelle formazioni delle pozzolane e delle lave. Questo avviene a causa del basso grado di permeabilità di questa formazione.

Il flusso della circolazione idrica sotterranea, proveniente dal settore centrale subisce, per la presenza dell'alto piezometrico di Porta Medaglia, una distinzione in uno diretto verso Nord ed un altro verso SW. Nella zona della Zolforella è presente un altro massimo piezometrico e sono state riscontrate manifestazioni gassose e di acque mineralizzate.

Nella zona a sud della Campagna di Roma, in direzione del Lago di Albano, la falda regionale assume una maggiore soggiacenza e, nella parte che interessa i confini tra il comune di Roma e quelli delle città limitrofe, si può notare la dislocazione della sequenza tuscolano-artemisia che risulta ribassata.

In concomitanza del lago di Albano il livello piezometrico subisce delle variazioni di gradiente. Soprattutto in corrispondenza della caldera, all'interno della quale è ubicato il lago, per la particolare morfologia della superficie vulcano-tettonica, l'andamento della falda acquista la massima pendenza riconosciuta nella zona, mentre invece, nei pressi della città di Pavona, si può osservare un abbassamento dinamico.

Analizzando i settori periferici dello strato vulcano e le stratigrafie note si evidenzia che il sistema è riconducibile a quello tipico formatosi a causa di un collasso di un edificio centrale. Si nota una variazione del gradiente della falda in corrispondenza del passaggio dal settore dei *plateau* a quello dei laghi.

8. Dati di sottosuolo

8.1. Il basamento carbonatico

L'analisi di dati ottenuti da un campionamento distribuito in maniera non omogenea sull'area di indagine ha comportato delle limitazioni nell'elaborazione degli stessi alla possibilità di avere informazioni stratigrafiche ordinate in successioni verticali. L'interpretazione finale (Fig. 5) si basa dunque su un ordine ipotetico che riguarda principalmente l'aspetto cronologico (Funicello & Parotto, 1978)¹⁰. Vengono tralasciate, infatti, considerazioni riguardanti gli eventi di deformazione tettonica che possono causare ripetizioni nelle successioni dei terreni. Questo tipo di interpretazione può portare all'omissione dei termini stratigrafici che non influenzano le successioni verticali, in quanto l'approssimazione interessa più punti di sondaggio distribuiti all'interno di un'area molto vasta.

L'adozione di semplici criteri di interpretazione dei dati permette di risalire a ricostruzioni fondate dei terreni e delle giaciture, avendo un riscontro con i dati geologici generali a scala regionale. Mediante il riconoscimento degli inclusi piroclastici nell'area di Ciampino si è potuta ricostruire una stratigrafia molto simile a quella ipotizzata per l'area di Albano. La base della successione è costituita da una serie pelagica, risalente al periodo che va dal Lias inferiore al Paleogene, con caratteri di transizione "verso un alto carbonatico" (Funicello & Parotto, 1978)¹⁰. Non sono stati rilevati i terreni nell'intervallo Malm superiore-Cretacico inferiore delle formazioni della "Maiolica" e della parte bassa della "Scaglia".

¹⁰ Funicello & Parotto –GEOLOGICA ROM, 1978, pp. 233-287.

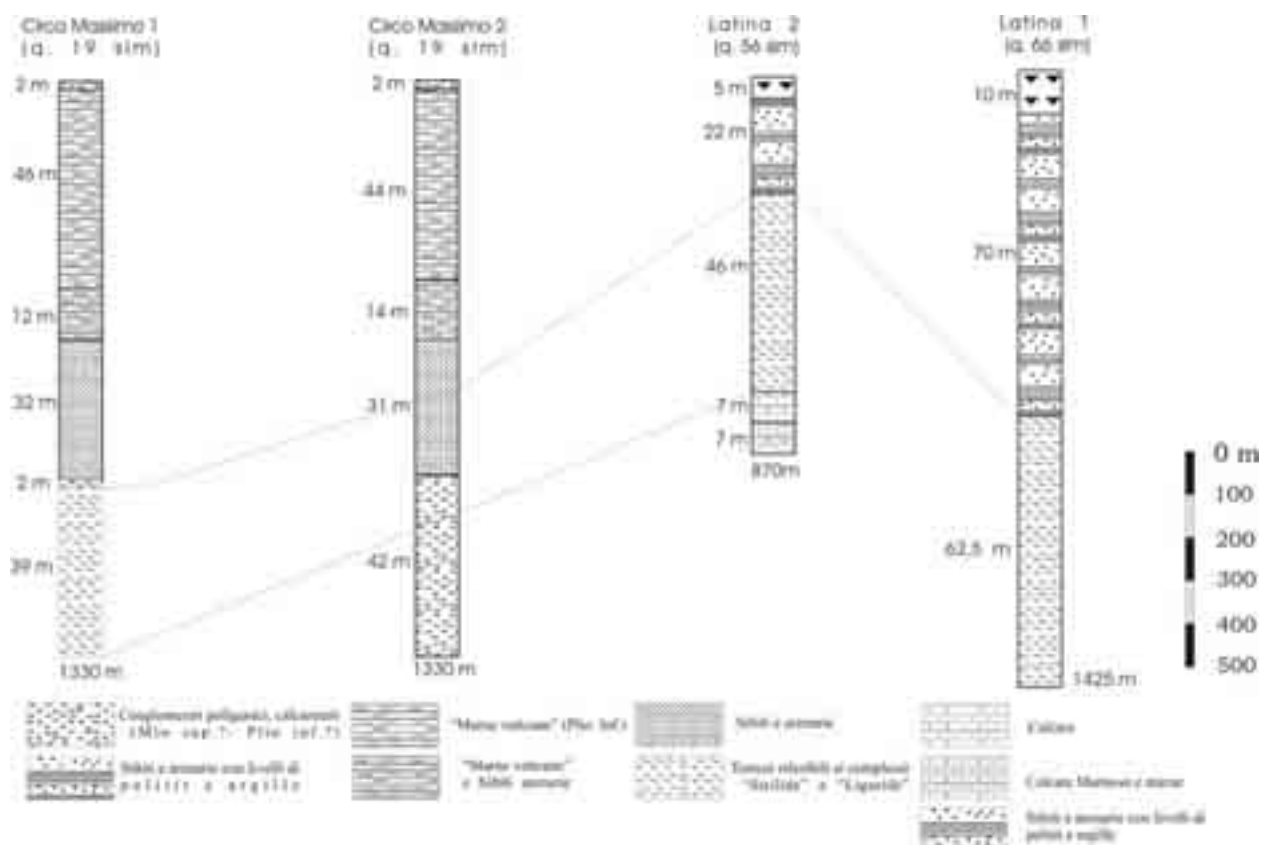


Fig. 5 – Sintesi interpretativa stratigrafica da Funicello & Parotto⁷.

8.2. Il substrato argilloso-sabbioso-ghiaioso e la serie vulcanica

Durante la campagna di ricerca effettuata nell'ambito del progetto del 1967 per la costruzione dell'Acquedotto Pontino Occidentale nella zona di Ardea sono stati effettuati dei sondaggi che hanno permesso la ricostruzione della situazione stratigrafica (Manfredini, 1967)². Nell'area si è riscontrato un substrato argilloso ad andamento suborizzontale su cui giace un complesso sabbioso di ambiente litorale. Su tali termini poggiano i terreni di origine vulcanica, quali, in successione dal basso verso l'alto: tufi grigi pisolitici, lava leucitica, tufi pozzolanici, pozzolanelle e tufo lionato. In particolare, la lava leucitica è attribuibile al primo ciclo effusivo del Vulcano Laziale, secondo gli studi di Fornaseri *et al.* (1963)⁵.

L'interpretazione dei dati proposta dall'autore ha fornito due stratigrafie tipo, che sono state schematizzate analizzando la quota del tetto e del letto delle formazioni riconosciute e deducendo la potenza degli strati. Infine, attraverso *software* applicativi di grafica (CorelDraw della *software house* Corel), sono state ricostruite, ottenendo due colonne

stratigrafiche (Fig. 6). Da tali ipotetiche interpretazioni, considerando la quota del tetto e del letto delle singole formazioni, è stata prodotta una stratigrafia finale di sintesi poi utilizzata come termine di paragone.

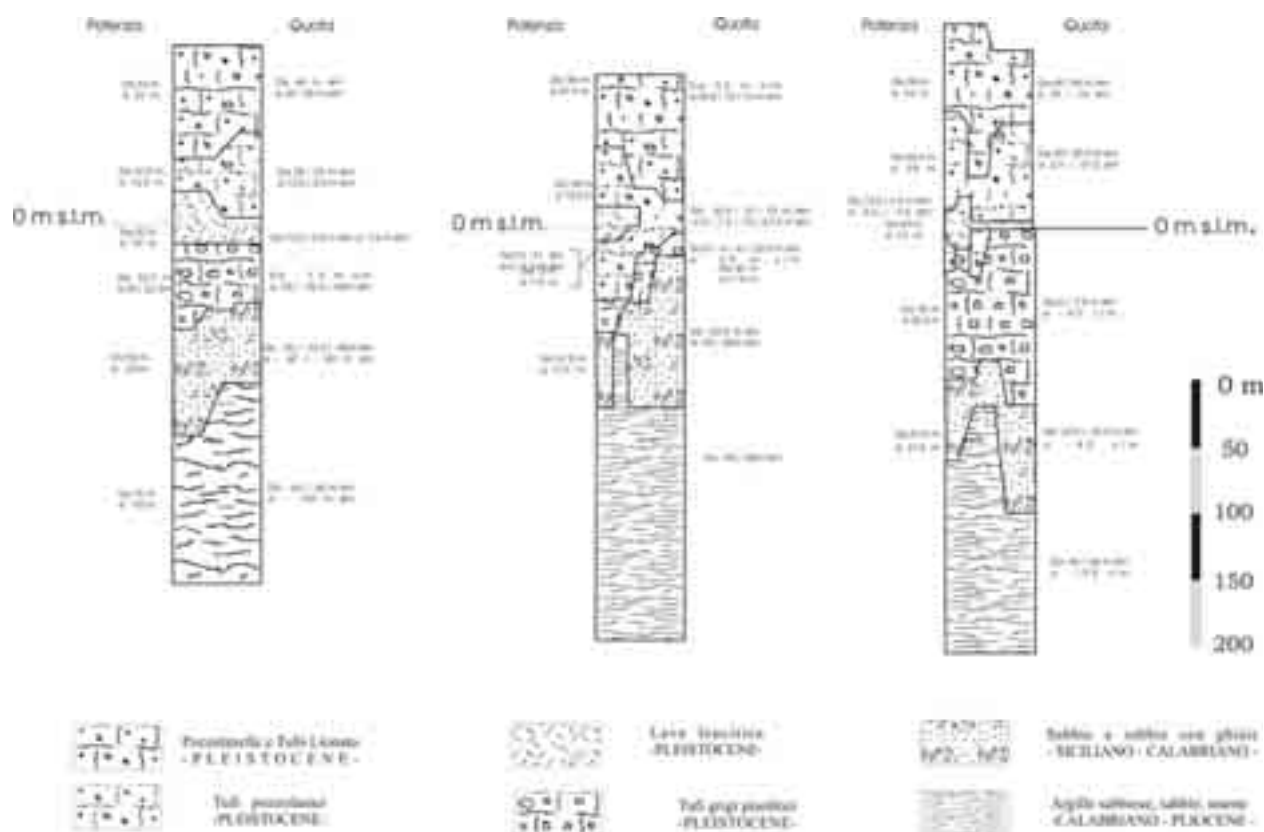


Fig. 6 – Sintesi interpretativa stratigrafica da Manfredini².

L'andamento delle superfici delle unità piroclastiche dell'area dei Colli Albani è stato ricostruito ed interpretato grazie ai dati ottenuti durante le campagne di sondaggi effettuate per individuare le risorse idriche (de Rita *et al.*, 1990)³. Durante questi studi sono state evidenziate delle inversioni dei rilievi associate ad accumuli in aree depresse lontane dal centro eruttivo. Tale morfologia risulta influenzata dai fenomeni di erosione e di alluvionamento avvenuti dopo le fasi di attività vulcanica a carattere esplosivo.

I complessi rapporti stratigrafici tra le diverse unità affioranti in queste aree sono di difficile interpretazione, in quanto non sempre riconducibili alle cause morfologiche che li hanno determinati.

Nel settore dei Colli Albani è stata riscontrata una sequenza di piroclastiti e colate di lava, appartenente alla fase del Tuscolano-Artemisio (de Rita *et al.*, 1988)³, che ricopre i

depositi palustri e fluviali (argille, argille sabbiose, sabbie ghiaiose, conglomerati). È stata riconosciuta, da studi presenti in bibliografia, una “sequenza stratigrafica tipo” che comprende, partendo dal basso verso l’alto: tufo grigio pisolitico, lave leucitiche di Vallerano e dell’Acquacetosa, pozzolane rosse, conglomerato giallo, pozzolane nere, tufo lionato e pozzolanelle.

Le unità piroclastiche costituiscono orizzonti continui di spessore variabile lateralmente.

Da un’analisi delle quote di affioramento e dei contatti reciproci, si può stabilire che le lave appartengono a due episodi effusivi distinti nel tempo, nonostante inizialmente i due orizzonti fossero stati ritenuti da alcuni autori appartenenti allo stesso episodio effusivo. La Lava di Vallerano, infatti, si presenta in alcuni punti parzialmente sovrapposta alla Lava dell’Acquacetosa in quanto è stata depositata in una paleovalle che in alcuni punti risulta erosa fino al livello della colata sottostante. La Lava dell’Acquacetosa si intercala ai prodotti della I e della II colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio. Al tetto dei depositi vulcanici considerati finora si riconoscono lapilli scoriacei stratificati, noti come “conglomerato giallo”, di spessore variabile. La III e la IV colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio chiudono tale sequenza stratigrafica sulla quale in tempi successivi si depone la Lava di Capo di Bove.

Utilizzando lo stesso approccio adottato nel caso dell’autore precedente è stata schematizzata la seguente stratigrafia riassuntiva (Fig. 7).

