

APAT
Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici

**“CRITERI STANDARD PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE
ROCCE IGNEE E MODELLIZZAZIONE IN 3D CON OBIETTIVI
APPLICATIVI”**

Tutor: Dr.ssa Chiara D'ambrogì

Stagista: Dr.ssa Laura Fantozzi

**Dipartimento Difesa del Suolo
Servizio CARG
Rilevamento geologico e analisi di laboratorio
Gennaio 2004**

Prefazione

Lo studio condotto nell'ambito dello stage ha avuto come obiettivi la definizione di una procedura di standardizzazione dei dati litologici contenuti nelle stratigrafie dei sondaggi derivanti dalla L. 464/84¹ e l'elaborazione degli stessi con software di modellizzazione geologica tridimensionale a fini applicativi.

La gran mole di dati archiviati, a partire dall'anno di emanazione della L. 464/84, prima al Servizio Geologico d'Italia ora presso il Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT, costituisce, insieme alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, uno strumento indispensabile per la corretta conoscenza della geologia di superficie e di sottosuolo del nostro territorio nazionale. Tale conoscenza di base risulta fondamentale quando si intendono realizzare studi a carattere applicativo (idrogeologico, geotecnico, ecc.).

Per rendere confrontabili e quindi realmente fruibili tali dati è necessario che questi siano organizzati in modo omogeneo; per tale scopo lo studio svolto nell'ambito del presente stage ha avuto come primo obiettivo la formulazione di una ipotesi di standardizzazione dei dati litologici (specificatamente per le rocce vulcaniche) contenuti nei sondaggi derivanti dalla L. 464/84. Successivamente i dati standardizzati per un'area "campione" sono stati utilizzati per la costruzione di un modello tridimensionale che non si limitasse alla rappresentazione dell'andamento in profondità delle strutture geologiche

¹ Legge 4 agosto 1984, n. 464 "Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio Geologico della direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato, di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale".

Art. 1 - Obblighi di informazione nei confronti del Servizio Geologico

Chiunque intenda eseguire nel territorio della Repubblica studi ed indagini, a mezzo di scavi, pozzi, perforazioni e rilievi geofisici, per ricerche idriche o per opere di ingegneria civile, al di sotto di trenta metri dal piano di campagna ovvero a mezzo di gallerie suborizzontali o inclinate di lunghezza superiore ai duecento metri, deve darne comunicazione al Servizio geologico della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato entro trenta giorni dall'inizio degli studi e delle indagini, indicando su apposite mappe la localizzazione degli studi e delle indagini programmati e deve fare pervenire al Servizio geologico, entro trenta giorni dall'ultimazione degli studi e delle indagini, una dettagliata relazione, corredata dalla relativa documentazione, sui risultati geologici e geofisici acquisiti.

ma che potesse sfruttare al massimo anche i dati quantitativi, in particolare di natura idrologica, contenuti nei sondaggi. Tale applicazione riveste un indubbio interesse soprattutto per le ricadute applicative che i software di modellizzazione tridimensionale possono avere nell'ambito della gestione del territorio.

Abstract

La zona d'indagine copre un areale di circa 370 km², localizzata nel Lazio settentrionale e limitata ad est da un tratto del corso del F. Tevere; l'area cade completamente nel Foglio 355 Ronciglione della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, attualmente in fase di informatizzazione.

Il substrato sedimentario è presente in affioramenti isolati nella zona orientale e nella parte SW, limitrofa all'area di studio, mentre la maggior parte dei litotipi presenti sono riferibili a depositi vulcanici legati all'attività vicana e cimina (1,35Ma - 90 ka).

In questo lavoro si è tentata, tramite l'utilizzo di dati superficiali e di perforazione, la ricostruzione di un modello geologico tridimensionale a fini idrogeologici.

Per la gestione e l'elaborazione dei dati nelle tre dimensioni, è stato impiegato il software 3D Move 4.1 (Midland Valley Ltd); come programma di modellizzazione e visualizzazione tridimensionale ha permesso, tramite l'espedito grafico, una semplificazione della comprensione del contesto geologico considerato.

In tal senso 3D Move può esser utilizzato non solo come elemento di verifica a complemento delle ipotesi presentate, ma anche come strumento con una buona "comunicabilità", anche in ambiti diversi da quello strettamente quello geologico.

La gestione dei dati a disposizione ha richiesto un intervento di standardizzazione, eseguita partendo dall'impostazione degli standard del B.G.S. (British Geological Survey), secondo uno schema gerarchico del

dettaglio descrittivo e svincolando la terminologia utilizzata dalle fenomenologie di messa in posto del deposito.

Il confronto dei dati a disposizione ha permesso la costruzione di una serie di superfici (substrato sedimentario, superficie del livello statico, ecc.), e l'identificazione dei complessi idrogeologici delimitanti volumi di depositi con caratteristiche di permeabilità confrontabili.

La modellizzazione effettuata ha consentito di formulare alcune considerazioni sulle caratteristiche dell'area di studio, che possono costituire un punto di partenza per future elaborazioni.

Raffrontando il livello statico, il limite a flusso nullo e il substrato, si nota un andamento simile delle superfici, tranne che in coincidenza dell'attuale lago di Vico, dove il substrato si approfondisce mentre il livello statico si rialza notevolmente; questa anomalia associata all'irregolarità di altri valori, suggerisce una situazione complessa, che non esclude la probabile presenza di più di una falda (falda sospesa).

Inoltre l'individuazione di diversi complessi idrogeologici, evidenzia in superficie una zona a più bassa permeabilità nel settore orientale rispetto a quello occidentale; questa osservazione potrebbe essere particolarmente indicativa qualora supportata da valori di infiltrazione efficace diversa tra le due zone.

Abstract

The examined area (about 370 km² wide), located in Northern Lazio and bounded by the Fiume Tevere to the west, is part of the sheet 355 Ronciglione of the Geological Map of Italy 1:50.000 scale; except some sedimentary outcrops in E and SW zones, rocks of this area are volcanic linked to the activities of Vico and Cimini volcanic districts.

The purpose of this study is to create a three-dimensional geological model, based on surface (geological map) and subsurface data (wells), to get hydrogeological applications.

3DMove 4.1 (Midland Valley Exploration Ltd.) is the software used in this work to manage and elaborate data in three dimension. The 3D visualization allows to make easier the understanding of the geological setting of the area under investigation; furthermore the three dimensional model can be used to check hypothesis for further analysis and produces a user-friendly environment useful to promote integration among disciplines.

Stratigraphic description of each well is standardized according to a hierarchical procedure that follows the Rock Classification Scheme of British Geological Survey.

3DMove, where data are imported, allows to build various surfaces as sedimentary substratum, standing water level and top of aquiclude.

Comparing these three surfaces, is evident the same trend except under the Vico caldera (about actual Vico Lake) linked to the activity of Vico volcanic district, where sedimentary substratum deepens while aquiclude goes up.

This and other anomalies under Vico caldera suggest a complex geological setting, which probably contains more water tables.

Moreover the main hydrogeological complexes were built starting from the surfaces bounding the volumes of rocks with a similar value of permeability.

The hydrogeological complex outcropping on the western zone shows a permeability greater than the eastern one; this information could be confirmed collecting the values of effective infiltration of the area.

Indice

	Introduzione.....	pag. 7
1.	Metodologia.....	pag. 7
2.	Area di studio.....	pag. 8
2.1.	Inquadramento Geologico.....	pag. 8
2.2.	Stratigrafia.....	pag. 10
2.3.	Permeabilità dei litotipi affioranti.....	pag. 13
3.	Raccolta dati.....	pag. 15
4.	Standardizzazione e elaborazione dei dati.....	pag. 16
4.1.	Standard di classificazione delle rocce ignee.....	pag. 17
4.2.	Granulometria.....	pag. 23
4.3.	Fogli di lavoro Excel.....	pag. 25
4.4.	3D Move.....	pag. 29
5.	Discussione e conclusioni.	pag. 40
	Bibliografia.....	pag. 48

Introduzione

Le problematiche connesse con l'utilizzo e l'elaborazione di dati di fonti e natura diverse sono state affrontate proponendo un sistema di standardizzazione con un approccio semplificato alla classificazione dei litotipi presenti nella descrizione stratigrafica dei pozzi.

I dati sono stati successivamente importati nel software 3D Move, e gestiti come base per la costruzione di diversi oggetti (pozzi, superfici, linee); la condivisione degli attributi tra oggetti di diversa natura ha permesso l'integrazione delle informazioni a disposizione e la ricostruzione dell'assetto geologico e idrogeologico dell'area studiata.

1. Metodologia

Per giungere alla costruzione di un modello geologico 3D dell'area di studio che rappresentasse i corpi nel sottosuolo e le loro caratteristiche idrogeologiche è stato utilizzato un software (3D Move, Midland Valley Ltd)² in grado di elaborare sia dati di superficie (dalla banca dati CARG) che quelli di sottosuolo (sondaggi).

Dopo una fase di raccolta dei dati si è resa necessaria la loro organizzazione e standardizzazione per poterli rendere confrontabili e quindi utilizzabili ai fini della modellizzazione. Una fase molto importante del lavoro è stata la costruzione di una ipotesi di standardizzazione dei dati dei sondaggi, in particolare per le rocce vulcaniche che costituiscono la quasi totalità delle rocce affioranti nell'area di studio.

Successivamente i dati standardizzati sono stati confrontati con la geologia di superficie e organizzati in formati importabili nel software di modellizzazione 3D. Tutti i dati, di superficie e sottosuolo, sono georiferiti e

² Midland Valley Exploration, 2002.

quindi automaticamente collocati nella loro corretta posizione spaziale una volta importati in 3DMove; i corpi ricostruiti risultano così realmente e correttamente utilizzabili ai fini di una valida gestione del territorio.

2. Area di studio

Il presente studio è stato condotto in un'area (circa 370 km²) del Lazio settentrionale comprendente il Lago di Vico, gli abitati di Caprarola, Carbognano, S. Martino al Cimino, Vignanello e limitata ad est da un tratto del corso del F. Tevere. Tale area ricade completamente nel Foglio 355 Ronciglione della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (in fase di informatizzazione per la stampa).

2.1. Inquadramento geologico

Nel substrato sedimentario affiorante, presente nell'area di studio o nelle immediate vicinanze, possono essere individuate quattro unità principali:

- unità carbonatica basale (Triassico superiore-Eocene), costituita da lembi di terreni riconducibili sia alla serie toscana che a quella sabina, con uno spessore totale che può raggiungere in aree limitrofe i 1.500 metri (Funicello & Parotto, 1978)³.

- unità alloctona, poggia direttamente sui sedimenti in *facies* di bacino dell'unità carbonatica premessiniana; la successione flyschide è costituita da porzioni tettonicamente sovrapposte: la porzione sommitale (Aptiano-Albiano-Cretacico sup.), conosciuta in letteratura come “Formazione della Pietraforte”, é composta da alternanze di livelli argilloso-arenacei e argilloscisti per uno spessore massimo 100÷150 metri, mentre la parte strutturalmente inferiore (Flysch Tolfetano), è francamente calcarea e con alternanze calcareo-argillose, calcareo-marnose e calcarenitiche nella parte alta (Cretacico sup.-Oligocene).

³Funicello R., Parotto M., 1978.

- unità neo-autoctona neogenica; è costituita da sedimenti prevalentemente marini (Messiniano-Pleistocene medio, Baldi *et al.*, 1974)⁴ poggianti sui sedimenti appartenenti all'unità carbonatica basale ed all'unità alloctona; essi colmano un'ampia depressione di origine tettonica che si estende dall'alto strutturale dei Monti della Tolfa ad Ovest, fino ai rilievi del M. Soratte e dei Monti Cornicolani ad Est.

Lo studio del contenuto fossilifero (Buonasorte *et al.*, 1991)⁵ condotto su terreni raggiunti in sondaggio indica una lacuna basso-pliocenica e un'altra nel Pliocene superiore mentre dal Pleistocene inferiore in poi i depositi continentali prendono il posto di quelli marini.

- unità continentale pleistocenica; poiché alla fine del Pleistocene inferiore la maggior parte dell'area in esame era già completamente emersa, questa unità è costituita da depositi con una sedimentazione tipicamente continentale e caratterizzata da una forte eterogeneità laterale.

La regione d'interesse occupa parte dei Distretti vulcanici cimino e vicano. L'attività del Distretto cimino è compresa tra 1,35 e 0,8 Ma. Durante questo intervallo di tempo si è verificata la risalita, lungo fratture a carattere regionale, di magmi viscosi acidi che in superficie formarono domi e cupole. L'evoluzione dei domi fu accompagnata da violente fasi esplosive che determinarono la messa in posto del vasto plateau ignimbrico dell'area cimina. L'attività del Distretto cimino termina con l'emissione di lave latitiche ed olivinlatitiche in espandimenti fino a 10 km di distanza dal punto di emissione.

L'attività del Distretto vicano, iniziata circa 0,8 Ma anni fa e terminata meno di 90 ka anni fa, si è sviluppata principalmente dall'edificio centrale del vulcano di Vico; essa è stata principalmente di tipo esplosivo, con chimismo alcalino potassico (Società Geologica Italiana, 1998)⁶.

⁴ Baldi P. et al., 1974.

⁵ Buonasorte G. et al., 1991.

⁶ Società Geologica Italiana, 1998.

Gli autori distinguono nel distretto vicano 4 fasi principali di attività con un massimo di parossismo intorno a 150.000 anni fa:

- I Fase (0.8-0.4 Ma): emissioni laviche a chimismo latitico trachi-basaltico, seguite da un'attività pliniana (“Tufi stratificati varicolori” vicani) e emissioni. Alla base della serie si riconoscono lave composizionalmente associabili a trachiti a leucite.

- II Fase (0.33-0.2 Ma): attività lavica a chimismo prevalentemente fonolitico tefritico, tefritico-fonolitico e trachi-fonolitico che produce la costruzione dell'edificio centrale.

- III Fase (0.2-0.15 Ma): la terza fase è caratterizzata da eruzioni pliniane associate ad una intensa attività esplosiva e a ripetuti collassi calderici. Vengono messe in posto in questa fase ingenti quantità di materiali: il Tufo Grigio a Scorie Nere (ignimbriti A e B di Locardi, 1965)⁷, il Tufo Rosso a Scorie Nere (ignimbrite C di Locardi, 1965), unità dell'ignimbrite D (Locardi, 1965).

- IV Fase (0.14-0.095 Ma): è caratterizzata da una attività che provoca la deposizione di tufi vescicolati e tufi massivi a cui fanno seguito la messa in posto di depositi con tipici caratteri idromagmatici.

2.2. Stratigrafia

Nella descrizione delle principali unità affioranti nell'area di studio si evidenzieranno, in particolar modo per i terreni vulcanici, i caratteri litologici che possono avere ricadute applicative soprattutto ai fini idrogeologici.

Solo a sud ovest dell'area di studio affiora il “Flysch della Tolfa”, rappresentato nel foglio Ronciglione da un membro calcareo-marnoso e da uno argillitico varicolore; nella parte orientale della zona considerata affiorano invece i depositi attribuiti ai conglomerati fluviolacustri pleistocenici e alle argille grigio azzurre del Pliocene medio.

Inoltre alcuni dei pozzi con descrizione stratigrafica effettuati in questa zona rilevano dei depositi di natura sedimentaria sotto la coltre vulcanica, che

⁷ Locardi E., 1965.

in questo studio vengono attribuiti: all'unità pelitica del Messiniano superiore, alle arenarie di Manciano e al Flysch della Tolfa; dunque in particolare:

- l'unità carbonatica basale (Triassico superiore-Eocene), non affiora né nell'area di studio né è stata individuata nelle descrizioni stratigrafiche dei pozzi a disposizione.

