



Agenzia Nazionale per le Nuove tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Strutturazione di una banca dati in ambiente G.I.S. per lo sviluppo
di impianti innovativi finalizzati alla gestione delle georisorse

Annibale Mottana, Maria Paola Campolunghi



STRUTTURAZIONE DI UNA BANCA DATI IN AMBIENTE G.I.S. PER LO SVILUPPO DI IMPIANTI
INNOVATIVI FINALIZZATI ALLA GESTIONE DELLE GEORISORSE

Annibale Mottana, Maria Paola Campolunghi (UNIVERSITÀ DEGLI STUDI ROMA TRE:
Dipartimento di Scienze Geologiche)

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi Finali

Tema: Sistemi di climatizzazione estiva ed invernale assistita da fonti rinnovabili

Responsabile Tema: Nicolandrea Calabrese, ENEA

**Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico
Sostenibile**



**Università degli Studi Roma TRE
Dipartimento di Scienze Geologiche**



**Strutturazione di una banca dati in ambiente G.I.S. per lo
sviluppo di impianti innovativi finalizzati alla gestione delle
georisorse**

RELAZIONE
e
MANUALE D'USO

settembre 2010

Responsabile Scientifico:
Prof. Annibale Mottana

Coordinatore del progetto:
dott. Maria Paola Campolunghi

Indice

1. Introduzione	2
2. La legislazione italiana in materia	3
3. Le esperienze internazionali e italiane in materia di energia a bassa entalpia	3
4. La geologia nella geotermia a bassa entalpia: i parametri significativi e le norme VDI	4
5. il percorso analitico	6
6. Descrizione Geodatabase	7
7. Strumenti di interrogazione	12
8. Strumenti di Analisi	13
9. Il Modello di analisi	14
10. La scalabilità del sistema	17
11. L'esempio di Roma, l'area di San Paolo – V.le Giustiniano Imperatore	17
12. I casi di Palermo, Napoli e Milano	19
<i>12.1 Milano</i>	<i>19</i>
<i>12.2 Napoli</i>	<i>22</i>
<i>12.3 Palermo</i>	<i>24</i>
13. Conclusioni	25
14. Bibliografia	26
15. Ringraziamenti	27
MANUALE D'USO	28

1. Introduzione

A seguito dell'Accordo di Collaborazione stipulato tra l'E.N.E.A. e il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi di Roma "Roma TRE", si è svolta una ricerca finalizzata alla realizzazione di una banca dati in ambiente *G.I.S.* per lo sviluppo di impianti innovativi per la gestione delle georisorse con particolare attenzione alle risorse geotermiche a bassa entalpia.

La ricerca ha condotto alla realizzazione di un *geodatabase* atto ad archiviare i dati ambientali e geologici necessari alla realizzazione di analisi complesse mirate alla mappatura delle fattibilità territoriali per l'installazione di impianti geotermici con sonde verticali (SGV).

Il geodatabase è stato testato su un' area campione della città di Roma al fine di verificare le potenzialità, la funzionalità e la scalabilità del modello di analisi.

Tale modello, presentato nelle pagine seguenti, rappresenta uno strumento strategico di supporto alla pianificazione ambientale di possibile utilizzo da parte degli Enti locali per l'identificazione delle potenzialità geotermiche territoriali e per la programmazione delle attività di gestione.

Lo sviluppo di strumenti di analisi guidata è di fondamentale importanza per l'utilizzo delle diverse funzionalità di zonizzazione geografica offerta dai sistemi informativi territoriali. Gli strumenti sviluppati, anche se sottendono ad una conoscenza approfondita degli algoritmi di analisi, sono utilizzabili attraverso maschere semplificate. In tal modo anche l'utente non esperto può eseguire studi complessi utilizzando i dati archiviati nel geodatabase. Infine l'utente può individuare aree geografiche a diversa propensione per lo sviluppo di impianti geotermici, definendo semplicemente i parametri chiave della ricerca da menù semplificati sviluppati ad hoc all'interno del software.

Il geodatabase è stato inoltre implementato con dati relativi alle città di Milano, Napoli e Palermo finalizzati alla produzione di simulazioni del comportamento di impianti di climatizzazione in queste località riferite a 3 tipi di edifici diversi per tipologia costruttiva.

Le informazioni prodotte, di carattere indicativo e generale, non sostituiscono lo studio approfondito per la progettazione di un impianto geotermico ma comunque definiscono le informazioni di base necessarie e propedeutiche alla strutturazione degli studi di dettaglio da condurre direttamente *in situ*.

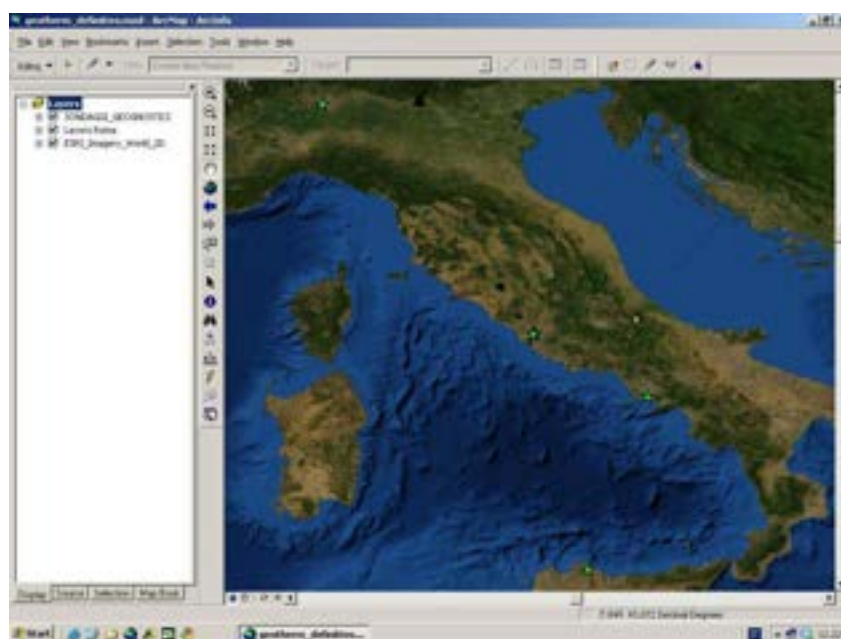


Fig.1 – visualizzazione del progetto in ArcGis.9.3.

2. La legislazione italiana in materia

L'11 febbraio 2010 è stato approvato il Decreto Legislativo n. 22/2010 "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della legge 23 luglio 2009, n. 99". Con questo decreto (pubblicato in GU n. 45 del 24-2-2010) che è entrato in vigore l'11/03/2010, il Governo ha introdotto un primo elemento di chiarezza sull'applicazione della geotermia a bassa temperatura nel nostro paese. Tutti gli impianti di potenza inferiore a 2MW termici, sia a circuito aperto che a circuito chiuso, vengono definiti "piccole utilizzazioni locali" e sono di competenza delle Regioni (o degli Enti da esse delegate) con "funzioni amministrative, comprese le funzioni di vigilanza".

Dei due decreti previsti in materia di geotermia dalla Legge 99/2009, non è contemplato quello relativo alle sonde geotermiche verticali.

Diventa perciò ancora più importante ora l'emanazione delle "procedure semplificate" da parte delle Regioni che serviranno a regolamentare un segmento di settore in forte espansione, al fine di promuoverne uno sviluppo corretto sia in termini di efficienza energetica che di tutela ambientale.

3. Le esperienze internazionali e italiane in materia di energia a bassa entalpia

L'Italia è ancora agli esordi in materia di coltivazione geotermica a bassa entalpia rispetto alla Germania, alla Svizzera e alla Svezia.

La causa principale di questo ritardo è di natura burocratica: fino all'anno scorso mancava chiarezza, soprattutto per le richieste di sonde geotermiche. Solo dal 2008 nel nostro paese si è riscontrato un significativo aumento d'impianti geotermici di medie dimensioni, ma lo sfruttamento di questa forma di energia è ancora molto basso, soprattutto se si considerano le sue potenzialità illimitate. Il secondo motivo che rende contenuto lo sviluppo della geotermia a bassa entalpia, riguarda il costo della corrente elettrica che in Italia è molto superiore rispetto ai paesi dove questi sistemi sono utilizzati da decenni come Svezia, Canada, Stati Uniti e Giappone.

Nel 2008, sono stati comunque installati sistemi per una potenza energetica superiore ai 10Mw. Nel 2009 l'attenzione verso questa risorsa è cresciuta, considerata l'instabilità del costo delle tradizionali fonti energetiche e la crescente attenzione al rispetto ambientale. Si può ipotizzare che nel 2010 la quantità di MW geotermici decuplicherà rispetto al 2008 (da: Energia 24 n°17 - ottobre 2009).

Ed è proprio negli ultimi due anni che le regioni si stanno muovendo con maggiore sollecitudine a tal proposito.

La regione Lombardia ha recentemente realizzato una Carta Geoenergetica a seguito dell'approvazione della d.g.r. 30 dicembre 2009 n. 10965 "Criteri per la redazione della Carta Geoenergetica regionale in attuazione dell'art. 10, comma 7, della l.r.n. 24/2006".

Altre regioni stanno intraprendendo studi al fine di ottimizzare le performance delle sonde geotermiche in relazione alle caratteristiche geologiche dei loro territori.

Nel 2009 è stata presentata nel corso del 3° convegno A.I.G.A. una ricerca finalizzata a definire i contributi delle scienze Geologiche alla progettazione degli impianti geotermici a bassa entalpia (Pasquini A., 2009) con le relative applicazioni alla regione Toscana.

Tutti gli studi fino ad ora intrapresi fanno riferimento alle esperienze maturate dai paesi del nord Europa ed in modo particolare dalla Germania, che negli anni '80 vide il boom della vendita delle pompe di calore a causa della crisi petrolifera.

Nel 1995 l'Associazione Tedesca degli Ingegneri V.D.I. (Verein Deutscher Ingenieure) ha redatto le linee guida che definiscono lo stato dell'arte della tecnologia in campo geotermico, gli aspetti ambientali, componenti strumentali e le procedure di installazione delle sonde.

In modo particolare (vedi cap. 4) vengono prese come riferimento universale le VDI Richtlinien 4060 blatt 1 e 2 che identificano, in funzione delle diverse litologie, la conduttività del terreno, la capacità termica volumetrica e la resa termica lineare.

Questi parametri risultano di fondamentale importanza nella zonizzazione di un territorio in base alla sua “produttività” geotermica.

4. La geologia nella geotermia a bassa entalpia: i parametri significativi e le norme VDI

Gli scambiatori geotermici non sfruttano direttamente il gradiente di temperatura come accade nella geotermia ad alta entalpia ma basano il loro funzionamento sulla differenza di temperatura tra sottosuolo e superficie.

La temperatura del sottosuolo dipende direttamente dalle caratteristiche fisiche dello stesso.

Al fine di giungere alla caratterizzazione territoriale geotermica si rende necessario, quindi, effettuare studi che modellizzino le condizioni termiche degli ambienti posti agli estremi della sonda.

Ciò prevede una conoscenza dettagliata della geomorfologia di superficie e delle caratteristiche microclimatiche, dell'assetto geologico ed idrogeologico del sottosuolo e dei relativi parametri fisici.

In questo ambito la modellizzazione 3d assume un ruolo di primaria importanza in quanto definisce, al variare della profondità, la variazione della “risposta geotermica” del substrato.

I parametri da considerare sono riconducibili principalmente alla **conducibilità termica** e alla **capacità termica del terreno**.

Tali proprietà dipendono direttamente dal contenuto naturale di acqua del terreno (W %), dalla densità *in situ* (γ nat) e dal calore specifico del suolo; all'aumentare della densità diminuisce il volume complessivo occupato dai vuoti e di conseguenza l'umidità del terreno provocando una diminuzione della conducibilità (la conducibilità dell'acqua è venti volte superiore a quella dell'aria).

Le tabelle allegate alle linee guida VDI 4060 permettono di definire in linea generale, in base alle litologie costituenti il substrato, le proprietà termiche del terreno: conducibilità termica, capacità termica volumetrica e resa termica lineare (fig.2 e 3).

fonte: VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 (p.10)

Type de roche – rock type	Conductibilité thermique – Thermal conductivity λ , (W/mK)			Capacité thermique volumétrique – Volumetric thermal capacity ρC (MJ/m ³ K)
	min	valeur typique	max	
Roches magmatiques – Magmatic rocks				
Basalte – basalt	1.3	1.7	2.3	2.3 – 2.6
Diorite – diorite	2.0	2.6	2.9	2.9
Gabbro – gabbro	1.7	1.9	2.6	2.6
Granit – granite	2.1	3.4	4.1	2.1 – 3.0
Péridotite – peridotite	3.8	4.0	5.3	2.7
Rhyolithe – rhyolite	3.1	3.3	3.4	2.1
Roche métamorphiques – Metamorphous rocks				
Gneiss – gneiss	1.9	2.9	4.0	1.8 – 2.4
Marbre – marble	1.3	2.1	3.1	2.0
Métaquartzite – metaquartzite		env. 5.8		2.1
Micaschistes – micaschists	1.5	2.0	3.1	2.2
Schistes argilleux – argillaceous schists	1.5	2.1	2.1	2.2 – 2.5
Roches sédimentaires – Sedimentary rocks				
Calcaire – limestone	2.5	2.8	4.0	2.1 – 2.4
Marne – marl	1.5	2.1	3.5	2.2 – 2.3
Quartzite – quartzite	3.6	6.0	6.6	2.1 – 2.2
Sel – salt	5.3	5.4	6.4	1.2
Gres – sandstone	1.3	2.3	5.1	1.6 – 2.8
Roches argilleuses, limoneuses – claystone/siltstone	1.1	2.2	3.5	2.1 – 2.4
Roches non consolidées – Unconsolidated rocks				
Gravier, sec – gravel, dry	0.4	0.4	0.5	1.4 – 1.6
Gravier, saturé d'eau – gravel, watersaturated		env. 1.8		env. 2.4
Moraine – moraine	1.0	2.0	2.5	1.5 – 2.5
Sable, sec – sand, dry	0.3	0.4	0.8	1.3 – 1.6
Sable, saturé d'eau – sand, watersaturated	1.7	2.4	5.0	2.2 – 2.9
Argile/limon, sec – clay/silt, dry	0.4	0.5	1.0	1.5 – 1.6
Argile/limon, saturé d'eau – clay/silt, watersaturated	0.9	1.7	2.3	1.6 – 3.4
Tourbe – peat	0.2	0.4	0.7	0.5 – 3.8
Autres substances – Other substances				
Bentonite – bentonite	0.5	0.6	0.8	env. 3.9
Béton – concrete	0.9	1.6	2.0	env. 1.8
Glace (-10 °C) – ice (-10 °C)		2.32		1.87
Plastique (PE) – plastic (PE)		0.39		-
Air (0-20 °C, sec) – air (0-20 °C, dry)		0.02		0.0012
Acier – steel		60		3.12
Eau (+10 °C) – water (+10 °C)		0.58		4.19

Fig.2 – conducibilità termica e capacità termica lineare in funzione di diverse litologie

VDI Richtlinien – valori di $q_{\text{estrazione}}$ (W/m) possibili		
Underground	q estrazione (W/m)	
	fino a 1800 ore/a	fino a 2400 ore/a
General guideline values		
Poor underground (dry sediment) ($\lambda < 1.5$ W/mK)	20 W/m	20 W/m
Normal rocky underground and water saturated sediment ($\lambda = 1.5 - 3$ W/mK)	50 W/m	50 W/m
Consolidated rock with high thermal conductivity ($\lambda > 3.0$ W/mK)	70 W/m	70 W/m
Individual rocks		
Gravel, sand, dry	<20 W/m	<20 W/m
Gravel, sand, water saturated	55 – 65 W/m	55 – 65 W/m
For strong groundwater flow in gravel and sand	80 – 100 W/m	80 – 100 W/m
Clay, loam, damp	30 – 40 W/m	30 – 40 W/m
Limestone (massif)	45 – 60 W/m	45 – 60 W/m
Sandstone	55 – 65 W/m	55 – 65 W/m
Siliceous magmatite (e.g. granite)	55 – 70 W/m	55 – 70 W/m
Basic magmatite (e.g. basalt)	35 – 55 W/m	35 – 55 W/m
Gneiss	60 – 70 W/m	60 – 70 W/m

fonte: VDI Richtlinien 4060, Blatt 2 (p.16)

Fig.3 - resa termica lineare in funzione di diverse litologie

Tali valori permettono di dare una prima stima delle proprietà termiche del terreno.

Al fine di giungere a valutazioni di maggior dettaglio è necessario definire, per ogni litologia, il suo assetto stratigrafico congiuntamente alle caratteristiche fisiche elencate in precedenza.

Ciò è possibile prevalentemente attraverso la raccolta e l'interpretazione dei log stratigrafici derivati da sondaggi geognostici e dai certificati delle prove condotte in laboratorio che parametrizzano i campioni prelevati durante i carotaggi.

Si rende poi necessario, vista la considerevole influenza dell'acqua sulle proprietà termiche del terreno, definire la geometria dell'acquifero e le sue caratteristiche.

5. il percorso analitico

Le analisi territoriali di fattibilità per l'installazione di impianti geotermici prevedono l'utilizzo di una mole di dati sovente eterogenea e a distribuzione spaziale discontinua; gli studi non possono quindi prescindere dall'uso dei Sistemi Informativi Territoriali (G.I.S.).

Il progetto è stato realizzato attraverso l'applicativo ArcGIS 9.3 utilizzando come sistema di coordinate il World Geodetic System 1984 (WGS 84).

Il modello di analisi è stato definito al fine di giungere, attraverso step progressivi, alla realizzazione di livelli informativi propedeutici alla valutazione della vocazione del territorio allo sfruttamento geotermico a bassa entalpia.

In questo contesto gioca un ruolo determinante la conoscenza dell'assetto geologico del sottosuolo e delle relative caratteristiche fisiche.

E' necessaria dunque una ricerca bibliografica funzionale alla raccolta, mappatura, elaborazione, integrazione e sintesi dei dati disponibili.

I dati raccolti sono così interpretati, vettorializzati ed archiviati all'interno di un geodatabase realizzato ad hoc (cap.6).

Attraverso la creazione del modello 3d del sottosuolo e tramite l'attribuzione ad ogni formazione ricostruita delle relative proprietà termiche, è possibile definire le carte delle isobate delle stesse individuando anche la geometria dell'acquifero.

Il sistema permette inoltre interrogazioni sui singoli dati come nel caso particolare dei sondaggi geognostici.

I complessi processi intermedi che permettono di giungere a questo risultato sono stati resi automatici attraverso la creazione di appositi tools all'interno dei quali, sono definiti i percorsi che rendono possibili i processi di *query* e di modellizzazione.

6. Descrizione Geodatabase

I dati geografici raccolti nella fase di screening sono stati organizzati in un database geografico in ambiente ArcGIS 9.3 (Fig.2).

Il geodatabase è stato strutturato in modo da poter raccogliere ed analizzare i dati provenienti da diverse fonti bibliografiche, da indagini effettuate *in situ* ed in laboratorio.

Inoltre i dati organizzati in tabelle e *features* sono relativi a dati originali e agli stessi dati interpretati in modo da non perdere il dato di partenza.