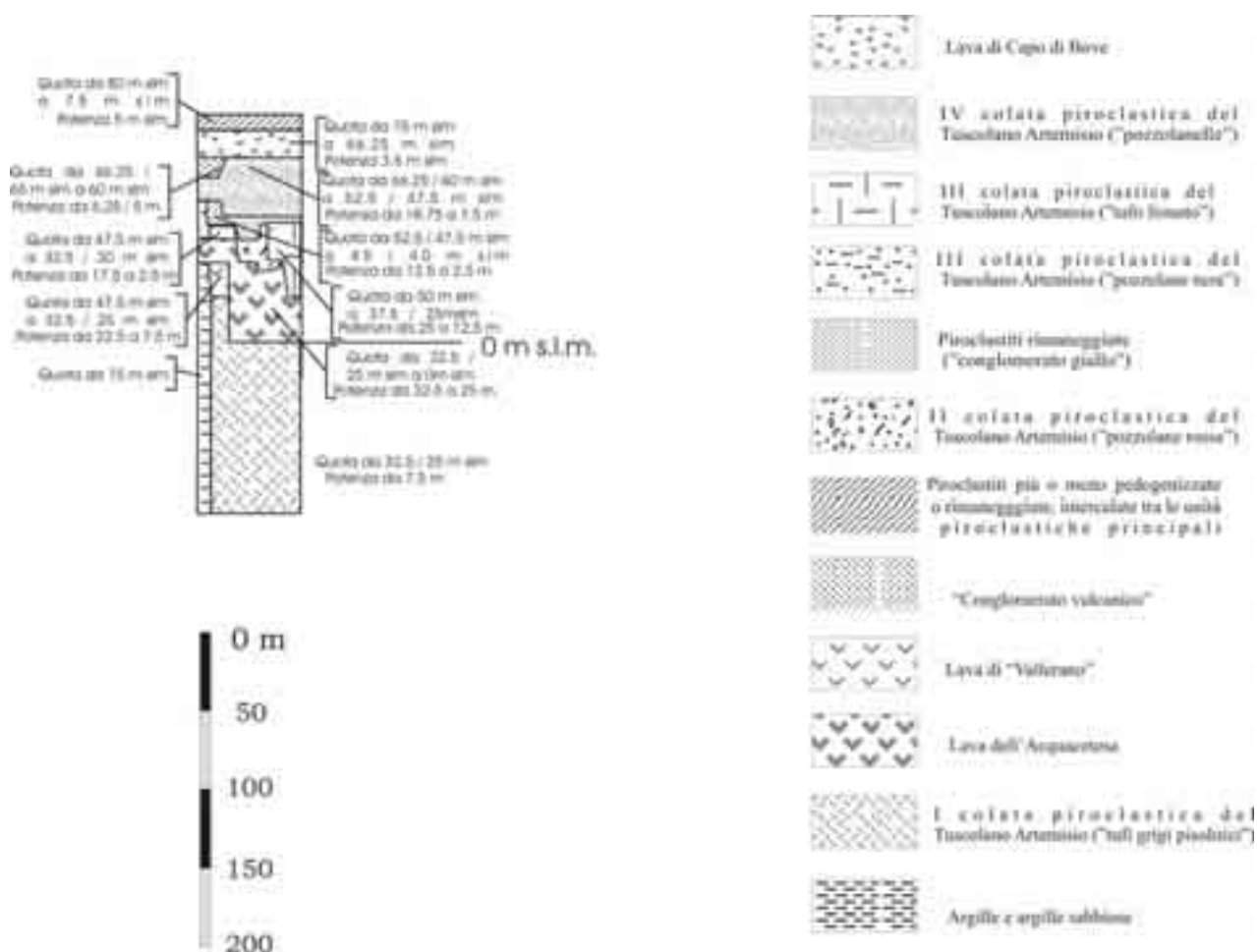


Fig. 7 – Sintesi interpretativa stratigrafica da de Rita³.

In base alle nozioni presenti in letteratura ed espone in questo paragrafo, viene ora proposta una interpretazione della successione stratigrafica dell'area di Ciampino, che è stata utilizzata come riferimento per la utilizzazione dei dati forniti dal geodatabase della Legge n. 464 del 4 agosto 1984. Come si nota dalla Fig. 8 la legenda è stata semplificata. La correlazione tra le diverse formazioni litostratigrafiche presentate dagli autori è stata effettuata in base alle denominazioni dei prodotti vulcanici. Per esempio, come si vede nella tabella sottostante, i nomi tipo "Tufo grigi pisolitici", "Pozzolanelle e Tufo Lionato" e "Tufo pozzolanici" sono presenti in entrambe gli autori. Per quanto riguarda, invece le "Argille sabbiose, sabbie, marne", queste sono state associate alle "Argille e argille sabbiose", poiché possono essere ritenute appartenenti alla stessa tipologia litotipica. Le lave di "Capo di Bove" e "dell'Acquacetosa" sono state racchiuse in un'unica classe litostratigrafica da Manfredini (1967)², ma sono state distinte in questo studio perché possono avere caratteristiche idrauliche e pedologiche diverse tra loro.

La stratigrafia di sintesi (Fig. 8) offre una visione generale d'insieme e suggerisce le quote del tetto e del letto delle singole unità stratigrafiche. Tali quote permettono di ricavare

The figure is a geological cross-section of the Sarno river valley, showing two profiles: **Manfredini (1967)** on the left and **De Rita (1990)** on the right. A vertical scale on the far right indicates elevation in meters (0 m, 50, 100, 150, 200).

Stratigraphic Units and Correlation:

- Lava leucitica - PLEISTOCENE:**
 - Manfredini (1967): Quarta da 75 m ad 85 m (25 m spm) - Altezza 8.70 m.
 - De Rita (1990): "Lava di Capo di Bene".
- Pozzolane e Tufi Lomati - PLEISTOCENE:**
 - Manfredini (1967): Quarta da 45.5 a 55.5 m spm (10 m spm) - Altezza 55 m (10.5 m).
 - De Rita (1990): "IV" Colata Piroclastica T-A "Pozzolane".
- Tufi pozzolanici - PLEISTOCENE:**
 - Manfredini (1967): Quarta da 37.5 a 45 m spm (7.5 m spm) - Altezza 35 m (8.5 m).
 - De Rita (1990): "III" Colata Piroclastica T-A "Pozzolane Rosse".
- Lava leucitica - PLEISTOCENE:**
 - Manfredini (1967): Quarta da 27.5 a 35 m spm (7.5 m spm) - Altezza 25 m (8.5 m).
 - De Rita (1990): "Lava di Valteramo".
- Tufi grigi pomici - PLEISTOCENE:**
 - Manfredini (1967): Quarta da 12.5 m (12 m spm) - Altezza 12.5 m (14.5 m).
 - De Rita (1990): "I" Colata Piroclastica T-A "Tufi Grigi Pomici".
- Argille sabbiose, sabbie, marne CALABRIANO - PLEISTOCENE:**
 - Manfredini (1967): Quarta da 10 m (10 m spm) - Altezza 10 m (10 m).
 - De Rita (1990): "Argille e Argille Sabbiose".

The cross-section shows the Sarno river flowing through the center, with various geological units on either bank. The 0 m s.l.m. (sea level) is marked in the center of the river valley.

24

8.3. Elaborazione dei dati derivanti dall'archivio della L.464/84

L'area di studio ricade in una zona che dal punto di vista amministrativo risulta appartenente al comune di Ciampino. Tale zona è stata scelta per la sua valenza geologica ed idrogeologica, in quanto fa parte del complesso vulcanico dei Colli Albani ed è sede di importanti acquiferi, utilizzati, prima della diffusione dell'acquedotto locale, per l'approvvigionamento di acqua potabile ad uso domestico e agricolo. Inoltre, come già espresso in precedenza, quest'area presenta una distribuzione omogenea ed uniforme dei dati riguardanti le perforazioni dell'archivio della L.464/84 e permette, quindi, di ottenere delle elaborazioni e delle analisi dei dati affidabili, per la ricostruzione attendibile dell'andamento delle caratteristiche del sottosuolo.

Le ubicazioni delle trivellazioni relative alla Legge 464 sono state selezionate da un punto di vista spaziale in direzione longitudinale e trasversale rispetto alla bocca di emissione principale individuata nel Vulcano dei Colli Albani (Fig. 9).

Sono stati individuati tre profili con un andamento trasversale (Fig. 10, Fig. 11 e Fig. 12), a differente distanza dalla bocca di emissione e procedendo dal settore confinante con il Comune di Albano verso l'area urbana della città di Roma. A completamento di tale insieme di dati è stato selezionato un ulteriore profilo, con un andamento longitudinale, passante nella zona centrale dell'area di studio ed intersecante gli altri tre profili trasversali (Fig. 13).

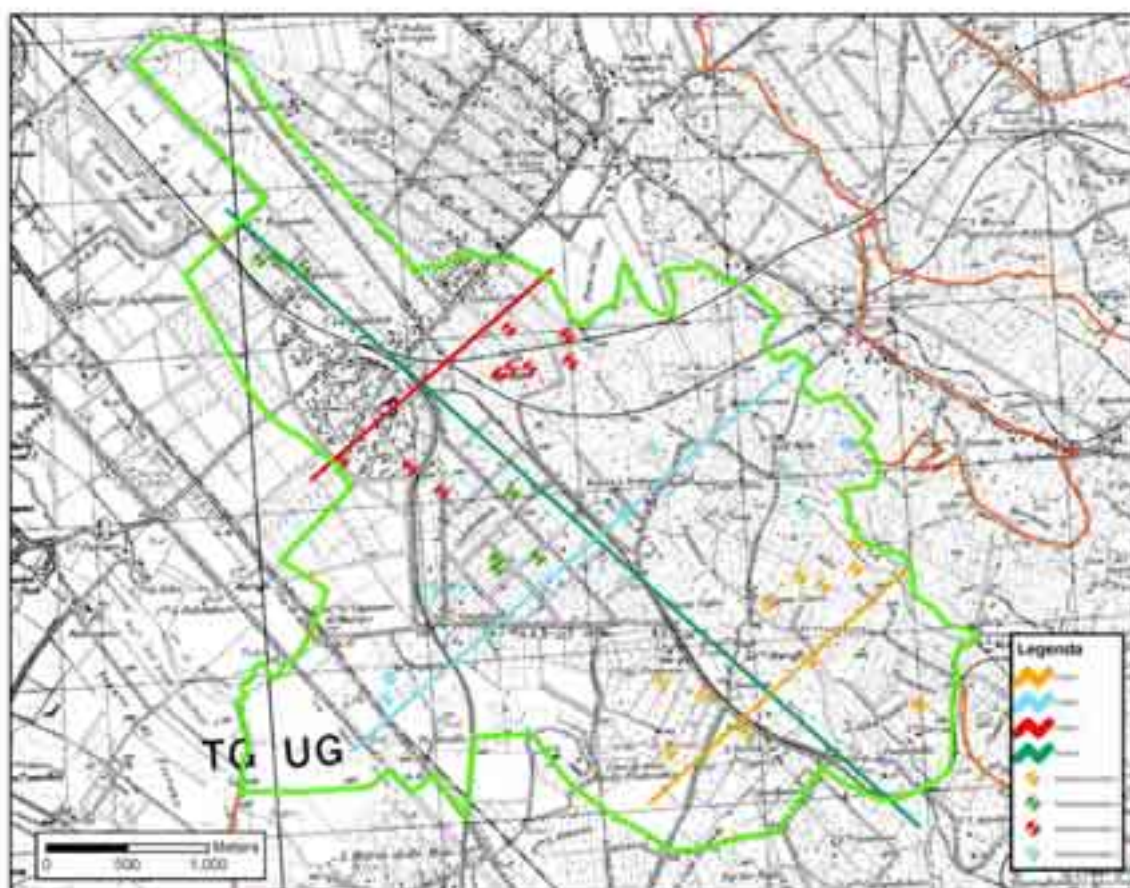


Fig. 9– Ubicazione secondo carta IGM 1:25.000 delle perforazioni standardizzate utilizzate per analisi e classificate in base a scelta profili ricostruiti.

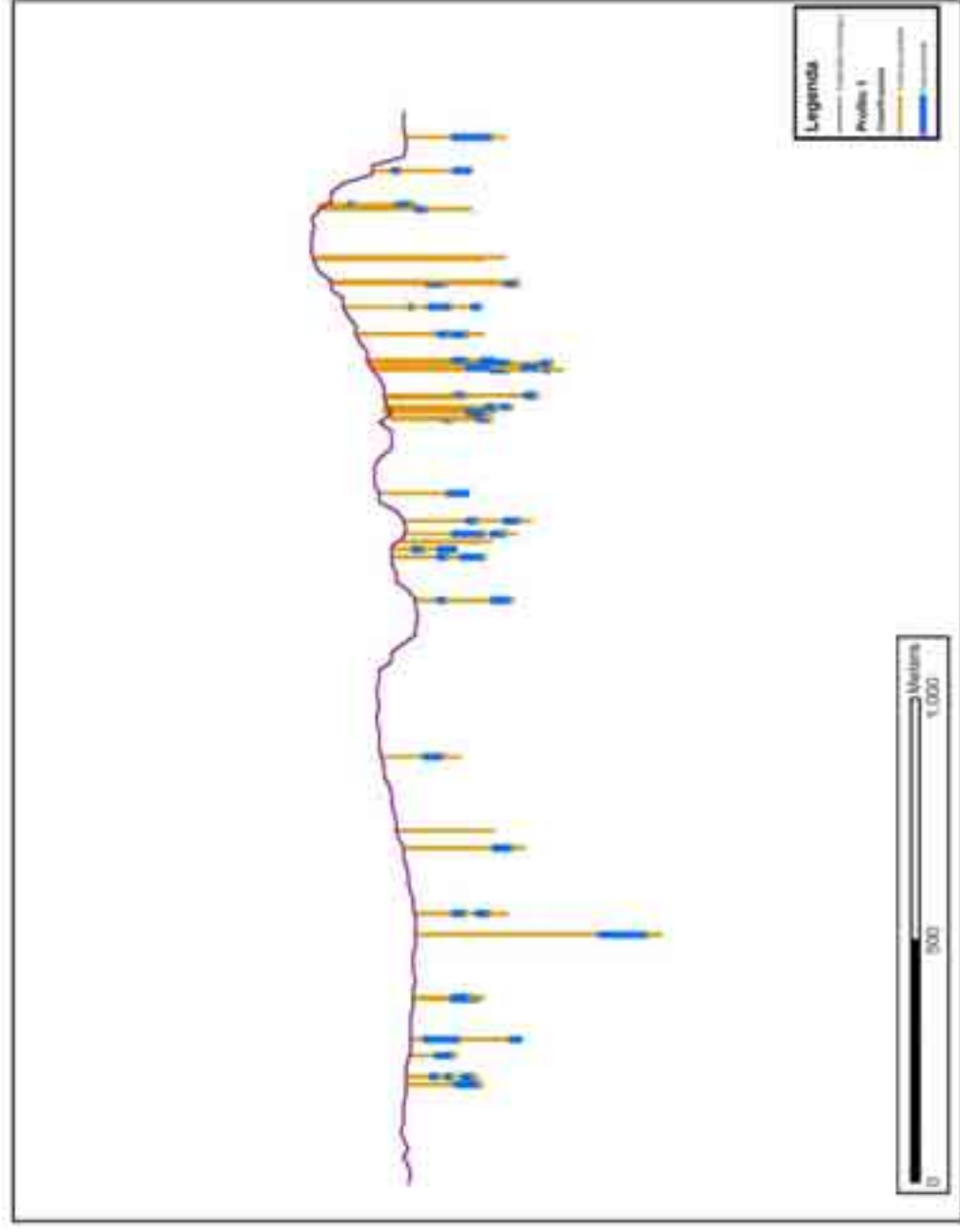


Fig. 10 – Profilo 1 dei pozzi ubicato in senso trasversale rispetto alla bocca di emissione con evidenziata la presenza della falda idrica (esagerazione asse verticale 10x).