- L'unità alloctona è costituita nell'area di studio dal Flysch della Tolfa (Cretacico superiore-Eocene), affiorante e individuato in alcune perforazioni; è caratterizzato da alternanze di calcari marnosi, marne e calcari con argilloscisti, sempre con evidenti caratteri torbiditici e con spessore di circa 1.000 metri (F. Ronciglione).

- L'unità neo-autoctona neogenica affiora, ed è stata individuata in perforazione, nella parte orientale dell'area di studio; è rappresentata nel luogo da una successione pelitica e pelitica-sabbiosa con eventuali lenti di conglomerati, con spessore di circa 200 m (Messiniano superiore-pleistocene inferiore), e dalle arenarie di Manciano, calciruditi e calcareniti a granulometria media fine con scarsa matrice e cemento carbonatico.

- L'unità continentale pleistocenica, costituita da sedimenti continentali (Pleistocene medio-superiore) che costituiscono l'ultimo ciclo deposizionale, non è stata individuata nell'area di studio.

Lo studio attento della stratigrafia dei depositi vulcanici, i maggiormente estesi tra i terreni affioranti nell'area di studio, costituisce una indispensabile base di partenza per l'individuazione di eventuali falde sospese.

Nella Tab. 1 si riportano sinteticamente dal basso verso l'alto, le unità presenti nell'area di studio accompagnate da brevi descrizioni utili a fini

UNITÀ' 1	lave trachitiche compatte in duomi o in colate a luoghi fortemente alterate a formare sabbioni grossolani incoerenti
UNITÀ' 2	colata piroclastica trachitica spesso con fessurazione prismatica colonnare e fenomeni di pseudostratificazione, a luoghi molto alterata (spessore massimo 200 m nelle zone prossimali)
UNITÀ' 3	varie unità eruttive di colate laviche latitiche compatte a luoghi alterate (spessore 15-20 m)
UNITÀ' 4	lave latitiche-shoshonitiche compatte a luoghi vescicolate (spessore inferiore ai 10 m)
UNITÀ' 5	depositi piroclastici di caduta di provenienza sabatina con banconi di ceneri, strati di ceneri grossolane e lapilli scoriacei e banchi di pomici centimetriche intercalati spesso pomici e lapilli risedimentati, paleosuoli e letti di diatomiti (spessore massimo 15 m)
PEPERINI LISTATI	flusso piroclastico trachitico fortemente saldato (spessore 10-30 m)
UNITÀ' DEL TUFO GRIGIO A SCORIE NERE	flusso piroclastico trachitico-fonolitico litoide (spessore inferiore ai 10 m)
UNITÀ' 6	lave trachitiche da poco a mediamente vescicolate spesso fortemente alterate (spessore max 10 m)
UNITÀ' 7	depositi piroclastici di caduta riolitici-latitici, con livelli di pomici (Vico a e Vico B) lapilli scoriacei e banconi di cenere, alternati a paleosuoli e depositi di flusso piroclastico (Tufi Stratificati Varicolori Vicani) a limitata estensione areale (spessore massimo 23 m)
UNITÀ' 8	deposito da attività idromagmatica litoide, con matrice di cenere fine o grossolana (spessore massimo 5 m)
UNITÀ' 9	lava trachitica poco compatta, poco vescicolata e a luoghi fortemente alterata (spessore 50 m)
UNITÀ' 10	lava tefritico-fonolitica molto compatta e non vescicolata
UNITÀ' 11	successione di colate laviche tefritico-fonolitiche, fonolitiche, con grado di compattezza e vescicolazione variabile (spessore massimo 200 m)
UNITÀ' 12	depositi piroclastici di caduta scarsamente litificati, principalmente di provenienza vicana, con livelli cineritici intercalati a livelli pomicei e paleosuoli (spessore variabile, massimo 20 m)
UNITÀ' 13	depositi piroclastici di caduta con livelli di pomici, banconi di ceneri pedogenizzate e subordinatamente flussi piroclastici e paleosuoli; intercalate due colate laviche (spessore 40 m)
UNITÀ' DELL'IGNIMBRITE A	livello di pomici basale e colate piroclastiche di consistenza lapidea (spessore massimo 8 m)
UNITÀ' 14	lava olivin-latitica molto compatta e non vescicolata (spessore 6 m)
UNITÀ' 15	lava olivin-latitica (spessore 12 m)
UNITÀ' DELL'IGNIMBRITE B	livello basale di cenere e lapilli, banco di pomici e colate piroclastiche litoidi nei depositi prossimali e non litoidi in quelli distali (spessore massimo 50 m)
UNITÀ' 16	banchi di lapilli e scorie alternati alla base a colate piroclastiche; intercalate due colate laviche (spessore dai 10 ai 50 m)
UNITÀ DEL TUFO ROSSO A SCORIE NERE (IGNIMBRITE C DI LOCARDI):	livello di pomici basale, depositi da colata piroclastica scarsi in matrice nelle zone prossimali e ricchi in matrice nelle zone distali, a luoghi zeolitizzati (spessore maggiore di 80 m)
UNITÀ' 17	lava compatta poco vescicolata (spessore massimo 5 m)
UNITÀ' 18	lava compatta poco vescicolata (spessore massimo 5 m)
UNITÀ' 19	livelli stratificati di lapilli, tufi e ceneri con intercalate due colate laviche (spessore 5 m)
UNITÀ' 20	spesso paleosuolo basale, ceneri litificate seguite da depositi idromagmatici in genere litificate (spessore 60 m)
UNITÀ' 21	lava tefritica compatta (spessore a i 15 m)
UNITÀ' 22	depositi idromagmatici di banchi di ceneri fini e grossolane (spessore 5 m)
UNITÀ' 23	depositi idromagmatici di ceneri fini e grossolane compatte (spessore 10 m)
UNITÀ' 24	depositi idromagmatici di ceneri fini compatte (spessore 6 m)
UNITÀ' 25	depositi di caduta di lapilli, scorie e litici (spessore 20 m)
UNITÀ' 26	depositi idromagmatici cineritici (spessore 20 m)
UNITÀ DI MONTE VENERE	alternanza di banconi di scorie, colate di lave microvescicolate e depositi idromagmatici

TAB 1: Descrizione delle unità eruttive presenti nell'area di studio (dal Foglio Ronciglione scala 1: 50.000).

idrogeologici. In particolare si descrivono: la natura del litotipo, il grado di vescicolazione, lo stato d'alterazione, la continuità laterale e lo spessore.

2.3. Permeabilità dei litotipi affioranti

Per rendere utili a fini idrogeologici le informazioni derivanti dalla geologia di superficie è necessario associare ai litotipi riconosciuti e cartografati le loro caratteristiche fisiche, in particolare modo la permeabilità.

La permeabilità di una roccia, ossia la sua capacità di farsi attraversare da un fluido, è strettamente correlata con le caratteristiche che ne determinano la porosità; contribuiscono alla porosità primaria tutti quei fenomeni sedimentari e vulcanici che determinano la formazione di vacuoli, mentre fratturazione, fessurazione e dissoluzione denotano una permeabilità secondaria.

In aree limitrofe a quella oggetto del presente studio è stato già fatto un tentativo di suddivisione delle serie affioranti in complessi litologici che raggruppino formazioni tra loro idrogeologicamente omogenee, in base delle caratteristiche fisiche e sedimentologiche (APAT- Roma Tre, 2003⁸). Tale suddivisione è stata presa a riferimento per la ricostruzione dei corpi nel sottosuolo.

Sono state distinte due tipologie di formazioni: a) complessi argillosi plio-pleistocenici e flysch, costituenti il substrato a bassa permeabilità; b) complessi vulcanici e complessi sabbiosi e ghiaiosi pleistocenici, sede di falde acquifere.

Complessi costituenti il substrato a bassa permeabilità

Complesso del flysch della Tolfa (t) (Cretacico superiore-Eocene). Per la sua natura litologica tale complesso è stato ritenuto praticamente impermeabile.

Localmente singoli banchi o coltri di alterazione possono presentare una modesta circolazione.

Complesso delle arenarie di Manciano (sab) (Messiniano superiore). E' costituito da calciruditi, calcareniti organogene e arenarie compatte, massive,

⁸ APAT- Roma Tre, Dip. Scienze Geologiche, Laboratorio di Idrogeologia, 2003.

con scarsa matrice e cemento carbonatico.

Complesso delle argille e argille sabbiose (sab) (Pliocene-Pleistocene). Si tratta di argille e argille sabbiose marine a scarsissima permeabilità, che costituiscono l'*aquiclude* delle formazioni vulcaniche. Affiora laddove i corsi d'acqua hanno inciso profondamente la copertura vulcanica. Possono presentare condizioni di saturazione limitata ai livelli sabbiosi che comunque risultano scarsamente o affatto rialimentati.

Complesso delle argille lacustri (arg) (Pleistocene superiore – Olocene). Fanno parte di questo complesso le argille lacustri, le diatomiti e i riempimenti dei fondi calderici, messi in posto dopo l'inizio dell'attività vulcanica. I depositi sono caratterizzati da valori di permeabilità da molto bassa a bassa.

Complessi costituenti l'acquifero

Complesso delle alluvioni (al) (Olocene). Sono dotati di una permeabilità variabile, compresa tra bassa e media, in funzione del dominio geologico attraversato dal corso d'acqua.

Complesso delle sabbie e dei conglomerati (sab) (Pleistocene). Appartengono a questo complesso le sabbie gialle pleistoceniche con lenti conglomeratiche e i conglomerati fluvio-lacustri. Il complesso è dotato nell'insieme di una permeabilità medio-elevata e costituisce nel settore orientale del bacino, parte dell'importante acquifero regionale.

Complesso delle lave e coni di scorie (lav) (Pleistocene medio- superiore). Ne fanno parte le colate di lava e i coni di scorie, caratterizzati da un'elevata permeabilità rispettivamente per fratturazione e per porosità. L'elevata permeabilità, ne determina il ruolo di via preferenziale di drenaggio, sia orizzontale che verticale. Può essere localmente sede di importanti serbatoi.

Complesso delle colate piroclastiche (pir) (Pleistocene medio e superiore). Fanno parte di questo complesso i depositi vulcanici coerenti.

La permeabilità è variabile in relazione al verificarsi ed al grado d'evoluzione di fenomeni quali: zeolitizzazione, agglutinamento, fessurazione

ecc. Per vastità, continuità, potenza e per la presenza di un acquiclude continuo al di sotto di esso (il substrato sedimentario a flusso nullo), costituisce il principale acquifero.

Complesso delle idromagmatiti cineritiche (pir) (Pleistocene medio e superiore). Fanno parte di questo complesso i depositi vulcanici messi in posto dall'attività idromagmatica dei vicani e dei sabatini. Tali depositi sono caratterizzati da una permeabilità variabile, sia in senso verticale che orizzontale, con valori da molto bassi a medio-bassi.

Complesso dei depositi di ricaduta (fall) (Pleistocene medio e superiore). Nel complesso sono state accorpati depositi di natura diversa, che nell'insieme risultano avere una permeabilità molto bassa o bassa. Data l'alternanza di questo complesso con quelli vulcanici più permeabili, spesso costituisce livelli di *aquiclude* o acquitardo che determinano la presenza di falde sospese.

3. Raccolta dati

I dati utilizzati per l'elaborazione 3D derivano dalle banche dati CARG e L. 464/84 del Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT.

La banca dati CARG contiene, su diversi strati informativi (Fig. 1)⁹, tutte le informazioni alla scala 1:25.000 raccolte per la realizzazione dei fogli della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.

Tali dati sono riferibili quasi esclusivamente ad oggetti geologici di superficie.

I dati di sottosuolo utilizzati invece derivano dall'archivio cartaceo della L.

⁹ Servizio Geologico d'Italia, 1997.

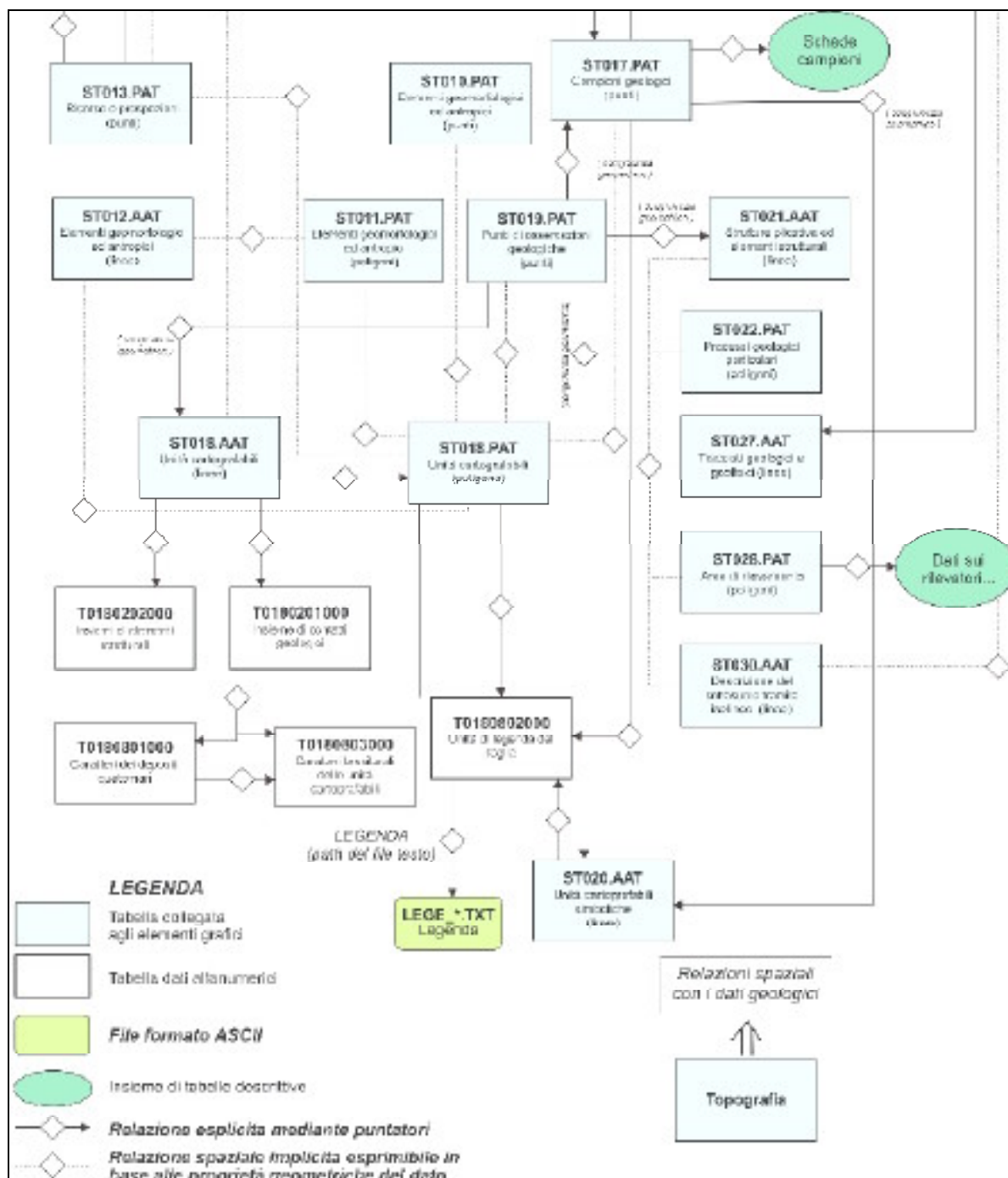


FIG. 1: Schema degli strati informativi della banca dati CARG

464/84 la cui informatizzazione è attualmente in corso di realizzazione; per tale motivo nel presente lavoro i dati di sottosuolo sono stati organizzati secondo schemi e formati che, pur differendo da quelli finali della banca dati, risultassero i più adatti al successivo import in 3DMove.