Il geodatabase contiene, nello specifico:

- shape file della geologia di superficie
- shape file dei sondaggi geognostici
- shape file delle isofreatiche
- shape file delle sezioni stratigrafiche (fig.4)
- dati tabellari

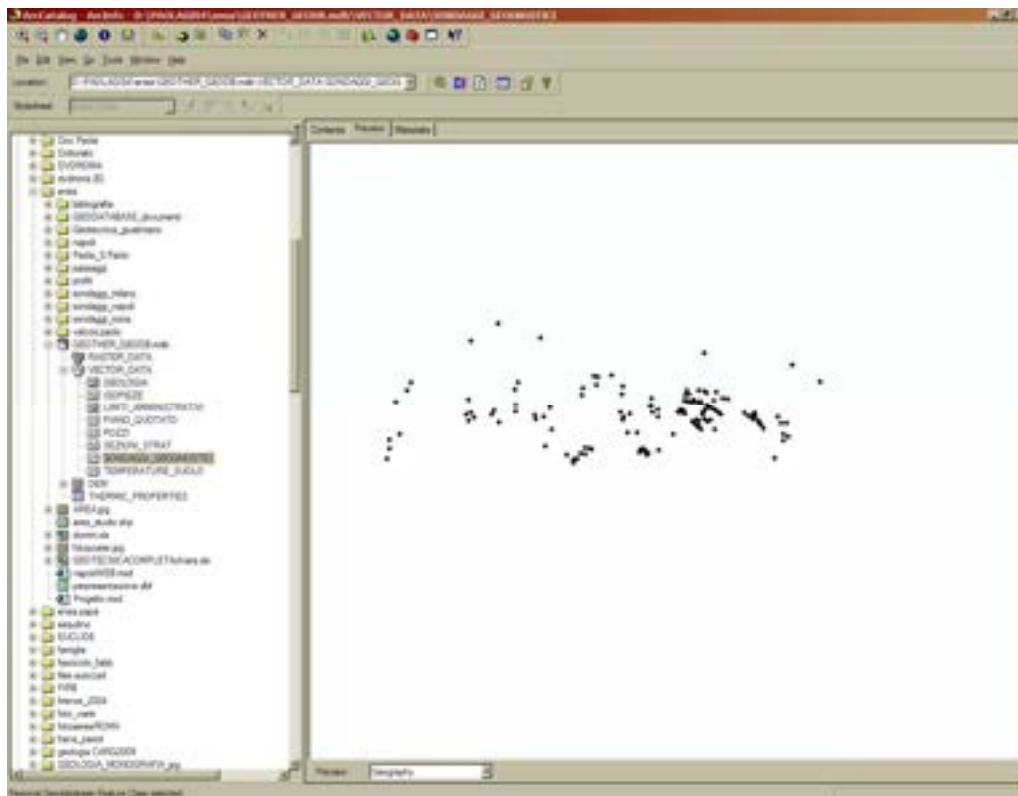


Fig.4 – ArcCatalog: il geodatabase e la visualizzazione del .shp relativo all'ubicazione dei sondaggi geognostici

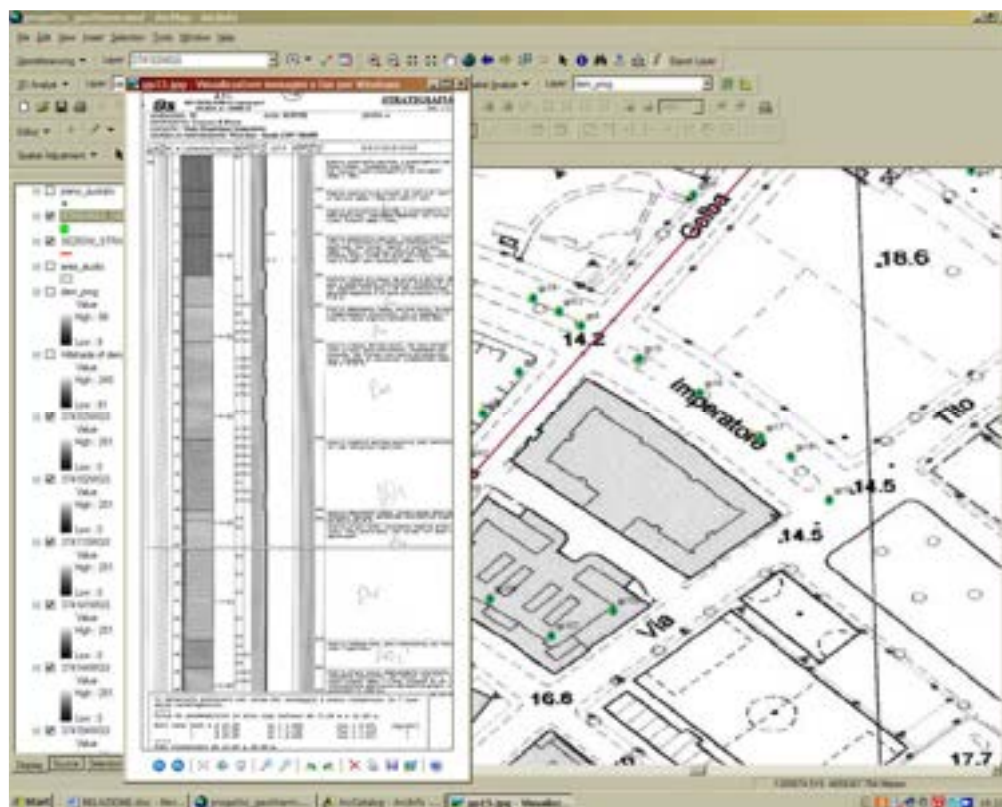


Fig. 5: i sondaggi geognostici e un .jpg relativo al log stratigrafico archiviato nel geodatabase.

Dalla *feature* puntuale dei “sondaggi” in cui sono riportati gli attributi generali relativi ai sondaggi (Fig.6), attraverso relazioni di tipo 1:M e 1:1 sono state relazionate le seguenti tabelle:

- Caratteristiche Fisiche
- Caratteristiche Termiche
- Caratteristiche Stratigrafiche
- Caratteristiche Idrogeologiche

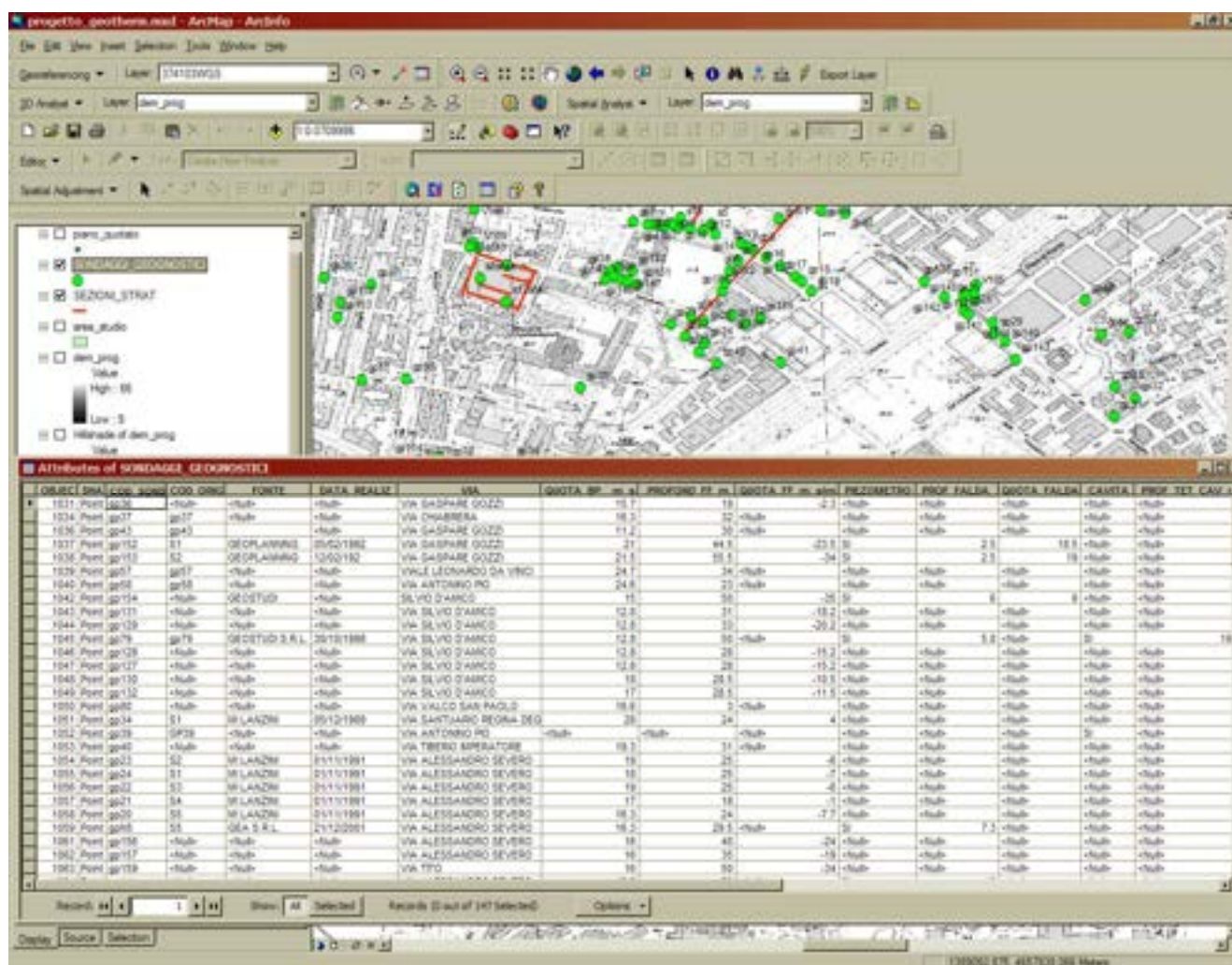


Fig.8 - shape file dei sondaggi geognostici: la tabella degli attributi

Per la tabella Caratteristiche Termiche, è stato definito un dominio di tipo “Coded Values” per il campo LitologiaVDI. Secondo questa struttura è quindi possibile interrogare ogni singolo sondaggio ed avere informazioni relative a:

- Codice Sondaggio – *identificativo unico alfanumerico del sondaggio*
- Codice Originale – *identificativo del sondaggio secondo codifica di provenienza*
- Fonte – *fonte bibliografica*
- Data – *data di realizzazione*
- Via – *indirizzo più prossimo*
- Quota Boccapozzo – *espressa in m s.l.m.*
- Quota Fondo Foro - *espressa in m s.l.m.*
- Piezometro – *indicazione della presenza o assenza di un piezometro*
- Cavità - *indicazione della presenza o assenza di una cavità ipogea*
- Quota tetto cavità - *espressa in m s.l.m.*

- Quota letto cavità - *espressa in m s.l.m.*

Oltre alle informazioni generali, sono poi visualizzate le informazioni relative alle caratteristiche fisiche, termiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dei terreni intercettati da ogni singolo sondaggio geognostico.

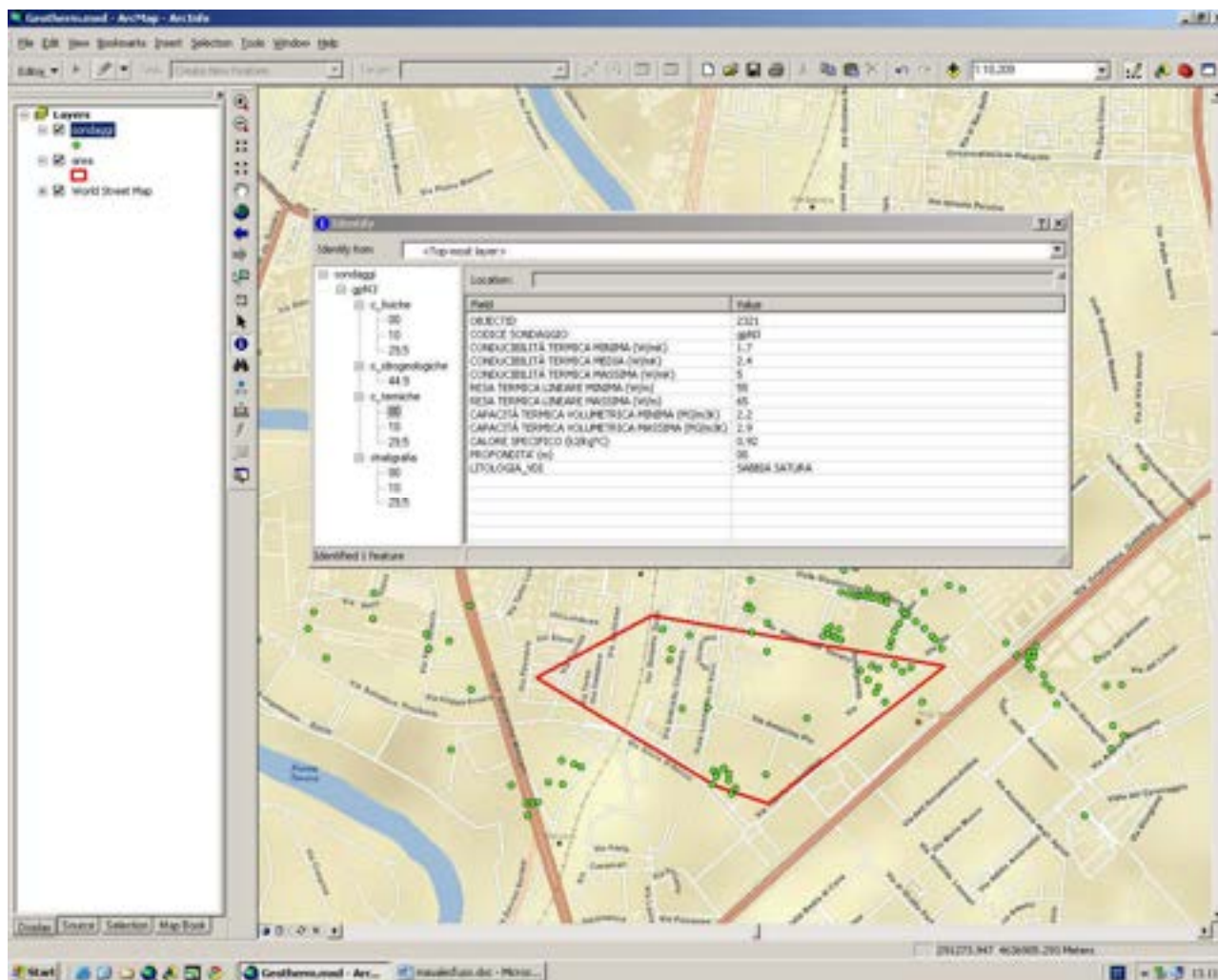


Fig.9 – interrogazione sulle caratteristiche generali dei sondaggi geognostici

Le informazioni, per ogni categoria descritta sono:

Caratteristiche fisiche:

Umidità naturale – *quantità di acqua presente nella roccia espressa in %*

Ghiaia – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Sabbia – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Limo – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Argilla – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Permeabilità media – *espressa in m/sec*

Peso di volume – *rappresenta la densità espressa in kN/m³*

Umidità naturale media - *quantità di acqua presente nella roccia espressa in % ricavata da dati bibliografici*

Peso di volume medio – *rappresenta la densità espressa in kN/m³ ricavato da dati bibliografici*

Caratteristiche Termiche

Conducibilità termica minima – *valore minimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro Kelvin (W/mK)*

Conducibilità termica media - *valore medio riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro Kelvin (W/mK)*

Conducibilità termica massima - *valore massimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro Kelvin (W/mK)*

Resa termica lineare minima - *valore minimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro (W/m)*

Resa termica lineare massima - *valore massimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro (W/m)*

Capacità termica volumetrica minima - *valore minimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Metro Joule su metro cubo Kelvin (MJ/m^3K)*

Capacità termica volumetrica massima - *valore massimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Metro Joule su metro cubo Kelvin (MJ/m^3K)*

Calore Specifico – espresso in $kJ/Kg^{\circ}C$

Caratteristiche Stratigrafiche

Codice identificativo sondaggio - *Identificativo unico alfanumerico del sondaggio*

Descrizione originale – *Descrizione come riportata nel log stratigrafico del sondaggio*

Nomenclatura ufficiale – *Nome della formazione come indicato nella legenda C.A.R.G. (Cartografia Geologica Regionale)*

Quota tetto - *espressa in m s.l.m.*

Quota letto - *espressa in m s.l.m.*

Spessore - *espresso in metri*

Caratteristiche Idrogeologiche

Quota Falda - *espressa in m s.l.m.*

Temperatura - *espressa in $^{\circ}C$*

7. Strumenti di interrogazione

Oltre all'interrogazione geografica, ottenuta selezionando manualmente il punto rappresentante l'ubicazione del sondaggio, sono stati sviluppati degli strumenti di ricerca in grado di filtrare il dato degli stessi in base a dei parametri di scelta.

Esempio: selezione dei sondaggi con piezometro:

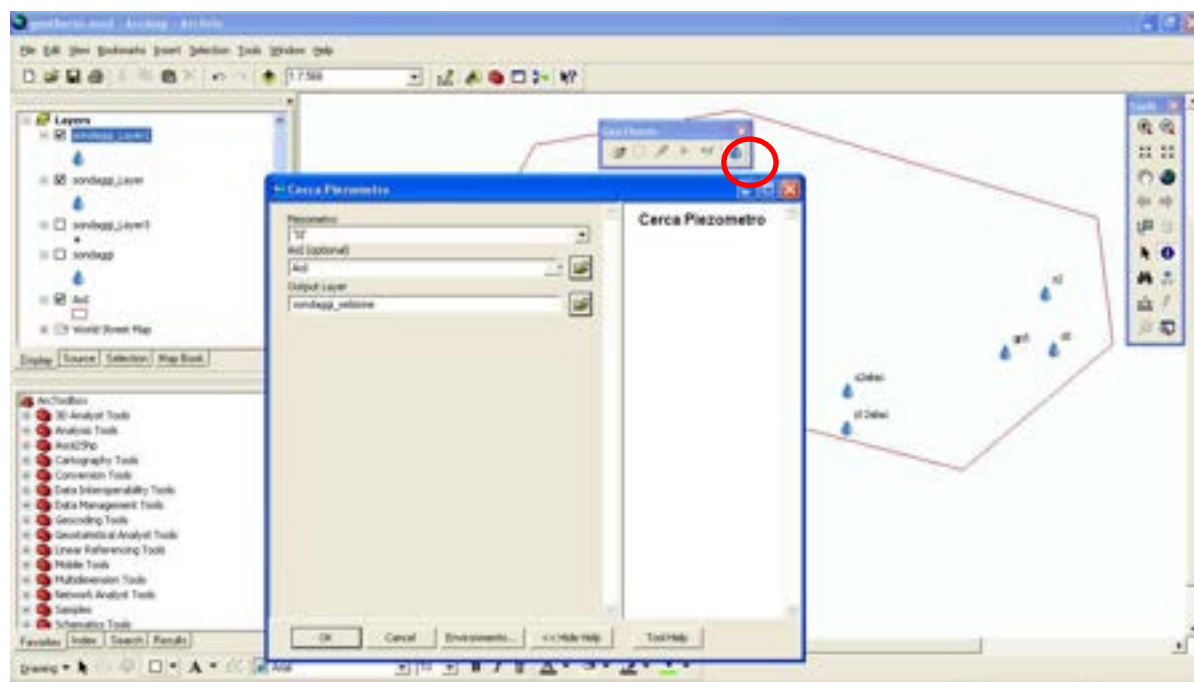


Fig.10 – strumento di interrogazione: ubicazione dei fori di sondaggio attrezzati con piezometro

Selezionando l'icona cerchiata nella toolbar GeoTherm, viene visualizzata una maschera che guida l'utente nell'operazione di selezione. I parametri della selezione sono:

Piezometro: *Selezione della presenza o assenza del piezometro nel foro di sondaggio*

AoI (Area of Interest) – *è un'opzione per limitare la selezione dei sondaggi in una specifica area geografica indicata dall'utente*

Output Layer: *nome con cui si intende salvare la selezione*

Oltre all'esempio riportato, sono stati sviluppati strumenti di ricerca per:

Via – *l'utente indica l'indirizzo desiderato e la selezione viene effettuata sulla corrispondenza più prossima al nome digitato (operatore LIKE)*

Quota Fondo Foro – *l'utente indica la profondità minima che il sondaggio deve raggiungere (operatore $\geq$ quota digitata)*

Cavità – *la selezione viene effettuata in base alla presenza o assenza di cavità incontrate nel corso dell'esecuzione del sondaggio*

Conducibilità termica MINIMA – *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una conducibilità termica MINIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Conducibilità termica MASSIMA – *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una conducibilità termica MASSIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Resa termica lineare MINIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una resa termica lineare MINIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Resa termica lineare MASSIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una resa termica lineare MASSIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Capacità termica volumetrica MINIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una capacità termica volumetrica MINIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Capacità termica volumetrica MASSIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una capacità termica volumetrica MASSIMA maggiore o uguale del valore digitato*

8. Strumenti di Analisi

In aggiunta ai tools sopra descritti, sono stati sviluppati degli strumenti semplificati per operare analisi di tipo spaziale sui dati memorizzati nel geodatabase. Queste analisi hanno lo scopo di mostrare l'andamento con la profondità delle proprietà termiche del terreno. In tal modo si ottiene una zonizzazione della propensione del territorio per lo sviluppo di impianti geotermici.

Tali analisi si basano sul concetto dell'interpolazione lineare, eseguita con metodo IDW – Inverse Distance Weighted – con lo scopo di individuare l'andamento con la profondità della formazione litologica più produttiva dal punto di vista geotermico. Di conseguenza l'analisi automatica crea delle mappe che andranno ad indicare:

- andamento della superficie di tetto della formazione scelta;
- andamento della superficie di letto della formazione scelta;
- mappa degli spessori di tale formazione;

Riguardo il caso specifico si è scelto di modellizzare tetto, letto e spessore dell'acquifero principale in quanto questa formazione è quella indicata dalle stesse norme VDI quella più produttiva dal punto di vista geotermico (in modo particolare in presenza di ghiaie con falda in pressione). Nel data entry, qualora ci si trovi in una condizione di acquifero ad alta produttività con falda, semiconfinata o in pressione, l'operatore inserirà un "SI" nel campo "acquifero produttivo" nella tabella "stratigrafia". Tale campo è stato inserito nella tabella stratigrafia e non in quella relativa alle caratteristiche idrogeologiche in quanto in questa ultima non sono presenti le descrizioni delle varie litologie definite dal log stratigrafico (uno a molti: un sondaggio, molti attributi) ma solo la quota della falda e la sua temperatura (uno a uno – un sondaggio un attributo).

9. Il Modello di analisi

L'analisi si basa sulla selezione delle formazioni litologiche riconosciute come sede di acquifero produttivo dal punto di vista geotermico. La scelta è basata su un campo della tabella idrogeologia di tipo SI/NO. Una volta isolati i record della tabella che individuano le formazioni sede di acquifero produttivo, queste informazioni vengono legate all'ubicazione dei sondaggi. Da qui si procede con un'interpolazione di tipo IDW per le quote di TETTO e di LETTO della formazione individuata. Infine, viene calcolata una mappa degli spessori.