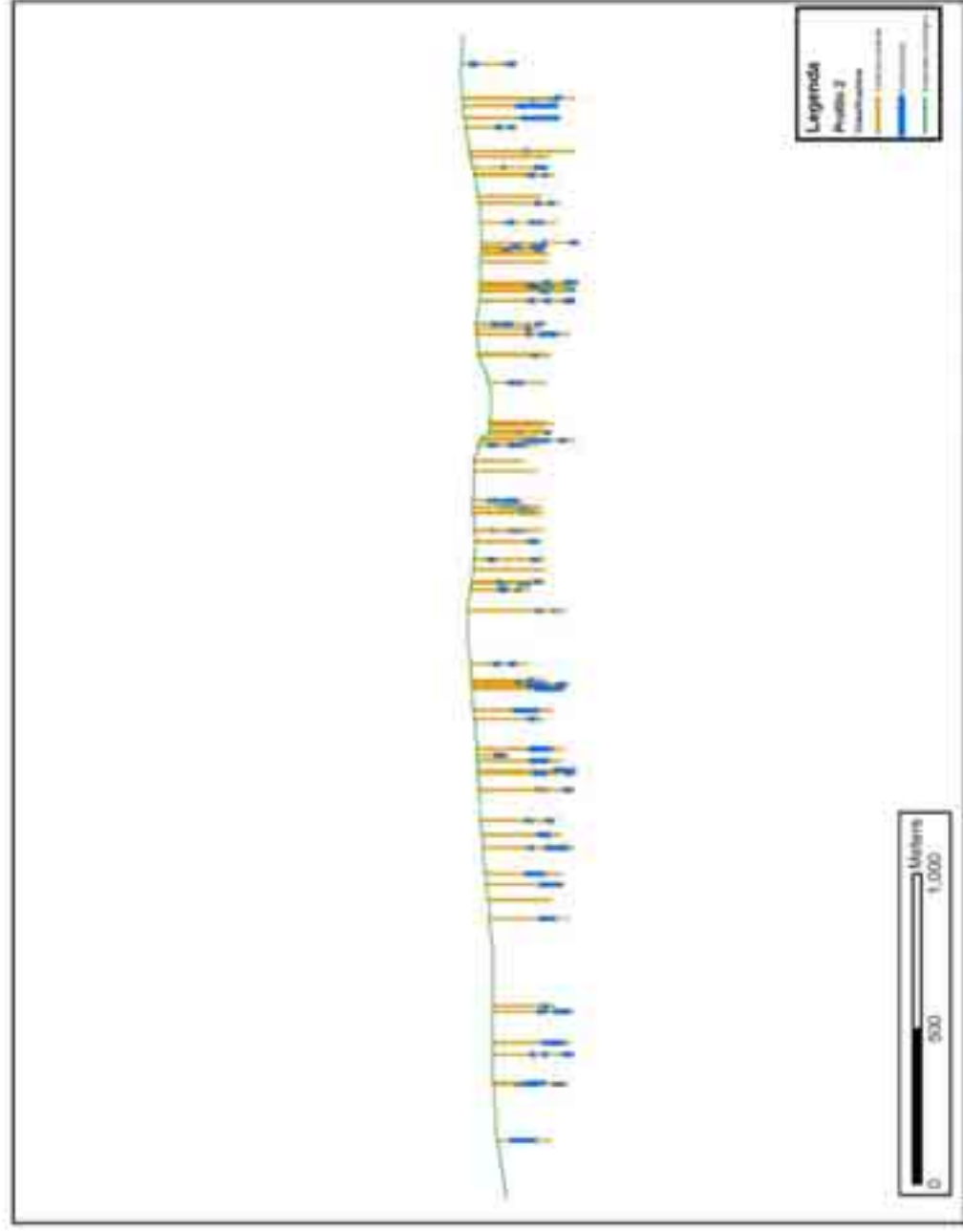


Fig. 11 – Profilo 2 dei pozzi ubicato in senso trasversale rispetto alla bocca di emissione con evidenziata la presenza della falda idrica (esagerazione asse verticale 10x).

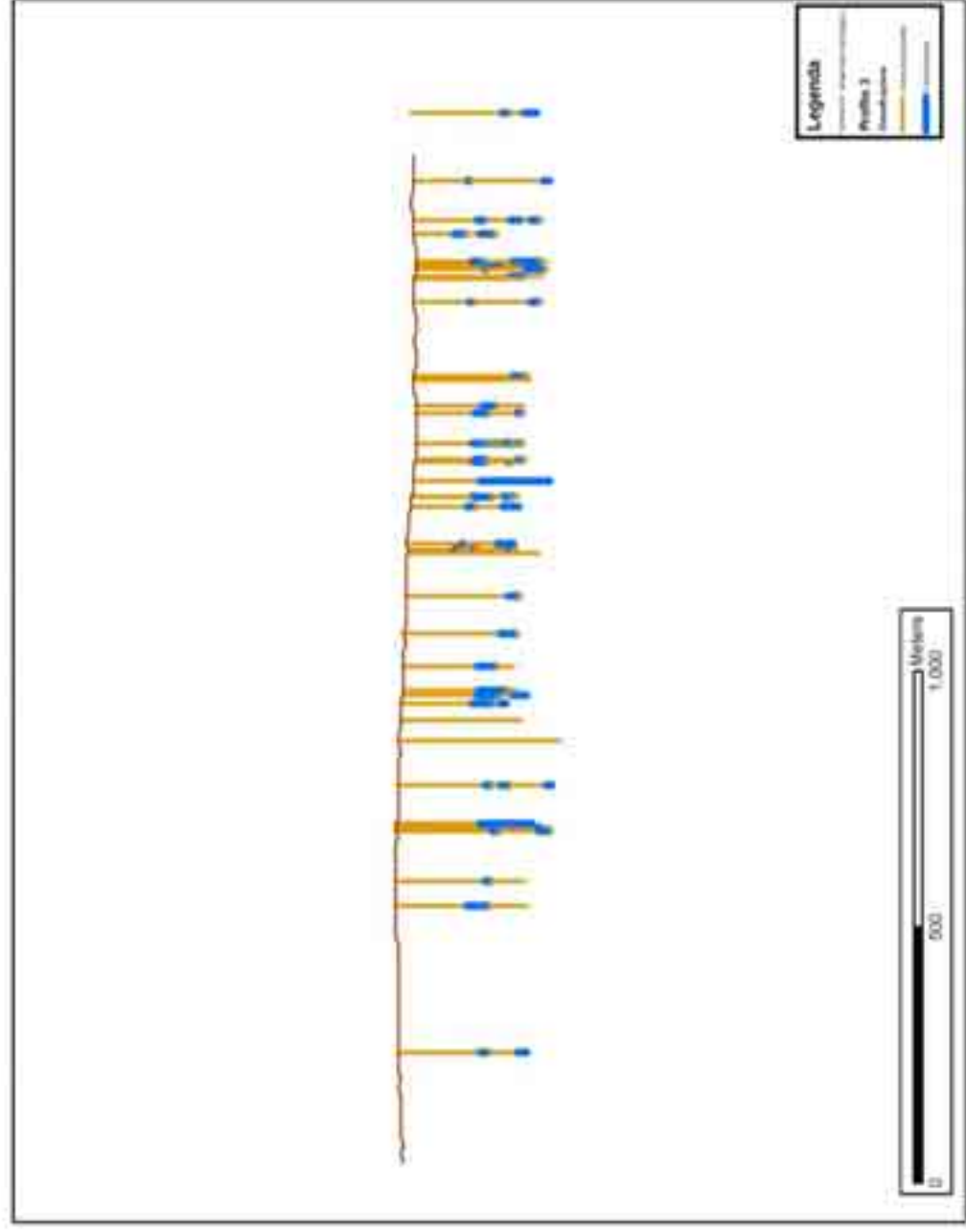


Fig. 12 – Profilo 3 dei pozzi ubicato in senso trasversale rispetto alla bocca di emissione con evidenziata la presenza della falda idrica (esagerazione asse verticale 10x).

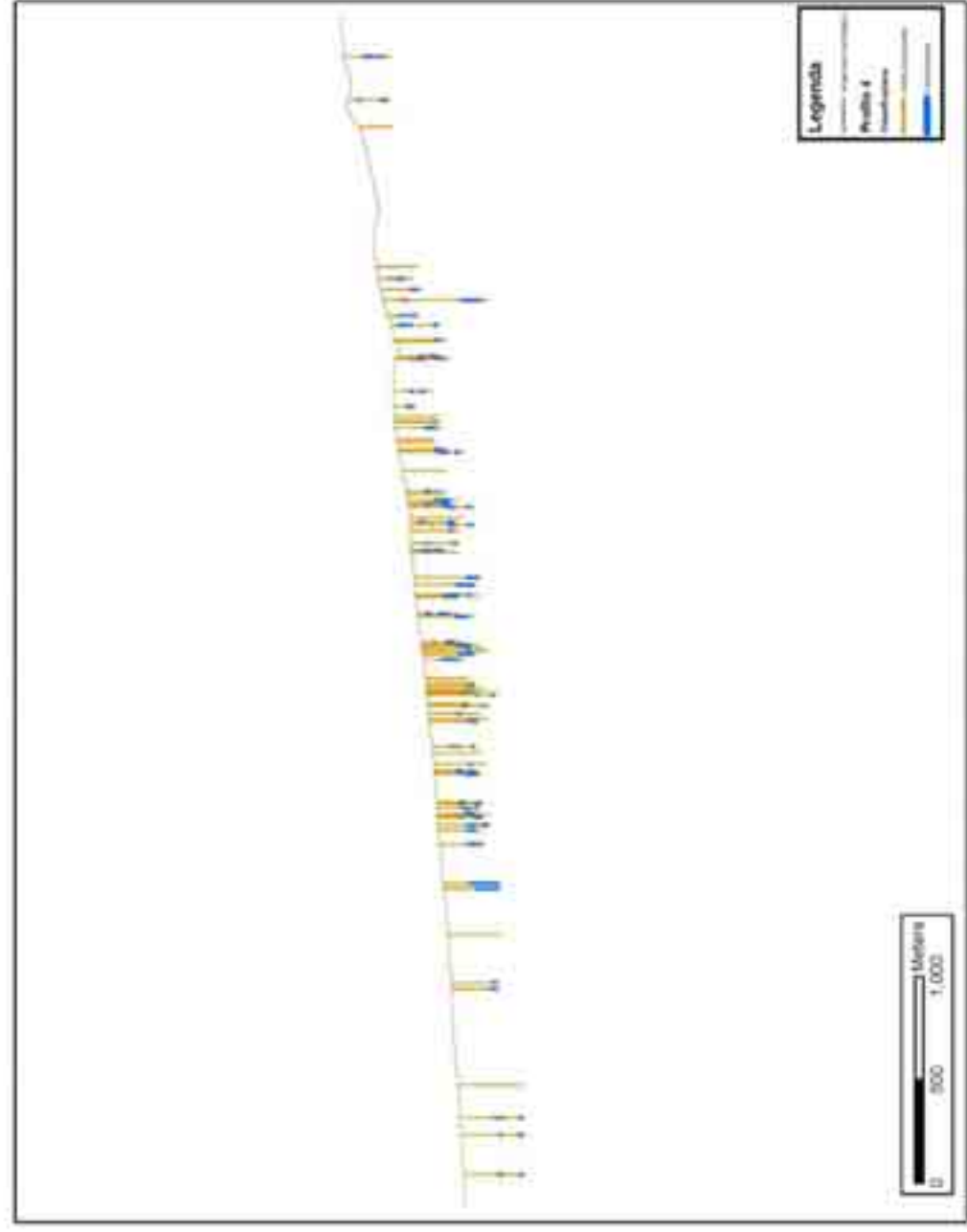


Fig. 13 – Profilo 4 dei pozzi ubicato in senso longitudinale rispetto alla bocca di emissione con evidenziata la presenza della falda idrica (esagerazione asse verticale 10x).

All'interno dei singoli profili sono state esaminate le descrizioni stratigrafiche delle singole perforazioni. Sulla base della profondità massima raggiunta e della completezza delle informazioni stratigrafiche inviate ai sensi della Legge 464/84 e reperite dal *geodatabase*, sono stati scelti dei “pozzi campione” su cui è stata impostata l'analisi. Sono stati analizzati dapprima i dati dei tre profili trasversali ed in seguito quelli del profilo longitudinale (Tab. 1); sono stati presi in considerazione i pozzi comuni a queste quattro selezioni e ne sono stati aggiunti altri ritenuti significativi ai fini dello studio.

Profilo	Numero pratica	Profilo	Numero pratica	Profilo	Numero pratica	Profilo	Numero pratica
1	159479	2	159424	3	159589	4	159475
1	159606	2	159497	3	159601	4	159557
1	159636	2	159700	3	159630	4	159784
1	159794	2	159748	3	159489	4	159468
1	159462	2	159476	3	159511	4	159495
1	159708	2	159839	3	159523	4	159581
1	159745	2	159463	3	159597	4	159811
1	159521	2	159464	3	159623	4	159839
1	159425	2	159572	3	159698	4	159601
1	159703					4	159630
1	159792					4	159489
						4	159623
						4	159479
						4	159606
						4	159636
						4	159794
						4	159462
						4	159708
						4	159745

Tab. 1 – Tabella con informazione amministrativa dei pozzi (numero pratica) e numero identificativo profilo (trasversali da 1 a 3, longitudinale 4) in cui sono stati catalogati.

I dati relativi ai profili selezionati su cui è stata effettuata l'analisi sono stati esportati dal *geodatabase* per mezzo del comando dedicato all'interno del G.I.S., e di seguito si è proceduto alla standardizzazione delle descrizioni stratigrafiche, avendo utilizzato la carta geologica dei Colli Albani (de Rita *et al.*, 1988)¹ e l'interpretazione dai dati in letteratura precedentemente esposta.

Attraverso il menù apposito dell'applicativo sviluppato ed utilizzato per il *data entry* delle informazioni amministrative e tecniche che pervengono attraverso le comunicazioni relative alla Legge 464/84, sono state modificate le stratigrafie all'interno del *geodatabase*

allo scopo di migliorare il dato nel suo utilizzo. In questo modo si è resa permanente l'omogeneizzazione di alcune stratigrafie selezionate all'interno dell'area del comune di Ciampino.

In seguito i dati sono stati importati di nuovo nel sistema geografico informatizzato per ottenere una visualizzazione a video solo dei pozzi i cui dati sono stati modificati.

Le informazioni opportunamente omogeneizzate associate ai siti di interesse precedentemente selezionati sono state rappresentate con ArcMAP e sono state registrate all'interno di una tabella in formato "dbf". Le descrizioni standardizzate sono state importate sotto forma di tabella all'interno del *software* RockWorks al fine di analizzare le ricostruzioni stratigrafiche per mezzo di una visualizzazione sia in due che in tre dimensioni, come è stato presentato da Campobasso *et al.* (2005)¹¹.

8.4. Analisi dei dati in due dimensioni

La visualizzazione in due dimensioni è stata effettuata selezionando una successione spaziale dei pozzi in direzione radiale rispetto alla bocca di emissione. In questo approccio non si è tenuto conto della disposizione spaziale e delle distanze nelle direzioni longitudinali e trasversali dei pozzi rappresentate nei precedenti profili. È stata creata una visualizzazione per permettere di effettuare un'analisi qualitativa degli andamenti delle formazioni individuate e ricostruite con i dati del *geodatabase*.

La figura 14 evidenzia che la ricostruzione può essere riconducibile ad uno scenario reale e quindi concretamente apprezzabile. I dati forniti dai committenti delle opere di perforazione, tramite le comunicazioni, a meno di minime semplificazioni e approssimazioni, hanno permesso di ricostruire l'andamento degli strati prodotti dalle differenti fasi di emissione dei prodotti lavici dalle bocche eruttive dell'apparato vulcanico studiato (Appendice, Tav. 1).

La legenda relativa alla ricostruzione delle caratteristiche stratigrafiche (Fig. 15 e Fig. 16) è stata creata in modo da poterla associare graficamente il più correttamente possibile a quella della carta geologica 1:50.000 dei Colli Albani (de Rita *et al.*, 1988)¹, che attualmente è il prodotto cartografico più aggiornato.

¹¹ Campobasso, Martarelli, Policicchio, Scalise (2005) – Hydrological case study derived from the database information obtained from the Italian law n. 464/84, 2nd Intern. Workshop Acquirer Vulnerability and Risk/4° Conv. Naz. Protezione e Gestione delle Acquee Sotterranee.