4. Standardizzazione e elaborazione dei dati

Per essere in grado di gestire i dati a disposizione, si è proceduto alla formulazione di criteri di standardizzazione basati sui sistemi di classificazione internazionali.

Successivamente le informazioni sono state elaborate e codificate per la realizzazione di files di testo importabili in programmi di elaborazione e visualizzazione 3D.

La fase di import ha costituito un momento di verifica delle potenzialità e dei limiti del software utilizzato; diverse difficoltà (perdita di colonne di dati) hanno richiesto un costante contatto con la Midland Valley e sono tuttora non completamente risolte.

4.1: Standard di classificazione delle rocce ignee

Nell'area di studio si hanno a disposizione dati di sondaggi (L. 464/84) e dati di superficie (progetto CARG) caratterizzati da notevole eterogeneità del loro contenuto informativo.

Per quanto riguarda le stratigrafie dei sondaggi la descrizione dei litotipi incontrati è stata effettuata da diverse figure professionali, con metodologie e terminologie di classificazione delle rocce che, nel corso degli anni, hanno subito modifiche anche sostanziali.

I dati derivanti dal progetto CARG presentano, invece, caratteri descrittivi molto ben esposti per quanto riguarda la litologia e la composizione dei terreni affioranti e le loro modalità deposizionali, mentre risultano talora carenti delle proprietà litotecniche.

Tale disomogeneità di contenuto informativo ha richiesto un approccio multidisciplinare per raggiungere uno standard di classificazione che permettesse l'utilizzo e il confronto dei dati.

In particolare, vista la prevalente natura vulcanica delle rocce e dei terreni affioranti e presenti nelle stratigrafie dei sondaggi, sono state visionate: le raccomandazioni per le rocce ignee dell'International Union of Geological

Sciences (I.U.G.S., 2002)¹⁰; gli schemi del British Geological Survey (B.G.S., 1999)¹¹; il Glossario della Guida al rilevamento della Carta Geologica d'Italia 1: 50.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1992)¹² e successive integrazioni.

Il tentativo di standardizzazione è stato preceduto dallo studio di quei termini che ritrovano un utilizzo a livello locale, e di quelle definizioni che pur avendo un riconoscimento in ambito scientifico, hanno un carattere di ambiguità poiché utilizzate in passato per descrivere diversi litotipi (Tab. 2).

La proposta di classificazione effettuata in questo lavoro segue l'impostazione del B.G.S., con il quale condivide l'impostazione gerarchica del dettaglio descrittivo e il tentativo di svincolare la terminologia utilizzata dai processi responsabili della formazione della roccia o del terreno; questo in alcuni casi comporta una descrizione più articolata e lunga (es: lava = roccia cristallina a grana fine), ma ha l'utilità di legare la definizione di un litotipo univocamente alle caratteristiche del deposito corrispondente.

Le diversità individuate dal confronto tra la classificazione del B.G.S. (Lito B.G.S.), e il glossario della Carta Geologica d'Italia, in particolare per le rocce e terreni vulcanoclastici, sono state superate cercando un compromesso e un'integrazione tra le due classificazioni.

Sono stati realizzati due schemi organizzati in livelli (Fig. 2, 3) il cui numero crescente individua un aumento del dettaglio descrittivo; in particolare nello schema della Fig. 3 si è ritenuto importante, nel livello 6, distinguere uno stato di consolidazione *coesiva* da quello di consolidazione *litoide* (per zeolitizzazione, cementazione o diagenesi) per sottolineare il diverso comportamento meccanico della roccia. Il B.G.S. affida in parte questa distinzione all'aggettivo “*welded*” (in vulcanologia tipico processo di saldatura e agglutinamento degli shards).

¹⁰ Recommendations of the International Union of Geological Sciences, 2002.

¹¹ Gillespie M. R. and Styles M. T., 1999.

¹² Servizio Geologico d'Italia, 1992.

VOCABOLO	DEFINIZIONE APAT GLOSSARIO I	DEFINIZIONE APAT GLOSSARIO II	DEFINIZIONE IUGS	DESCRIZIONE RILEVAMENTO GEOLOGICO FOGLIO RONCIGLIONE 355 (Nappi et ali.)
PEPERINO	“Ingnimbriti” Laziali, in particolare quelle Cimine, sconsigliato l’uso	Vocabolo desueto da abbandonare	Usato in Italia in particolare per gli Albani, per indicare un deposito piroclastico poco coerente, chiaro, con cristalli scuri tanto da dare un aspetto pepato.	
IGNIMBRITE	Corpo roccioso risultante da una colata piroclastica, indipendentemente dal suo grado di saldatura	Sparks et al. (1973): roccia o deposito formato da un flusso piroclastico pomiceo, indipendentemente dal grado di saldatura e volume. In seguito usato a volte in senso litologico (tufo saldato) che genetico (deposito di flusso piroclastico) come indicato da Fisher e Schmincke (1984. Si raccomanda di specificare il significato con cui si utilizza il termine	Tufo consolidato, costituito di cristalli e frammenti di roccia in una matrice di shards, che sono generalmente saldati insieme. In alcuni casi la saldatura è così estrema che l’originale tessitura di shards è obliterata	
PEPERINO LISTATO				Deposito da flusso piroclastico fortemente saldato con fiamme nere facies welded con fiamme
LAVA OCCHIADINA OCCHIO DI PESCE OCCHIO DI BUE				Tefri-fonoliti o fono-tefriti con grossi cristalli di leucite con o senza sanidino
BIANCO DIFABRIANO TUFO BIANCO DI FABRICA				Colata piroclastica prevalentemente tefro-fonolitica biancastra, con pomici nere grigie e bianche, ricca di ciottoli lavici, sfuma in alto in tufi agglomeratici

TAB. 2: Vocaboli con definizione non univoca e termini di uso locale, individuati nella descrizione stratigrafica dei pozzi dell’area di studio.

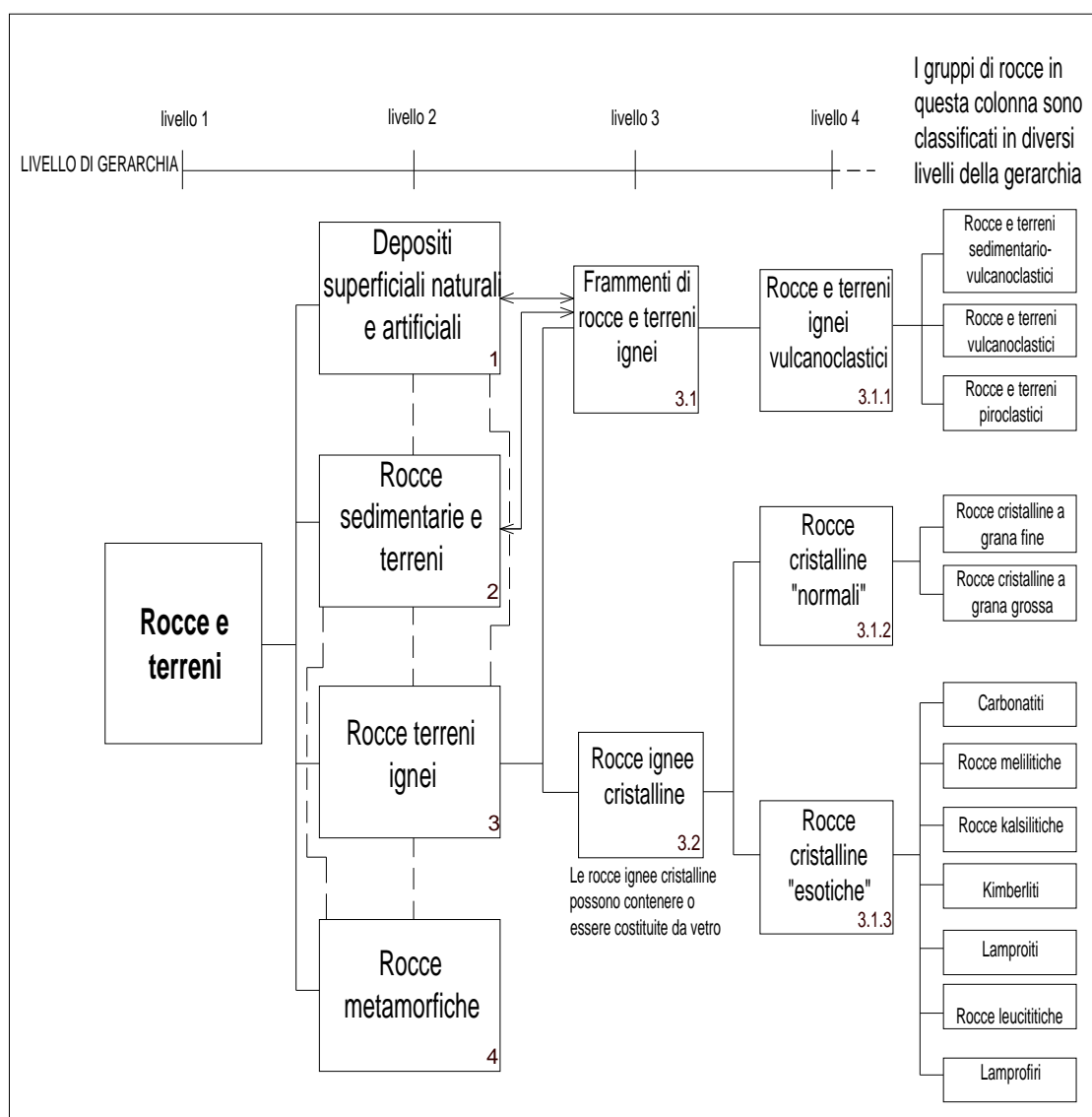


FIG. 2: Classificazione gerarchica delle rocce e dei terreni ignei; le linee tratteggiate uniscono rocce e sedimenti tra i quali c'è un passaggio graduale. Le frecce indicano che i frammenti di rocce e sedimenti ignei possono essere alternativamente classificati secondo vari schemi (modificato da Gillespie M. R. and Styles M. T., 1999: *Classification of igneous rocks*. B.G.S.).

Rocce Ignee Cristalline		Rocce e Terreni Non Ignei	
Tefri-fonolite	3.1.2.1.2.3.2	Suolo	1.1
Fonolite	3.1.2.1.2.3.1	Alluvioni	1.2
Trachite	3.1.2.1.2.3.1	Argilla	2.1
(a)		Argilliti	2.1.1
		Limi argillosi	2.1.2
		Sabbia limosa	2.2
		Sabbia	2.3
		Ghiaia	2.4
		Breccia calcarea in matrice argillosa	2.5
		Calcarei mamosi	2.6

Aggettivi qualificativi mantenuti nella codificazione	
Alterato	.a
Vescicolato	.v
Fratturato, fessurato	.f

(b)

TAB. 3: a) Codici utilizzati nel Lito 3D Move per le rocce e terreni non vulcanici. b) aggettivi utilizzati.

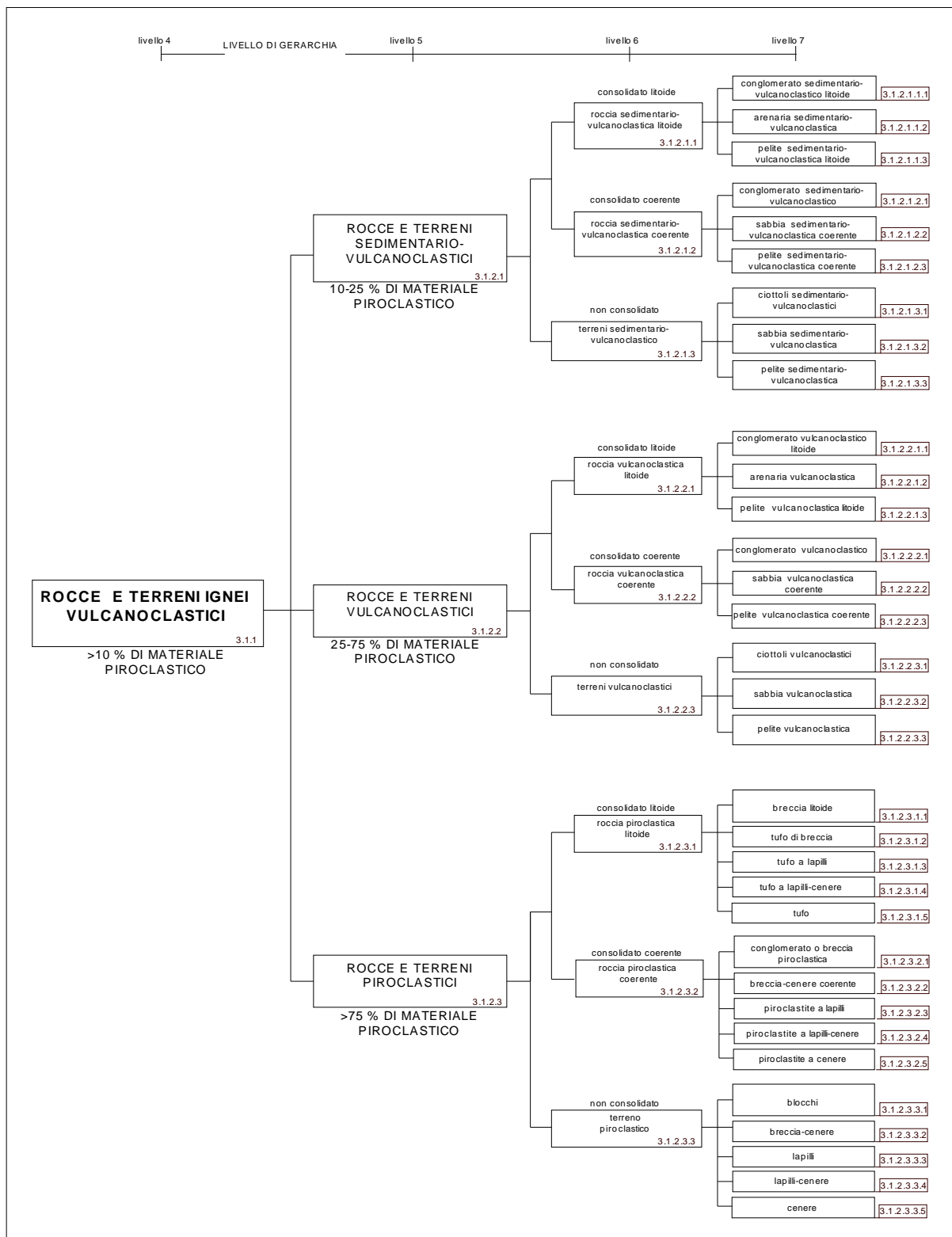


FIG. 3: Classificazione gerarchica delle rocce e dei terreni ignei vulcanoclastici (modificato da Gillespie M. R. and Styles M. T., 1999: *Classification of igneous rocks*. B.G.S.).

Mentre per la classificazione delle rocce ignee cristalline si rimanda direttamente allo standard del B.G.S., ricalcando la loro scelta di uniformarsi alla I.U.G.S., per le rocce e terreni “non ignei” si è deciso, vista la loro limitata presenza nell’area di studio, di mantenere la dicitura originale.

Nella traduzione della stratigrafia dei pozzi in vocaboli adottati nella classificazione proposta in questo lavoro (Lito APAT), ogni definizione è considerata al singolare per ovviare al riferimento involontario o non a unità eruttive o deposizionali. Non si esclude che qualora si ritenga utile, si possa inserire in future revisioni del Lito APAT, l’uso del plurale per indicare “volutamente” il passaggio tra unità diverse: qualora per esempio si identificassero una serie di tufi con caratteristiche litologiche analoghe, separati da livelli di materiale granosostenuto riconducibile ai corrispondenti *fall* (materiale da caduta da una colonna eruttiva sostenuta), si potrebbe utilizzare il plurale “tufi”, per segnalare diverse unità eruttive.