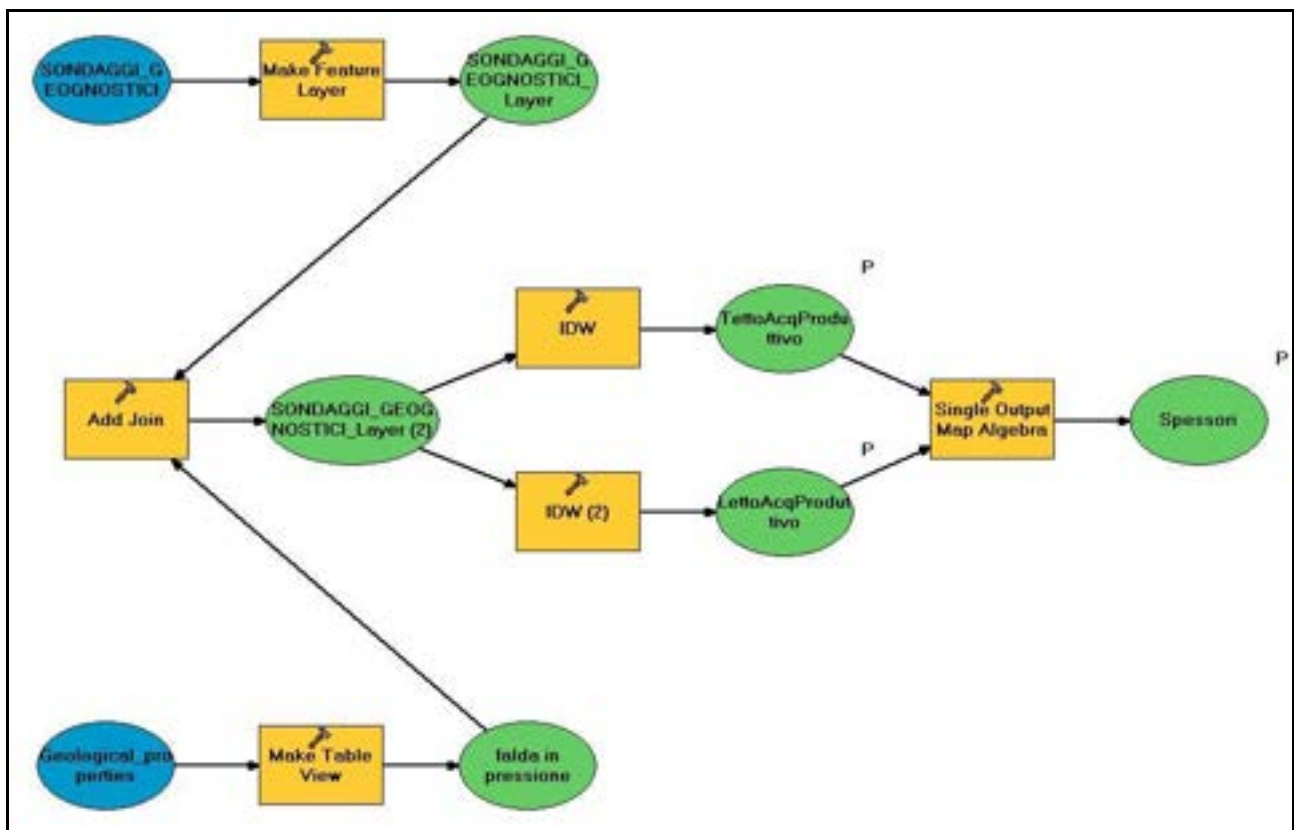


Fig.11 – modello di analisi per la ricostruzione del tetto, del letto e dello spessore dell'acquifero più produttivo.

Questo tipo di analisi prevedrebbe una conoscenza approfondita dei software GIS e dei relativi strumenti di analisi. Attraverso la costruzione del modello (fig.11), l'utente invece dovrà solo scegliere la directory e quindi il nome con cui salvare le tre diverse mappe prodotte.

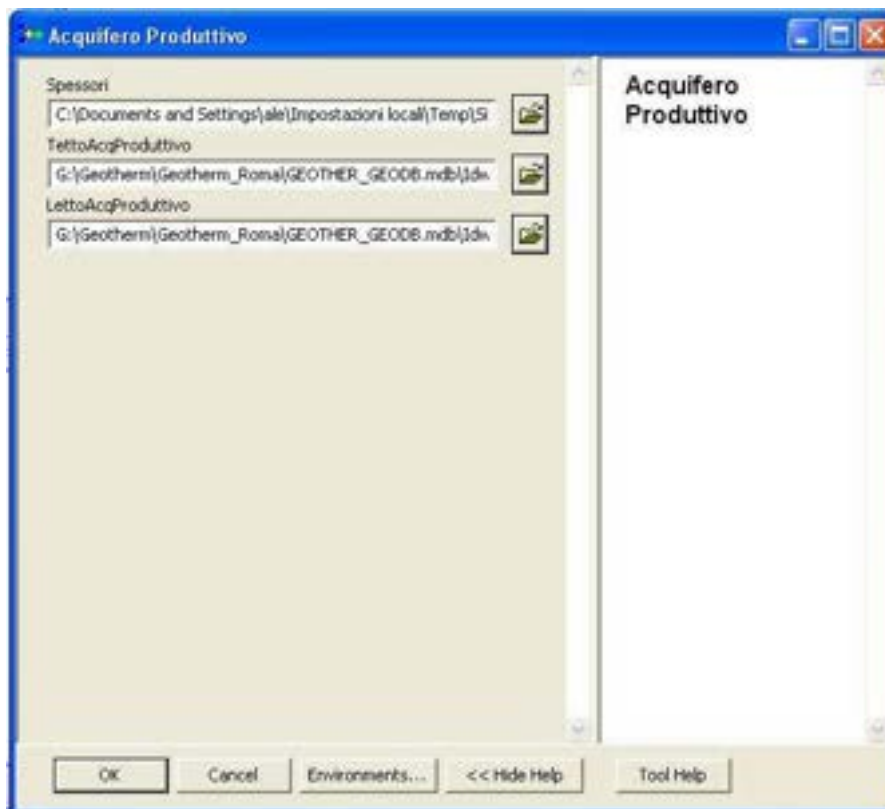


Fig.12 – tool per la realizzazione delle superfici di letto e tetto dell’acquifero e del suo spessore

I risultati sono automaticamente aggiunti alla visualizzazione, tutti con una tematizzazione pre-impostata, e con la legenda pronta (fig.11,12 e 13).

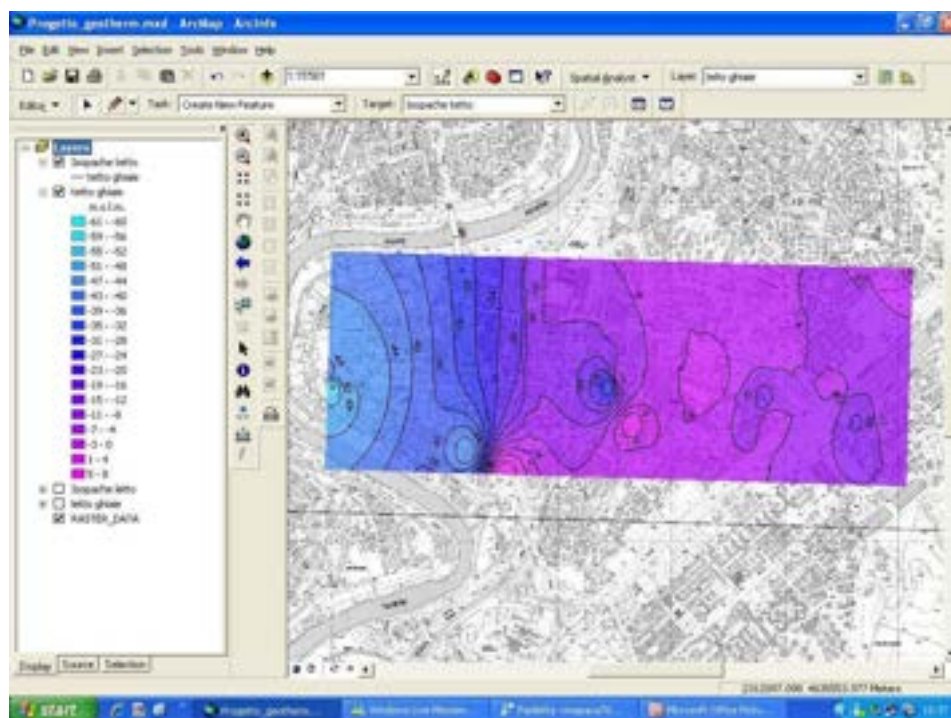


Fig.13 – distribuzione spaziale del tetto dell’acquifero più produttivo e relative isobate

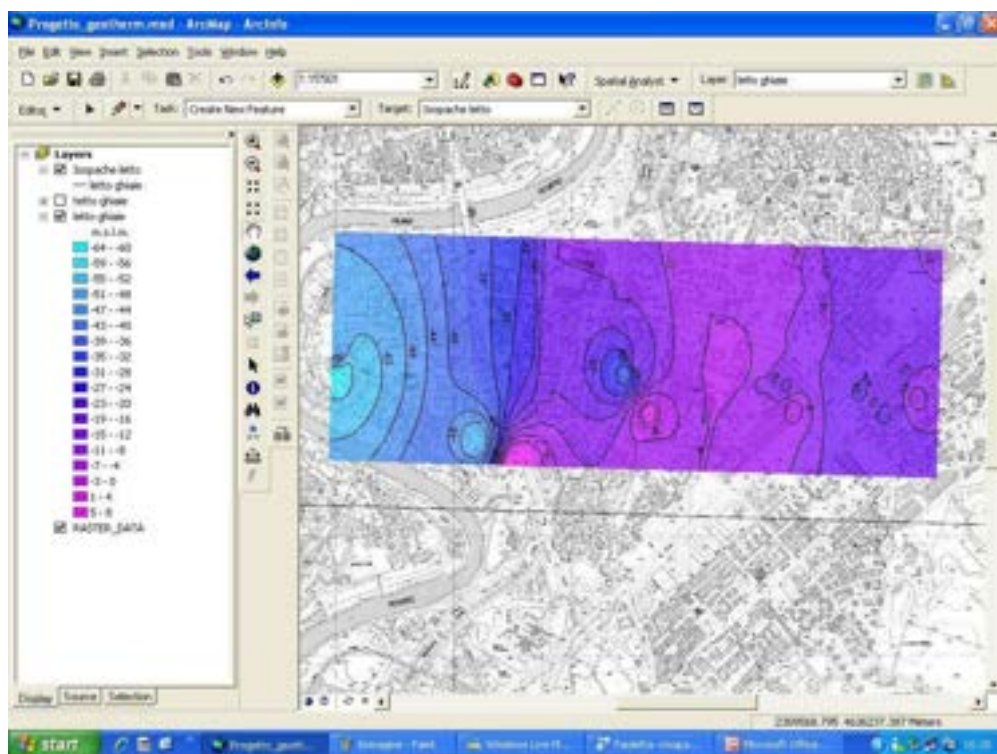


Fig.14 - distribuzione spaziale del letto dell'acquifero più produttivo e relative isobate

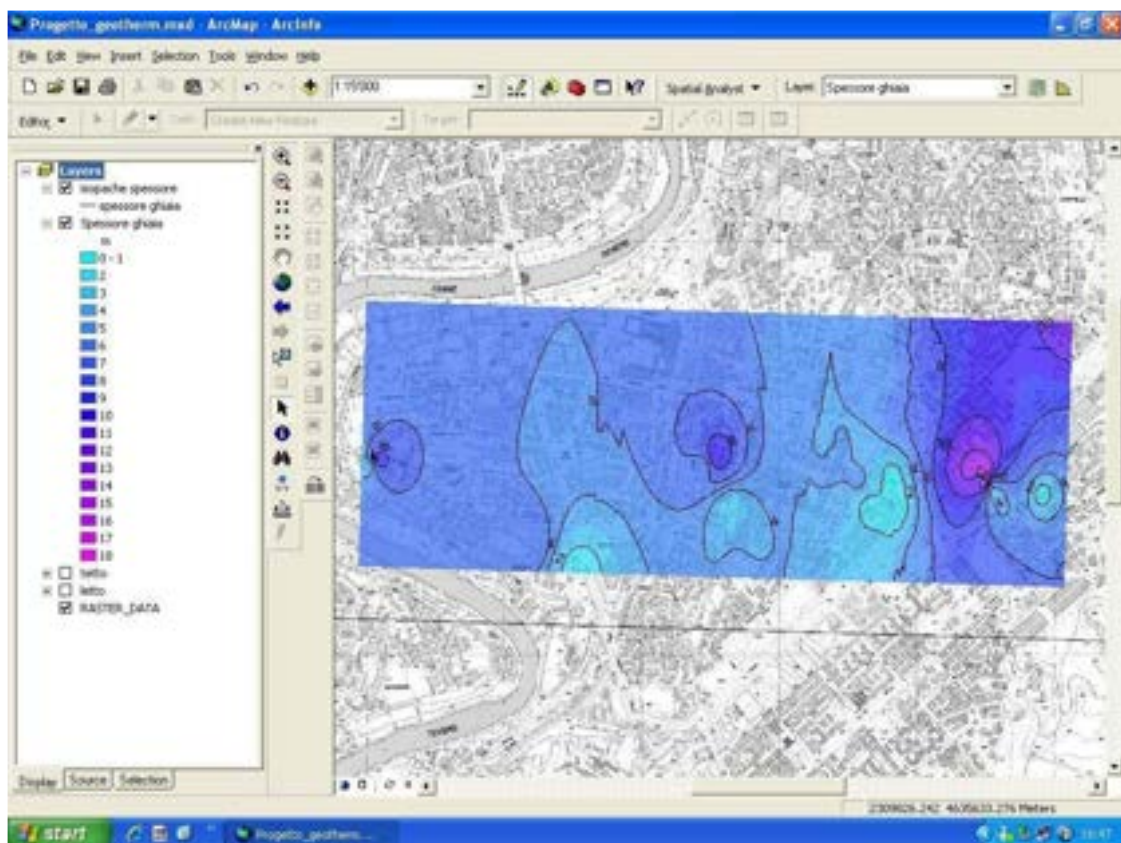


Fig.15 - distribuzione spaziale dello spessore dell'acquifero più produttivo e relative isopache

10. La scalabilità del sistema

La realizzazione del modello tridimensionale del sottosuolo e quindi del modello delle variazioni delle caratteristiche termiche del terreno con la profondità, prevede delle assunzioni che fanno del sistema proposto un prodotto che fornisce indicazioni generali sulla propensione del territorio ad ospitare impianti geotermici ma non può restituire indicazioni puntuali utilizzabili in fase di progettazione.

La scala di analisi, vista la densità di dati e la loro distribuzione, non dovrebbe essere maggiore di 1:25.000.

Fino a tale scala è possibile definire la propensione generale dell'area esaminata, individuando le profondità di massima delle formazioni "produttive", l'andamento generale della falda e la geomorfologia di superficie.

Oltre questa scala ogni valutazione assumerebbe una precisione non conforme al modello di analisi utilizzato a causa della sporadicità del dato e delle conseguenti assunzioni derivate dai processi di interpolazione.

La tabella strutturata all'interno del geodatabase permette tuttavia, di effettuare interrogazioni puntuali sui dati raccolti (prevalentemente indagini geognostiche e dati rilevati da letteratura) lasciando ad operatori esperti la facoltà di condurre le analisi e di giungere alle relative conclusioni.

Il geodatabase difatti, è stato progettato al fine di poter contenere tutte le informazioni necessarie alle valutazioni di propensione del territorio ad ospitare impianti geotermici.

Questi dati opportunamente elaborati attraverso software dedicati (per esempio simulazioni attraverso TRNSYS 16), possono rendere l'indagine con una scala di maggior dettaglio senza però prescindere dagli studi da condurre direttamente in loco.

11. L'esempio di Roma, l'area di San Paolo – V.le Giustiniano Imperatore

Il modello di analisi è stato testato su un'area campione della città di Roma posta nel settore sud – orientale tra Via Ostiense (Basilica di San Paolo) e Via Cristoforo Colombo.

Quest'area sin dai primi anni '50 mostrò gli effetti di una subsidenza indotta da terreni ancora in fase di consolidazione su edifici realizzati talvolta con materiali scadenti e con fondazioni inadeguate al terreno di posa.

Nel 2000 la situazione di alcuni palazzi si è fatta talmente grave da indurre il Comune di Roma alla demolizione di 2 corpi di fabbrica dando inizio ad un processo di riqualificazione edilizia dell'intero quartiere.

In questo contesto si pone in maniera ottimale uno studio mirato alla valutazione della possibilità di dotare di sistemi innovativi per la produzione di energia elettrica, tra i quali i sistemi geotermici a bassa entalpia, gli edifici previsti dal piano di sostituzione.

Per quest'area sono stati raccolti tutti i dati bibliografici relativi a studi pregressi ed in modo particolare *log* stratigrafici ed informazioni provenienti da campagne geognostiche.

Si tratta di 147 sondaggi che sono stati interpretati secondo gli studi effettuati per la realizzazione del progetto C.A.R.G. (Cartografia Geologica Regionale) individuando le formazioni costituenti il sottosuolo.

In fig. 16 si presenta il profilo geologico rappresentativo dell'area trasversale alla valle di Grotta Perfetta.

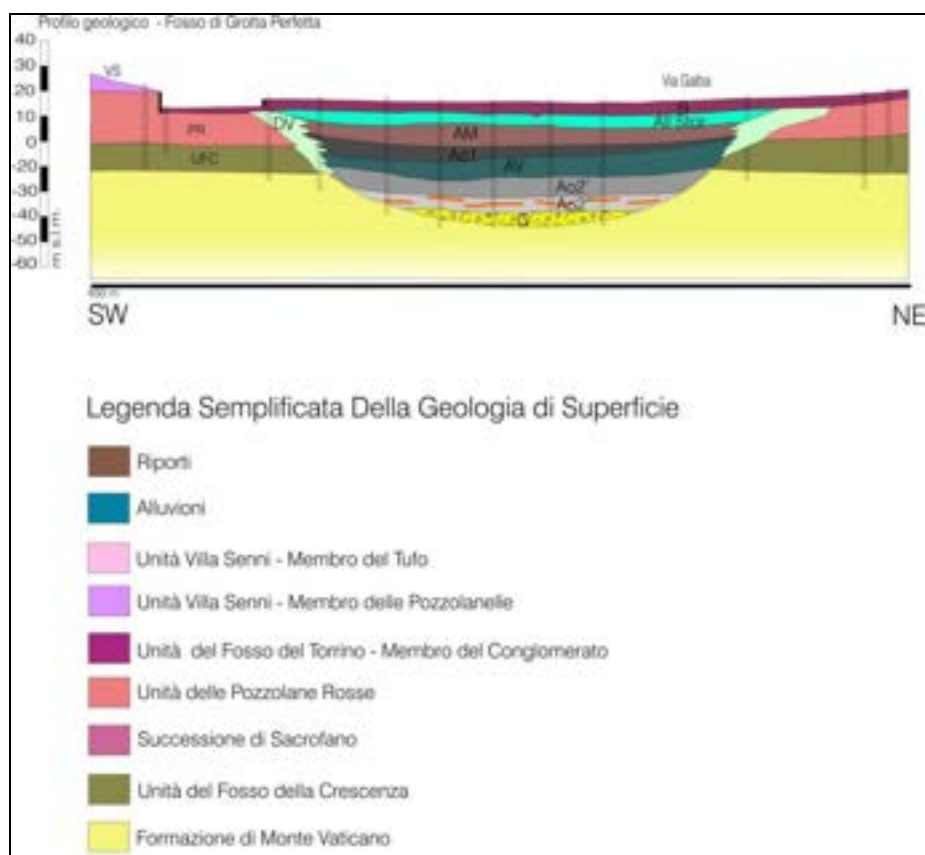


Fig. 16 - profilo geologico rappresentativo trasversale al Fosso di Grotta Perfetta

Ad ognuna di queste formazioni sono stati attribuiti parametri fisici ricavati da bibliografia o direttamente rilevati da indagini condotte su campioni prelevati durante i carotaggi.

Inoltre, secondo le norme VDI Richtlinien 4060, sono stati definite le principali proprietà termiche delle formazioni.

Nello specifico, per ciò che concerne la stratigrafia tipo dell'area considerata, la relazione tra formazioni incontrate e tipi di suoli e rocce elencati nelle norme VDI è la seguente:

Nomenclatura ufficiale C.A.R.G.	Nomenclatura da norme VDI
Riporti	Sabbia satura
Vuoto	Aria
Formazione di Villa Senni – Mem. Tufo Lionato	Roccia argilloso limosa
Formazione di Villa Senni – Mem. Pozzolanelle	Argilla e limo saturo
Pozzolane Rosse	Sabbia satura
Unità del Fosso della Crescenza – membro argilloso limoso	Argilla e limo saturo (FCZ)
Unità del Fosso della Crescenza – membro sabbioso	Sabbia satura (FCZ)
Unità del Fosso della Crescenza – membro ghiaioso	Ghiaia satura (FCZ)
Formazione di Monte Vaticano	Roccia argilloso limosa
Alluvioni tiberine - argillose	Argilla e limo saturo
Alluvioni tiberine - sabbiose	Sabbia satura
Alluvioni tiberine - ghiaiose	Ghiaia satura (T)
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Arg. Marroni	Argilla e limo secco
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Arg. Organiche	Argilla e limo saturo
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Arg. Verdi	Argilla e limo saturo
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Ghiaie sabbiose	Ghiaia satura
Detriti di versante	Sabbia satura

Tav. 1 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Roma.

Nell'attribuire alle formazioni definite nel corso dell'interpretazione dei sondaggi la relativa nomenclatura delle norme VDI si sono rese necessarie alcune assunzioni:

- nelle norme VDI non sono presenti i tufi; si sono quindi attribuite, a questo tipo di rocce, le proprietà termiche delle “rocce limoso argillose”;
 - il materiale vulcanico molto alterato è stato assimilato ad “argilla e limo saturo” e le pozzolane a “sabbia satura”;
 - sono stati inoltre distinti i terreni che pur avendo lo stesso nome nelle norme VDI sono caratterizzati da proprietà termiche differenti (per esempio presenza di una falda in pressione).
- Le ghiaie individuate durante lo studio infatti presentano una falda in pressione solo nell'Unità del Fosso della Crescenza e quindi sono state distinte con l'acronimo (FCZ) da quelle del Tevere (T).