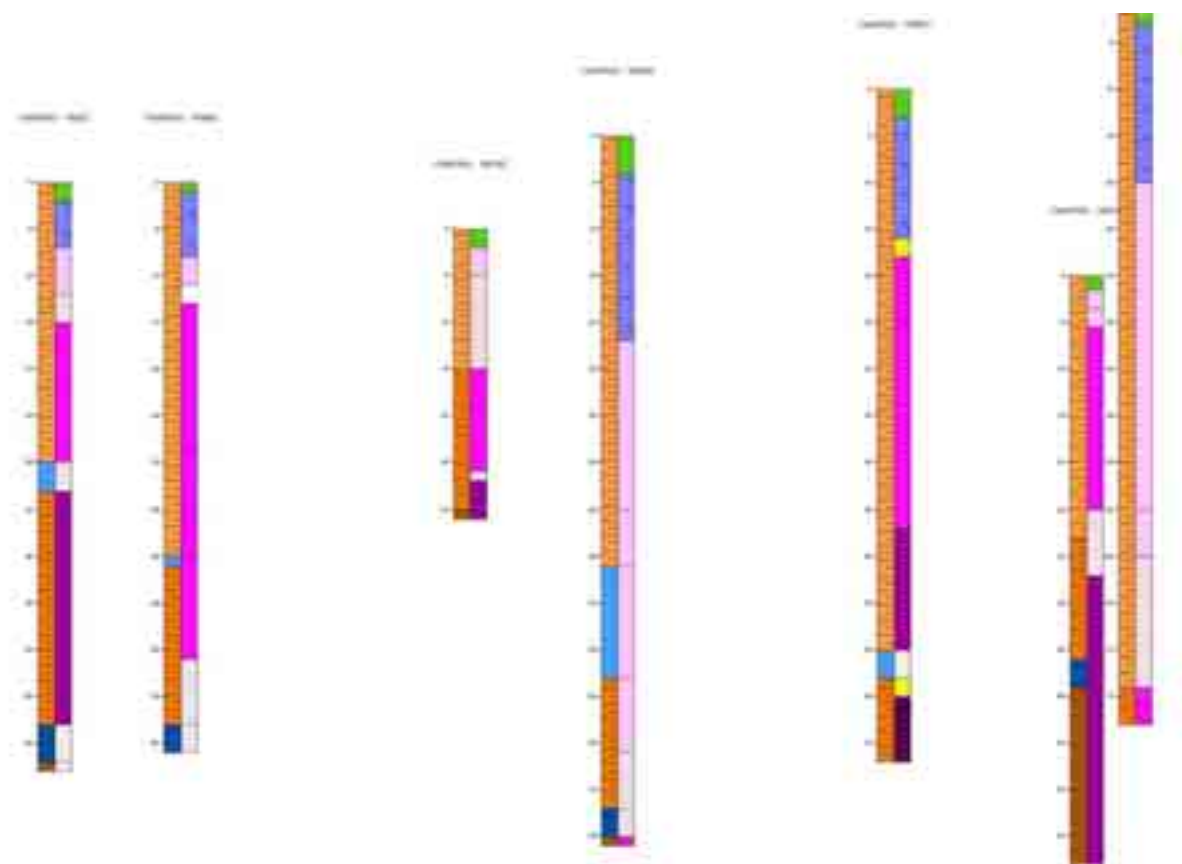


Fig. 14 – Esempio di alcune stratigrafie ricostruite con l'applicativo RockWorks associate ai livelli di acquifero (Esagerazione verticale 30x) (Legenda Fig. 16).

Acquicludo1	
Acquifero1	
Acquicludo2	
Acquifero2	
Acquicludo3	
Acquifero3	

Fig. 15 – Legenda creata nell'applicativo RockWorks e usata per le visualizzazioni in due e tre dimensioni per i livelli acquiferi.

TERRENO DI COPERTURA	
ALLUVIONI RECENTI ED ATTUALI	
UNITÀ EROMAGMATICHE DELL'ATTIVITÀ FINALE	
CONICI SCORIE E LAVI DELL'ATTIVITÀ FINALE. PICCOLI APPARATI CON ASSOCIATE LAVI LIEVITICHE	
PROCLASTITI E SCORIE RISALDATE SINCRONICHE. SCORIE RISALDATE E LIVELLI A SCORIE E CENERI	
IV° COLATA PROCLASTICA DEL TUSCOLANO-ARTEMISIO: "TUFO DI VILLA SENNE" E "POZZOLANE NERE"	
LAVI E PROCLASTITI DEL TERZO CICLO DELL' ATTIVITÀ DEL TUSCOLANO-ARTEMISIO	
II° COLATA PROCLASTICA DEL TUSCOLANO-ARTEMISIO: "TUFO LIONATO" E "POZZOLANE NERE"	
PROCLASTITI E LAVI INTERCALATE DEL SECONDO CICLO. LIVELLI LAPILLOSI ALTERNATI A LIVELLI CENITICI FORTEMENTE PEDOGENIZZATI	
PROCLASTITI E LAVI INTERCALATE DEL SECONDO CICLO. LAVI INTERCALATE	
I° COLATA PROCLASTICA DEL TUSCOLANO-ARTEMISIO: "POZZOLANE ROSSE" E "CONGLOMERATO GIALLO"	
PALEOSUOLO	
PROCLASTITI E LAVI DEL PRIMO CICLO. LIVELLI LAPILLOSI INTERCALATI A LIVELLI CENITICI PEDOGENIZZATI. LAVI LIEVITICHE: "LAVI DI VALLERANO"	
I° COLATA PROCLASTICA DEL TUSCOLANO-ARTEMISIO: "TUFO GRIGIO PROLITICO"	
SABBI E SABBIE ARGILLOSE	

Fig. 16 – Legenda creata nell'applicativo RockWorks e usata per le visualizzazioni in due e tre dimensioni standardizzate secondo la legenda della carta geologica dei Colli Albani 1: 50.000 (de Rita *et al.*, 1988)¹.

8.5. Analisi dei dati in tre dimensioni

A seguito della ricostruzione delle varie sezioni stratigrafiche e idrogeologiche precedentemente descritte, si è proceduto ad effettuare un modello in tre dimensioni delle stesse (Fig. 17). In questo caso si può notare come la distribuzione dei pozzi rispecchi quella reale, dato che le informazioni vengono inserite in un sistema di riferimento generato dallo stesso *software* che mantiene le distanze e le proporzioni tra i punti in modo realistico. Per una maggiore leggibilità la scala verticale è stata esagerata di 30 volte.

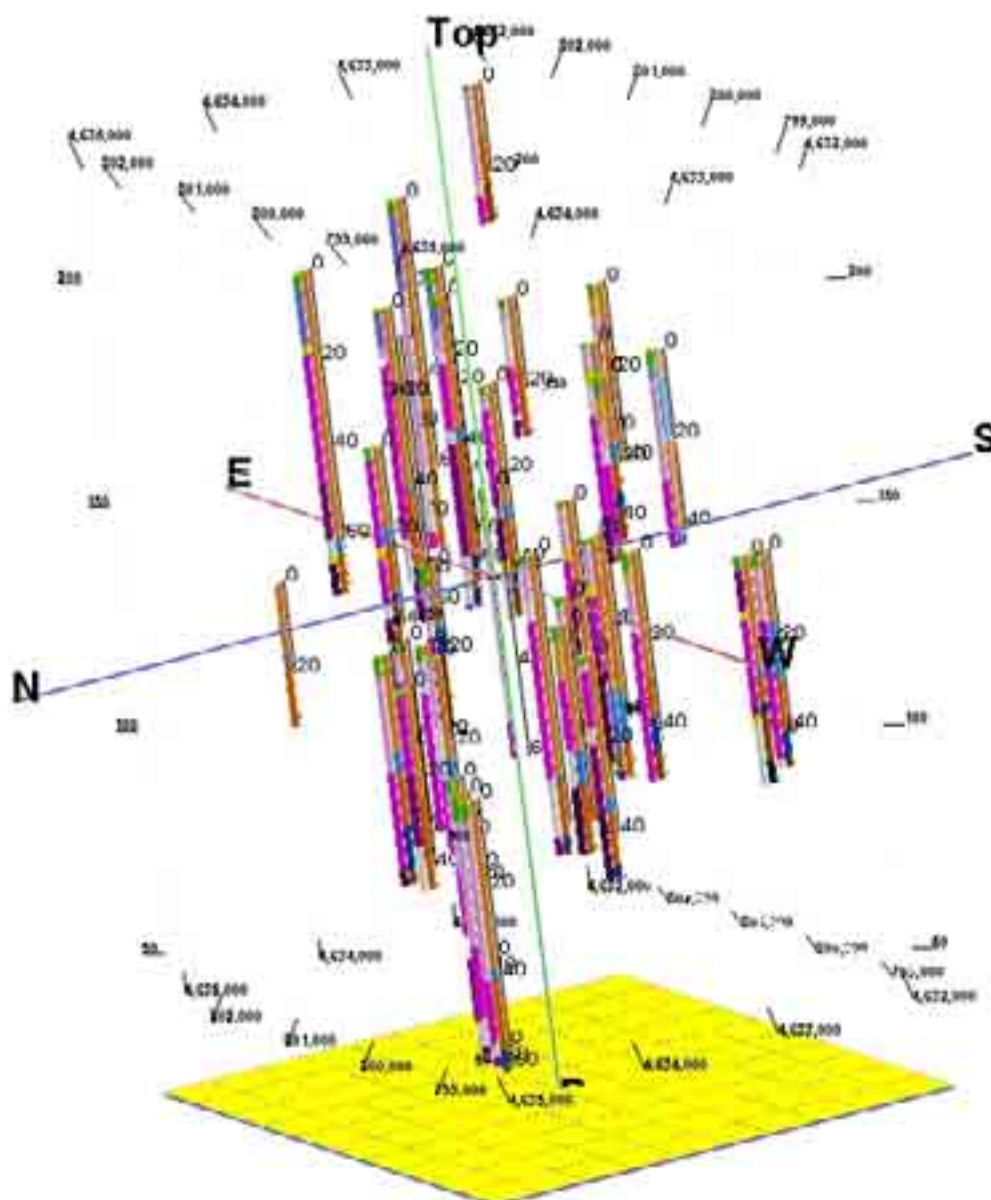


Fig. 17 – Visualizzazione in tre dimensioni generale di alcuni pozzi con le stratigrafie standardizzate (Esagerazione asse verticale 30x) (Legenda Fig. 16).

Nel database dei dati relativi alla L.464/84 sono anche presenti informazioni di carattere idrogeologico riguardanti le informazioni sulla presenza o meno di falda idrica nei terreni attraversati dalle perforazioni.

Dopo aver ricostruito la legenda con i tematismi appropriati per la raffigurazione della presenza o meno di acqua all'interno delle rocce (Fig. 16), si è proceduto alla visualizzazione degli andamenti del livello degli eventuali acquiferi presenti (Fig. 18).

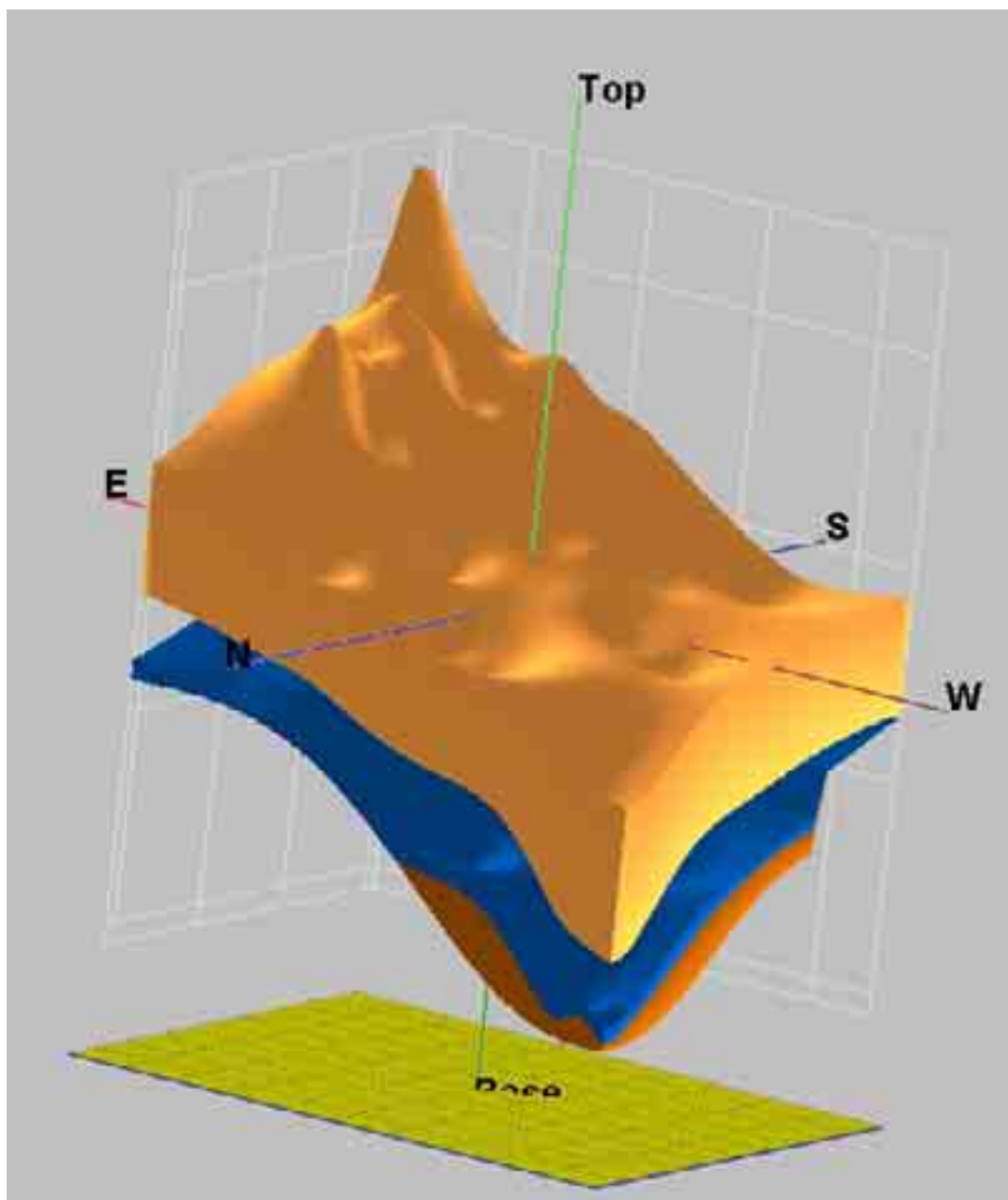


Fig. 18 – Prima elaborazione modello in tre dimensioni di alcune superfici piezometriche presenti nell'area del comune di Ciampino (Esagerazione asse verticale 30x) (Legenda Fig. 16).

Sovrapponendo le due figure si ottiene una schematizzazione che permette di evidenziare a quali livelli stratigrafici corrisponde la presenza di acqua. Questo permette di conseguenza l'individuazione della geometria degli strati impermeabili e, quindi, di ottenere la ricostruzione dell'estensione dei livelli aventi funzione di *acquiclude* sulla base delle superfici isopache.

8.6 Ricostruzione della superficie piezometrica.

La ricostruzione della falda è stata ottenuta utilizzando i dati di un censimento effettuato all'interno dei limiti amministrativi del comune di Ciampino, per la redazione di un lavoro di tesi precedentemente accennato (Fig. 19). Tali informazioni sono state elaborate utilizzando un foglio di calcolo, Microsoft Excel, e poi importate in ambiente ArcGIS. Dopo aver elaborato una visualizzazione in due dimensioni si è proceduto a effettuare un'analisi geostatistica. Il set di dati è stato analizzato utilizzando il metodo *Kriging*. Sono stati determinati i parametri fondamentali (Tab. 2) (Fig. 20) affinché il *set* di dati avesse una distribuzione omogenea all'interno del variogramma di predizione.