In particolare nell’esempio proposto l’indicazione utile all’applicazione idrogeologica non è tanto l’individuazione di diverse unità eruttive, ma l’indicazione di eventuali livelli di spessore talora ingente di materiale granosostenuto, che possono avere una permeabilità diversa rispetto ai tufi sopracitati.

Analogamente al Lito B.G.S., anche il Lito APAT considera l’uso di aggettivi; in particolare si usa il termine alterato quando il litotipo ha un grado d’alterazione che non impedisce il riconoscimento della roccia originale, altrimenti lo si attribuisce alla categoria di rocce con contenuto piroclastico del 25-75% (rocce e terreni vulcanoclastici).

Nei grafici (Fig. 2, 3) è stato associato ad ogni definizione un codice numerico (Lito 3d Move), poiché più facilmente gestibile in una tabella di

dati da importare nel software 3D Move; per le rocce “non ignee” si è proceduto all’attribuzione di un numero progressivo (Tab. 3a). Nella codificazione dei dati, per non perdere informazioni significative per l’applicazioni idrogeologiche a fondamento del lavoro, sono stati codificati in lettere alcuni aggettivi ritenuti indicativi (Tab. 3b).

4.2. Granulometria

Le classi granulometriche proposte dal B.G.S. divergono appositamente dalle descrizioni granulometriche note in letteratura, per trovare una corrispondenza tra le classi del sedimentario e del vulcanico. La descrizione della granulometria proposta nel Lito APAT (Tab. 4) si imposta su quella del B.G.S., apportando qualche modifica: sono state aggiunte delle classi alla granulometria del vulcanico per permettere un maggior dettaglio della descrizione (in base alla classificazione di Fisher¹³), e si è tolto il vocabolo bomba. Nell’ambito del vulcanico, con bomba si intende un brandello di lava che iettata in aria si raffredda assumendo una forma aerodinamica e in genere affusolata, mentre con blocco si identifica un litico che come tale rientra nei clasti piroclastici ma non negli juvenili¹⁴; il B.G.S. riprende i termini bombe e blocchi per segnalare una stessa classe granulometrica, ma con forma rispettivamente arrotondata o spigolosa dei clasti indipendentemente dalla loro natura. Il lito APAT attribuisce a quella classe granulometrica il termine blocchi rimandando per coerenza con le altre classi la descrizione dell’indice di forma all’eventuale aggettivo.

¹³ Fisher R. V., 1966.

¹⁴ Scandone R. e Giacomelli L., 1998.

f	Dimensione (mm) dei clasti o dei cristalli Scala log	Clasti sedimentari		Frammenti vulcanoclastici	Rocce cristalline, ignee, metamorfiche o sedimentarie
- 8	256	massi		blocchi grandi	cristalli e grani molto grandi
- 6	64	ciottoli		blocchi piccoli	
- 4	16	ghiaia grossa		lapilli grandi	
- 2	4	ghiaia media		lapilli medi	cristalli e grani grandi
- 1	2	ghiaia fine		lapilli piccoli	
0	1	sabbia molto grossa	S A B B I A	cenere grossolana	cristalli e grani medi
1	0,5	sabbia grossa			
2	0,25	sabbia media			
3	0,125	sabbia fine			cristalli e grani piccoli
5	0,032	sabbia molto fine			
8	0,004	limo	F A N G O	cenere fine	cristalli e grani molto piccoli
		argilla			criptocriatallina

TAB. 4: Schema della dimensione dei clasti (modificato da Gillespie M. R. and Styles M. T., 1999: *Classification of igneous rocks*. B.G.S.).

4.3: Fogli di lavoro Excel

I criteri che hanno guidato la scelta dei termini, si basano su semplificazioni che per la loro utilizzazione non richiedono conoscenze geologiche-vulcanologiche approfondite; in tal modo al pari del B.G.S. si è cercato di proporre uno standard di classificazione utilizzabile e comprensibile da diverse figure professionali, facilitando così l'interscambio di dati.

E' stato costruito un foglio di lavoro Excel (Tab. 5), nel quale, per ogni pozzo con stratigrafia ricadente nell'area di studio, è stata mantenuta la dicitura originale (Lito des) di ogni litotipo; questa è stata affiancata:

1. dalla classificazione Lito APAT e al Lito B.G.S..
2. dal dato superficiale (Lito di superf.) riscontrato dal rilevamento geologico del foglio Ronciglione confrontato con i dati a disposizione dai fogli 1:100.000 della zona¹⁵; il Lito di superf. è stato affiancato alla corrispondente classificazione Lito APAT e Lito B.G.S..
3. dal dato ipotetico; questo implica un'analisi e un confronto tra i dati di pozzo e quelli superficiali per estrapolare in profondità i dati derivanti dal rilevamento geologico. Questo lavoro (indispensabile per l'individuazione dei depositi attribuibili al substrato sedimentario) permette di supporre una corrispondenza tra profondità nel pozzo e altezza nella stratigrafia locale.

In questo studio il dato ipotetico e il Lito B.G.S. sono stati ricavati a titolo d'esempio solo per il primo pozzo.

In un nuovo foglio di lavoro Excel (Tab. 6) per ciascun pozzo sono state inseriti i valori di latitudine e longitudine, i dati d'elevazione s.l.m. di ogni strato, il Lito 3d Move, il complesso litologico e la permeabilità del livello.

¹⁵ Bertini M. et ali., 1971a.
Bertini M. et ali., 1971b.

N°	CODICE	LONGITUDINE	LATITUDINE	STRATO	LITO da	LITO a	LITO des	LITO APAT	LITO B.G.S.	LITO DI SUPERF. 1:50.000 NAPPI	LITO APAT	LITO B.G.S.	DATO IPOTETICO	DATA COMPILAZIONE
1	X355060P2	259713,00	4690180,00	1,00	0	9	TUFI ALTERATI	Tufo alterato	Altered tuff	KMF	Tefri-fonolite, fonolite	Tephri- phonolite, phonolite		28/06/2002
				2	9	18,00	TUFI LITOIDI	Tufo	Tuff					28/06/2002
				3	18	25	SCORIE	Terreno piroclastico di scorie	Pyroclastic sediment of scorie					28/06/2002
				4	25	30	TUFI	Tufo	Tuff					28/06/2002
				5	30	34	SCORIE	Terreno piroclastico di scorie	Pyroclastic sediment of scorie					28/06/2002
				6	34	44	TUFI LITOIDI	Tufo	Tuff				KMF	28/06/2002
				7	44	52	SCORIE	Terreno piroclastico di scorie	Pyroclastic sediment of scorie					28/06/2002
				8	52	60	TUFI LITOIDI	Tufo	Tuff					28/06/2002
				9	60	80	SCORIE ALTERNANTE A ROCCIA?	Alternanza di terreno piroclastico di scorie e roccia igneo	Pyroclastic sediment of scorie and igneous rock					28/06/2002
				10	80	85	TUFO ROSSO LITOIDE	Tufo rosso	Read tuff					28/06/2002

TAB. 5: Foglio di lavoro Excel; esempio di lavoro riportato solo per il primo pozzo.

X	Y	Z	quota	dip	dip_azimuth	Spessore	LITOAPAT	Lito 3D MOVE	CODICE	compl.	grad perma
754118	4690668	370	370	0	0	9	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	281	361	0	0	9	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	191	352	0	0	7	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	121	345	0	0	5	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	71	340	0	0	4	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	31	336	0	0	10	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	-69	326	0	0	8	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	-149	318	0	0	8	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	-229	310	0	0	20	Tefri-fonolite, fonolite	3.1.2.1.2.3.2;3.1.2.1.2.3.1	X355060P2	lav	mp
754118	4690668	-429	290	0	0	5	Tuforosso	3.1.2.3.1.5	X355060P2	pir	bp
754118	4690668	-479	285	0	0	0	0	0	X355060P2	0	0
754207	4689108	390	390	0	0	1	Suolo	1.1	X355060P3	al	bp
754207	4689108	382	389	0	0	12	Depositalluvionaliterrazzati	1.2	X355060P3	al	bp
754207	4689108	262	377	0	0	7	Tefri-fonolite	3.1.2.1.2.3.2	X355060P3	lav	mp
754207	4689108	192	370	0	0	10	Terrenopiroclastico	3.1.2.3.3	X355060P3	fall	ap
754207	4689108	92	360	0	0	16	Tuforossoegiallo	3.1.2.3.1.5	X355060P3	pir	bp
754207	4689108	-68	344	0	0	10	Rocciaigne	3	X355060P3	?	?mp
754207	4689108	-168	334	0	0	4	Terrenopiroclasticodiscorie	3.1.2.3.3	X355060P3	fall	ap
754207	4689108	-208	330	0	0	4	Rocciaigne	3	X355060P3	?	?mp
754207	4689108	-248	326	0	0	4	Terrenopiroclasticodiscorie	3.1.2.3.3	X355060P3	pir	ap
754207	4689108	-288	322	0	0	4	Sabbiavulcanoclastica	3.1.2.2.3.2	X355060P3	sab	ap
754207	4689108	-328	318	0	0	10	Terrenopiroclasticodiscorie	3.1.2.3.3	X355060P3	fall	ap
754207	4689108	-428	308	0	0	0	0	0	X355060P3	0	0

TAB.6: Parte di un Foglio di lavoro Excel; i campi riportano: la latitudine e la longitudine di ogni pozzo, i dati d'elevazione s.l.m. di ogni strato, la Lito 3d Move, il complesso idrogeologico e la permeabilità.

Il Lito 3D Move codifica in numeri il Lito APAT derivato dall' integrazione dei dati di pozzo e di superficie; nei casi in cui il Lito APAT della stratigrafia dei pozzi non ha trovato riscontro nel Lito APAT del rilevamento di superficie, le due descrizioni sono state confrontate in relazione alla loro attendibilità e grado di dettaglio.

Infatti la descrizione della stratigrafia dei pozzi ha il limite di un'osservazione pressoché puntuale del litotipo presente in profondità, inoltre la terminologia non sempre è utilizzata correttamente; allo stesso modo il rilevamento di superficie per quanto dettagliato, implica di per sé un grado di approssimazione e di estrapolazione del limite geologico.

La descrizione di corpi a clasti eterometrici, di alternanze o di intercalazioni ha creato problemi nella scelta del codice da utilizzare; in alternativa all'introduzione di nuovi codici si è deciso di considerare caso per caso il litotipo che nel corpo a clasti eterometrici, nell'alternanza o nell'intercalazione, sembrava determinare le caratteristiche utili alle applicazioni idrogeologiche di questo lavoro (es.: la definizione "Ciottoli e sabbia vulcanoclastica" è stata codificata con il Lito 3d Move della sabbia, seguendo il criterio secondo cui è il termine a granulometria minore che conferisce la permeabilità al deposito).

Nella codificazione dei depositi del substrato sedimentario, si è deciso di non associare tutti i depositi prevulcanici ad un unico codice Lito 3D Move, per mantenere informazioni sui litotipi che mostrano caratteristiche idrogeologiche diverse e in quanto tali non sempre coincidenti con un limite a flusso nullo.

Allo stesso modo si è scelto di non mettere un unico codice per i depositi attribuiti al Tufo rosso a scorie nere vicano (III Ignimbrite di Locardi) perché:

- per quanto arealmente esteso e generalmente di facile riconoscimento nell'area di studio, è un'unità eruttiva piuttosto recente e quindi ottimo marker per un rilevamento di superficie, ma non altrettanto per una correlazione di termini in profondità.

- Il riconoscimento di una stessa unità eruttiva in diversi pozzi è un'indicazione efficace per considerare l'eventuale presenza di falde sospese, evitando di associare ad un'unica unità eruttiva litotipi di stessa natura ma stratigraficamente molto distanti, ma poiché una stessa unità eruttiva può cambiare lateralmente facies e dunque le sue caratteristiche repentinamente, è di limitata utilità per un'applicazione idrogeologica, considerare i depositi appartenenti al Tufo rosso a scorie nere vicano come punti di una superficie.

Ogni livello è stato associato, in base al litotipo corrispondente, ad un complesso idrogeologico e ad un grado di permeabilità; le sigle dei complessi richiamano la suddivisione adottata nel paragrafo 2.3, mentre le sigle di permeabilità seguono una scala di valori: mbp (permeabilità molto bassa), bp (bassa permeabilità), mp (media permeabilità), ap (alta permeabilità), map (permeabilità molto alta).

4.4. 3D Move

Il software 3D Move Version 4.1 della Midland Valley Exploration Ltd (Sistema Operativo UNIX)¹⁶ è stato progettato per la modellazione geologico-strutturale tridimensionale; in questo contesto è stato utilizzato per l'acquisizione, l'elaborazione e la gestione dei dati, al fine di ottenere un modello interpretativo in 3D.

Le elaborazioni eseguite sono state molteplici e di diversa natura:

¹⁶ Midland Valley Exploration, 2002.

1. è stato importato in 3D Move il DEM¹⁷ dell'area di studio (Fig. 4) scegliendo una densità di campionamento del 50 % per rendere l'operazione di costruzione della superficie e la sua successiva manipolazione più agevole e veloce.

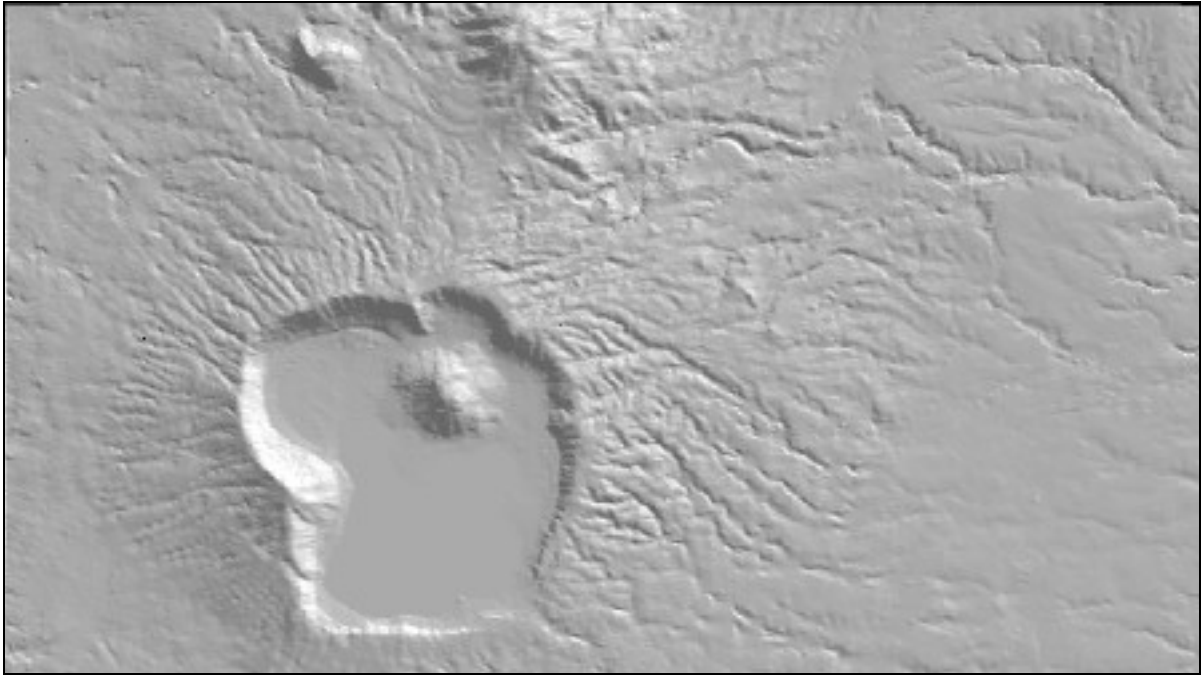


FIG. 4: DEM dell'area di studio.