Quanto descritto è riassunto in tav. 2

COD. SOND.	ORG. DESCR.	Densità Specifica (kg/m ³)	PESSO IN VOLUME (densità media) (kg/m ³)	CONDUCIBILITÀ TERMICA min (W/mK)	CONDUCIBILITÀ TERMICA max (W/mK)	CAPACITÀ TERMICA VOLUMETRICA min (MJ/m ³ K)	CAPACITÀ TERMICA VOLUMETRICA max (MJ/m ³ K)	CAPACITÀ TERMICA VOLUMETRICA max (MJ/m ³ K)	RESA TERMICA LINEARE min (W/m)	RESA TERMICA LINEARE max (W/m)
ge9	riporto proclastico	0.92	19.1	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55	65
ge9	argilla limosa moderatamente consistente, marne	0.92	16.6	0.4	0.5	1.0	1.5	1.6	30	40
ge9	argilla limosa organica non	0.92	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge9	argilla limosa verdastra priva di	0.92	15.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge9	argilla limosa organica non	0.92	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	riporto proclastico	0.92	0.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55	65
ge12	argilla limosa moderatamente consistente, marne	0.92	16.1	0.4	0.5	1.0	1.5	1.6	30	40
ge12	argilla limosa organica non	0.92	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	argilla limosa verdastra priva di	0.92	12.3	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	argilla limosa organica non	0.92	15.3	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	ghiaie di base	0.92	19.0	0	1.8	0.0	2.4	2.4	65	65
ge12	argilla grigia molto consistente	0.92	20.0	1.1	2.2	3.5	2.1	2.4	45	60
ge12	riporto proclastico	0.92	16.7	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55	65
ge12	limo argilloso	1.36	14.8	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	limo con argilla debolmente sabbioso, inconsistente	1.36	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	limo con argilla. Presenza di sosterza organica e inclusi	1.36	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	ghiaie e sabbie a luoghi limosa	0.92	19.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	65	65
ge12	argilla limosa grigia, molto	0.92	20.0	1.1	2.2	3.5	2.1	2.4	45	60

Tav.2 – proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI nell'area campione di Roma

12. I casi di Palermo, Napoli e Milano

Al fine di produrre simulazioni del comportamento di impianti di climatizzazione ad energia geotermica a bassa entalpia, l'E.N.E.A. ha richiesto i dati relativi a Milano, Napoli e Palermo.

In particolare riguardo la città di Milano si è considerata l'area urbana che ospiterà l'Expo (Pero – zona Via Giovanni XXIII), per ciò che riguarda Napoli il Centro Direzionale e per Palermo l'area adiacente alla città Universitaria (zona Via Ernesto Basile).

In queste aree sono stati rispettivamente rinvenuti 3, 6 e 4 log stratigrafici.

12.1 Milano

L'area considerata è caratterizzata, stratigraficamente, dal Sintema di Albusciago costituito da sedimenti fluvio-glaciali ghiaioso sabbiosi e in profondità da una unità ghiaioso – sabbioso - limosa.

La quota media topografica è di circa 142 m s.l.m. e gli studi idrogeologici prodotti in passato (fig. 17) attestano la piezometrica intorno ai 134 m s.l.m. di conseguenza la falda è posta ad 8 m di profondità dal piano campagna.

Le formazioni incontrate, eccezion fatta per i terreni di riporto che godono di una escursione idrica stagionale, si possono così ritenere costantemente sotto falda.



Fig.17 - andamento delle isofreatiche nella'area in esame (per gentile concessione dell' Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Regione Lombardia – dott. Marina Credali)

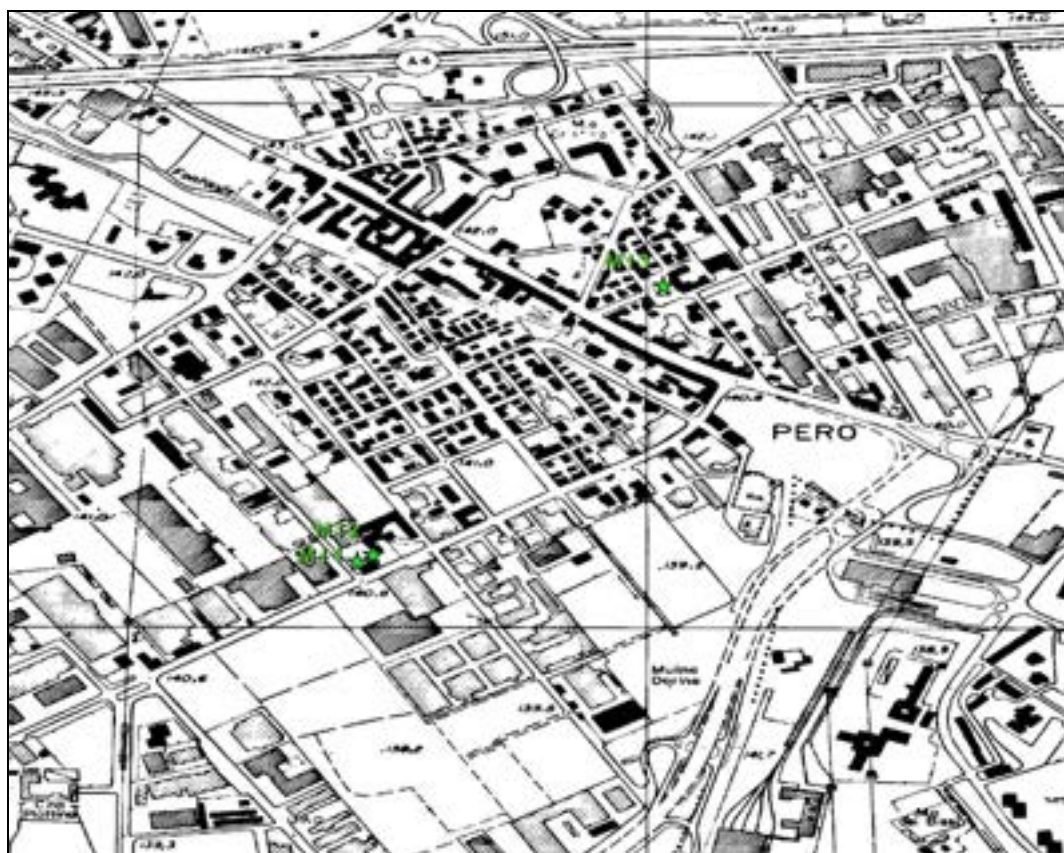


Fig.18 – Ubicazione dei 3 sondaggi geognostici



La relazione tra nomenclatura ufficiale e quella relativa alle norme VDI è presentata in tabella 3.

Nomenclatura ufficiale	Nomenclatura da norme VDI
Riporto	Sabbia satura
Sintema di Albusciago – membro argilloso	Argilla e limo saturo
Sintema di Albusciago – membro sabbioso	Sabbia satura
Sintema di Albusciago – membro ghiaioso	Ghiaia satura

Tav.3 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Milano.

Di seguito si riporta la tabella (tav.4) relativa alla parametrizzazione termica dei terreni (norme VDI) derivata dall'interpretazione dei tre sondaggi effettuati nell'area in esame.

COD. SONO	DESCRIZIONE ORIGINALE DA LOG terreno	NOMENCLATURA UFFICIALE RIPORTO	QUOTA BP (m s.l.m.)	QUOTA TETTO (m s.l.m.)	QUOTA LETTO (m s.l.m.)	SPESORE (m)	CONTERM CA min (W/mK)	CONTERM ICA med (W/mK)	CONTERM CA max (W/mK)	CAP. TERM. VOL. min (MJ/m3K)	CAP. TERM. VOL. max (MJ/m3K)	RESA TERM. LIN. Min (W/m)	RESA TERM. LIN. Max (W/m)
M1		SINTEMA DI	140.0	140.0	137.0	3.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M1	argilla	ALBUSCIAGO	140.0	137.0	102.5	34.5	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M1	ghiaia e sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	102.5	99.0	3.5	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M1	sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	99.0	90.0	0.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M1	ghiaia e sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	90.0	72.0	18.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M1	sabbia con intercalati	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	72.0	70.0	2.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M1	ghiaia, ciottoli e	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	70.0	60.0	10.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M1	argilla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	60.0	57.0	3.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M2	terreno di ciottoli,	RIPORTO	140.0	140.0	139.0	1.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M2	ghiaia,	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	139.0	89.0	50.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M2	argilla e sabbione argilloso	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	89.0	70.5	18.5	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M2	passante sabbia e ghiaia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	70.5	49.0	21.5	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M2	argilla gialla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	49.0	38.0	11.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M3	terreno di ghiaia e	RIPORTO	141.0	141.0	136.5	4.5	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	sabbia con argilla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	136.5	119.5	17.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M3	giallastra	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	119.5	117.3	2.2	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M3	ghiaia, ghiaietto e argilla e	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	117.3	84.0	33.3	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M3	sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	84.0	73.0	11.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	ghiaia, sabbia e	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	73.0	60.8	12.2	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M3	argillosa	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	60.8	55.4	4.4	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	argilla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	55.4	43.0	13.4	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M3	giallastra	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	43.0	39.0	4.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	argilla giallastra	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	39.0	31.0	8.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0

Tav.4 – proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI

12.2 Napoli

L'area in esame a Napoli è quella del Centro Direzionale (fig.19).

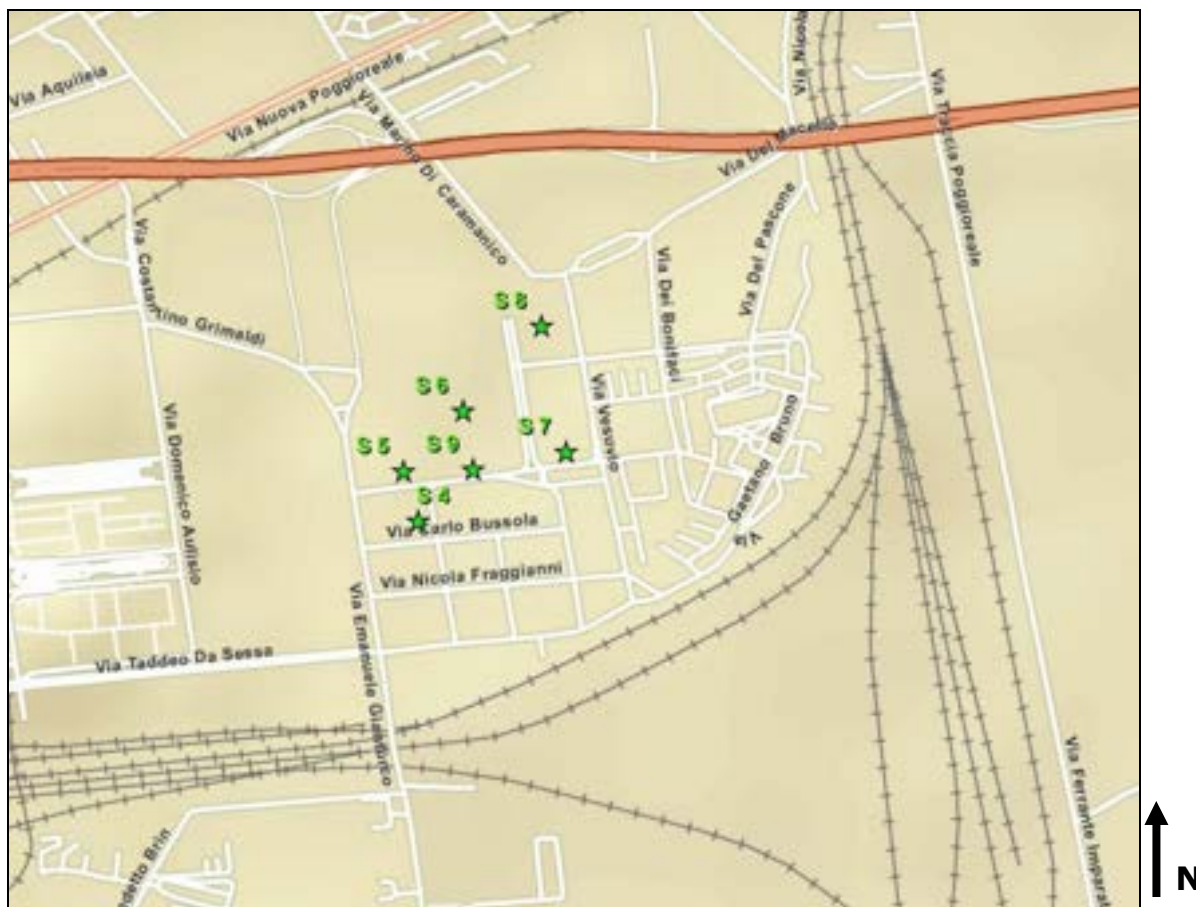


Fig.19 – ubicazione dei sondaggi geognostici nell'area del Centro Direzionale a Napoli

In quest'area, al di sotto di una coltre di terreni di riporto, si individuano depositi alluvionali costituiti da prodotti piroclastici indifferenziati rimaneggiati provenienti dai vari centri flegrei costituiti prevalentemente da cineriti e pozzolane.

Lo spessore è superiore ai 35 m.

Tale formazione viene individuata nella Carta Geologica di Italia foglio n. 183 -184, da "t³".

In Allocca et alii (2008) quest'ultima viene definita come "deposito alluvionale costituito da sedimenti piroclastici in sede e rimaneggiati, avente granulometria variabile da medio fine a medio grossolana e depositi detritici. Permeabilità da media a medio bassa per porosità. La circolazione idrica si attesta a 4/5 m s.l.m."

La relazione tra nomenclatura ufficiale e quella relativa alle norme VDI è presentata in tabella 5.

Nomenclatura ufficiale	Nomenclatura da norme VDI
Riporto	Sabbia satura
t ³ membro limoso	Argilla e limo saturo
t ³ membro torboso	Torba
t ³ membro sabbioso	Sabbia satura
t ³ ceneri – fraz. limosa	Limo secco
t ³ ceneri – fraz. sabbiosa	Sabbia secca
t ³ pomici	Ghiaia secca

Tav.5 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Napoli.

Di seguito si riporta la tabella (tav.6) relativa alla parametrizzazione termica dei terreni (norme VDI) derivata dall'interpretazione dei sondaggi effettuati nell'area in esame.

COD. SOND	ORG. DESC.	Calore Specifico kJ/kg°C	LITOLOGIA_VDI	UMIDITA' %	PIED. S. VOLUME (densità media) K/m³	CONDUCIBILITA' TERMICA med (W/mK)	CONDUCIBILITA' TERMICA med (W/mK)	CONDUCIBILITA' TERMICA max (W/mK)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA med (J/m³K)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA max (J/m³K)	RESA TERMICA LINEARE med (W/m)	RESA TERMICA LINEARE max (W/m)
54	riporto	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	limo torboso e torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
54	limo costituito da cenere rimaneppata di colore grigio	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
54	sabbia ghiaiosa costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
54	sabbia ghiaiosa costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	limo torboso e torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
54	cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa fine	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	ponci eterometriche rimaneppate ed alterate	0.80	GHIAIA SECCA	0.00	18.00	0.40	0.40	0.50	1.40	1.60	0	20
54	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	riporto	0.80	SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	limo costituito da cenere rimaneppata a granulometria finissima decisamente sabbiosa	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
55	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
55	limo costituito da cenere rimaneppata a granulometria finissima decisamente sabbiosa	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
55	torba e limo torboso	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
55	sabbia ghiaiosa costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
55	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	cenere rimaneppata e ponci	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	0.40	0.40	0.50	1.40	1.60	0	20
55	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	riporto	0.80	SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa fine	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	torba e limo torboso	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	sabbia medio grossolana	0.80	SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	sabbia media	0.80	SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	ponci rimaneppati di colore grigiastro	0.80	GHIAIA SECCA	0.00	18.00	0.40	0.40	0.50	1.40	1.60	55	20
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	riporto	0.80	SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	limo torboso e torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossolana	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	limo costituito da cenere rimaneppata	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
56	ponci rimaneppati di dimensioni massime di 2 cm	0.80	SATURA	0.00	18.00	0.90	1.80	5.00	2.40	2.40	55	85
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85

Tav.6 – proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI

12.3 Palermo

L'area presa in esame per Palermo è quella della città Universitaria (fig. 20).

In quest'area, al di sotto dei terreni di riporto, si individuano le Calcareniti di Palermo per uno spessore di circa 30 m, costituite da un complesso detritico organogeno di deposizione marina con granulometria da siltitica a ghiaiosa; alla base sono presenti le Argille di Ficarazzi costituite da una successione di sabbie fini e silt sabbiosi che si rinvengono in eteropia con le Calcareniti (ISPRA, 2010).

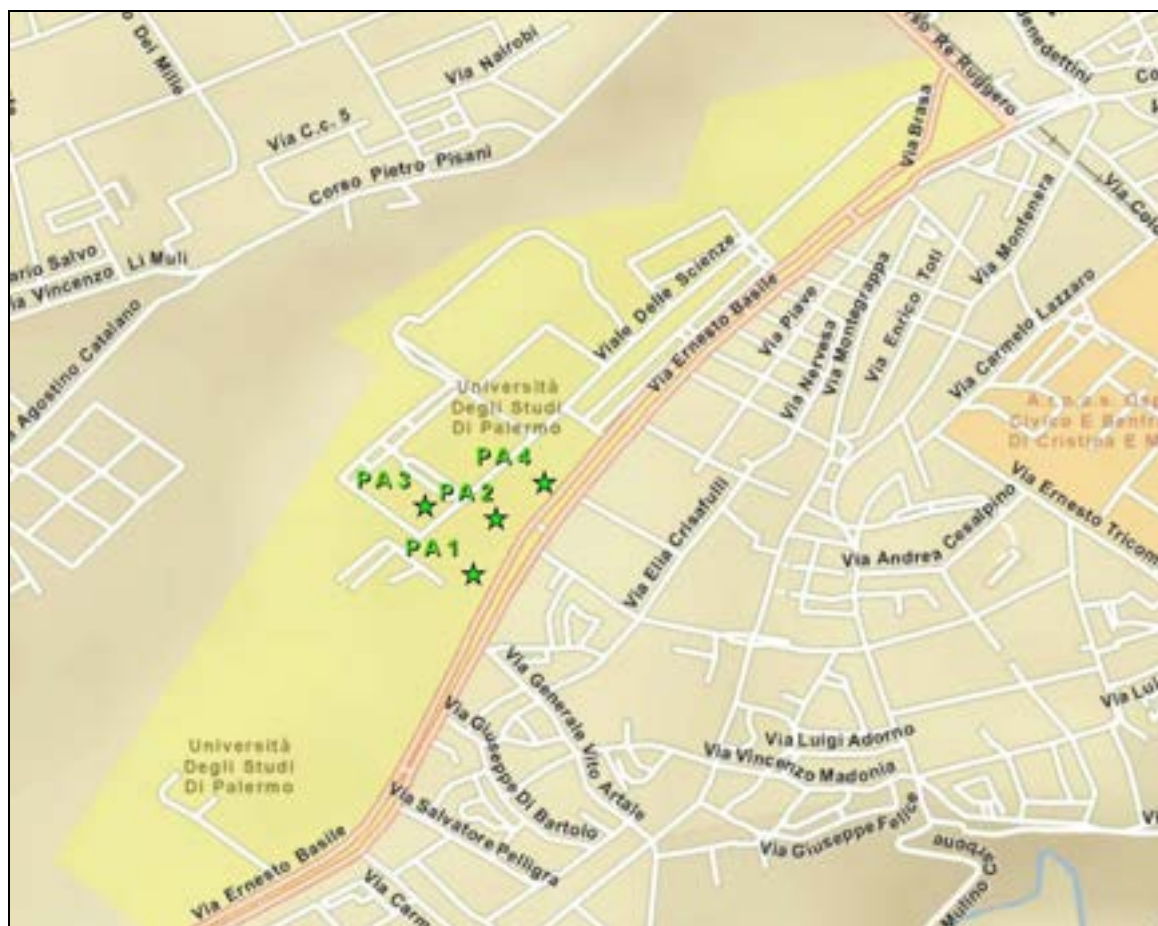


Fig. 20 – Ubicazione dei sondaggi nell'area della città Universitaria di Palermo

La relazione tra nomenclatura ufficiale e quella relativa alle norme VDI è presentata in tabella 7.

Nomenclatura ufficiale	Nomenclatura da norme VDI
Riporto	Sabbia satura
Calcareniti di Palermo – membro superiore	Areniti
Calcareniti di Palermo – membro inferiore	Sabbia satura
Argille azzurre di Ficarazzi	Sabbia satura

Tav.7 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Napoli.

Di seguito si riporta la tabella (tav.8) relativa alla parametrizzazione termica dei terreni (norme VDI) derivata dall'interpretazione dei sondaggi effettuati nell'area in esame.

COD. SONO	INFO. DESC.	NOMINCLA FURA UFFICIALE	LITOLOGIA ICD	PIESO II VOLUME (densità media)(t/m ³)	Calore Specifico kJ/kg°C	CONDUCIBILITA' TERMICA mK (W/mK)	CONDUCIBILITA' TERMICA mK (W/mK)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA mK(MJ/m ³ K)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA mK(MJ/m ³ K)	RESA TERMICA LINEARE mK (W/m)	RESA TERMICA LINEARE mK (W/m)	RESA TERMICA LINEARE mK (W/m)
P1A	riporto	RIPORTO	SABBIA SATURA			0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti e sabbie calcaree	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	sabbie	CALCARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	terre rosse	RIPORTO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	sabbie con ciottoli comuni	CALCARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	sabbie	CALCARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	sabbie	CALCARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	alternanza di sabbie e calcareniti	ANGOLE AZZURRE DI FICARAZZO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	terre rosse	RIPORTO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	con cemento primario intravaso da processi di decomposizione ricambi delle acque di falda	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti e sabbie calcaree	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	terreno argenteo	RIPORTO	SABBIA SATURA		0,90	0,75	2,40	5,00	180	0,40	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti e sabbie calcaree	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulati e sabbie fini	CALCARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,00	180	0,30	55,00	95,00

Tav.8— proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI

13. Conclusioni

Lo studio presentato, oltre ad essere un importante mezzo di archiviazione del dato, è uno strumento valido nella ricerca ed analisi degli indicatori geologici ed ambientali per la coltivazione dell'energia geotermica a bassa entalpia.