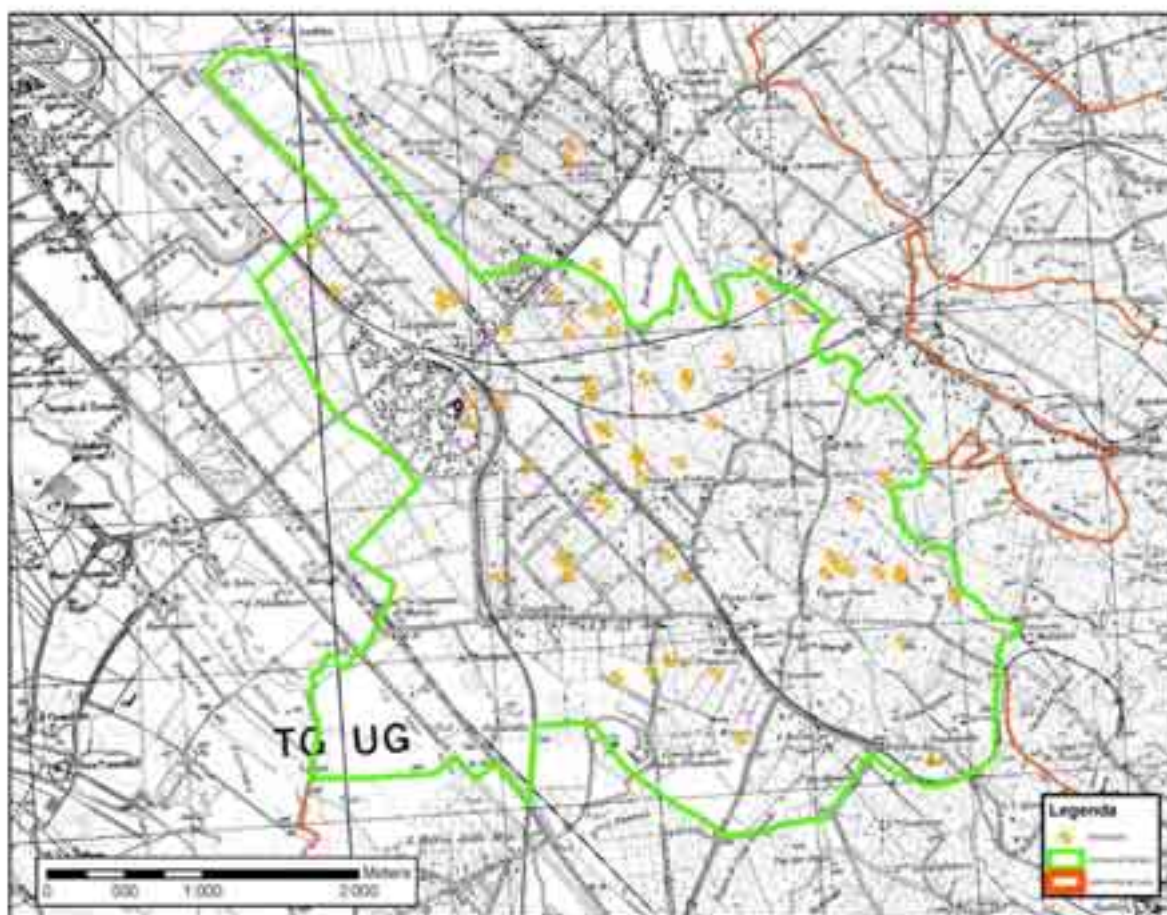


Fig. 19 – Ubicazione perforazioni utilizzate per analisi con G.I.S. dell'andamento piezometrico.

X	Y	Measured	Predicted	StdError	Error	Stdd_Error	NormValue
798435,00	4635159,00	71,10	81,00	12,30	9,90	0,81	1,25
798597,00	4634856,00	73,50	78,70	10,92	5,20	0,48	0,71
799284,00	4634762,00	94,00	92,13	5,84	-1,87	-0,32	-0,42
799284,00	4634821,00	92,80	91,77	5,80	-1,03	-0,18	-0,17
799352,00	4634796,00	92,40	93,86	6,06	1,46	0,24	0,38
799461,00	4634138,00	93,80	97,71	7,47	3,91	0,52	0,88
799470,00	4633996,00	99,90	95,75	7,85	-4,15	-0,53	-0,88
799637,00	4633002,00	105,00	102,62	12,42	-2,38	-0,19	-0,21
799657,00	4634129,00	98,20	98,58	8,12	0,38	0,05	0,08
799685,00	4635675,00	91,60	90,94	11,70	-0,66	-0,06	-0,04
799692,00	4634601,00	98,00	94,82	9,18	-3,18	-0,35	-0,51
799829,00	4633717,00	105,40	100,73	9,90	-4,67	-0,47	-0,82
800015,00	4634834,00	97,00	95,22	8,43	-1,78	-0,21	-0,29
800046,00	4633125,00	105,60	106,12	5,51	0,52	0,10	0,21
800077,00	4635691,00	91,30	91,74	7,26	0,44	0,06	0,12
800084,00	4633130,00	106,70	106,54	5,46	-0,16	-0,03	0,00
800093,00	4633014,00	107,20	109,47	7,29	2,27	0,31	0,47
800101,00	4634580,00	97,40	98,29	7,82	0,89	0,11	0,25
800119,00	4635786,00	91,00	92,54	7,82	1,54	0,20	0,33
800230,00	4634245,00	105,80	103,71	6,44	-2,09	-0,32	-0,47
800234,00	4634170,00	106,00	105,94	6,27	-0,06	-0,01	0,04
800257,00	4634710,00	95,20	93,42	6,53	-1,78	-0,27	-0,33
800264,00	4633532,00	105,80	106,57	6,76	0,77	0,11	0,29
800267,00	4635019,00	97,30	90,80	9,23	-6,50	-0,70	-1,25
800311,00	4633971,00	110,40	106,78	5,54	-3,62	-0,65	-1,01
800332,00	4633477,00	105,00	112,66	6,73	7,66	1,14	1,45
800336,00	4633941,00	106,70	110,99	5,55	4,29	0,77	1,16
800371,00	4634746,00	87,50	96,07	6,88	8,57	1,25	1,74
800378,00	4634592,00	97,20	94,01	7,26	-3,19	-0,44	-0,71
800402,00	4632368,00	121,10	138,86	9,81	17,76	1,81	1,97
800528,00	4633763,00	123,00	119,17	5,48	-3,83	-0,70	-1,16
800545,00	4633808,00	117,40	121,63	5,75	4,23	0,74	1,08
800576,00	4633656,00	128,30	123,61	6,94	-4,69	-0,68	-1,08
800580,00	4634287,00	102,00	106,83	8,34	4,83	0,58	1,01
800622,00	4632407,00	147,80	129,79	7,24	-18,01	-2,49	-2,40
800739,00	4633154,00	144,40	132,36	8,48	-12,04	-1,42	-1,74
800744,00	4632475,00	132,00	147,97	7,53	15,97	2,12	2,40
800807,00	4633744,00	133,50	127,31	8,47	-6,19	-0,73	-1,34
800854,00	4634268,00	114,20	106,28	5,62	-7,92	-1,41	-1,58
800861,00	4633005,00	139,80	144,59	8,71	4,79	0,55	0,95
800864,00	4634307,00	105,20	110,31	5,66	5,11	0,90	1,34
801022,00	4634005,00	119,50	122,35	9,18	2,85	0,31	0,42
801048,00	4632395,00	155,60	150,05	9,66	-5,55	-0,57	-0,95
801125,00	4634415,00	98,30	109,32	9,17	11,02	1,20	1,58
801197,00	4631972,00	166,40	162,44	12,82	-3,96	-0,31	-0,38
801339,00	4634817,00	106,00	104,45	8,08	-1,55	-0,19	-0,25
801353,00	4635034,00	107,60	106,51	8,35	-1,09	-0,13	-0,08
801574,00	4634735,00	108,00	112,69	9,56	4,69	0,49	0,82
801583,00	4635129,00	113,50	108,83	10,26	-4,67	-0,46	-0,77
801745,00	4633034,00	149,55	152,03	6,80	2,48	0,36	0,56
801781,00	4633137,00	150,20	149,18	6,34	-1,02	-0,16	-0,12
801836,00	4633074,00	151,40	149,41	5,34	-1,99	-0,37	-0,61
							(CONTINUA)

X	Y	Measured	Predicted	StdError	Error	Stdd_Error	NormValue
801900,00	4633054,00	148,50	151,41	5,99	2,91	0,49	0,77
801939,00	4633474,00	148,40	144,94	8,86	-3,46	-0,39	-0,66
802089,00	4633042,00	150,00	152,42	6,76	2,42	0,36	0,51
802129,00	4633646,00	145,00	145,71	10,36	0,71	0,07	0,17
802216,00	4633000,00	153,90	156,48	5,73	2,58	0,45	0,66
802233,00	4633048,00	153,30	155,63	5,90	2,33	0,39	0,61
802243,00	4632600,00	178,00	174,22	10,48	-3,78	-0,36	-0,56
802437,00	4631835,00	196,50	176,01	16,46	-20,49	-1,24	-1,45
802577,00	4632892,00	185,80	165,26	11,35	-20,54	-1,81	-1,97

Tab. 2 – Tabella con valori geostatistici utilizzati nella creazione del livello piezometrico risalente a settembre 2005 con metodo *Kriging* (Legenda: X, Y = coordinate delle perforazioni; *Measured* = valore misurato; *Predicted* = valore predetto; *StdError* = errore standard; *Stdd_Error* : errore standard derivato; *Normvalue* : valore normalizzato).

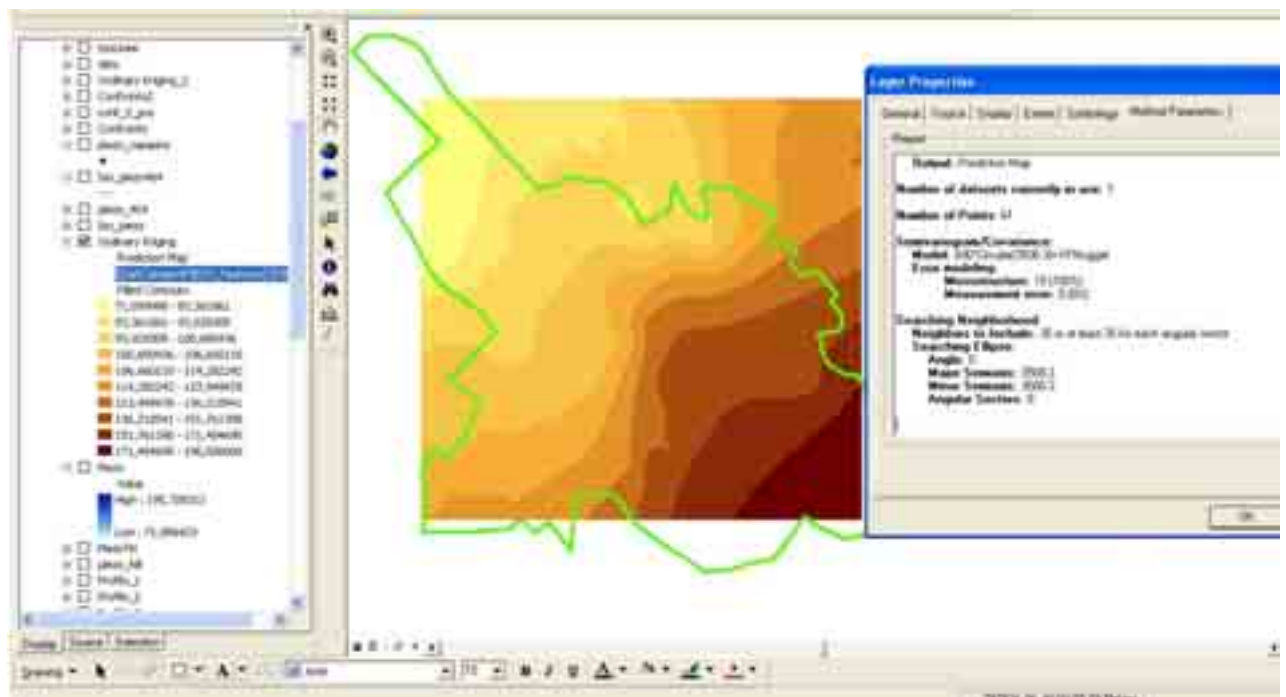


Fig. 20 – Mappa di predizione dell'andamento piezometrico utilizzando metodo *Kriging* con i relativi parametri geostatistici.

La falda ricostruita presenta un andamento che rispecchia la morfologia del piano campagna. I livelli piezometrici, infatti, tendono a crescere nella direzione delle bocche di emissione che si trovavano in corrispondenza degli attuali alti morfologici dell'area in esame. Inoltre, evidenziando le isopieze, cioè le curve che identificano i valori

equipotenziali della falda piezometrica, si può ottenere una migliore visualizzazione di tale andamento (Fig. 21).

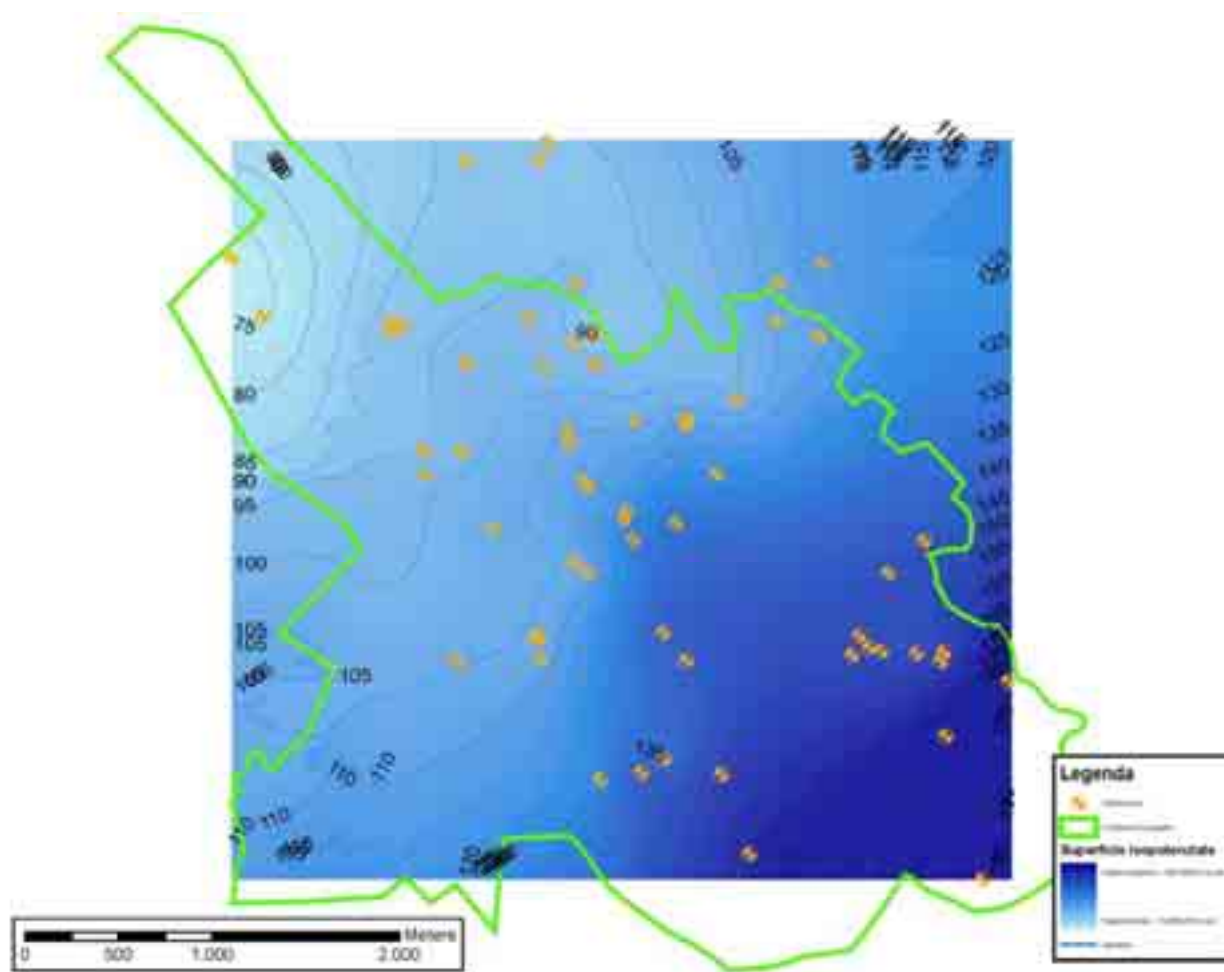


Fig. 21 – Superficie isopotenziale (settembre 2005) visualizzata usando metodo *stretched* con isolinee (equidistanza 5 metri) .