2. Verificato che i pozzi con stratigrafia a disposizione avessero una distribuzione areale sufficientemente uniforme, per ogni pozzo è stato importato il corrispondente file Excel, salvato in formato .txt (delimitato da tabulazione), con tutti gli attributi relativi (Tab. 6); i problemi incontrati nell'import dei file di testo ha portato a considerare, per future applicazioni, l'utilizzo di un format file che codifichi il formato delle tabelle rendendo più sicuro il processo di import stesso.

Poiché la maggior parte dei pozzi ha una lunghezza limitata, per una più facile individuazione e visualizzazione degli oggetti, è stato applicato un fattore di moltiplicazione 10 agli spessori; in questo modo è stata mantenuta

¹⁷ Il DEM é un modello digitale di superficie (DTM), che permette la costruzione delle principali forme di paesaggio interpolando punti quotati, tramite la stima della quota di punti immaginari posti tra quelli misurati.

inalterata la reale elevazione sul livello del mare della topografia, evitando l'incidente deformazione legata ad un semplice cambio della scala verticale.

Inoltre poiché i file .txt da importare contengono attributi (Lito Apat, Lito 3D Move, Codice ecc.), che non sono inseriti di default nella lista degli attributi di 3D Move (*Attribute Types*, Fig. 5, 6) è stato necessario aggiungerli alla lista specificandone il tipo (*Data Type*: string, floating point, integer), prima di procedere al loro caricamento.



FIG. 5: Attribute Manager Toolbox

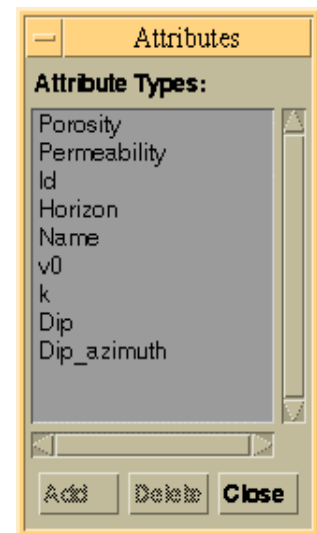


FIG. 6: Il Type Toolbox

Tramite il “*Well Manager Toolbox*”(Fig. 7), sono stati selettivamente visualizzati gli attributi o creati oggetti con attributi specifici, attribuendogli un colore diverso in relazione alla natura o al valore dell'attributo.



FIG. 7: Well Manager Toolbox

Il *Well Manager Toolbox* permette di selezionare: in quale range di profondità si vogliono visualizzare attributi, quali attributi visualizzare, come

visualizzare gli attributi e effettuare uno studio statistico della distribuzione e/o del valore dell'attributo.

Inoltre ogni file importato è stato preventivamente fornito degli attributi dip e dip_azimut (con un valore fittizio uguale a 0) per poter attivare la funzione “*Structural orientation*” del *Well Manager Toolbox*, la quale permette la creazione di un oggetto¹⁸ per ogni attributo (*Create Objects*). Selezionato l'attributo “3D Move”, sono stati creati oggetti opportunamente colorati in relazione al litotipo che rappresentavano (Fig. 8).

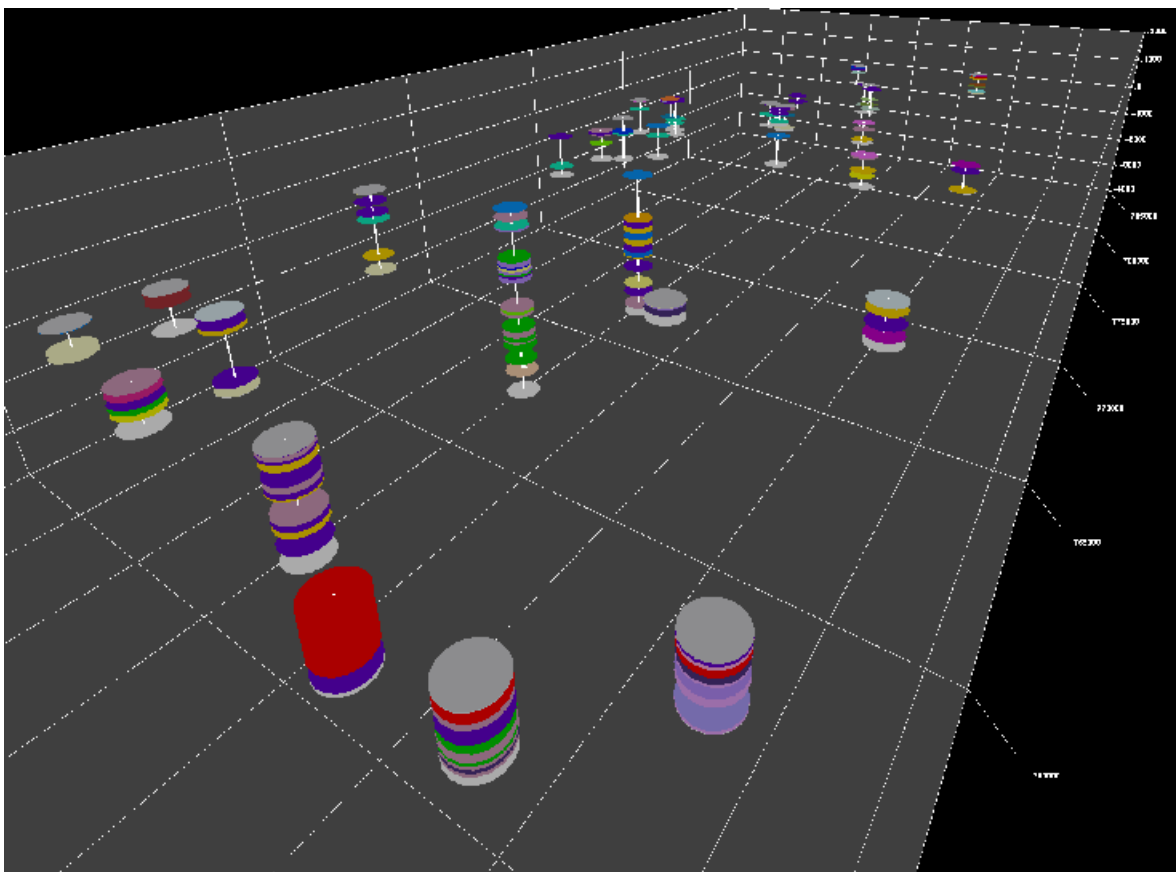


FIG. 9: Creazione e visualizzazione sui pozzi di “oggetti” (dischi) opportunamente colorati in base al valore dell'attributo “3D Move”.

3. La limitata quantità dei dati e la frequente discontinuità laterale dei depositi vulcanici, non ha permesso la ricostruzione estesa a tutta l'area di superfici coincidenti con limiti di unità eruttive. Tale ricostruzione è stata

¹⁸ Gli oggetti sono elementi della visualizzazione “cliccabili” e in quanto tali utili come punti di riferimento per la costruzione delle varie superfici.

invece tentata per un gruppo di pozzi localizzati in un areale ristretto della parte SW della zona di studio, relazionando i dati di stratigrafia dei pozzi con le informazioni ricavate dalla geologia di superficie.

La creazione della maglia di triangoli costituenti ogni superficie è stata realizzata con lo strumento “*Create Surface from points*” (Fig. 9), il quale interpola dati puntuali sparsi o appartenenti a linee o ad altre superfici, secondo un algoritmo; in questa elaborazione è stato scelto il *Tessellation algorithm*.

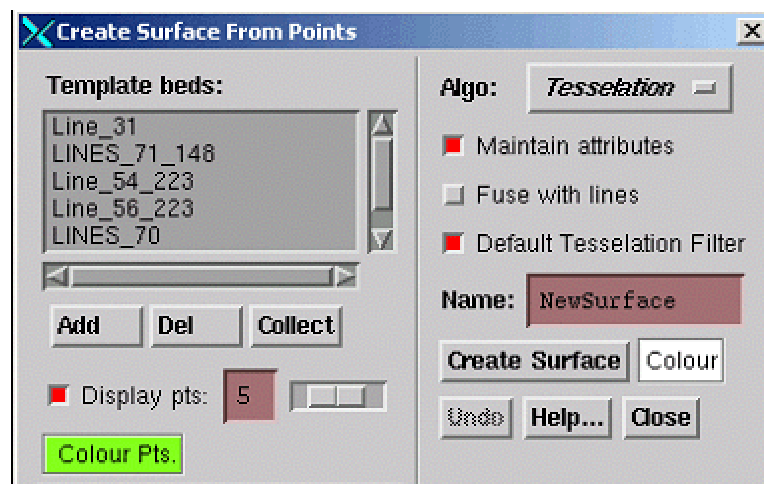


FIG. 9: Create Surface from Points Toolbox

Il *Tessellation algorithm* è un algoritmo adatto sia quando si ha una buona densità di punti sia quando la densità è bassa; esso crea la maglia di triangoli della nuova superficie utilizzando i punti realmente a disposizione, che determinano quindi il numero di triangoli costruiti.

3D Move prevede di poter utilizzare , per la costruzione di superfici, anche altri tipi di algoritmo che calcolano la densità dei punti della nuova superficie basandosi sull'analisi dei dati nel file ASCII originario.

Lo “*Square algorithm*” calcola la posizione di ogni punto nel file ASCII, in relazione al rettangolo di griglia ad esso associato; associa un valore di z ad ogni vertice del rettangolo in funzione della distanza tra il vertice ed il punto dato per poi creare una maglia triangolare utilizzando tutti i vertici interpolati.

Il “*Radius algorithm*” applica un valore pesato della z ai punti della griglia che ricadono all’interno di una sfera immaginaria con al centro il punto dato, secondo una *Power function* scelta dall’utente, che determina il grado d’incidenza del valore di z del punto dato con l’aumento della distanza da esso.

Il “*Nearest N algorithm*” considera i punti della griglia (nel numero scelto dall’operatore), più vicini al punto dato e ne calcola il valore di z

I poligoni sono stati drappeggiati sul DEM con la funzione “*restore*” determinando la costruzione di una carta geologica 2,5 D (Fig. 10); questa, unitamente ai sondaggi, ha portato alla ricostruzione locale delle unità eruttive in tre dimensioni.

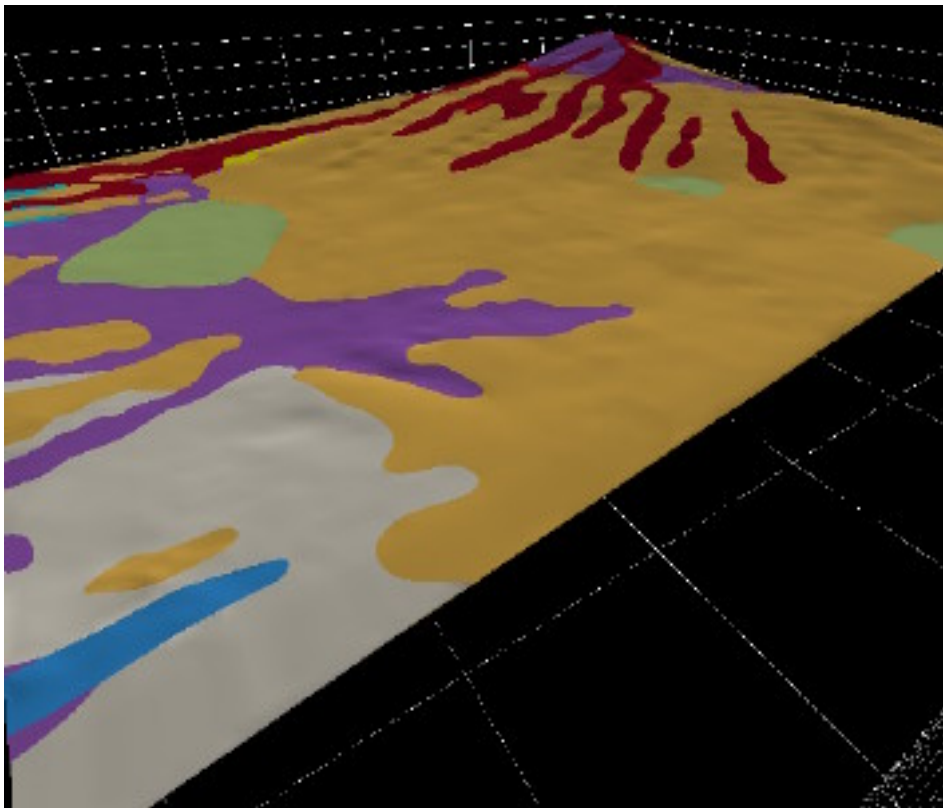


FIG. 10: Geologia di superficie; ogni patches è stato colorato con il colore della corrispondente unità geologica e successivamente deformato sul DEM.

4. Sono state ricostruite in automatico una serie di sezioni bidimensionali nelle direzioni NS e NW-SE (Fig. 11) tramite il “*Contour Slicer Toolbox*”

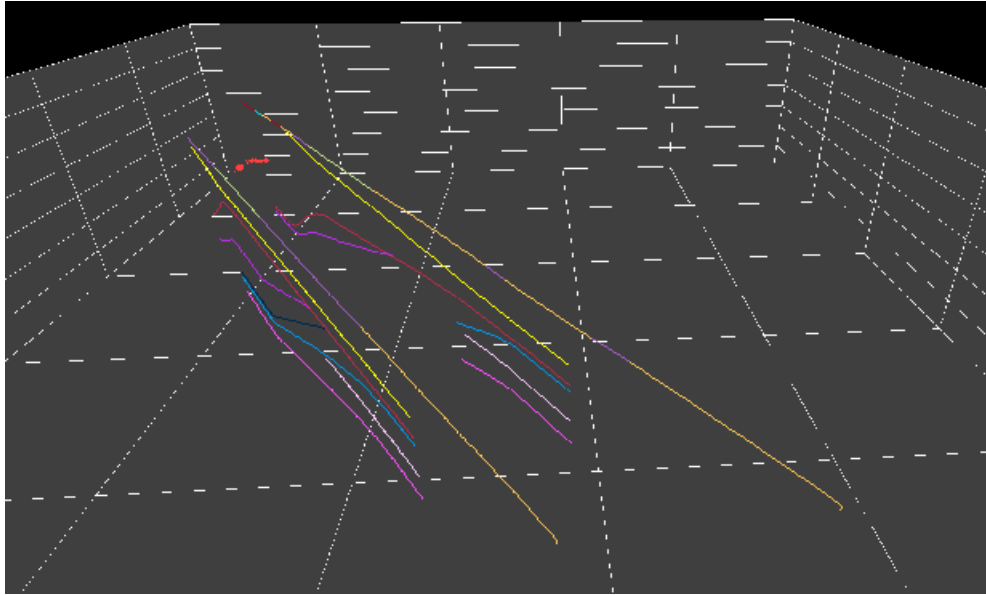


FIG. 11: Profili NO/SE effettuati tramite “*Contour Slicer Toolbox*”, nella zona SO dell’area di studio.