Il modello concettuale è stato sviluppato al fine di produrre un mezzo performante, editabile, scalabile ed *user friendly*, ovvero facilmente utilizzabile anche dai non esperti in sistemi informativi territoriali. attraverso interrogazioni, query e analisi.

Attraverso ricerche guidate l'utente può passare da una prima fase di “*screening*” territoriale ad una fase di interrogazione del dato archiviato per giungere a conclusioni utili alla progettazione di indagini mirate alla definizione puntuale delle caratteristiche geotermiche del sito individuato.

La realizzazione del geodatabase in ambiente ArcGis e dei relativi strumenti di analisi assumerebbe un ruolo importante nella valutazione delle potenzialità territoriali nell'ambito delle energie alternative qualora, attraverso alcune modifiche, si proceda alla pubblicazione in internet in modo da poter rendere fruibile a chiunque non solo l'interrogazione del dato ma anche il suo aggiornamento.

14. Bibliografia

- ALLOCCA V., CELICO P. (2008) – *Scenari idrodinamici nella piana ad Oriente di Napoli (Italia), nell'ultimo secolo: cause e problematiche idrogeologiche connesse* – Giornale di Geologia Applicata, 9(2) – pg. 175-198
- CAMPOLUNGHİ M.P., LANZINI M., CAPELLI G., FUNICIELLO R. (2007) – *Geotechnical studies for foundation settlement in Holocenic deposits in the city of Rome (Italy)* – Engineering Geology 89 (2007)- pg. 9-35
- CANZONIERI V., GIAMMARINARO M.S., GIGLIUZZA G., VALLONE P., (2001): Area urbana palermitana; analisi delle proprietà geotecniche dei terreni supportata da tecnologia GIS. Atti del XXI Conv. Naz. Di Geot., 37-45.
- CAPELLI ET AL., (1998) *La conoscenza idrogeologica del territorio quale presupposto alla gestione delle risorse idriche: il caso dei Colli Albani* In: Uso e tutela delle acque sotterranee – Giornata di studio per l'approfondimento dei temi di attuazione della Legge Galli, Viterbo 3 aprile 1998
- COLOMBO F., RAFFAELLI L., RAIMONDI P., ROSTI G. (1996) – *Le problematiche idrogeologiche delle aree altamente industrializzate: l'esempio di Milano* Provincia di Milano – Assessorato all'Ambiente Settore Ecologia U.O Tecnica Progetti Speciali
- FUNICIELLO R., TESTA O., CAMPOLUNGHİ M.P., LANZINI M., CECILI A. (2004) – *La struttura geologica dell'area romana e il Tevere* – Atti del Convegno “Ecosistema Roma” 14/16 aprile 2004 Accademia Nazionale dei Lincei
- FUNICIELLO R. et al. (1995) – *La Geologia di Roma. Il Centro Storico*. Mem. Descr. della Carta Geologica d'Italia, vol.L – Servizio Geologico Nazionale.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008 a) – *La nuova carta geologica di Roma: litostratigrafia e organizzazione stratigrafica* - Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia – Volume LXXX Parte I – La geologia di Roma dal Centro Storico alla periferia – APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 39-85
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008 b) – *La nuova carta geologica di Roma in scala 1:10.000* in: Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia – La geologia di Roma dal Centro Storico alla periferia – APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 39-85
- ISPRA – (2010) Dipartimento Difesa del Suolo Servizio Geologico d'Italia – Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000 - Palermo
- ONDREKA J., RUSGEN M.J., STÖBER I., CZURDA K. (2007) - *Gis supported mapping of shallow geothermal potential of representative areas in south western Germany – possibilities and limitations*. Renewable Energy 32 pp.2186 – 2200.
- PASQUINI A., MANTOVANI F., CARMIGNANI L. (2009) – *L'importanza dei parametri geologici per l'ottimizzazione di sonde geotermiche applicate a pompe di calore: stime teoriche e casi di studio* – Atti del 3° Congresso Nazionale A.I.G.A. – San Giovanni Valdarno

SIGNORELLI S. (2004) – *Geoscientific investigation for the use of shallow low-enthalpy system*. PhD thesis, ETH Zurich

VENTRIGLIA U. (2003), *Geologia del Territorio del Comune di Roma*, Amministrazione Provinciale di Roma – Difesa del Suolo

ZOHRA KEDAID F. (2007) - *Data base on the geothermal resources of Algeria* – *Geothermics* 36 pp.265-275

Riassetto della normative in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche a norma dell'articolo 27, comma 28 della legge 23 luglio 2009, n.99 – decreto legislativo 11 febbraio 2010 n.22 pubblicato sulla G.U. del 24 febbraio 2010 n.45

Criteri per la redazione della Carta geoenergetica regionale in attuazione dell'articolo 10, comma 7, della LR 24/2006 - Regione Lombardia Deliberazione Giunta regionale 30 dicembre 2009, n. 8/10965

Richtlinie VDI 4060 Integrierte Managementsysteme (IMS); Handlungsanleitung zur praxisorientierten Einführung

15. Ringraziamenti

*Si ringrazia il **Laboratorio di G.I.S G.P.S. e Cartografia Automatica** del Dip. Di Scienze Geologiche dell'Università Roma TRE nelle persone del dott. **Alessandro Cecili** e del dott. **Guido Giordano**.*

*La dott. **Chiara Santini** e il dott. **Alessandro Cinnirella** che si sono occupati dell'interpretazione dei dati raccolti, del data entry e della realizzazione informatica del progetto.*

*Si ringraziano, inoltre, per l'estrema disponibilità e cortesia la **Prof.ssa Maria Stella Giammarinaro** del Dipartimento Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo per averci fornito i dati derivati da indagini geognostiche archiviati nella banca dati "City GIS" strutturata dal suo dipartimento, la **dott.ssa Marina Credali** della "Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Regione Lombardia" e il **dott. Geol. Lucio Amato della Tecno In S.p.A. di Napoli**.*

MANUALE D'USO

Quando si apre il progetto nella *table of contents* si individuano (fig.1)

- 1) lo .shp dei sondaggi geognostici
- 2) l'area di studio (editabile)
- 3) la cartografia di base (nel caso specifico caricato tramite connessione internet dal sito <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)

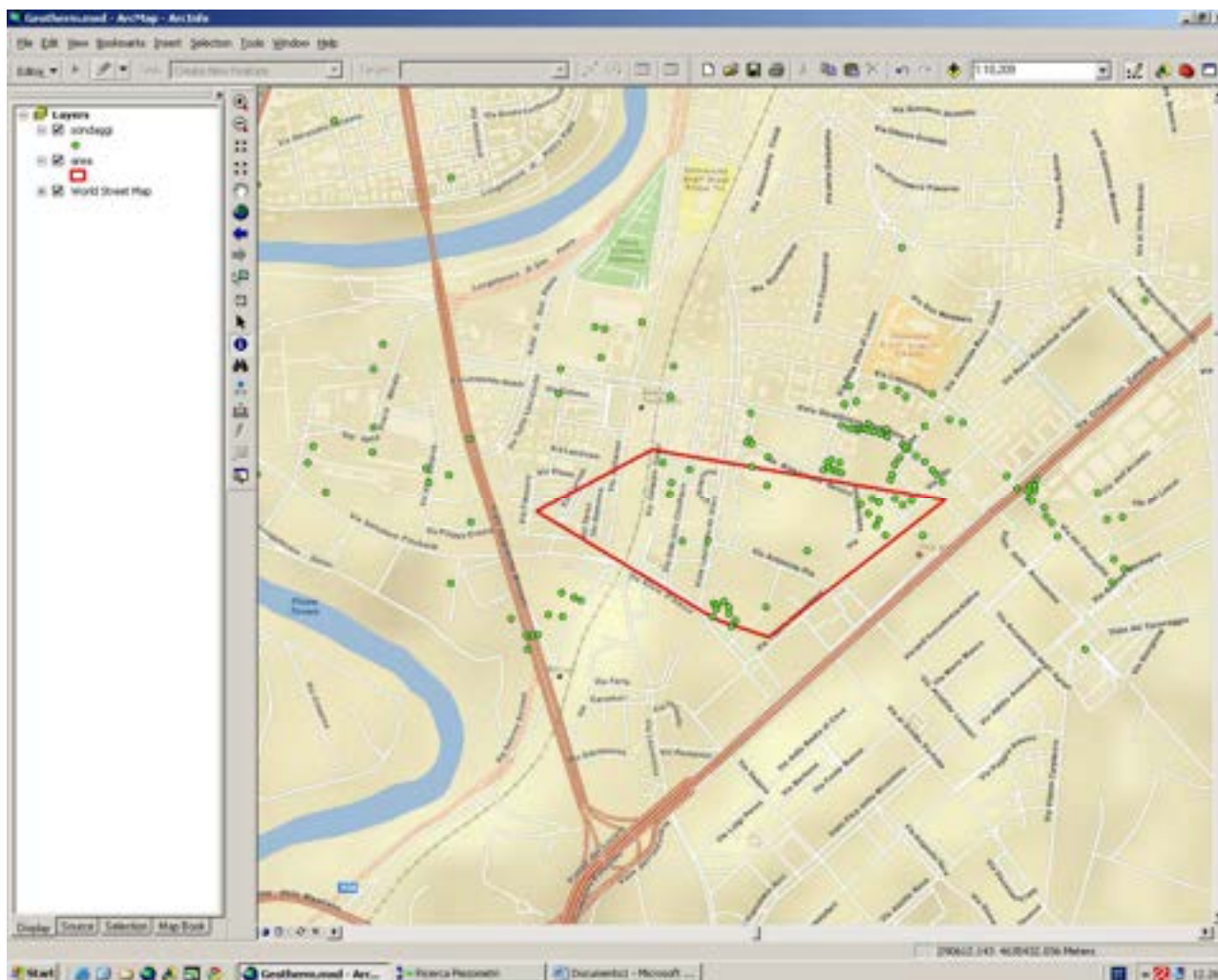


Fig.1 – visualizzazione iniziale del progetto

OPERAZIONI DI INTERROGAZIONE:

le operazioni di interrogazione e analisi possibili si ottengono attraverso:

- **operatore "i" (identify)**

clickando sulla "i" nella barra *tools* e poi sugli oggetti nella mappa, si visualizzerà una tabella che riporta le informazioni relative all'oggetto. In modo particolare, clickando sui sondaggi, si aprirà una tabella che, in prima istanza, riporterà il codice del sondaggio e le sue informazioni generali (fig.2).

The screenshot shows the QGIS desktop application. The main map area displays a river (blue) and surrounding land (tan). A 'Properties' dialog box is open for the 'LineString' layer. The dialog has a 'Layer' tab selected, showing the layer's name, location, and various properties. The 'LineString' layer is highlighted in the 'Layers' panel on the left. The 'Properties' dialog shows the layer's name, location, and various properties like length and area.

31

Cliccando sul “+” del codice del sondaggio si aprirà il menù relativo alle caratteristiche fisiche, termiche, idrogeologiche e stratigrafiche individuate dall’interpretazione e l’analisi del sondaggio (fig.6).

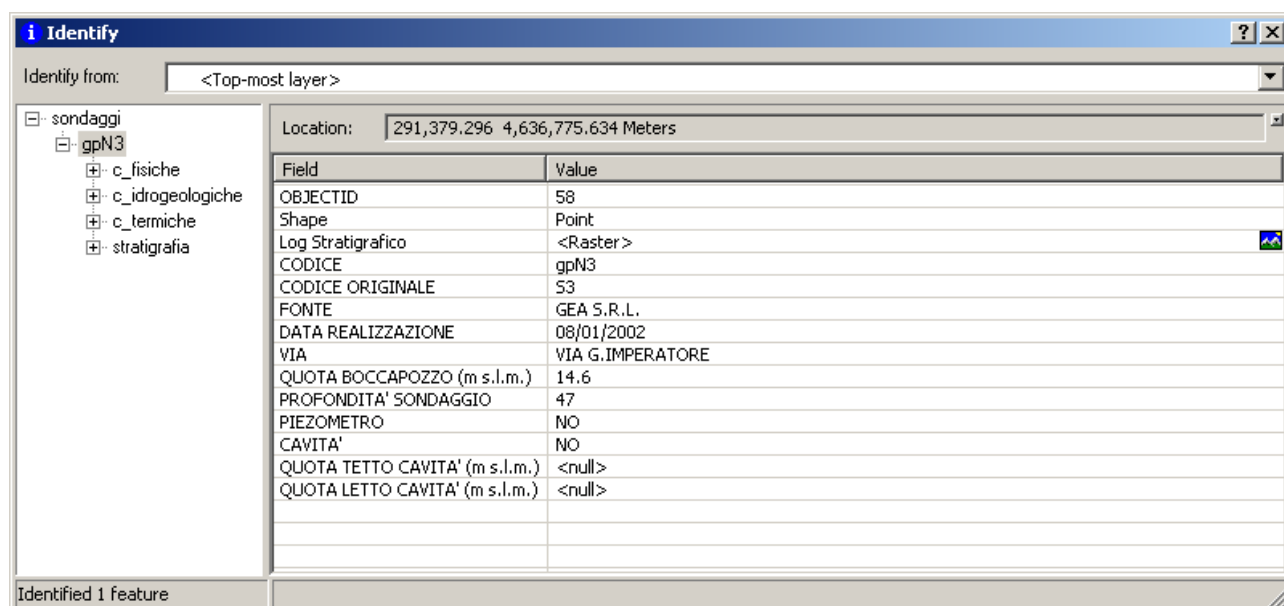


Fig.6 – attributi associati al sondaggio geognostico

In “caratteristiche fisiche” si individuano le caratteristiche fisiche relative alle diverse litologie incontrate nel corso del carotaggio al variare della profondità dal p.c. espresse in m (00m dal p.c., 01m dal p.c., e così via) (fig.7)

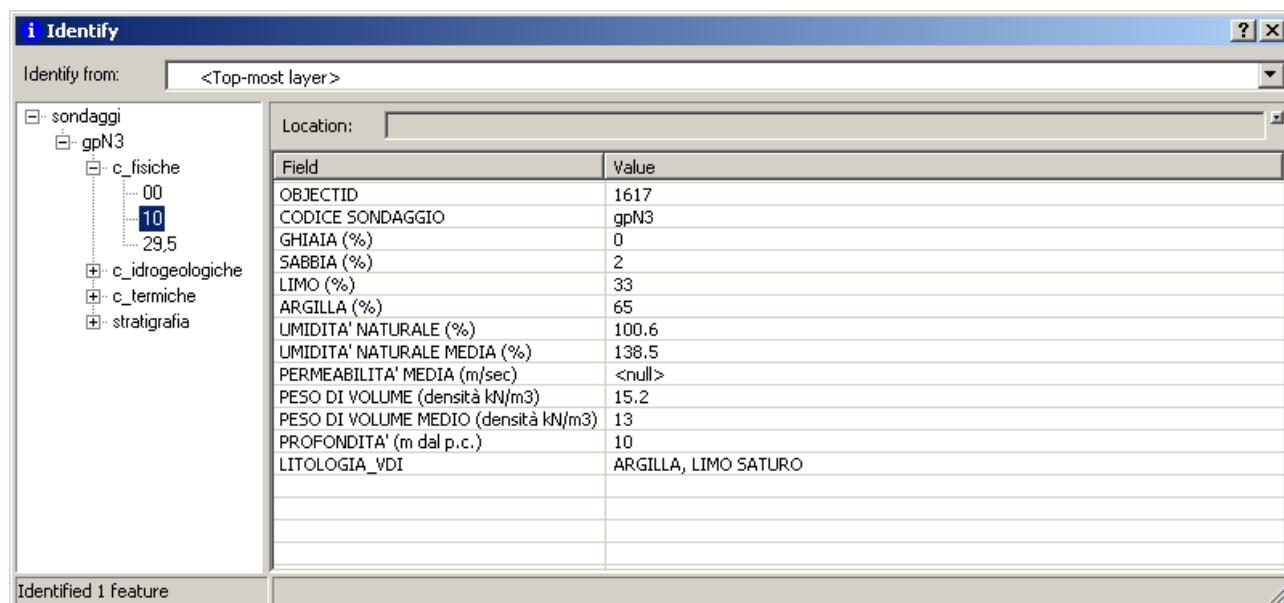


Fig.7 – attributi relativi alle caratteristiche fisiche delle litologie intercettate dal sondaggio geognostico

Mentre per caratteristiche fisiche, termiche e per la stratigrafia gli step relativi alle varie descrizioni sono univoci ed individuati dalla variazione delle litologie incontrate, per le caratteristiche idrogeologiche è presente una sola profondità (dal piano campagna) relativa alla quota in cui è stata individuata la falda acquifera (fig.7)

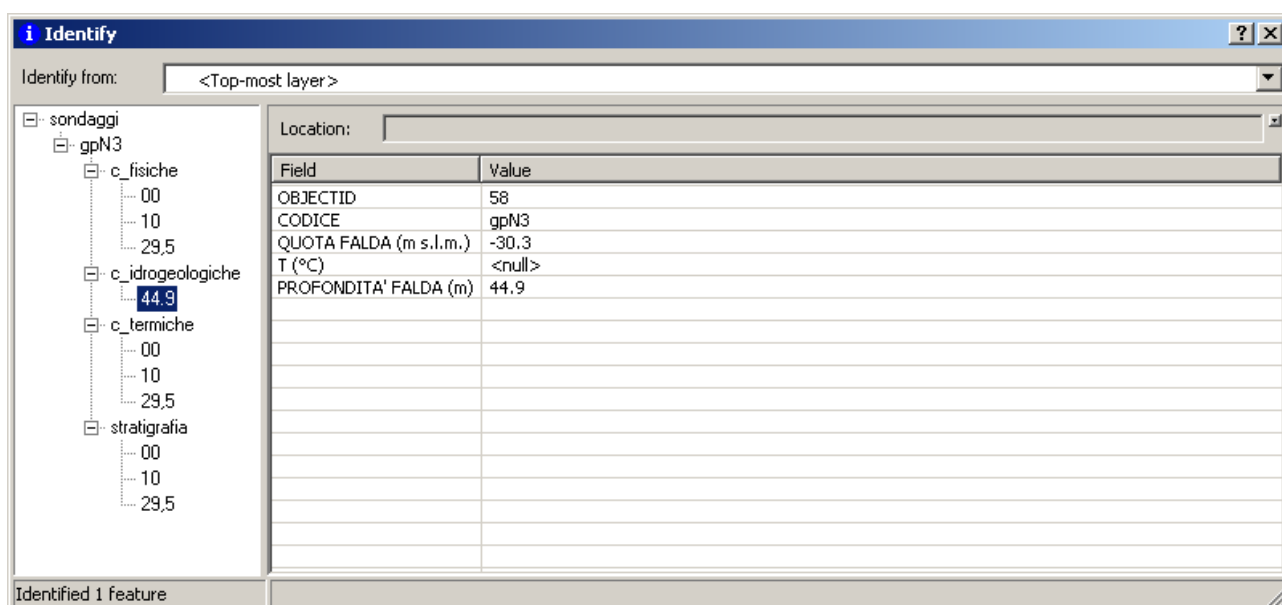


Fig.8 – attributi relativi alle caratteristiche idrogeologiche dedotte dalle descrizioni riportate nei log stratigrafici

Naturalmente nelle caratteristiche stratigrafiche le variazioni litologiche oltre che in profondità dal p.c. sono anche espresse in quote assolute (m s.l.m.) (fig.9)

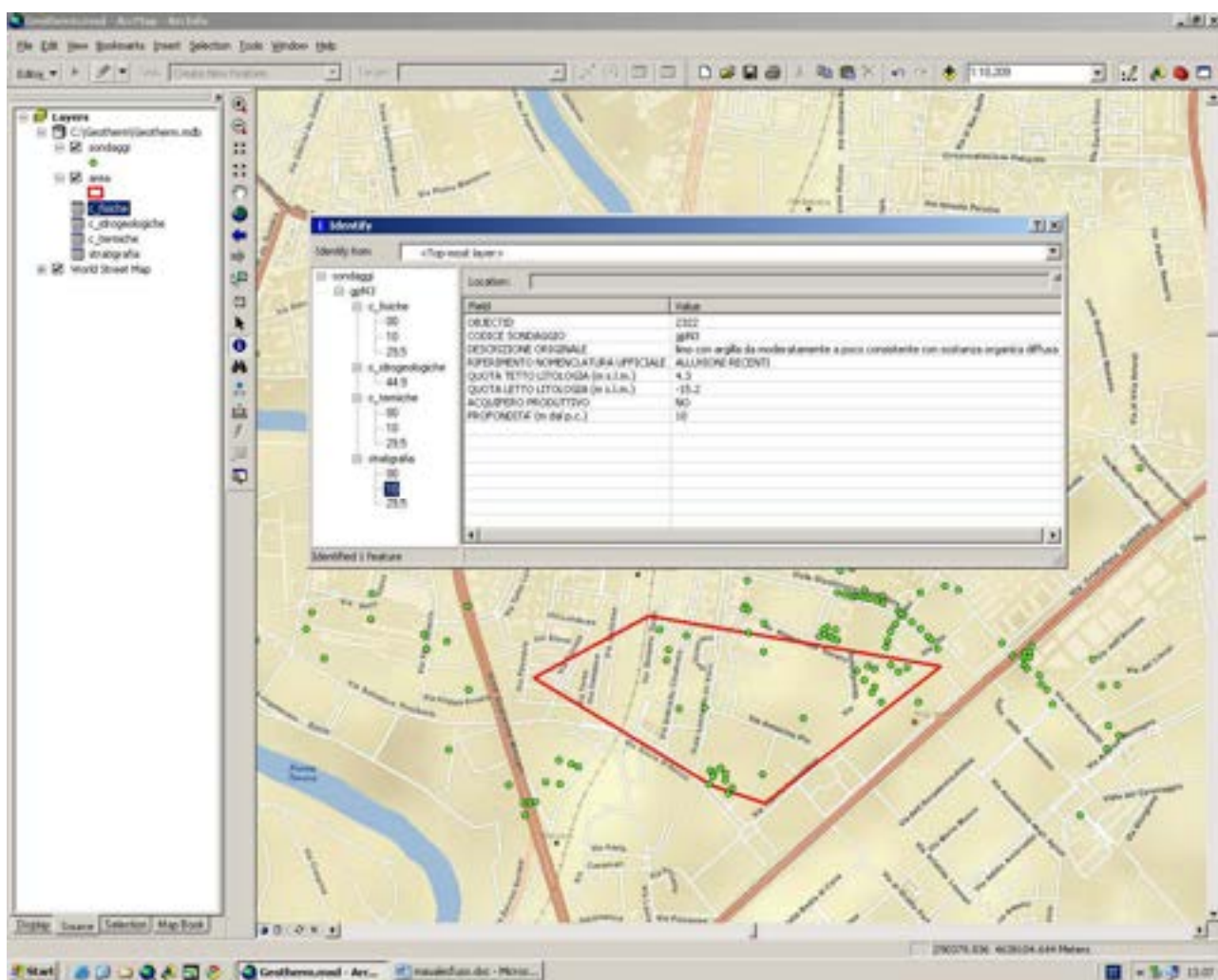


Fig.9 – attributi relativi alla sequenza stratigrafica definita dal log

Le caratteristiche termiche sono visualizzate sempre a seconda delle diverse profondità dal p.c. (fig.10).