Utilizzando i dati del database della Legge 4/8/1984 n. 464, è stata effettuata una ulteriore ricostruzione dell'andamento piezometrico (Fig. 22). Tale insieme di informazioni, a differenza di quelli forniti nella campagna di sondaggi precedentemente accennata, hanno una distribuzione asincrona. Sono presenti, infatti, livelli piezometrici misurati in archi di tempo diversi, a seconda della data di completamento dell'opera di perforazione e, quindi, non del tutto omogenei. L'importanza di tale ricostruzione è comunque di interesse nonostante il limite che riguarda la multi-temporalità dei dati. È possibile, infatti, stimare le variazioni dello stato della falda nel tempo sia come incremento che come diminuzione di

potenziale idraulico. Tale giudizio può essere effettuato paragonando le due ricostruzioni fatte, ottenendo, quindi, una considerazione quantitativa riguardo a tali informazioni.

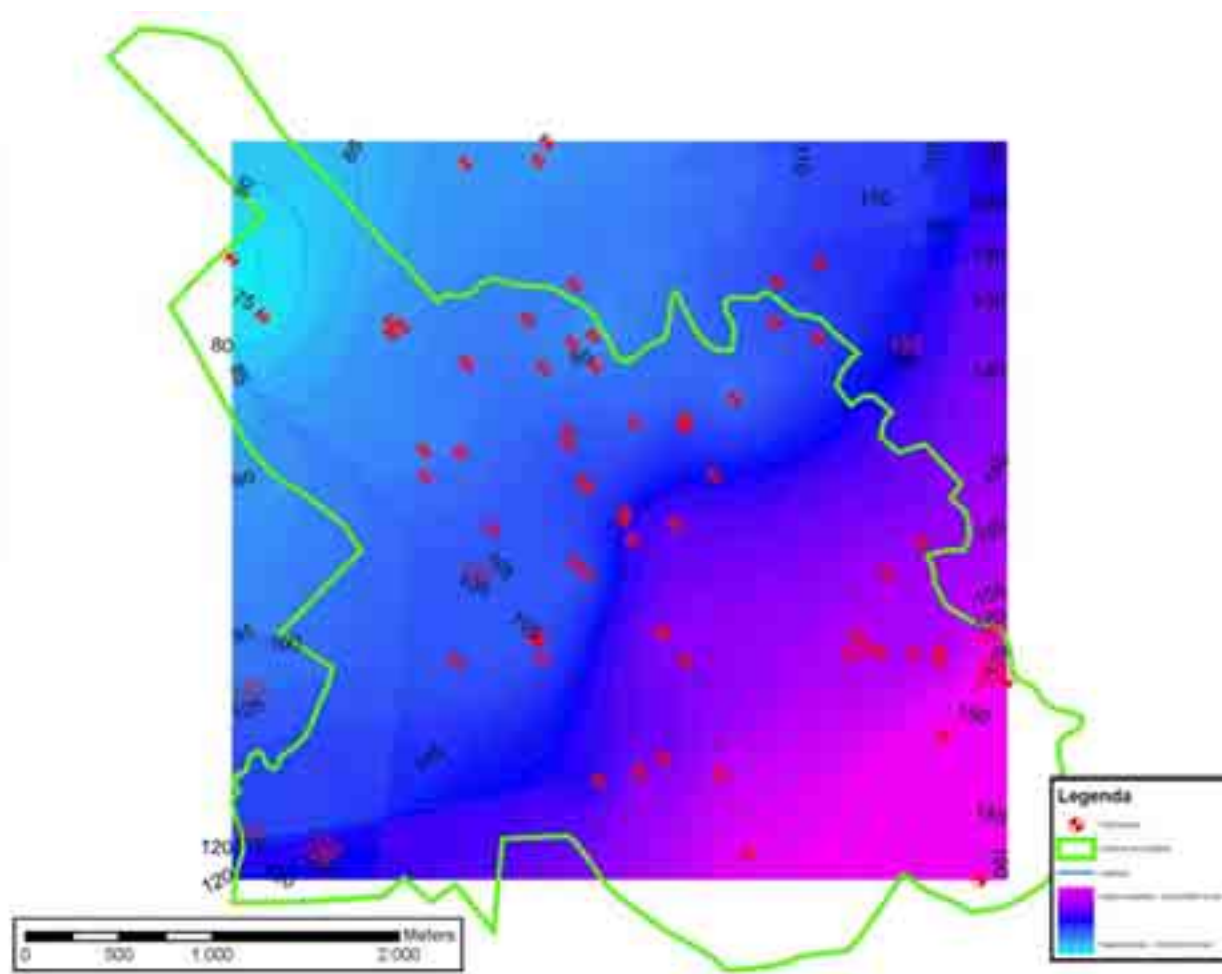


Fig. 22– Superficie isopotenziale (con dati da geodatabase D.Lgs. 4/ 8/1984, n. 464) visualizzata usando metodo *stretched* con isolinee (equidistanza 5 metri).

È stato dedotto che la falda è rimasta pressoché stabile, cioè i livelli piezometrici all'interno dell'acquifero non sono sostanzialmente variati, a testimonianza che gli effetti dei prelievi dall'acquifero sono stati equilibrati dalla ricarica naturale durante questi ultimi 20 anni (Fig. 23).

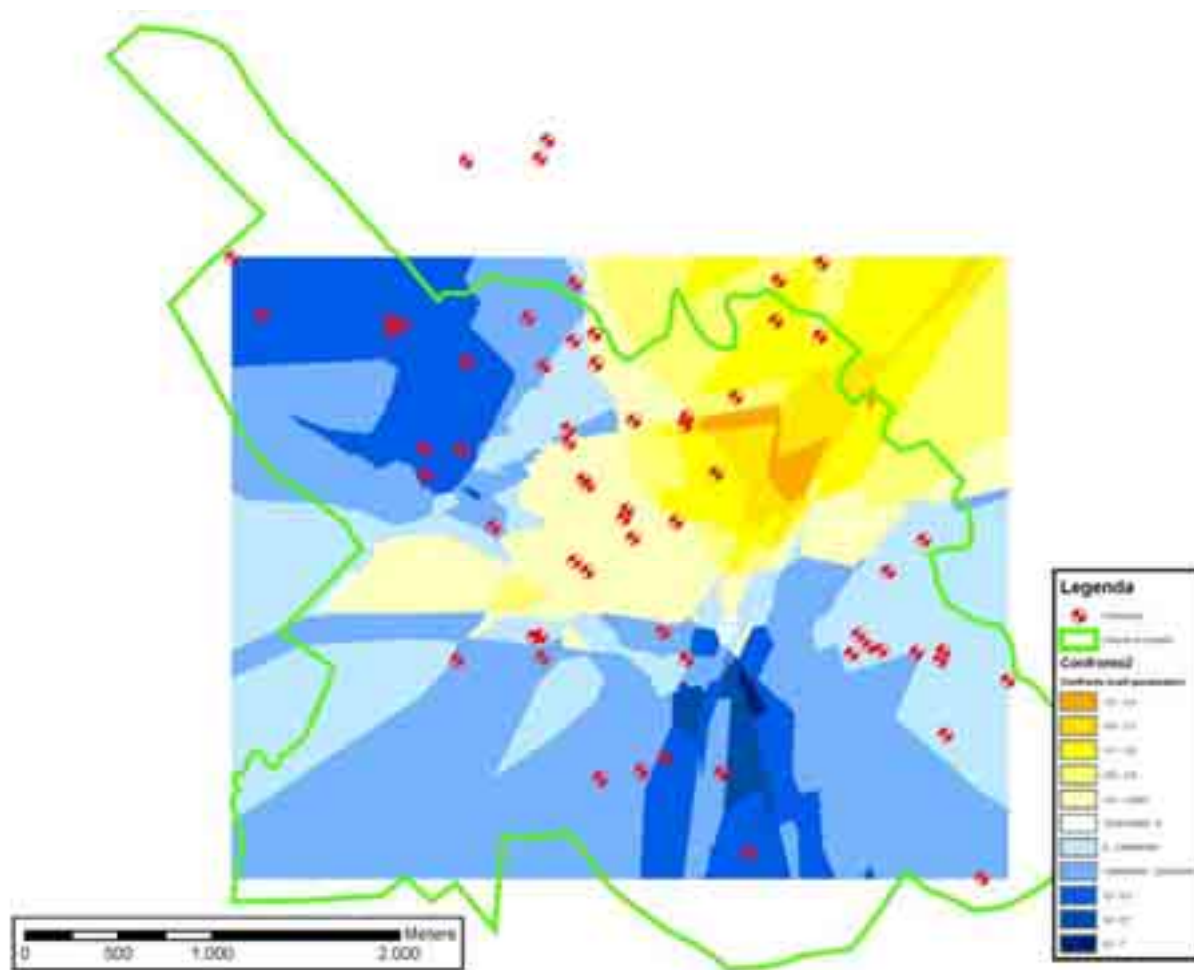


Fig. 23 – Carta con differenza di livelli piezometrici dei pozzi della Legge 464/ 84 rispetto ai dati della campagna di rilevamento del settembre 2005 visualizzata usando metodo di classi di colore.

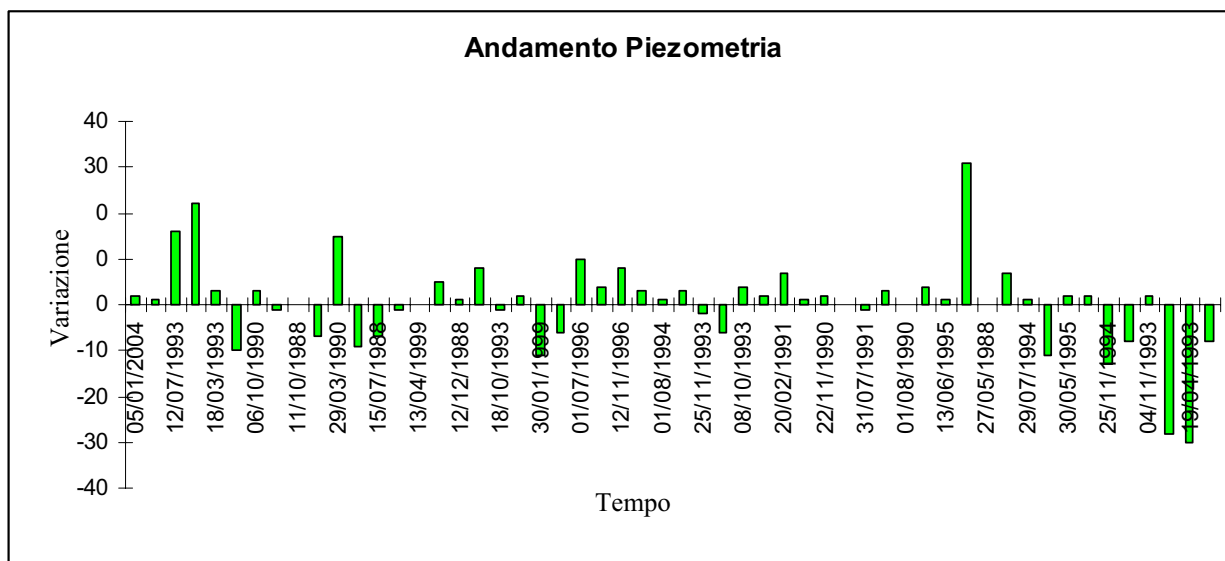


Fig. 24 – Grafico con valori delle differenze dei livelli piezometrici dei pozzi della Legge 464/ 84 rispetto ai dati della campagna di rilevamento del settembre 2005 in funzione del tempo.

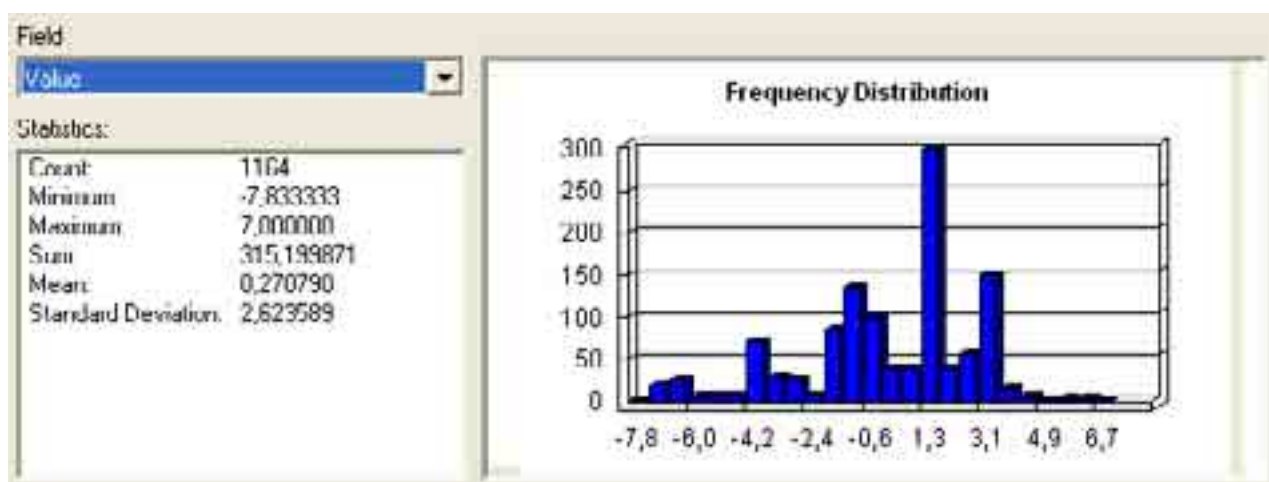


Fig. 25 – Analisi statistica dati differenza dei livelli piezometrici dei pozzi della Legge 464/ 84 rispetto ai dati della campagna di rilevamento del settembre 2005.

Dalla figura (Fig. 24) che rappresenta la differenza tra i due livelli di falda si possono notare dei valori di picco di 30 e -30. Tali valori si discostano dall'andamento medio del *set* di dati che si sono ottenuti dall'analisi eseguita. Queste informazioni, essendo casi locali all'interno dell'insieme totale dei valori, possono essere comunque trascurati (Fig. 25). Si può pensare che probabilmente, dato il periodo a cui risalgono, sono da imputare a problemi dovuti alla non accorta realizzazione dell'opera di captazione e che possa risultare antiquato. È possibile, infatti, che il pozzo possa attualmente avere un condizionamento dei filtri non più funzionale e che tali filtri possano quindi risultare intasati e non favoriscano più un flusso di acqua adeguato. Altra ipotetica causa è che la misura sia stata fatta dopo un periodo di intenso emungimento che ha creato uno stato momentaneo di equilibrio dinamico del flusso idrico.

8.7. Analisi dati con RockWorks

I dati all'interno del geodatabase, organizzati in una tabella in formato dbf, posseggono una informazione che interessa la presenza o meno di acquifero. Tali indicazioni provengono dalla scheda tecnica (Fig. 1) e si riferiscono alle definizioni della successione degli acquiferi. Un acquifero è una roccia o terreno permeabile che può contenere acqua e

consentirne il flusso con velocità compatibile con le possibilità di un normale utilizzo. Una roccia può essere quindi acquifera, ma non avere questa potenzialità se non influenzata da un'alimentazione di acque. Un acquicludo, invece, è una roccia o terreno impermeabile che contiene una quantità d'acqua che però non è libera di fluire o fluisce tanto lentamente che non può essere comunemente utilizzata. È stata effettuata una visione in tre dimensioni degli andamenti degli acquiferi della zona di studio, e sono state evidenziate le informazioni associate alle perforazioni.