5. Selezionando l’attributo “complessi” sono stati costruiti altri oggetti, e contemporaneamente è stato visualizzato con colori diversi il valore del grado di permeabilità (Fig. 12); confrontando i dati scelti, le rocce con

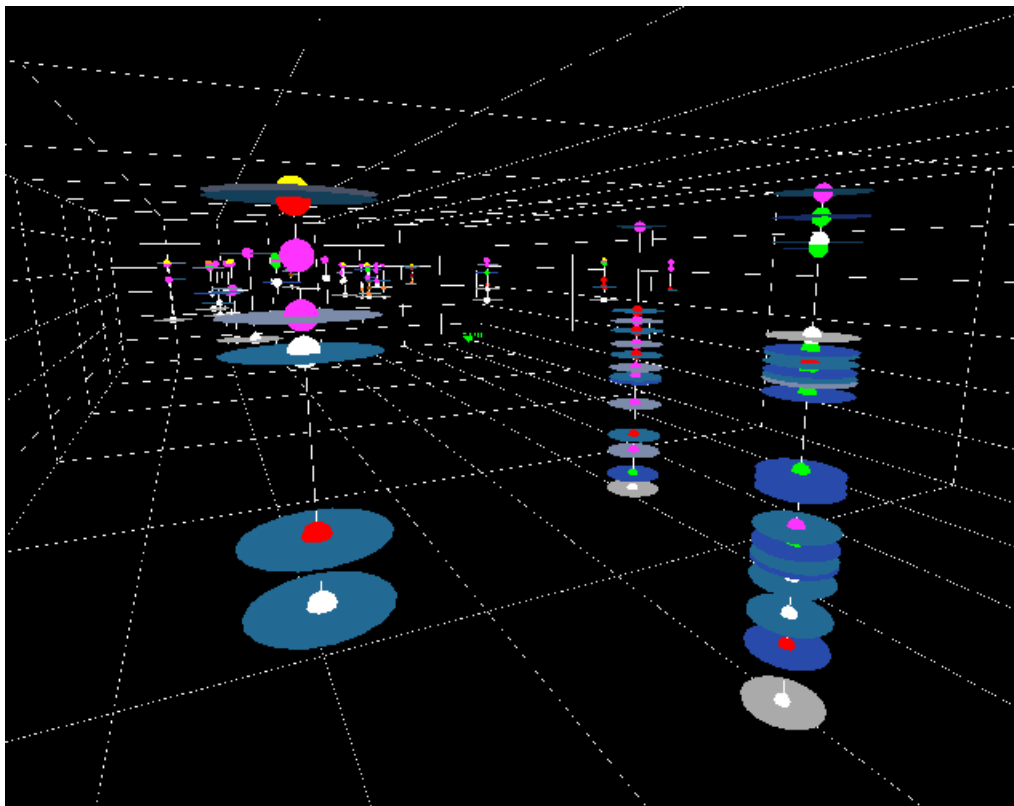


FIG. 12: Creazione e visualizzazione di oggetti, riferiti all’attributo “permeabilità” (dischi) e all’attributo “complessi” (sfere).

caratteristiche simili di permeabilità sono state delimitate da superfici (Fig.13), in base alle quali sono stati ricostruiti, con la funzione “*Create Volume from Surfaces*”, i volumi dei complessi individuati.

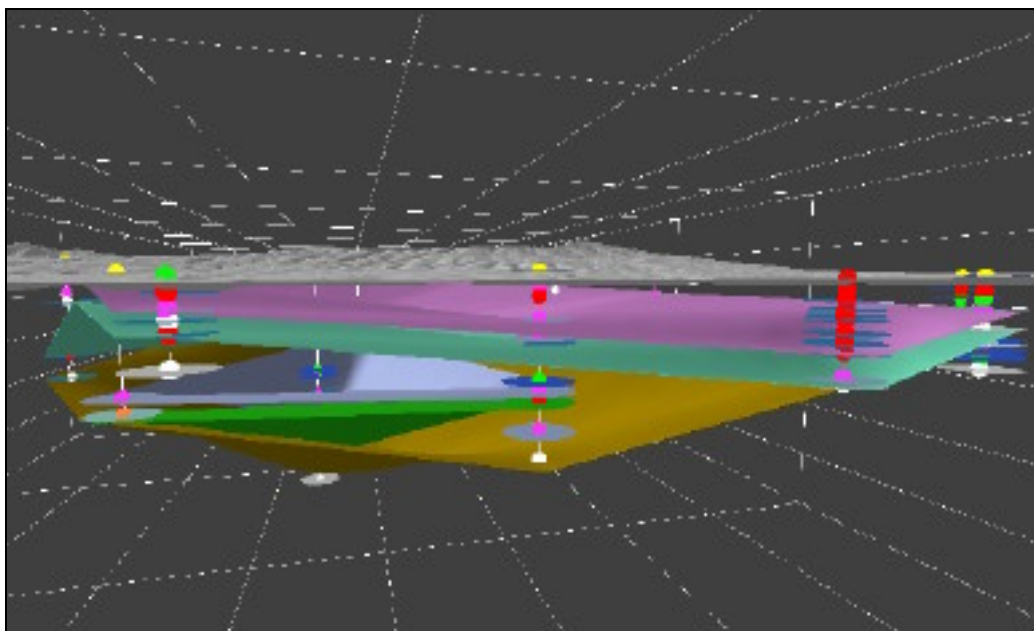
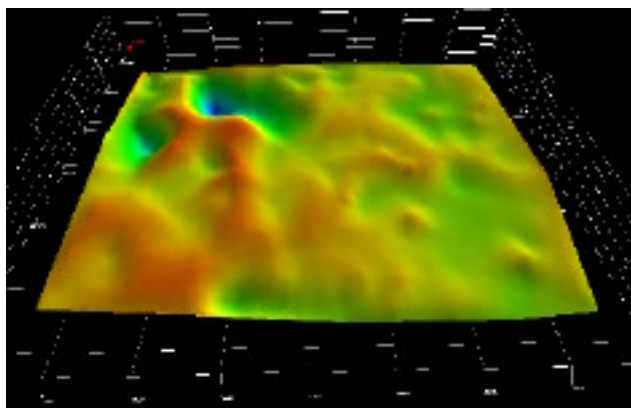


FIG. 13: Creazione delle superfici delimitanti i complessi idrogeologici, tramite l'interpolazione dei dati di pozzo. Al tetto visibile il DEM della zona.

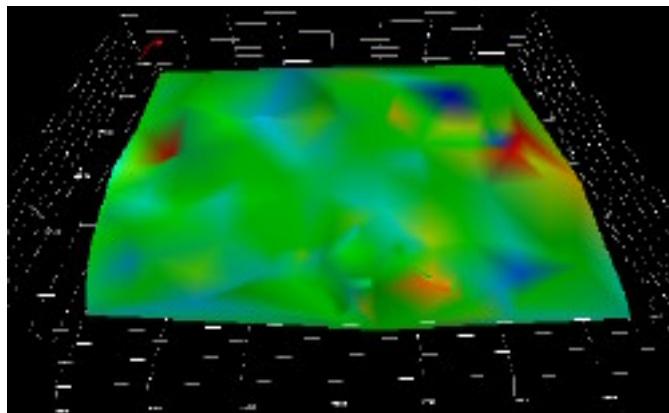
Gli attributi livello statico, temperatura, ph e conducibilità (informazioni disponibili anche in pozzi non aventi la descrizione stratigrafica) sono stati importati come campi di file ASCII, creando diverse superfici direttamente dalla finestra di import.

Nei casi in cui lo stesso pozzo mostrava dati riferiti a molteplici misurazioni si è scelto, quando possibile e cercando di tener conto delle variazioni stagionali ed annuali, di considerare misure effettuate nello steso anno e nello stesso mese.

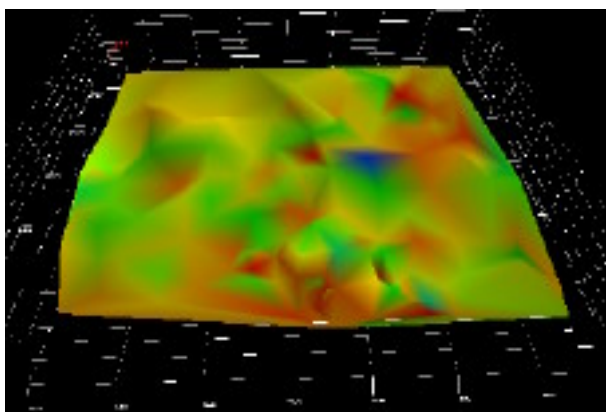
Successivamente le superfici create sono state colorate, in base al valore di elevazione per la superficie del livello statico, o in base al valore di attributo per le altre superfici (Fig. 14) tramite la funzione “*Colour Mapper*”.



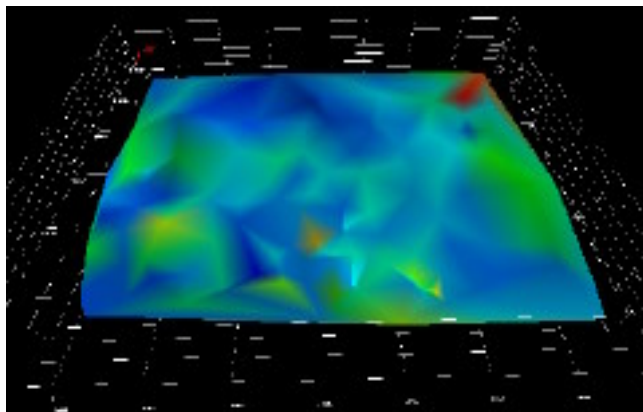
a): profondità massima blu minima rossa



b): valore massimo rosso, minimo blu



c): valore massimo rosso minimo blu



d): valore massimo rosso minimo

FIG. 14: Creazione delle superfici: a) livello statico; b) temperatura; c) conducibilità; d) valore di ph.

La costruzione della superficie del substrato prevulcanico come per quella del limite a flusso nullo (Fig. 15) é stata effettuata importando dati selezionati

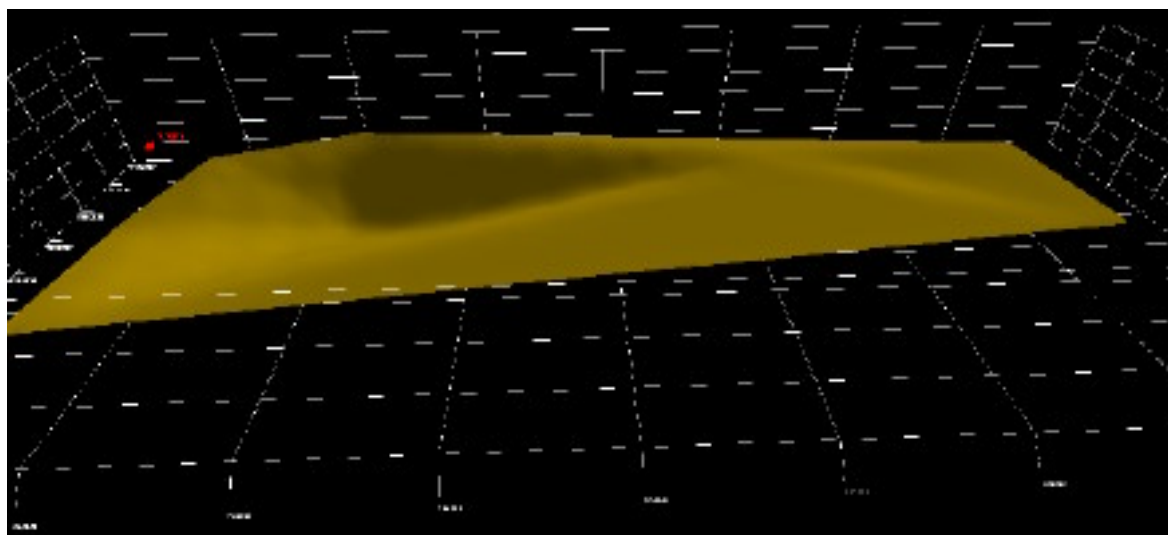


FIG. 15: Superficie di flusso nullo

dalla stratigrafia dei pozzi; per aumentare l'affidabilità dell'andamento del substrato è stata costruita un' ulteriore superficie (Fig. 16) utilizzando, oltre i dati della stratigrafia, le informazioni fornite dalle linee di profondità del substrato segnalate da una ricostruzione ENEL del 1994 .

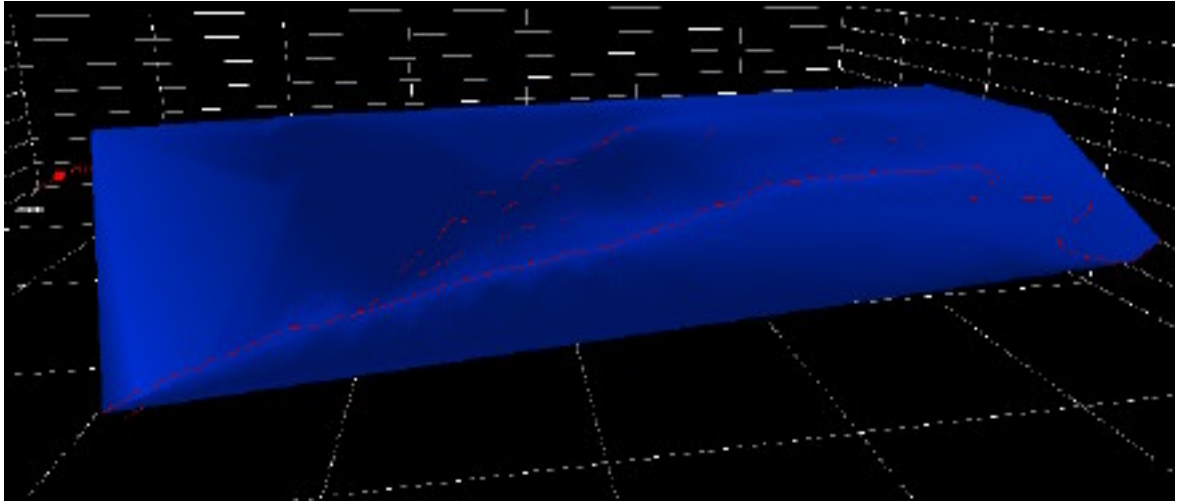
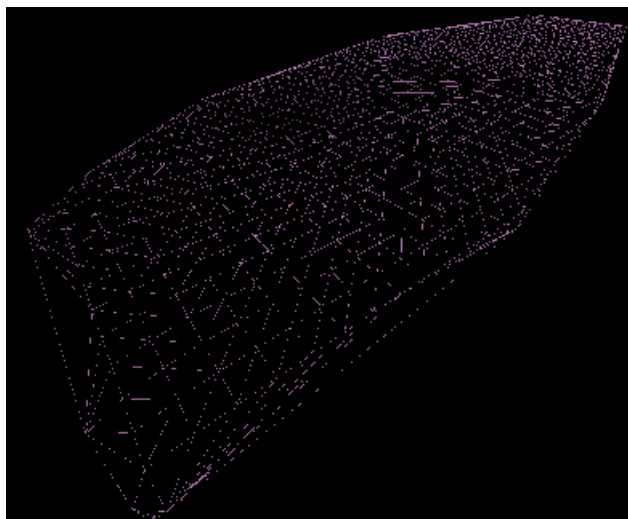
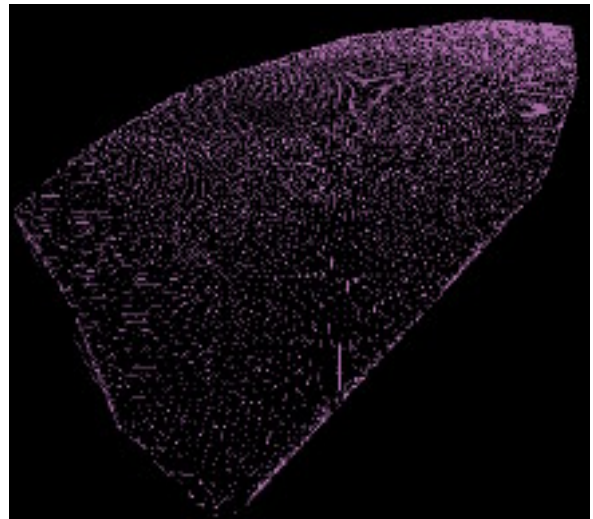


FIG. 16: Substrato sedimentario, costruito tramite i dati di pozzo e le isolinee di profondità del substrato (in rosso), segnalate da una ricostruzione ENEL, 1994.