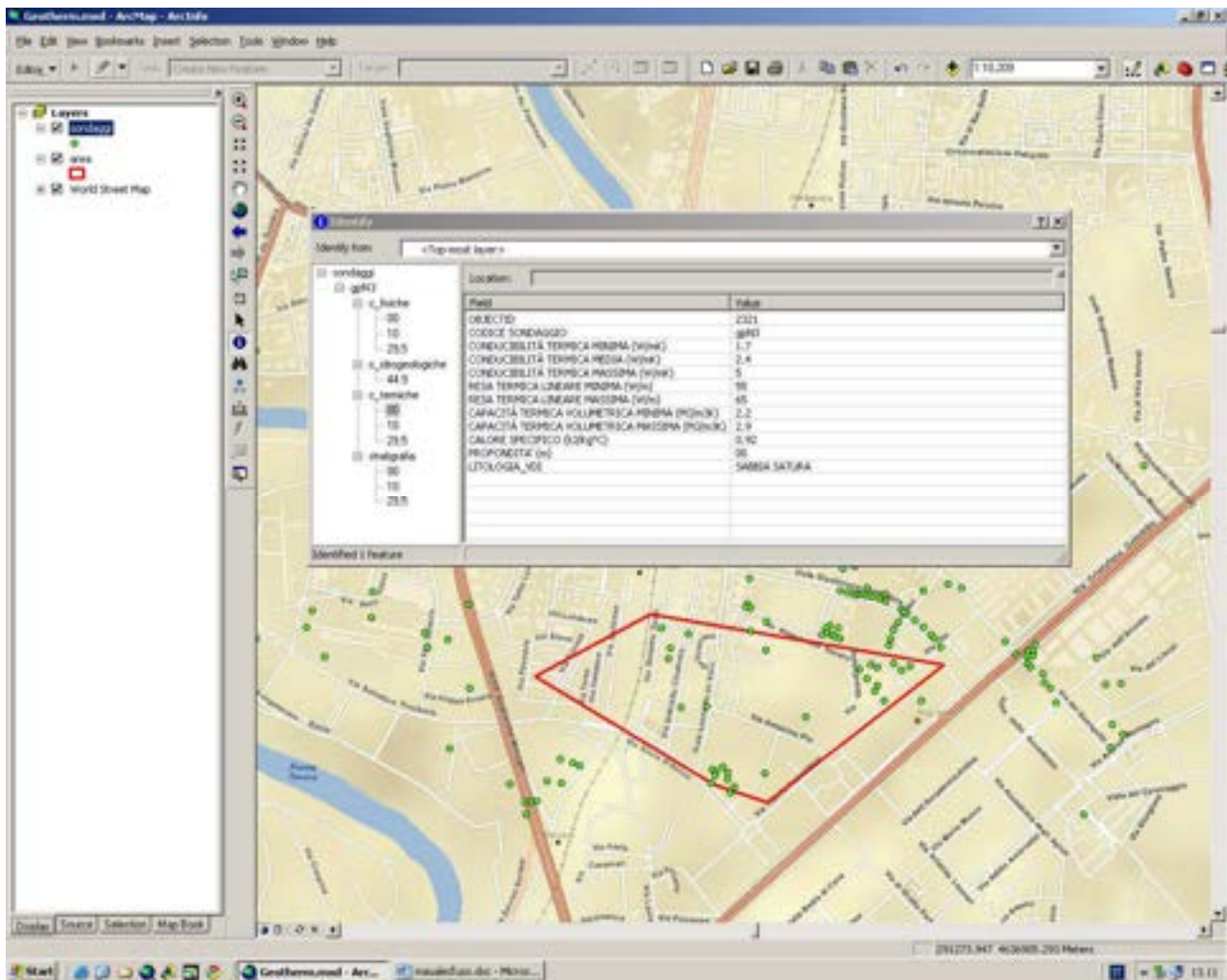


Fig.10 - attributi relativi alle caratteristiche termiche delle litologie intercettate dal sondaggio geognostico

- Query

Attraverso le query è possibile interrogare il sistema individuando aree di indagine. Queste aree si ottengono editando il poligono "area" già presente nella *table of contents* o creandone uno nuovo. L'editing dell'area o la creazione di una nuova si effettua cliccando sul *editor* e poi su "start editing" (fig.11)

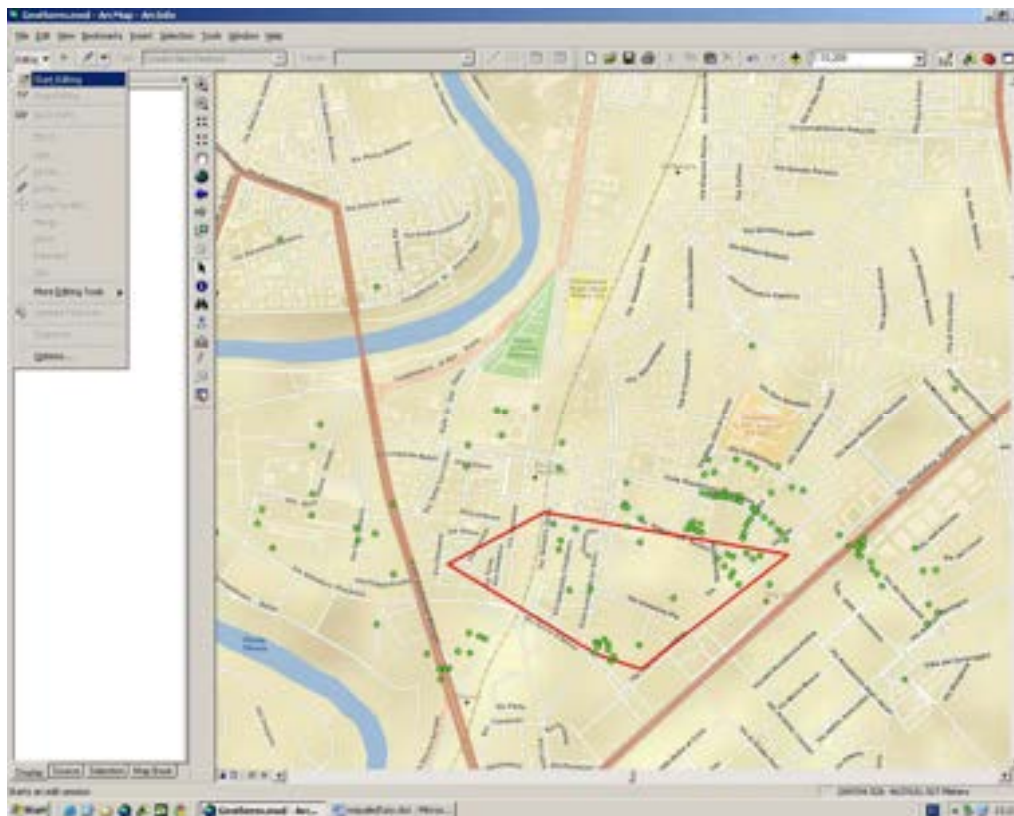


Fig.11 – editazione attraverso modifica dell'area in studio

Se si vuole creare una nuova area nello *shape* delle aree si dovrà scegliere, nel menù a tendina, “*create new feature*” e usare come *target* “*area*” fig. 12.

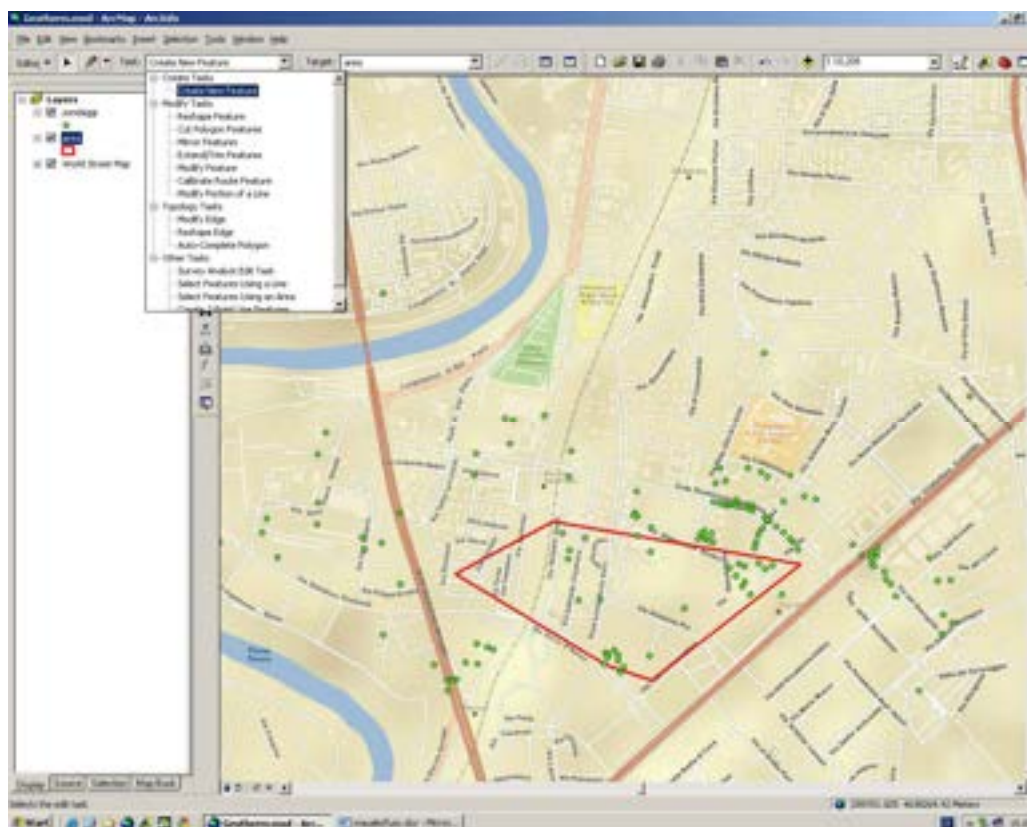


Fig.12 – editazione attraverso creazione ex novo di una ulteriore area

Si cliccherà poi sulla matita nella barra dell'*editor* e si creerà la nuova area (per chiudere il poligono doppio clic) fig. 13 e 14.
Andando su *editor* e su *save edits* e *stop editing* si procederà al salvataggio della nuova area.

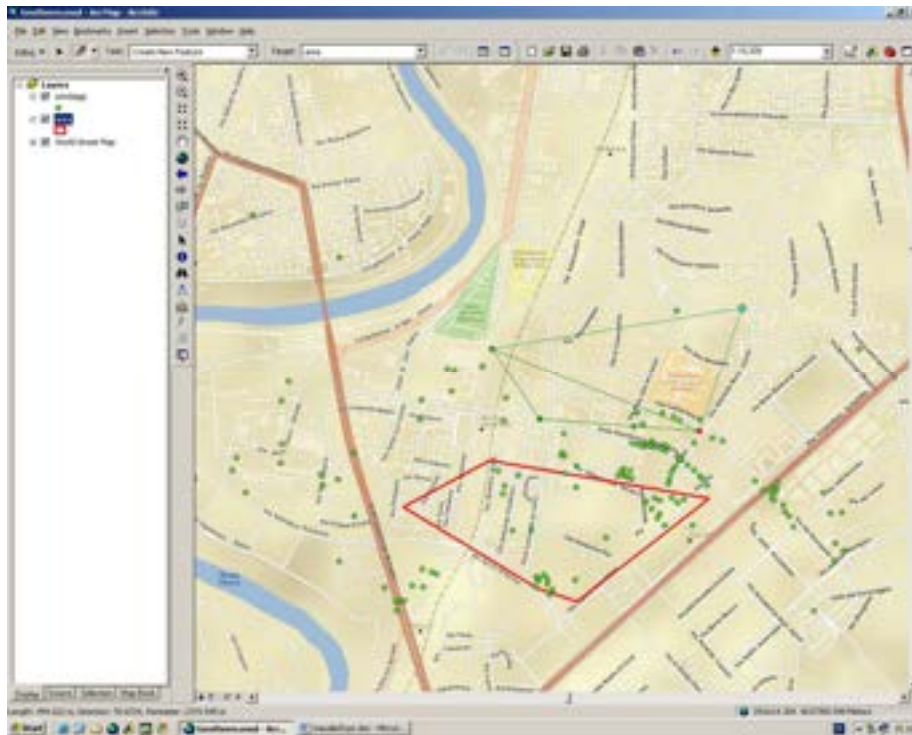


Fig.13 – creazione attraverso il tool “matita” dell’area

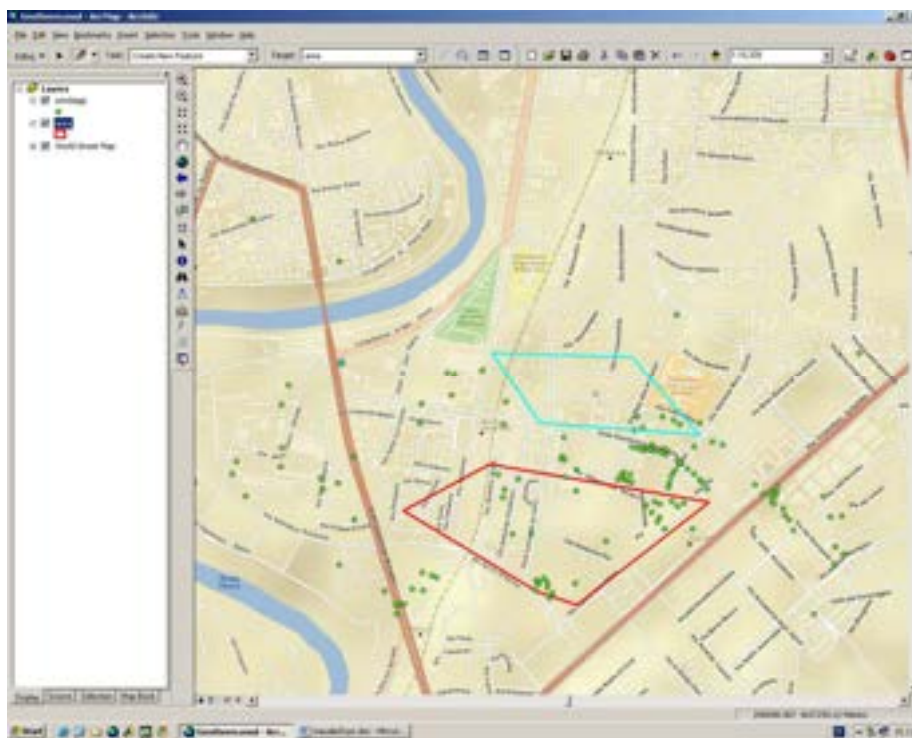


Fig.14 – il nuovo poligono relativo all’area di studio

Qualora si voglia modificare l’area già esistente, nella barra dell'*editor* si dovrà impostare “*modify task*” avendo sempre come *target* “*area*” (fig.15).

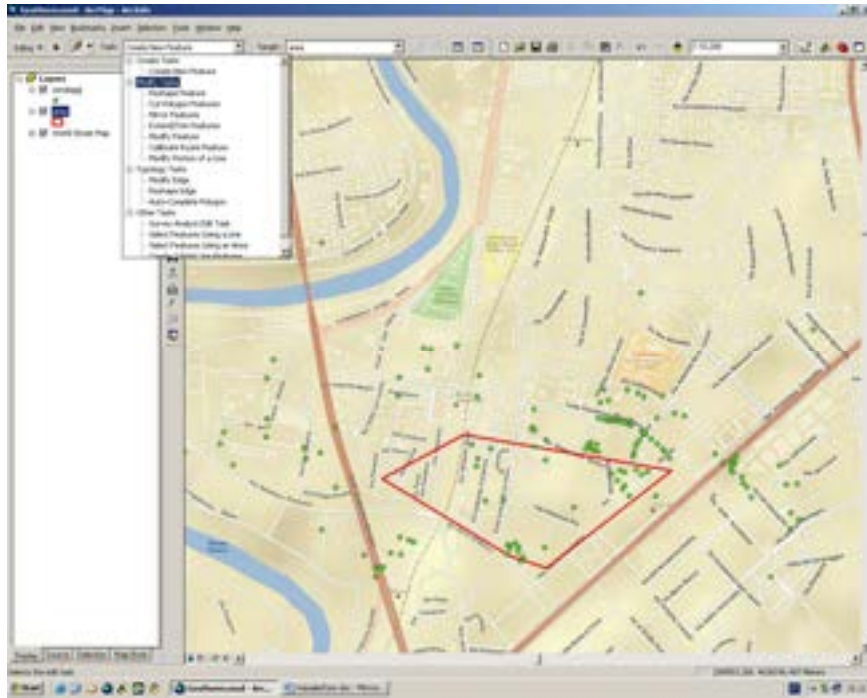


Fig.15 – modifica dell'area già esistente

Questa volta invece di andare sulla matita si cliccherà sulla freccia nera fig.16

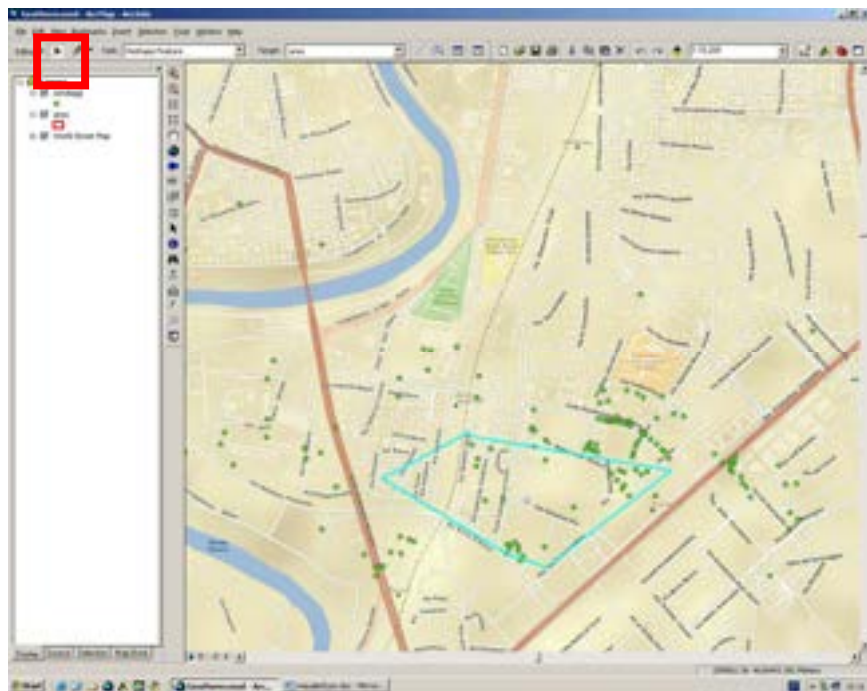


Fig.16 – tool per la modifica del poligono

Con doppio clic sul poligono si evidenzieranno i vertici che potranno essere spostati (fig.17)

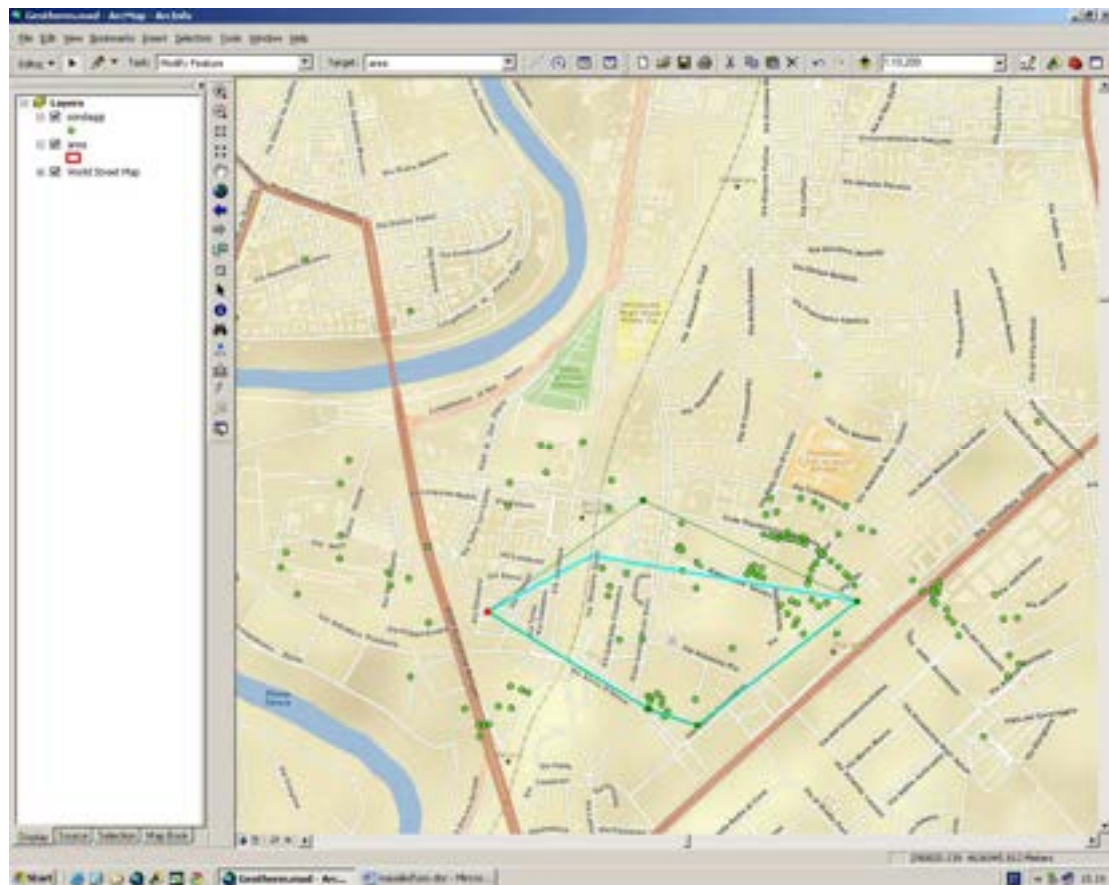


Fig.17 – modifica del poligono relativo all'area di studio

Cliccando su *editor* e impostando il *save edits* e lo *stop editing* l'area verrà salvata con la nuova forma.