Dopo aver effettuato una ricostruzione per i singoli pozzi in tre dimensioni (Fig. 26), ed in seguito di tutte le perforazioni standardizzate (Fig. 27), è stato notato, anche in questo caso, che l'andamento rispecchia quello della morfologia dei rilievi con dei picchi e degli alti nei pressi delle zone più elevate di quota rispetto al livello del mare.

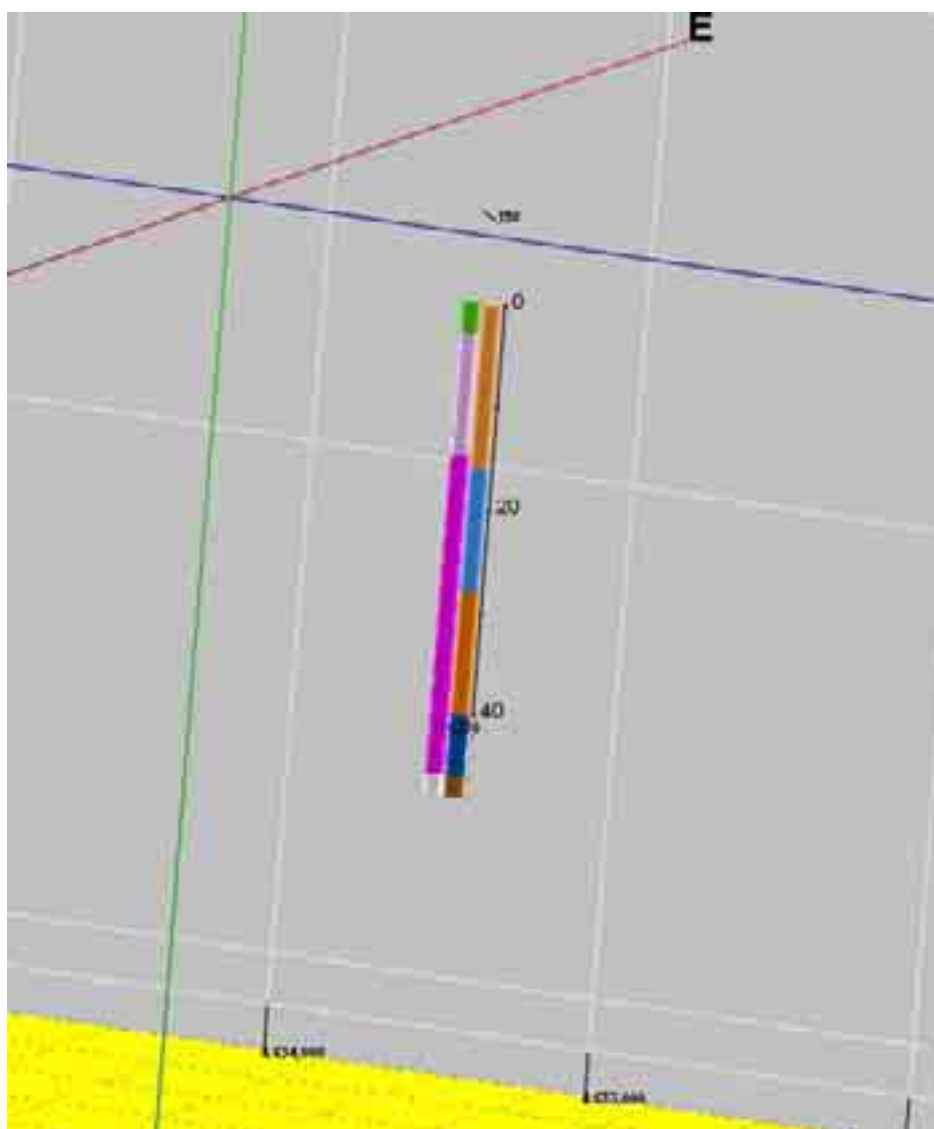


Fig. 26 – Dettaglio del modello in tre dimensioni di un pozzo con la stratigrafia standardizzata (Esagerazione asse verticale 30x) (Legenda Fig. 16).

Al fine di ottenere un riscontro con le serie stratigrafiche individuate e ricostruite dai dati utilizzati dal geodatabase, è stato sovrapposto il modello sopra descritto (Fig. 28, Fig. 29 e Fig. 30) con la visualizzazione in tre dimensioni dei pozzi.

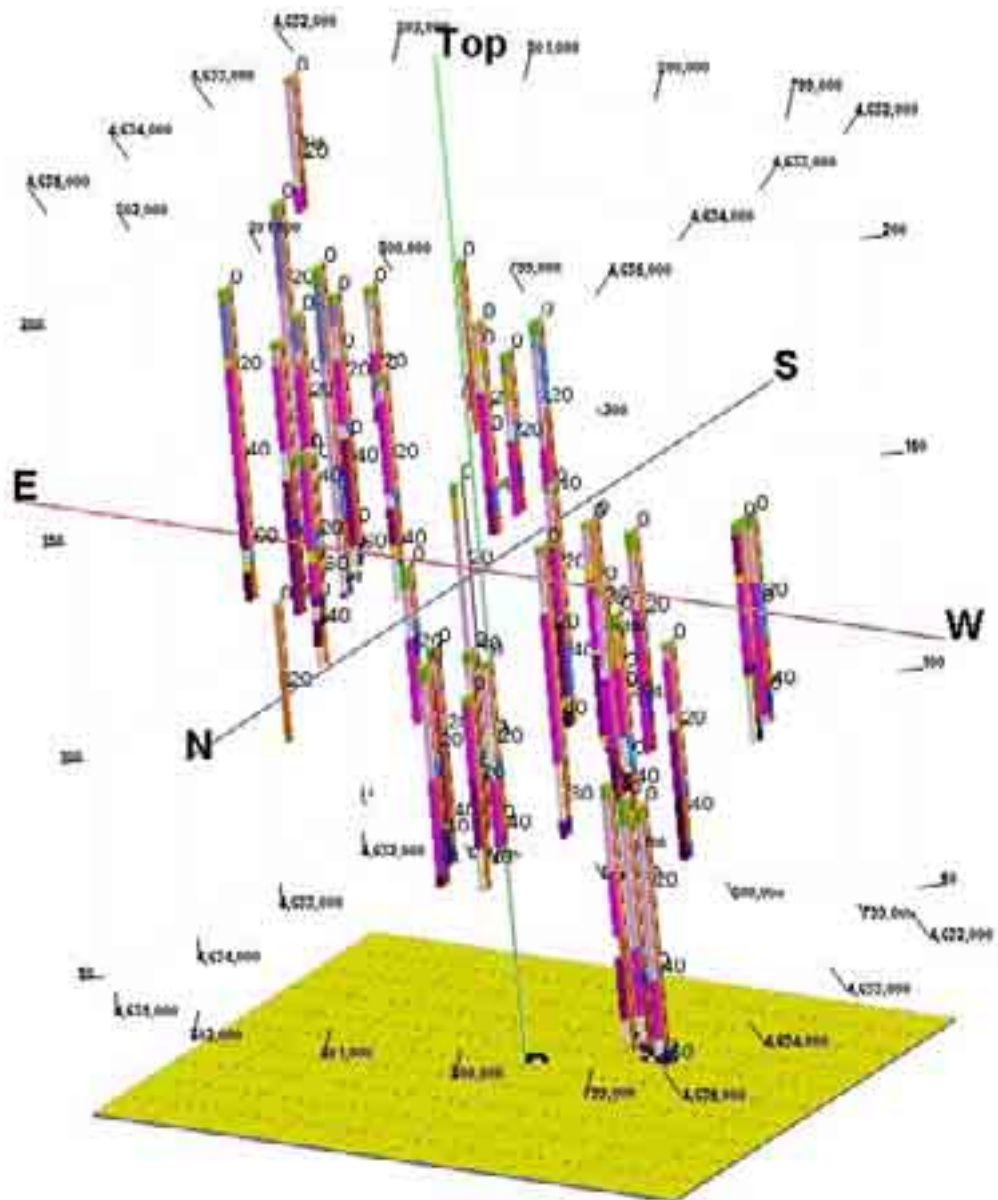


Fig. 27 – Modello in tre dimensioni dei pozzi con le stratigrafie standardizzate utilizzati nell'analisi (Esagerazione asse verticale 30x) (Legenda Fig. 16).

Si è evidenziato che le formazioni che ospitano i livelli acquiferi sono quelli identificabili con i terreni riconosciuti con la seguente descrizione litostratigrafia, dall'alto verso il

basso, omogeneizzata secondo la legenda della carta geologica 1:50.000 dei Colli Albani (de Rita *et al.*, 1988)¹:

- IV colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo di Villa Senni” e “Pozzolanelle” (*Auct.*);
- III colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo Lionato” e “Pozzolane inferiori” (*Auct.*);
- piroclastiti e lave intercalate del II ciclo (*Auct.*);
- II colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Pozzolane rosse” (*Auct.*);
- I colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo pisolitico” (*Auct.*).

Le osservazioni in dettaglio mostrano che la maggiore presenza di acqua, e quindi dell’acquifero, è stata comunque riscontrata nella III colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio (“Tufo Lionato” e “Pozzolane inferiori” *Auct.*) e nella II colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio (“Pozzolane rosse” *Auct.*).

Come si può notare dalla Fig. 30 nell’area sono presenti due acquiferi che sono localizzabili in corrispondenza delle due unità stratigrafiche sopra nominate:

- quello relativo all’unità del “Tufo Lionato” e “Pozzolane inferiori” (*Auct.*) che si può definire “superficiale” ed è ubicato ad una quota maggiore rispetto al piano di campagna;
- quello relativo all’unità delle “Pozzolane rosse” (*Auct.*) che si può definire “basale” ed è ubicato in una posizione inferiore, generalmente in prossimità della base della successione stratigrafica.

L’unità del “Tufo Lionato” e delle “Pozzolane inferiori” (*Auct.*) corrisponde al Complesso dei tufi stratificati di Capelli *et al.* (2005)⁴ mentre quella delle “Pozzolane rosse” (*Auct.*) al complesso delle pozzolane (Capelli *et al.*, 2005)⁴ (Tab. 3).

<i>Distretto vulcanico</i>	<i>Unità stratigrafiche</i>	<i>Complesso idrogeologico</i>	<i>Età</i>	<i>Grado di permeabilità</i>	<i>Tipologia acquifero</i>
Colli Albani	“Tufo Lionato” “Pozzolane inferiori”	Complesso dei tufi stratificati e delle facies freatomagmatiche	Pleistocene	Bassa o molto bassa	Superficiale
Colli Albani	“Pozzolane rosse”	Complesso delle pozzolane	Pleistocene	Variabile da media a medio alta	Basale

Tab. 3 – Tabella riassuntiva dell’interpretazione dei complessi idrogeologici individuati nell’area di studio dalle unità stratigrafiche riconosciute.

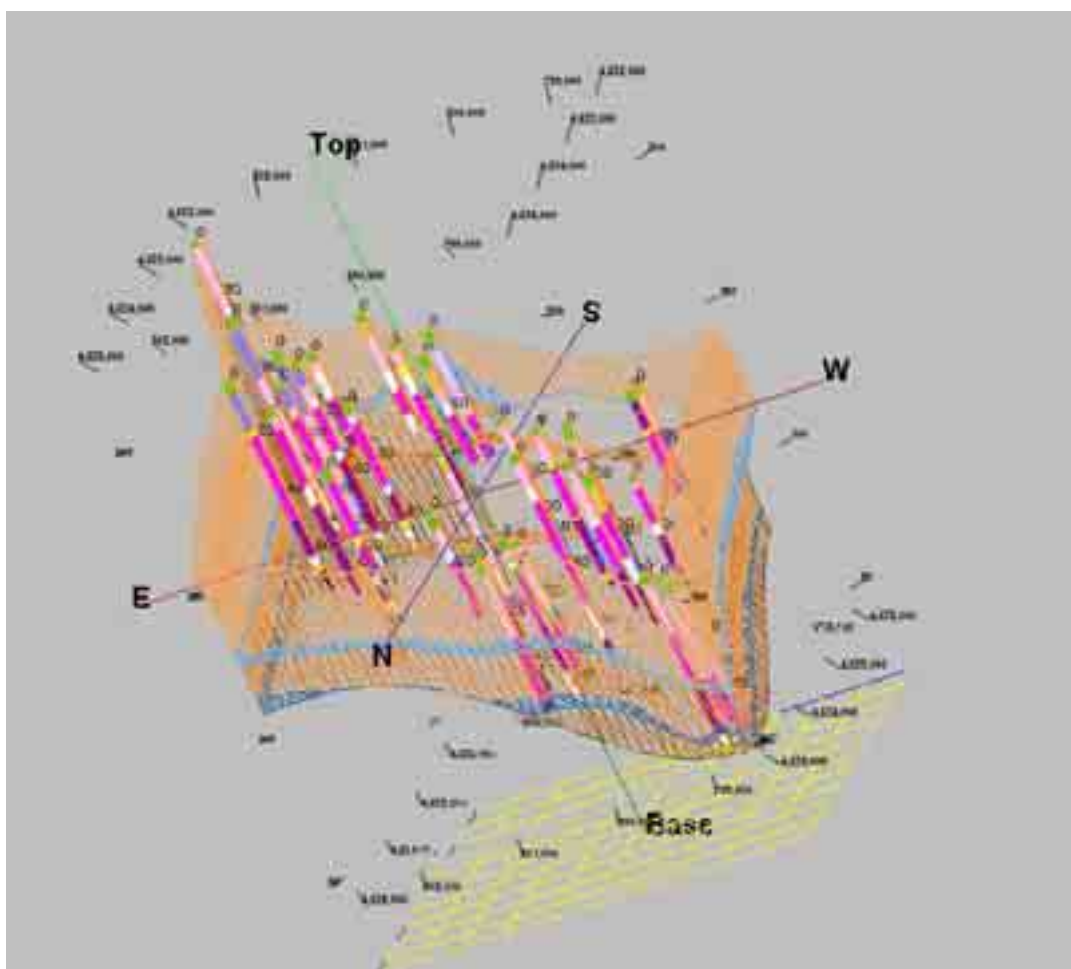


Fig. 28 – Costruzione modello in tre dimensioni della superficie dell’acquifero presente nell’area del comune di Ciampino utilizzando le stratigrafie dei pozzi (Esagerazione asse verticale 30x).