Alcune delle superfici costruite, poiché realizzate con un numero limitato di dati, sono state sottoposte ad un'azione di “*resample*”, per aumentare il numero di triangoli costituenti la maglia; in tal modo l'aspetto della superficie ha assunto un andamento meno spigoloso(Fig. 17).



a)



b)

FIG. 17: Stessa superficie prima (a) e dopo il *resample* (b).

6. Tramite la funzione “*collect all*”, eseguita a titolo d’esempio per un solo pozzo ed alcune delle superfici di attributi (superficie di temperatura, ph e conducibilità), l’*attribute browser* del pozzo è stato integrato degli attributi delle superfici intersecate; il valore di ogni attributo sul pozzo considerato deriva dalla mediazione dei valori effettivamente misurati nei punti con i quali le rispettive superfici sono state costruite.

Per alcune applicazioni è stato utilizzato il software Arcview Gis 3.2; il 3D Analyst permette la creazione, analisi e visualizzazione dei dati relativi alle superfici, supportando il modello dati TIN, le forme 3D e la visualizzazione interattiva della prospettiva.

Dunque é un estensione che analogamente al software 3D Move, permette la visualizzazione 3D di superfici e pozzi, ma a differenza di questo non supporta un utilizzo interattivo degli attributi tra oggetti diversi dello stesso progetto.

Nonostante questo Arcview si pone come buona alternativa all’utilizzo di 3D Move, poiché è un programma di più largo impiego, anche perché non abbinato ad un sistema operativo come quello Unix di ristretta diffusione.

5. Discussione e conclusioni

L'attendibilità dei dati elaborati è legata ad alcune assunzioni che sono state fatte, ovvero:

1. Il riferimento al livello statico per gli attributi di temperatura, conducibilità e ph, non è automatico e in relazione alla metodologia adottata, non specificata nella fonte dei dati, potrebbe non esser vero; però il conferimento in forma indicativa di questi attributi alla superficie del livello statico, permette di effettuare un esempio della condivisione degli attributi tra i pozzi e una superficie in 3D Move.

Infatti costruite le superfici e visualizzati i pozzi con i corrispondenti attributi, si è in grado di agire interattivamente tra i diversi oggetti del progetto; si possono associare gli attributi delle superfici ai livelli dei pozzi in coincidenza dei quali vengono tagliati dalle superficie stesse, come anche si può verificare l'andamento delle superfici estrapolate confrontandolo con i dati a disposizione nei pozzi che intersecano.

2. Per la delimitazione dei complessi idrogeologici, viene attribuito un grado di permeabilità ai litotipi in base alla loro descrizione (Fig.12); il grado di permeabilità viene considerato in questo studio come un dato generico, per tener conto dei diversi limiti dell'approccio adottato nella sua definizione permeabilità, quali:

- la permeabilità, o meglio la trasmissività, è un valore che tenendo conto delle eventuali variazioni laterali e verticali del terreno è misurabile esclusivamente con prove in sito;

- si ha per l'estensione della zona un'insufficienza d'informazioni, e quelle a disposizione forniscono dati puntuali quindi difficilmente estendibili se non nell'areale prossimo al pozzo; inoltre la standardizzazione della descrizione stratigrafica richiede un lavoro in parte interpretativo;

- nell'area di studio prevalgono terreni di natura vulcanica, distinti frequentemente da una repentina variazione verticale e laterale delle

caratteristiche (zeolitizzazione, granulometria, grado di fessurazione..); inoltre sono fortemente influenzati dalla paleomorfologia e per questo spesso presentano una bassa continuità laterale, nonostante ci si trovi in una zona prossimale-intermedia rispetto al punto di emissione.

In tale ottica il complesso idrogeologico include una o più unità eruttive limitando un volume di depositi che lateralmente hanno una permeabilità “confrontabile”.

In base all’elaborazione dei dati effettuata è stato possibile fare alcune considerazioni:

1. Nella ricostruzione dei limiti di unità eruttive, effettuata nella parte SW dell’area di studio (Fig. 18), per quanto legata ad approssimazioni che il

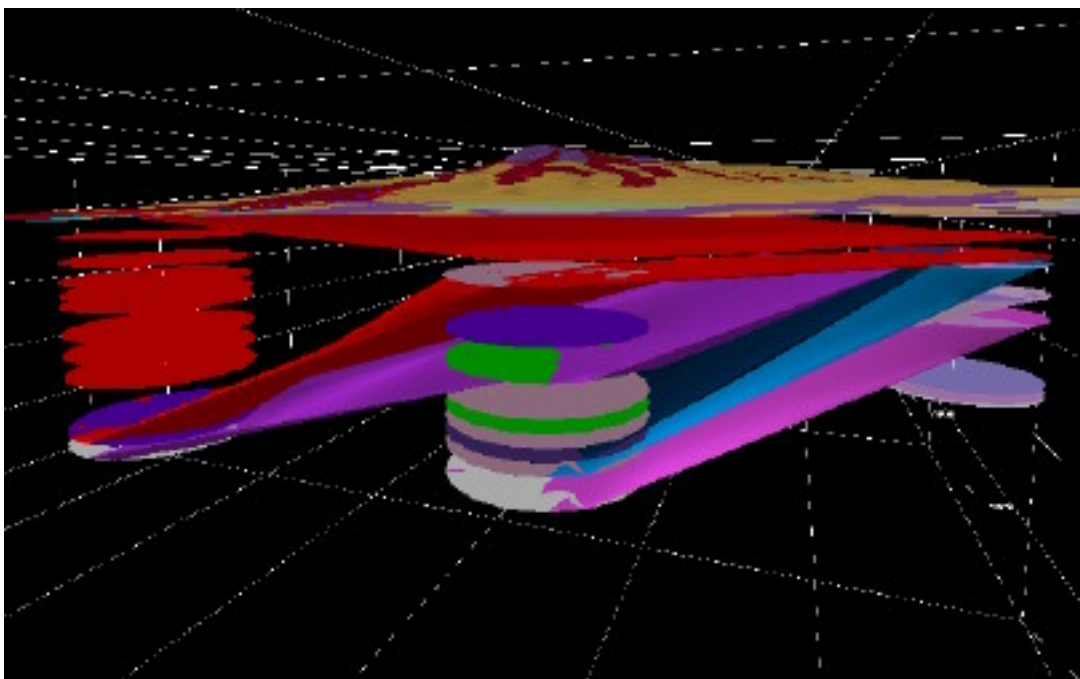


FIG. 18: Ricostruzione dei limiti delle unità eruttive, nella zona SW dell’area di studio.

metodo utilizzato richiede, evidenzia un forte ispessimento della successione di lave (in rosso, Fig. 19) nel pozzo più occidentale; questo fa presupporre, in coincidenza di esso, la presenza di una zona depressa precedente l’arrivo delle lave, la cui messa in posto ha probabilmente provocato un’inversione della topografia.

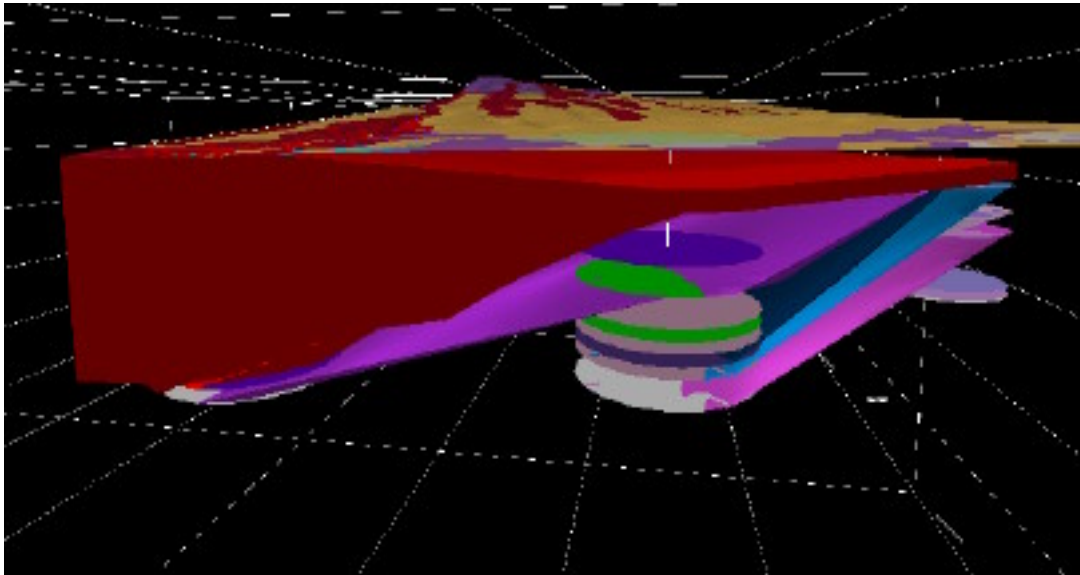


FIG. 19: Ispessimento delle lave (in rosso) nel pozzo più occidentale (orientazione schema NW-SE).

2. La costruzione del substrato (paleomorfologia prevulcanica, Fig.16), ha richiesto un confronto tra i dati di pozzo e della geologia di superficie, per evitare di considerare come substrato eventuali depositi sedimentari ma intraeruttivi (bacini vulcanosedimentari).
3. L'osservazione della paleomorfologia prevulcanica, tenendo conto delle complicazioni relative all'instaurarsi dell'attività vulcanica vicina e dei collassi calderici ad essa legati, mostra un andamento generale che evidenzia una profondità minore del substrato a SW (confermata dagli affioramenti), e nella parte orientale, mentre presenta una forte depressione in coincidenza dell'attuale lago.
4. Il limite a flusso nullo è stato identificato in pochi pozzi geograficamente distanti; poiché anche la mancata presenza nei restanti pozzi è un dato, per evitare che la superficie interpolata intersecasse i pozzi dove il limite non era stato individuato, si è fatta passare volutamente sotto i loro fondo pozzo. Inoltre nella parte SW dell'area di studio, nota la diminuzione della profondità del substrato, si è verosimilmente ipotizzata una risalita anche del limite a flusso nullo.

In tal modo pur perdendo l'ipotetico andamento locale del limite impermeabile, si ottiene un'indicazione sul suo andamento generale; nella parte orientale dove si hanno più dati a disposizione, si nota una inclinazione delle superficie ricostruita verso E (Fig. 20), che segue una direzione di confluenza verso l'asta principale della rete idrografica locale (fiume Tevere).

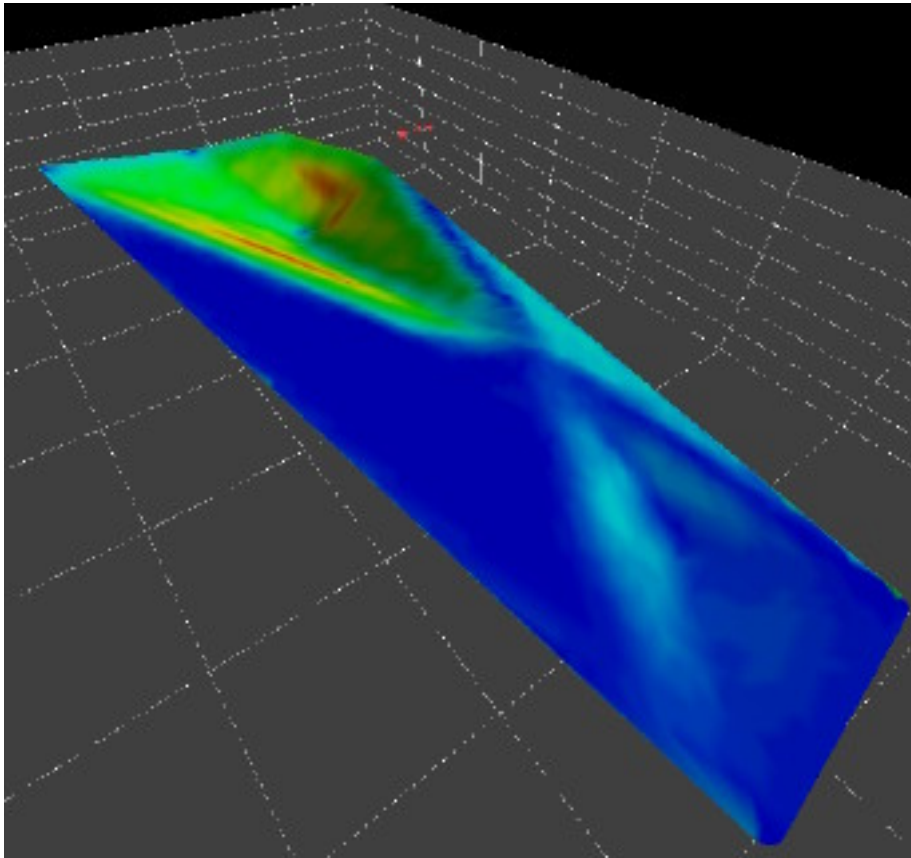


FIG. 20: Superficie del limite a flusso nullo colorato in base al valore d'inclinazione (blu i valori più bassi, rossi i più alti).

5. Dal confronto tra i complessi costruiti e il livello di falda, non emergono dati indicanti la presenza di depositi vulcanici o vulcanoclastici secondari in grado di fungere da limite per eventuali falde sospese.
6. Si nota invece nella zona orientale dell'area di studio, che il livello statico si trova in coincidenza di "conglomerati a matrice argillosa"; la discordanza di un livello statico in coincidenza di depositi che per le loro caratteristiche dovrebbero essere poco permeabili, potrebbe suggerire l'eventuale presenza di una falda imprigionata.
7. Mentre nella zona orientale si nota un complesso idrogeologico

superficiale a bassa permeabilità, nella parte occidentale il complesso affiorante è a media permeabilità (Fig.21); questo potrebbe essere indicativo

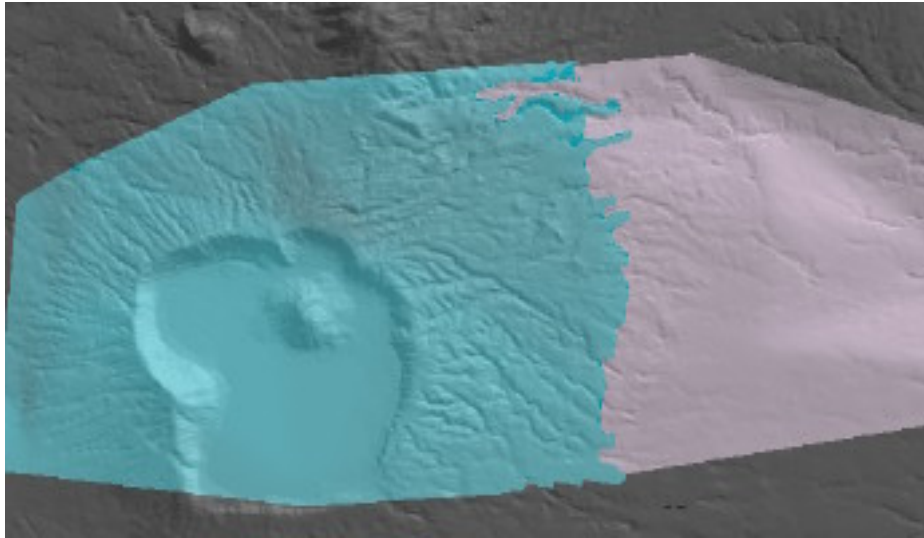


FIG. 21: Complessi idrogeologici affioranti nella zona d'indagine; in celeste il complesso a medio grado di permeabilità, e in rosa quello a basso grado permeabilità.

per verificare se effettivamente tra le due zone vi è una diversità nel valore di infiltrazione efficace.