Una volta stabilita l'area di indagine si può procedere alle *query*.

Qualora non sia già disponibile la barra delle *query* si troverà tra cliccando con il tasto destro nello spazio riservato ai vari menù sotto il nome "**geotherm**" (fig.18).

La barra è costituita da 6 simboli diversi e da un menù a tendina (fig.19)

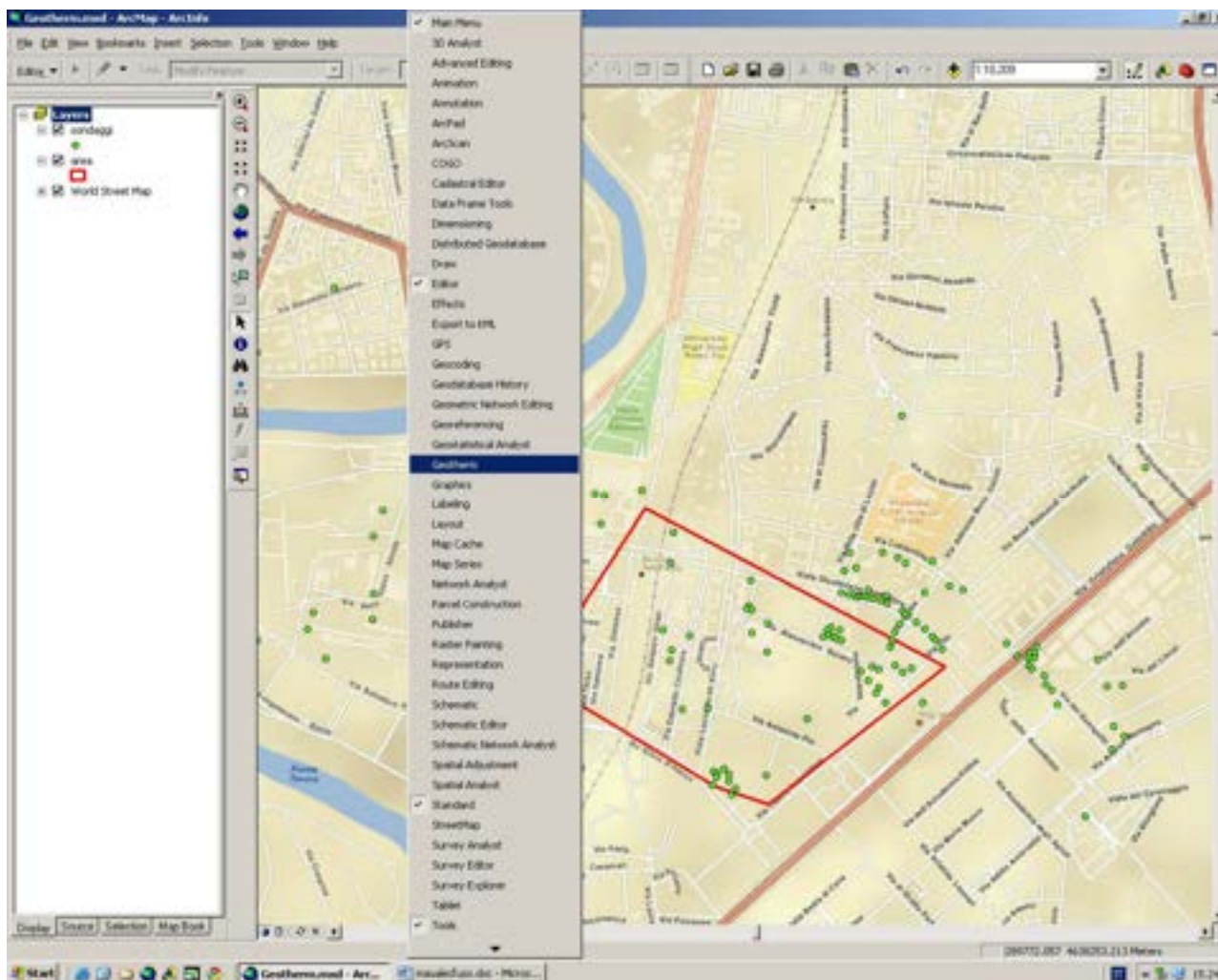


Fig.18 – ricerca della barra delle query



Fig.19 – barra delle query "geotherm"

Nel menù "**Ricerca**" c'è la possibilità di effettuare le seguenti ricerche (fig.20).

Ricerca capacità termica min: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una capacità termica minima $\geq$ del valore digitato

Ricerca capacità termica max: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una capacità termica massima $\leq$ del valore digitato

Ricerca conducibilità termica minima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una conducibilità termica minima $\geq$ del valore digitato

Ricerca conducibilità termica media: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una conducibilità termica media $\geq$ del valore digitato

Ricerca conducibilità termica massima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una conducibilità termica massima $\leq$ del valore digitato

Ricerca resa termica lineare minima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una resa termica lineare minima $\geq$ del valore digitato

Ricerca resa termica lineare massima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una resa termica lineare massima $\geq$ del valore digitato

Ricerca umidità naturale e umidità naturale media: Ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno un valore di umidità naturale percentuale $\geq$ del valore digitato

Ricerca Peso di Volume e peso di volume medio (densità): Ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno un valore di Peso di volume $\geq$ del valore digitato

Ricerca piezometri: ricerca ed evidenzia nell'area scelta tutti i fori di sondaggio attrezzati (o non attrezzati) con piezometro

Ricerca cavità: ricerca ed evidenzia nell'area scelta tutti i sondaggi che hanno individuato (o non individuato) ipogei o cavità

Carica geologia: ritaglia nell'area di studio il vettoriale della geologia

Carica isofreatiche: ritaglia nell'area di studio il vettoriale delle isofreatiche

Carica sezioni: seleziona le sezioni presenti nell'area di studio

Carica sondaggi: seleziona i sondaggi presenti nell'area di studio

Carica pozzi: seleziona i pozzi presenti nell'area di studio

Calcola spessori: definisce nell'area di studio il raster delle quote relative al tetto e al letto dell'acquifero principale (m s.l.m.) e il raster relativo al suo spessore (m)

Esporta in dbf: esporta in .dbf le tabelle relative alle caratteristiche dei sondaggi selezionati (all'interno dell'area di studio o attraverso selezione)

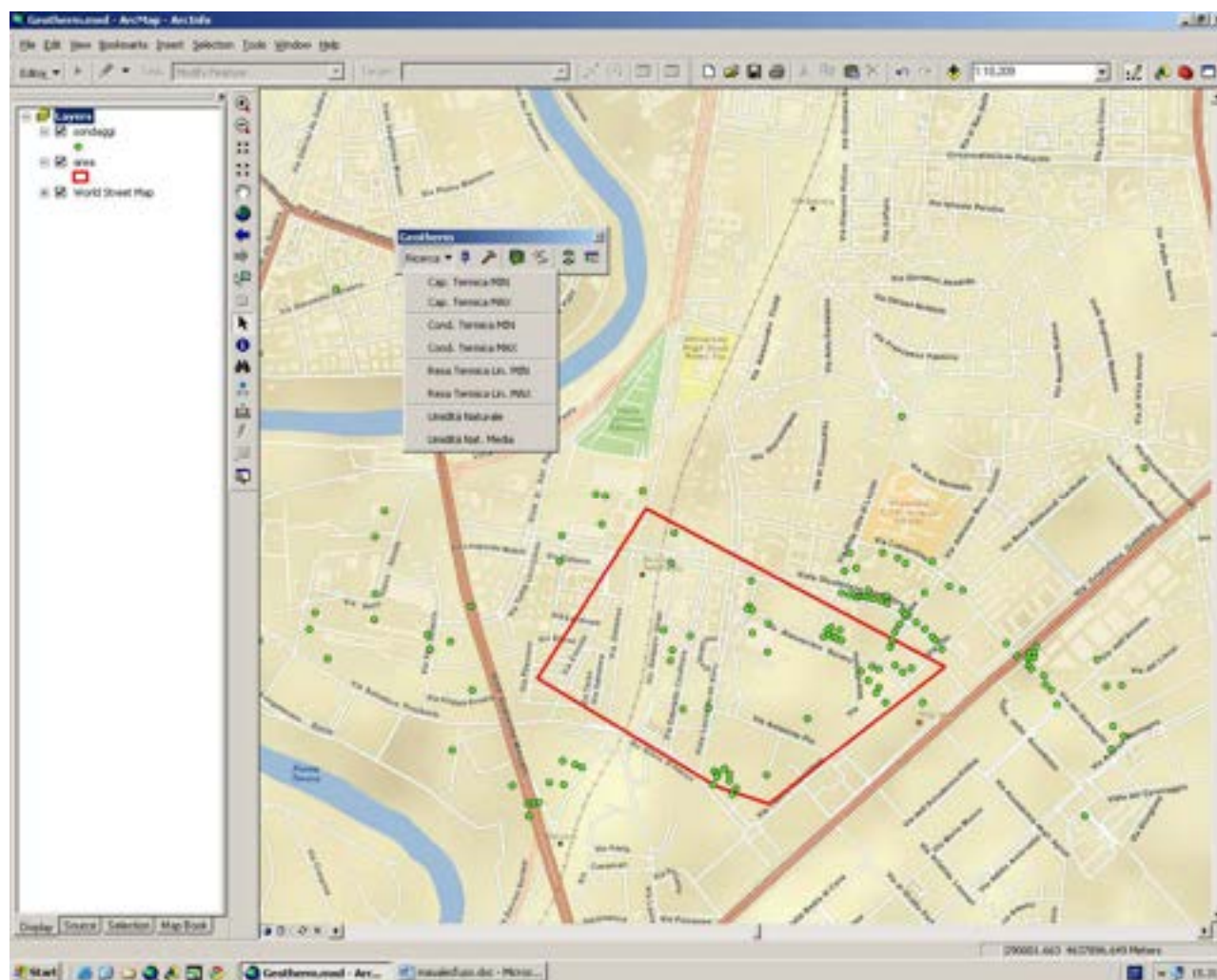


Fig. 20 – ricerca dei sondaggi che soddisfano le condizioni digitate nelle varie caratteristiche

Cliccando nel menù a tendina e scegliendo le caratteristiche che si intendono ricercare si aprirà una finestra di dialogo (fig.21) in cui verranno richieste le varie opzioni di ricerca.

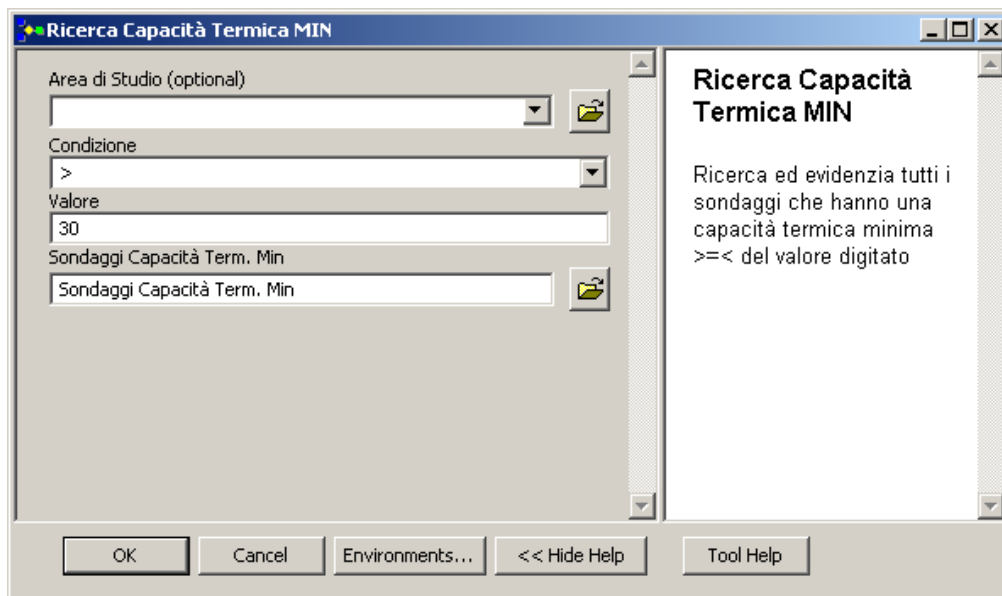


Fig.21 – maschera relativa alla *query* che ricerca tutti i sondaggi, in una determinata area, che soddisfano le condizioni digitate

In questo caso nella *scroll bar* di area di studio si potrà scegliere l'area già editata o creata precedentemente, la condizione (fig.22), il valore e il nome e la collocazione che si intende dare al file di output (ovvero al file relativo a tutti quei sondaggi che rispettano le condizioni digitate).

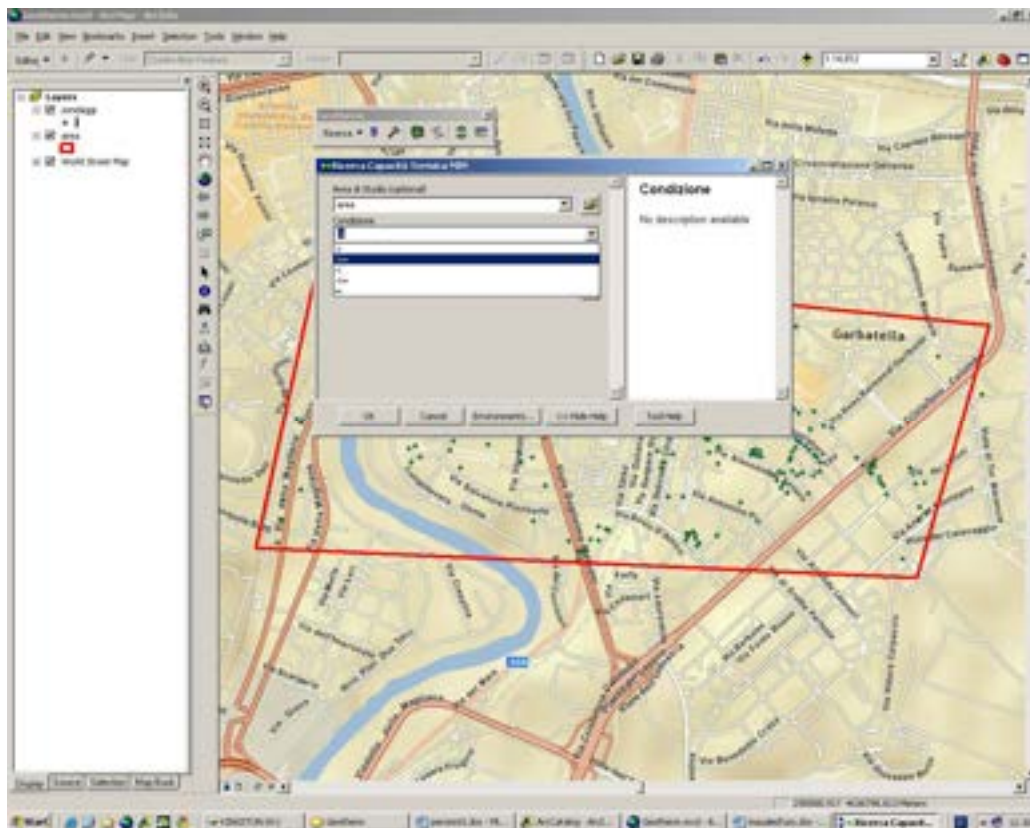


Fig.22 – scelta dell'operatore

La barra di interrogazione possiede anche dei simboli, il primo, la “puntina”, è il *tool* per la ricerca dei sondaggi che sono stati attrezzati con un piezometro (fig. 23)

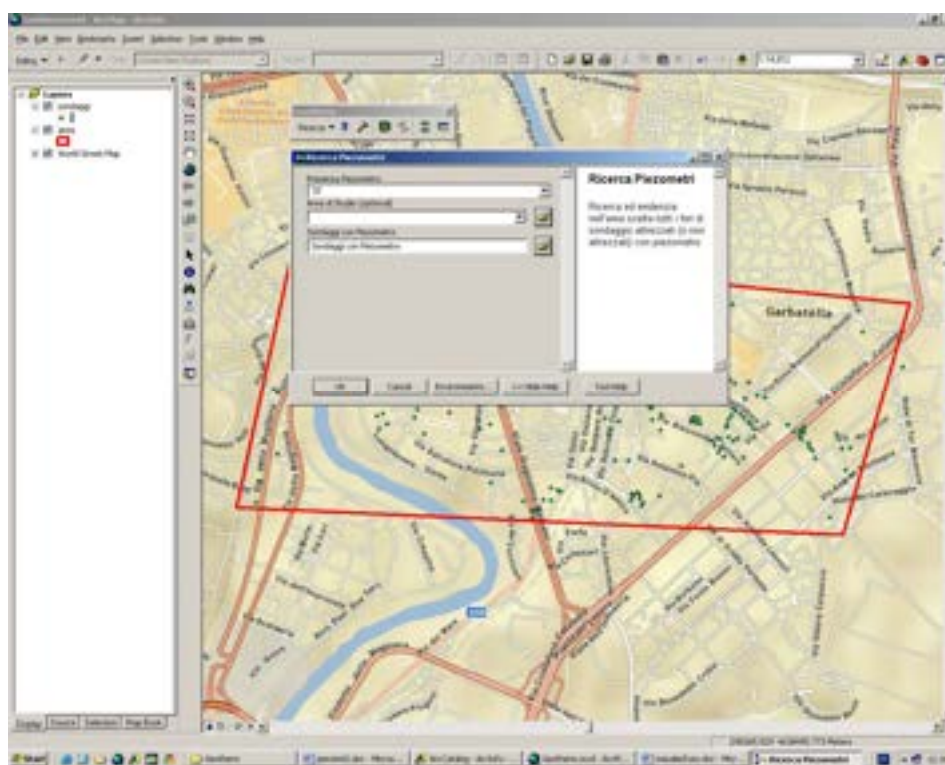


Fig.23 – query per la ricerca dei sondaggi attrezzati con piezometro nell'area di studio

Anche in questo caso il primo menù a tendina permette di stabilire la condizione sondaggi con piezometro si/no, l'area di studio e il nome di output.

Similmente per il tool “martello” che **ricerca i sondaggi** che hanno individuato delle cavità (fig.24), per il *tool* “layer” che carica e taglia secondo l'area di studio lo **shp della geologia**, il tool “linea” che carica e taglia secondo l'area selezionata **le curve isofreatiche**, il tool “strati” che calcola l'**IDW** del tetto, del letto e lo spessore dell'acquifero principale individuato nell'area di studio e il tool “tabella” che **esporta in .dbf** le tabelle degli attributi dei sondaggi individuati nelle precedenti ricerche.

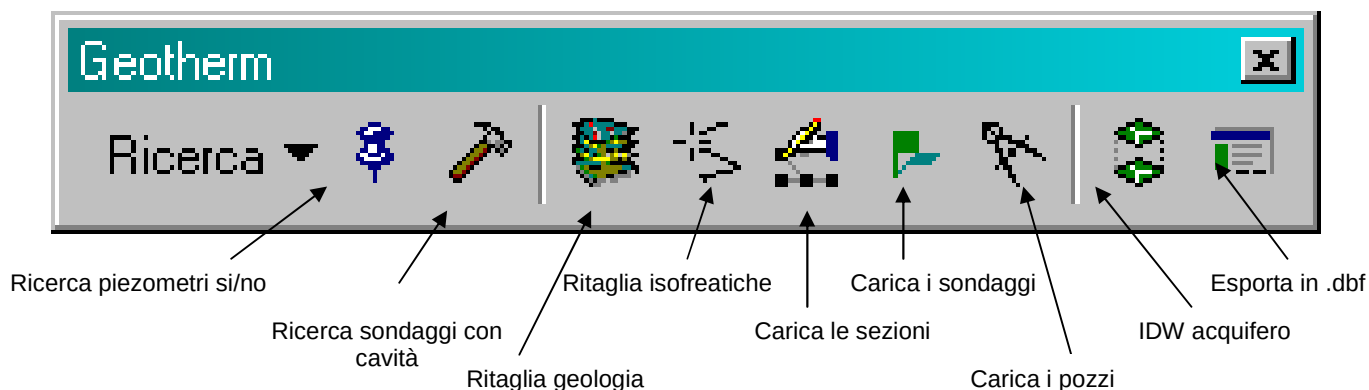


Fig.24 – barra dei *tools* per le query

I risultati della ricerche vengono immediatamente visualizzati nella tabella dei contenuti (*table of contents*) fig. 25.