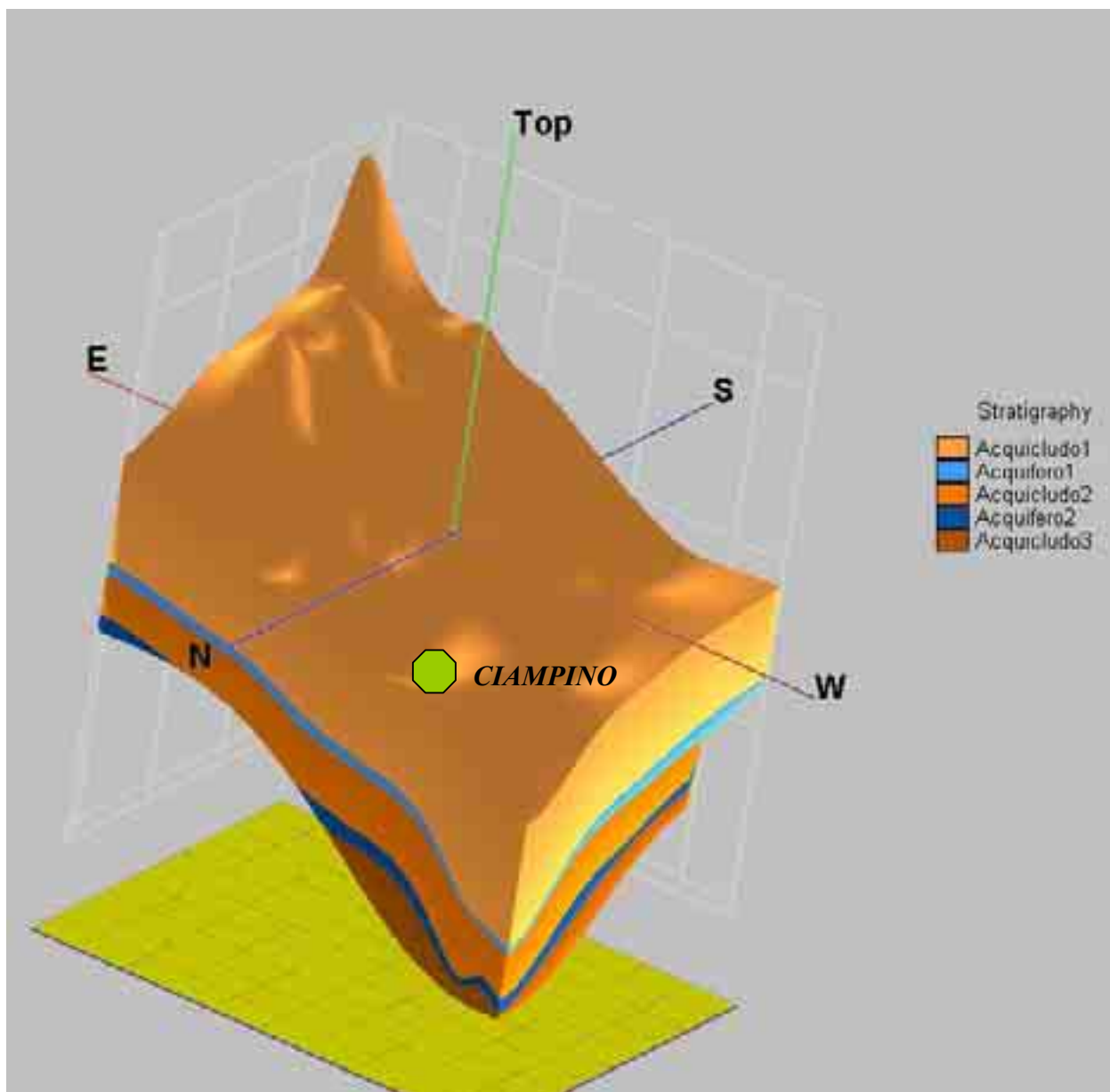


Fig. 29 – Modello in tre dimensioni della superficie dell'acquifero presente nell'area del comune di Ciampino (Esagerazione asse verticale 30x).

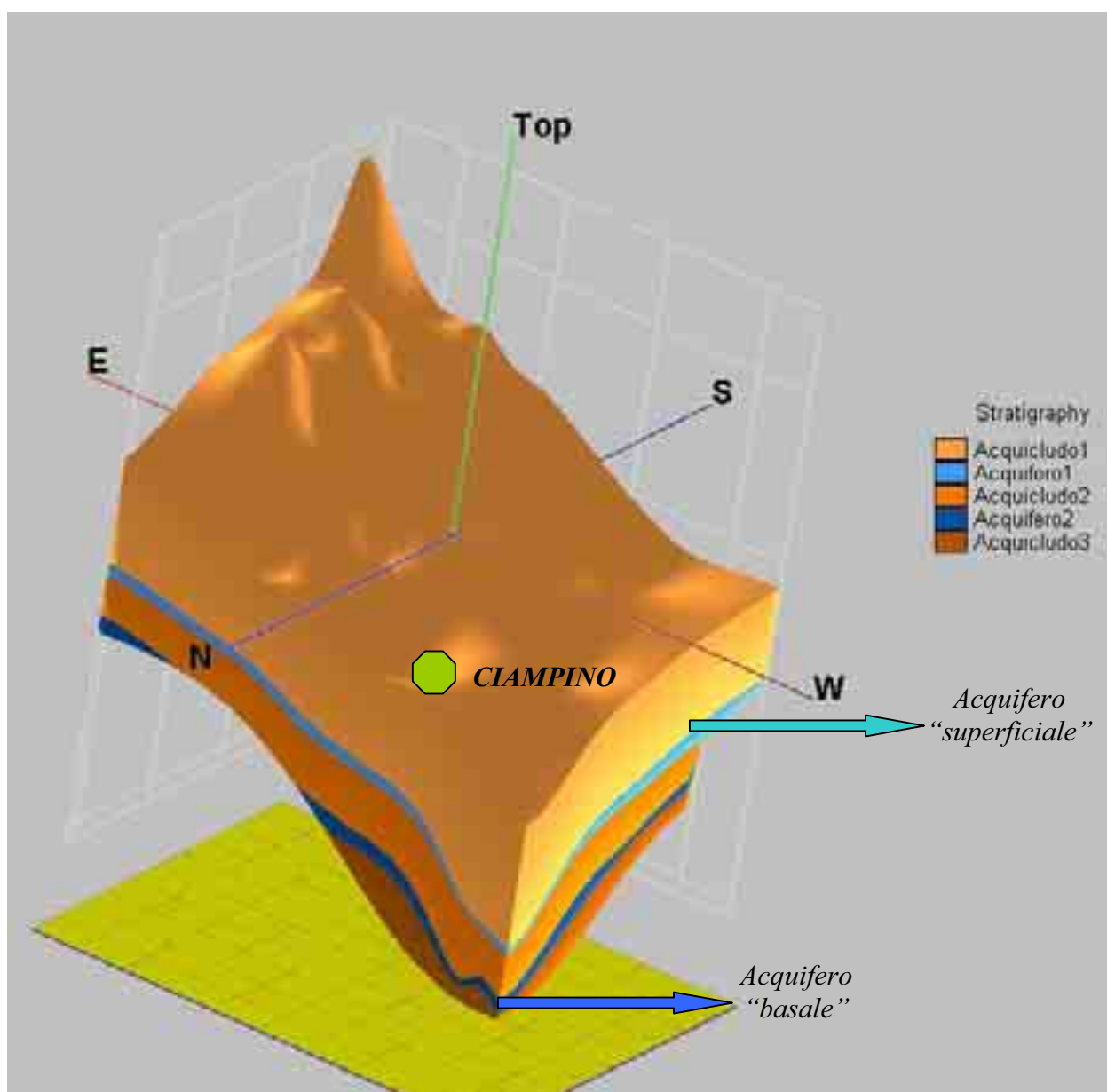


Fig. 30 – Modello in tre dimensioni della superficie dell’acquifero presente nell’area del comune di Ciampino (Esagerazione asse verticale 30x) con evidenziati l’acquifero “basale” (in blu) e quello “superficiale” (in celeste).

9. Conclusioni

Dai dati raccolti ed in seguito elaborati durante lo studio si può affermare, che nella zona del comune di Ciampino, le unità idrogeologiche riconosciute sono riconducibili alla successione vulcanica. Questa è stata suddivisa da de Rita *et al.*, 1988¹, e questa classificazione è stata utilizzata nel presente lavoro, come segue:

- IV colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo di Villa Senni” e “Pozzolanelle” (*Auct.*);
- III colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo Lionato” e “Pozzolane inferiori” (*Auct.*);
- piroclastiti e lave intercalate del II ciclo (*Auct.*);
- II colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Pozzolane rosse” (*Auct.*);
- I colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio: “Tufo pisolitico” (*Auct.*).

Invece, dal punto di vista idrogeologico Capelli *et al.* (2005)⁴ hanno distinto il Complesso delle lave, dei laccoliti e dei coni di scorie, il Complesso delle pozzolane ed il Complesso dei tufi stratificati e delle facies freatomagmatiche.

È stato possibile associare in base alla presenza di acqua, cioè alla presenza dell’acquifero, i complessi idrogeologici alle formazioni litostratigrafiche presenti nel geodatabase e in precedenza standardizzate.

È risultato quindi che le unità del “Tufo Lionato” e delle “Pozzolane inferiori” (*Auct.*), III colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio, che costituiscono l’acquifero “superficiale”, possono essere associate al complesso dei tufi stratificati (Capelli *et al.*, 2005)⁴ mentre quella delle “Pozzolane rosse” (*Auct.*), II colata piroclastica del Tuscolano-Artemisio, che costituiscono l’acquifero “basale”, al complesso delle pozzolane (Capelli *et al.*, 2005)⁴.

Ringraziamenti

L'autore del presente lavoro ringrazia il Dott. Geol. Raimondo Policicchio per la disponibilità ed il considerevole aiuto nella parte riguardante gli applicativi utilizzati ed il reperimento dei dati provenienti dal *geodatabase*, la società Retecologica srl che ha permesso lo svolgimento di questo studio e l'Ing. Silvestro Furnari per la gentile concessione dei dati della campagna piezometrica del settembre 2005.

Bibliografia

CAMPOBASSO C., MARTARELLI L., POLICICCHIO R., SCALISE A.R. (2005), *Hydrological case study derived from the database information obtained from the Italian law n. 464/84*, 2nd Intern. Workshop Acquifer Vulnerability and Risk/4° Conv. Naz. Protezione e Gestione delle Acquee Sotterranee.

CAPELLI G., MAZZA R., GAZZETTI C. (2005), *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio*, Quaderni di tecniche di protezione ambientale, Pitagora Editrice Bologna.

DE RITA D., FACCENNA C., FUNICIELLO R. & ROSA C. (1995), *The Volcano of the Albans Hills: Stratigraphy and volcano-tectonics*. In "The Volcano of the Alban Hills", edited by R. Trigila, pp. 34-71, Roma

DE RITA D., FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1988), *Carta geologica del complesso vulcanico dei Colli Albani ("Vulcano Laziale")*, Progetto Finalizzato "Geodinamica", Gruppo Naz. Vulcanologia, CNR - Dipartimento di Scienze della terra, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", SELCA, Firenze.

DE RITA D. & ROSA C. (1990), *Definizione della stratigrafia e della geocronologia di alcune effusioni laviche nell'area dei Colli Albani. (Lava dell'Acquacetosa e Lava di Vallerano, Roma)*, Rend. Soc. Geol. It., 13, pp. 143 – 146.

FORNASERI M., SCHERILLO A & VENTRIGLIA U. (1963), *La regione vulcanica dei colli Albani*, CNR, Roma.

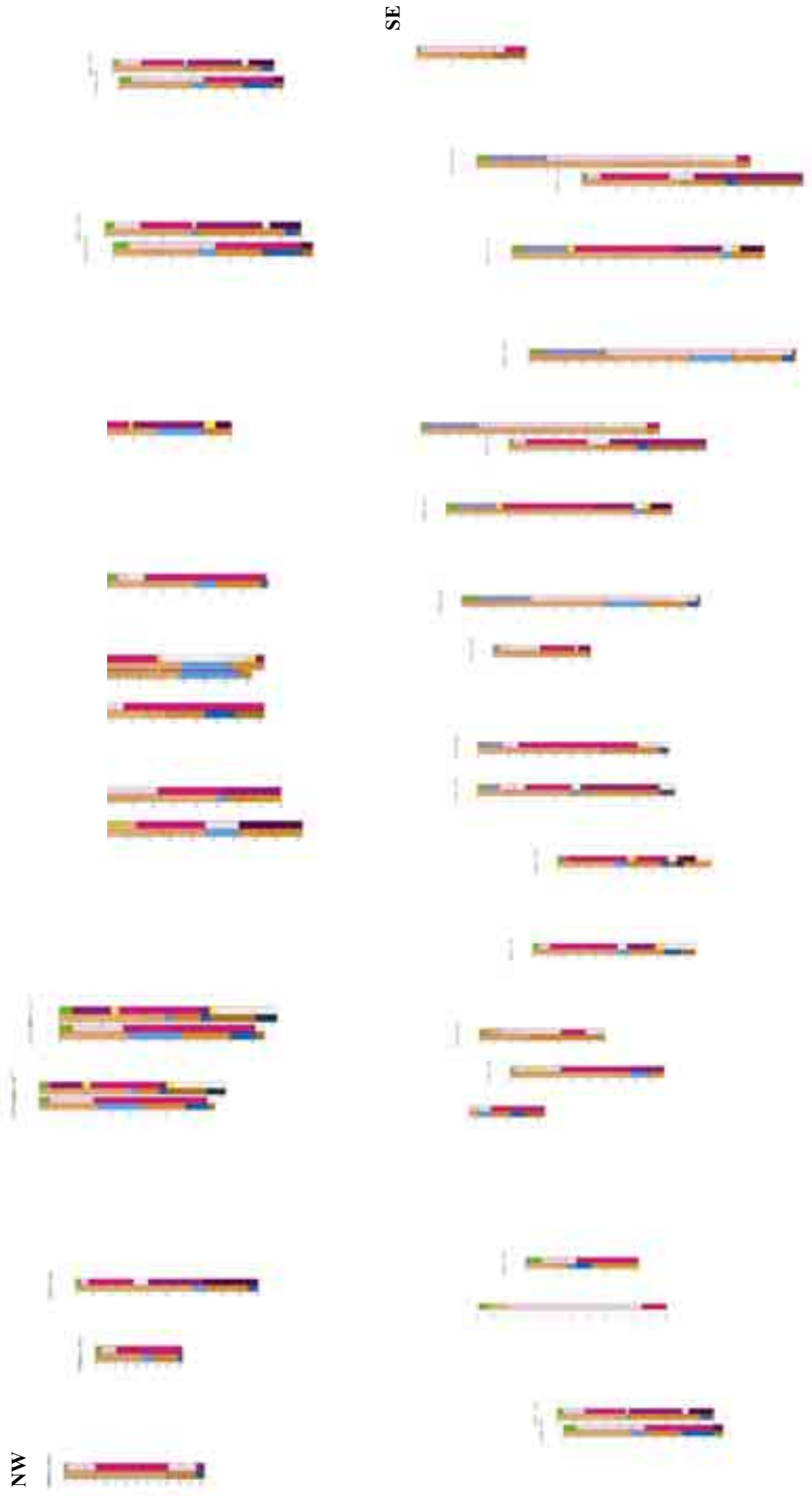
FUNICIELLO R. & PAROTTO M. (1978), *Il substrato sedimentario nell'area dei colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino centrale*, GEOLOGICA ROM., 17, pp. 233-287, 28.

LOTTI C. & ASSOCIATI (1999), *Studi preliminari per il Piano di Bacino. ST10 Studio idrogeologico del complesso vulcanico dei Castelli Romani e sistema gestionale delle risorse idriche*, Relazione inedita.

MANFREDINI M. (1967), *Problemi idrogeologici della piana costiera laziale a sud dei Colli Albani*, Servizio Geologico d'Italia, Istituto di Geologia Applicata della Facoltà di Ingegneria di Roma, pp. 229 – 237.

MARRA F. & ROSA C. (1995), *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana*, in “La Geologia i Roma. Il centro storico”. Edited by R. Funicello, Mem. Descr. della Carta Geol. D'It., L, pp. 49–118, Roma.

Appendice



Tav. 1 – Colonne schematiche dei dati stratigrafici (lato destro) e della successione dei livelli acquiferi (lato sinistro) elaborate con l'applicativo RockWorks. La parte alta e bassa della figura costituiscono un unico profilo generale rappresentativo ad orientazione NW-SE lungo tutta l'area studiata (Esagerazione verticale 30x) (Legenda Figg. 16 e 17).