8. Nella parte orientale dell'area di studio, il substrato interseca in vari punti la superficie del livello statico (Fig.22); questo conferma l'interpretazione fatta per la costruzione del limite a flusso nullo, nella quale alcuni litotipi interpretati nella stratigrafia come substrato sono stati anche individuati come terreni permeabili e quindi parte dell'acquifero.

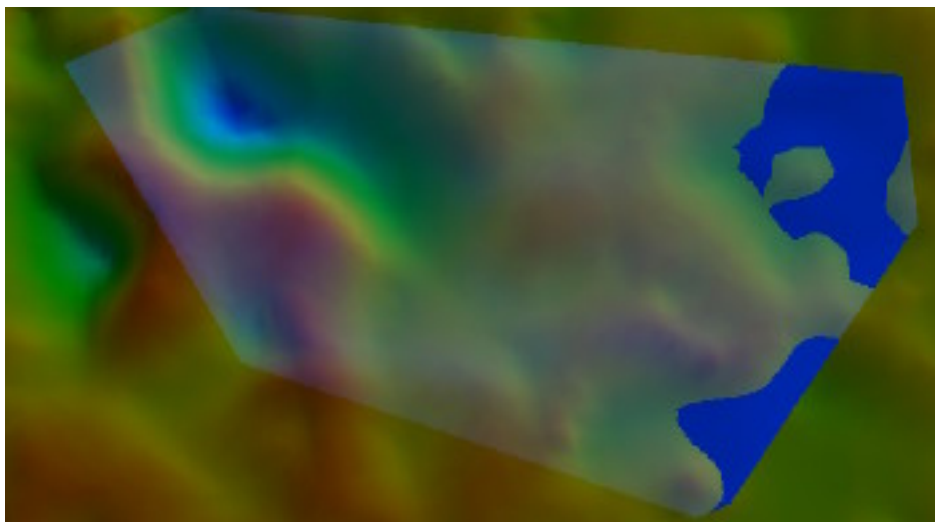


FIG. 22: In blu la parte di substrato sedimentario che si trova a quota maggiore rispetto la superficie di livello statico.

L'attendibilità dell'intersezione tra le due superfici è confermata dal fatto che le tre superfici sono state costruite con dati diversi: il substrato tramite i dati di profondità del substrato dell'ENEL e dai dati interpretati dei pozzi con stratigrafia, il livello statico tramite tutti i pozzi a disposizione, anche quelli senza stratigrafia.

9. Confrontando il substrato con il livello statico si nota che in generale ad una diminuzione della profondità del substrato, coincide un rialzo del livello statico eccetto che in coincidenza della caldera, dove il substrato si approfondisce mentre il livello statico si rialza notevolmente (Fig. 23).

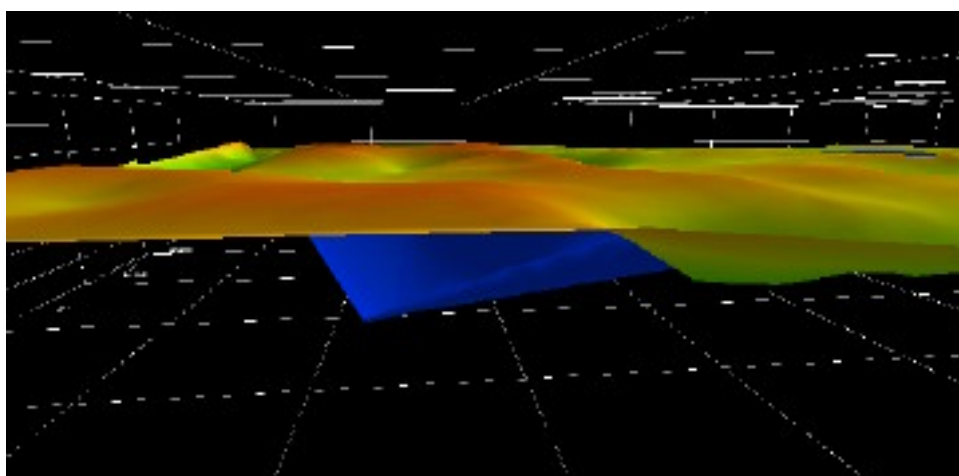


FIG. 23: In coincidenza della caldera, il substrato sedimentario (in blu) si approfondisce, mentre la superficie di livello statico si rialza.

In particolare la tendenza generale del livello statico a risalire è accompagnata da due forti abbassamenti a SW e NE del lago; in coincidenza dell'abbassamento di SW si ha un'anomalia positiva della temperatura senza evidenti correlazioni con la morfologia di superficie (Fig. 24), mentre non si hanno informazioni di una anomalia nell'abbassamento del livello statico a NE del lago, dove però si ha una difformità del bordo calderico (Fig. 25).

10. La presenza di varie anomalie in coincidenza della caldera vicana, la cui casualità è scartata dal trovarle su diverse superfici ricostruite, segnala una situazione complessa, che non esclude la probabile presenza di più di una falda (falda sospesa).

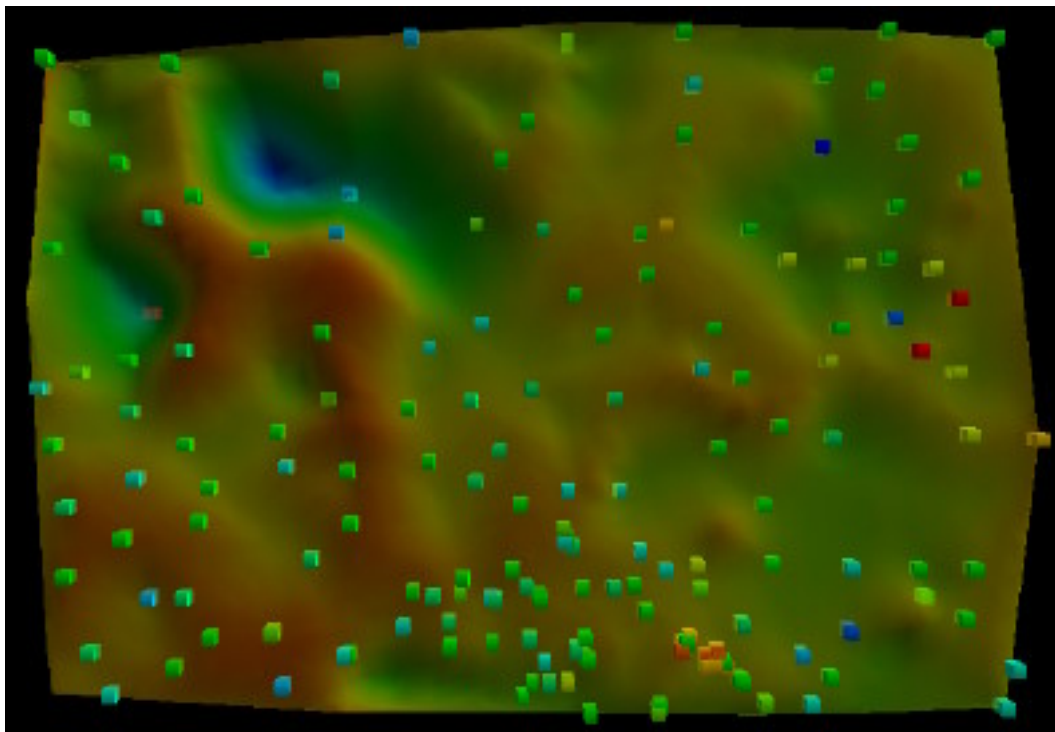


FIG. 24: Superficie del livello statico (in rosso i valori minori di profondità), con i dati puntuali (cubi) del valore di temperatura (in rosso i valori più alti).

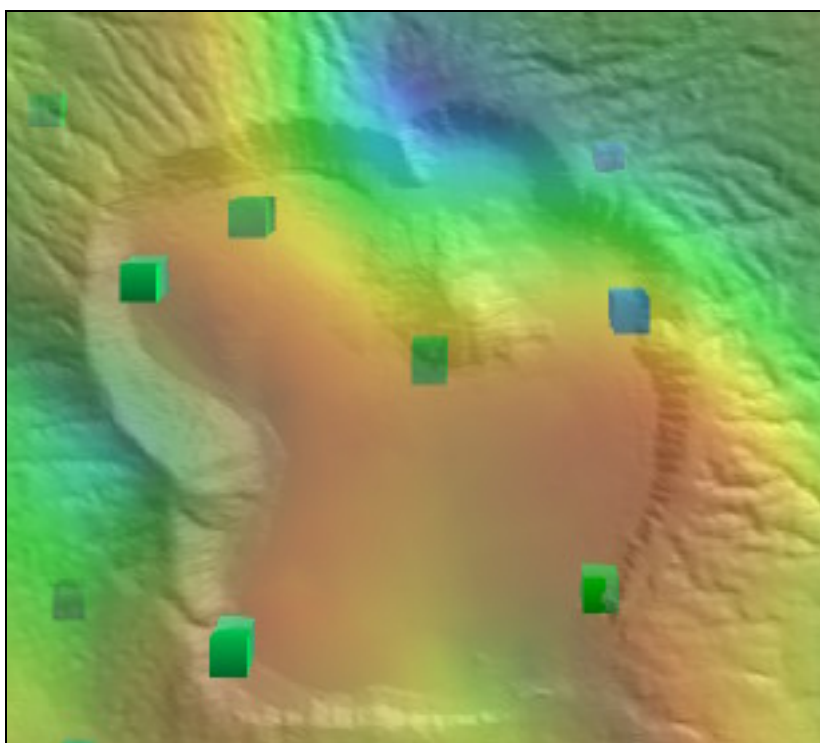


FIG. 25: Livello statico, con i dati puntuali di temperatura (in traslucido il DEM).

11. La colorazione della superficie di ph, evidenzia un ph medio intorno al 7.3, mentre anomalie di ph intorno al 4.5 potrebbero essere correlate a acque termali (Fig. 14 d); non si nota una correlazione diretta tra i valori di ph e temperatura.

12. Confrontando i dati di temperatura con il DEM (Fig. 26), emerge che l'anomalie positive nella zona orientale, si allineano lungo l'asta di un fosso; il fosso in base ai dati a disposizione, non sembra essere intersecato dal livello statico suggerendo l'improbabile presenza di sorgenti lineari.

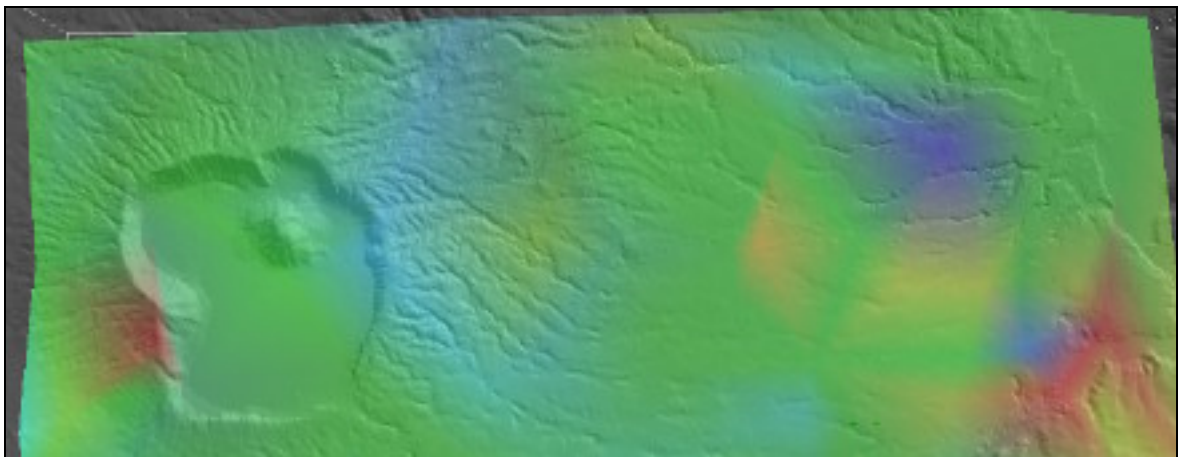


FIG. 26: La superficie di temperatura (in traslucido il DEM).

In definitiva l'utilizzo di 3DMove in questo studio è stato efficace per la gestione, l'elaborazione e la condivisione dei dati tra diversi oggetti del progetto, e l'eventuale estrapolazione di nuove informazioni.

Infatti la capacità del programma di visualizzazione in tre dimensioni, e la possibilità di osservazione rispetto qualsiasi punto d'indagine, semplifica, rispetto lo studio su supporto cartaceo, la comprensione tridimensionale di contesti geologici e delle problematiche e incongruenze d'interpretazione eventualmente ad essi connessi; inoltre permettendo di modificare le interpolazioni eseguite tramite gli algoritmi, si pone come ottimo compromesso tra il modello matematico puro (con un'interpretazione rigida dei dati), e il disegno manuale.

In tale ottica il programma assume non solo il ruolo di visualizzatore, ma anche di strumento di controllo e verifica dell'ipotesi fatte.

BIBLIOGRAFIA

APAT- Roma Tre, Dip. Scienze Geologiche, Laboratorio di Idrogeologia, 2003: *Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Verifiche di applicabilità nel settore sud-orientale dei Monti Cimini.*

Baldi P. et ali., 1974: *Studio geologico del substrato della copertura vulcanica laziale nella zona dei laghi di Bolsena, Vico e Bracciano.* Mem. Soc. Geol. It., 13.

Bertini M. et ali., 1971a: *Carta Geologica D'Italia alla scala 1: 100.000 Foglio 137 Viterbo.* Servizio Geologico d'Italia.

Bertini M. et ali., 1971b: *Carta Geologica D'Italia alla scala 1: 100.000 Foglio 143 Bracciano.* Servizio Geologico d'Italia.

Buonasorte G. et ali., 1991: *Il substrato plio-pleistocenico delle vulcaniti sabatine: considerazioni stratigrafiche e paleoambientali.* Boll. Soc. Geol. It., 110.

Fisher R. V., 1966: *Mechanism of deposition from pyroclastic flows.* Am. J. Sc. 264.

Funicello R., Parotto M., 1978: *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino centrale.* Geol. Rom., 7.

Gillespie M. R. and Styles M. T., 1999: *Classification of igneous rocks.* B.G.S. Rock Classification Scheme Volume 1. British Geological Survey Research Report, number RR 99-06 (2nd edition).

Locardi E., 1965 *Tipi di ignimbriti del vulcano di Vico.* Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., 72, ser. A.

Midland Valley Exploration, 2002: *3D Move Software Tutorial, plus Fracture Generator Hydrocarbon Systems.*

Midland Valley Exploration, 2002: *Ltd 3D Move User Guide & Online Help Pages.*

Foglio Ronciglione n° 355. Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 (informatizzazione per la stampa).

Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, 2002: *Igneous Rocks*, Le Maitre R.W., Cambridge.

Scandone R. e Giacomelli L., 1998: *Vulcanologia: Principi fisici e metodi d'indagine*. Liguori Editore, Napoli.

Servizio Geologico d'Italia, 1992: *Carta geologica d'Italia 1: 50.000. Guida al rilevamento. Glossario*. Quaderni serie III, vol. 1.

Servizio Geologico d'Italia, 1997: *Carta geologica d'Italia 1: 50.000. Banca Dati Geologici*. Quaderni serie III, vol. 6 e suoi aggiornamenti.

Società Geologica Italiana, 1998: *Guide Geologiche Regionali, Lazio*, BE-MA Editrice, Milano.