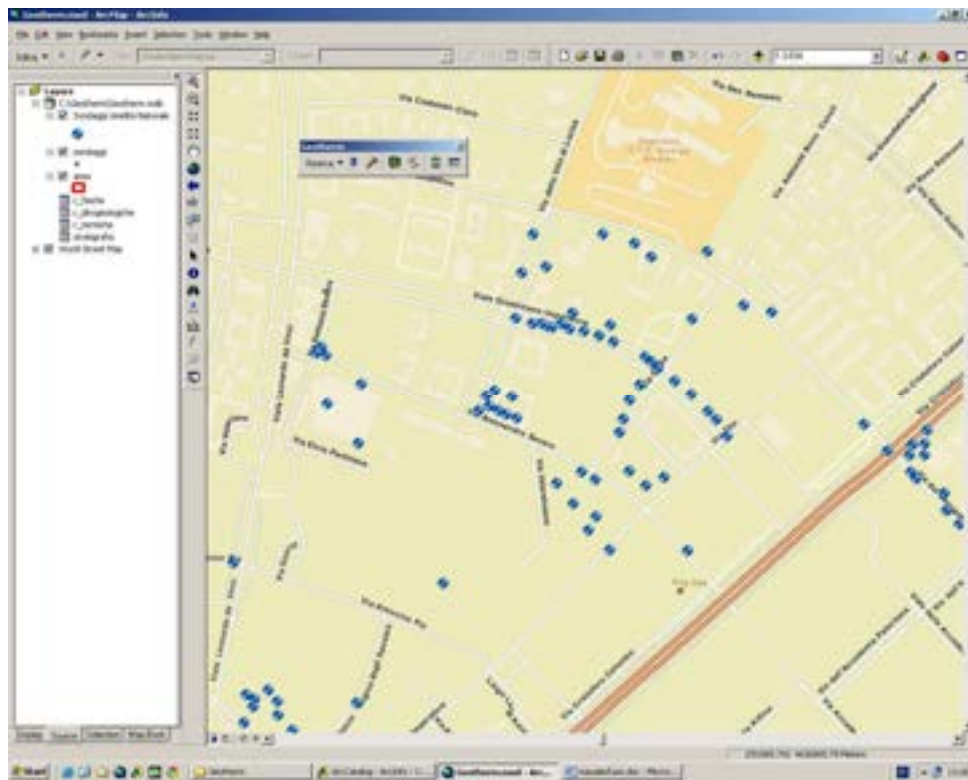


Fig.25 – output derivato dalla query

Tali risultati possono essere salvati esportandoli in qualsiasi cartella precedentemente creata cliccando con il tasto destro sul layer – *data* – *export data* (fig.26).

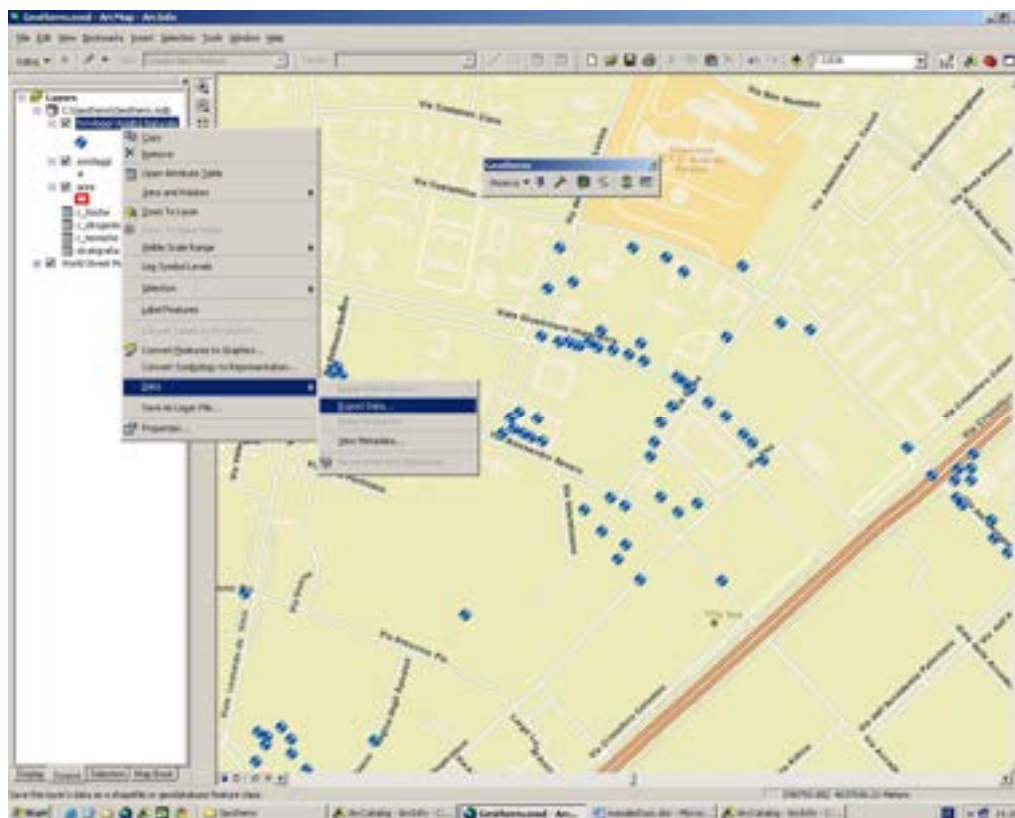


Fig.26 – salvataggio dei dati di output attraverso esportazione

Come prima accennato, è possibile esportare le tabelle degli attributi che interessano in .dbf. ottenendo tabelle in .dbf relative alle caratteristiche fisiche, termiche, idrogeologiche e stratigrafiche dei sondaggi derivati dalle *query* (fig.27)

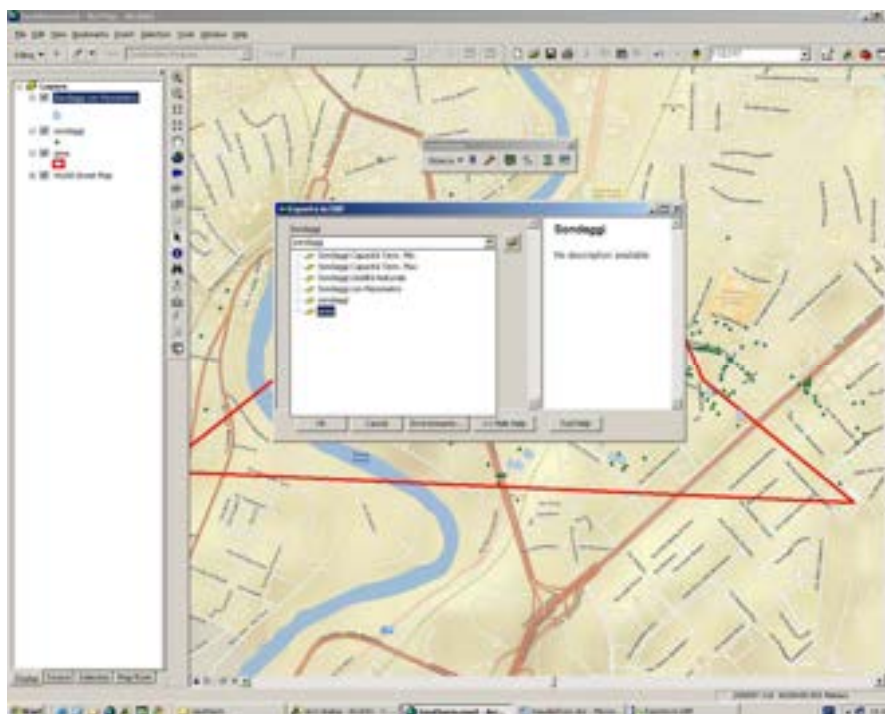


Fig. 27 – shape file derivati dalle query

Queste tabelle saranno salvate nella sottocartella “dbf” all’interno della cartella “Geotherm” che contiene tutto il progetto e il geodatabase con il nome del file scelto dall’utente (fig.28).

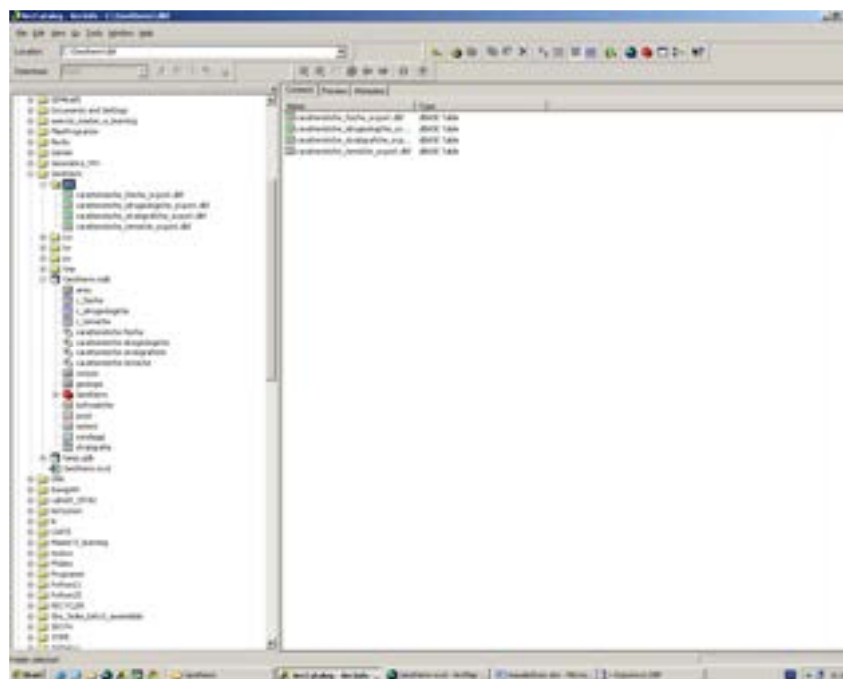


Fig.28 – destinazione delle tabelle degli attributi in .dbf relative ai dati selezionati tramite *query*

Nell’esportazione dei dati in .dbf i nomi dei campi vengono modificati. Non potendo ovviare in altro modo nella cartella GEOTHERM->dbf->nomenclatura campi è inserito un file .xls che permette di identificare l’effettiva nomenclatura.

**Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico
Sostenibile**



**Università degli Studi Roma TRE
Dipartimento di Scienze Geologiche**



**Strutturazione di una banca dati in ambiente G.I.S. per lo
sviluppo di impianti innovativi finalizzati alla gestione delle
georisorse**

RELAZIONE
e
MANUALE D'USO

settembre 2010

Responsabile Scientifico:
Prof. Annibale Mottana

Coordinatore del progetto:
dott. Maria Paola Campolunghi

Indice

1. Introduzione	2
2. La legislazione italiana in materia	3
3. Le esperienze internazionali e italiane in materia di energia a bassa entalpia	3
4. La geologia nella geotermia a bassa entalpia: i parametri significativi e le norme VDI	4
5. il percorso analitico	6
6. Descrizione Geodatabase	7
7. Strumenti di interrogazione	12
8. Strumenti di Analisi	13
9. Il Modello di analisi	14
10. La scalabilità del sistema	17
11. L'esempio di Roma, l'area di San Paolo – V.le Giustiniano Imperatore	17
12. I casi di Palermo, Napoli e Milano	19
<i>12.1 Milano</i>	<i>19</i>
<i>12.2 Napoli</i>	<i>22</i>
<i>12.3 Palermo</i>	<i>24</i>
13. Conclusioni	25
14. Bibliografia	26
15. Ringraziamenti	27
MANUALE D'USO	28

1. Introduzione

A seguito dell'Accordo di Collaborazione stipulato tra l'E.N.E.A. e il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi di Roma "Roma TRE", si è svolta una ricerca finalizzata alla realizzazione di una banca dati in ambiente *G.I.S.* per lo sviluppo di impianti innovativi per la gestione delle georisorse con particolare attenzione alle risorse geotermiche a bassa entalpia.

La ricerca ha condotto alla realizzazione di un *geodatabase* atto ad archiviare i dati ambientali e geologici necessari alla realizzazione di analisi complesse mirate alla mappatura delle fattibilità territoriali per l'installazione di impianti geotermici con sonde verticali (SGV).

Il geodatabase è stato testato su un' area campione della città di Roma al fine di verificare le potenzialità, la funzionalità e la scalabilità del modello di analisi.

Tale modello, presentato nelle pagine seguenti, rappresenta uno strumento strategico di supporto alla pianificazione ambientale di possibile utilizzo da parte degli Enti locali per l'identificazione delle potenzialità geotermiche territoriali e per la programmazione delle attività di gestione.

Lo sviluppo di strumenti di analisi guidata è di fondamentale importanza per l'utilizzo delle diverse funzionalità di zonizzazione geografica offerta dai sistemi informativi territoriali. Gli strumenti sviluppati, anche se sottendono ad una conoscenza approfondita degli algoritmi di analisi, sono utilizzabili attraverso maschere semplificate. In tal modo anche l'utente non esperto può eseguire studi complessi utilizzando i dati archiviati nel geodatabase. Infine l'utente può individuare aree geografiche a diversa propensione per lo sviluppo di impianti geotermici, definendo semplicemente i parametri chiave della ricerca da menù semplificati sviluppati ad hoc all'interno del software.

Il geodatabase è stato inoltre implementato con dati relativi alle città di Milano, Napoli e Palermo finalizzati alla produzione di simulazioni del comportamento di impianti di climatizzazione in queste località riferite a 3 tipi di edifici diversi per tipologia costruttiva.

Le informazioni prodotte, di carattere indicativo e generale, non sostituiscono lo studio approfondito per la progettazione di un impianto geotermico ma comunque definiscono le informazioni di base necessarie e propedeutiche alla strutturazione degli studi di dettaglio da condurre direttamente *in situ*.

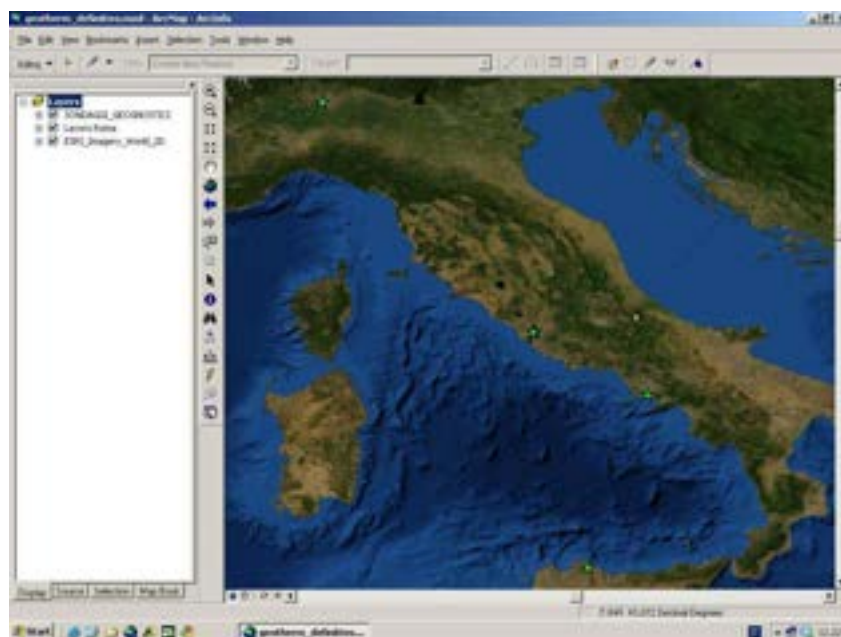


Fig.1 – visualizzazione del progetto in ArcGis.9.3.

2. La legislazione italiana in materia

L'11 febbraio 2010 è stato approvato il Decreto Legislativo n. 22/2010 "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della legge 23 luglio 2009, n. 99". Con questo decreto (pubblicato in GU n. 45 del 24-2-2010) che è entrato in vigore l'11/03/2010, il Governo ha introdotto un primo elemento di chiarezza sull'applicazione della geotermia a bassa temperatura nel nostro paese. Tutti gli impianti di potenza inferiore a 2MW termici, sia a circuito aperto che a circuito chiuso, vengono definiti "piccole utilizzazioni locali" e sono di competenza delle Regioni (o degli Enti da esse delegate) con "funzioni amministrative, comprese le funzioni di vigilanza".

Dei due decreti previsti in materia di geotermia dalla Legge 99/2009, non è contemplato quello relativo alle sonde geotermiche verticali.

Diventa perciò ancora più importante ora l'emanazione delle "procedure semplificate" da parte delle Regioni che serviranno a regolamentare un segmento di settore in forte espansione, al fine di promuoverne uno sviluppo corretto sia in termini di efficienza energetica che di tutela ambientale.

3. Le esperienze internazionali e italiane in materia di energia a bassa entalpia

L'Italia è ancora agli esordi in materia di coltivazione geotermica a bassa entalpia rispetto alla Germania, alla Svizzera e alla Svezia.

La causa principale di questo ritardo è di natura burocratica: fino all'anno scorso mancava chiarezza, soprattutto per le richieste di sonde geotermiche. Solo dal 2008 nel nostro paese si è riscontrato un significativo aumento d'impianti geotermici di medie dimensioni, ma lo sfruttamento di questa forma di energia è ancora molto basso, soprattutto se si considerano le sue potenzialità illimitate. Il secondo motivo che rende contenuto lo sviluppo della geotermia a bassa entalpia, riguarda il costo della corrente elettrica che in Italia è molto superiore rispetto ai paesi dove questi sistemi sono utilizzati da decenni come Svezia, Canada, Stati Uniti e Giappone.

Nel 2008, sono stati comunque installati sistemi per una potenza energetica superiore ai 10Mw. Nel 2009 l'attenzione verso questa risorsa è cresciuta, considerata l'instabilità del costo delle tradizionali fonti energetiche e la crescente attenzione al rispetto ambientale. Si può ipotizzare che nel 2010 la quantità di MW geotermici decuplicherà rispetto al 2008 (da: Energia 24 n°17 - ottobre 2009).

Ed è proprio negli ultimi due anni che le regioni si stanno muovendo con maggiore sollecitudine a tal proposito.

La regione Lombardia ha recentemente realizzato una Carta Geoenergetica a seguito dell'approvazione della d.g.r. 30 dicembre 2009 n. 10965 "Criteri per la redazione della Carta Geoenergetica regionale in attuazione dell'art. 10, comma 7, della l.r.n. 24/2006".

Altre regioni stanno intraprendendo studi al fine di ottimizzare le performance delle sonde geotermiche in relazione alle caratteristiche geologiche dei loro territori.

Nel 2009 è stata presentata nel corso del 3° convegno A.I.G.A. una ricerca finalizzata a definire i contributi delle scienze Geologiche alla progettazione degli impianti geotermici a bassa entalpia (Pasquini A., 2009) con le relative applicazioni alla regione Toscana.

Tutti gli studi fino ad ora intrapresi fanno riferimento alle esperienze maturate dai paesi del nord Europa ed in modo particolare dalla Germania, che negli anni '80 vide il boom della vendita delle pompe di calore a causa della crisi petrolifera.

Nel 1995 l'Associazione Tedesca degli Ingegneri V.D.I. (Verein Deutscher Ingenieure) ha redatto le linee guida che definiscono lo stato dell'arte della tecnologia in campo geotermico, gli aspetti ambientali, componenti strumentali e le procedure di installazione delle sonde.

In modo particolare (vedi cap. 4) vengono prese come riferimento universale le VDI Richtlinien 4060 blatt 1 e 2 che identificano, in funzione delle diverse litologie, la conduttività del terreno, la capacità termica volumetrica e la resa termica lineare.

Questi parametri risultano di fondamentale importanza nella zonizzazione di un territorio in base alla sua “produttività” geotermica.

4. La geologia nella geotermia a bassa entalpia: i parametri significativi e le norme VDI

Gli scambiatori geotermici non sfruttano direttamente il gradiente di temperatura come accade nella geotermia ad alta entalpia ma basano il loro funzionamento sulla differenza di temperatura tra sottosuolo e superficie.

La temperatura del sottosuolo dipende direttamente dalle caratteristiche fisiche dello stesso.

Al fine di giungere alla caratterizzazione territoriale geotermica si rende necessario, quindi, effettuare studi che modellizzino le condizioni termiche degli ambienti posti agli estremi della sonda.

Ciò prevede una conoscenza dettagliata della geomorfologia di superficie e delle caratteristiche microclimatiche, dell'assetto geologico ed idrogeologico del sottosuolo e dei relativi parametri fisici.

In questo ambito la modellizzazione 3d assume un ruolo di primaria importanza in quanto definisce, al variare della profondità, la variazione della “risposta geotermica” del substrato.

I parametri da considerare sono riconducibili principalmente alla **conducibilità termica** e alla **capacità termica del terreno**.

Tali proprietà dipendono direttamente dal contenuto naturale di acqua del terreno (W %), dalla densità *in situ* (γ nat) e dal calore specifico del suolo; all'aumentare della densità diminuisce il volume complessivo occupato dai vuoti e di conseguenza l'umidità del terreno provocando una diminuzione della conducibilità (la conducibilità dell'acqua è venti volte superiore a quella dell'aria).

Le tabelle allegate alle linee guida VDI 4060 permettono di definire in linea generale, in base alle litologie costituenti il substrato, le proprietà termiche del terreno: conducibilità termica, capacità termica volumetrica e resa termica lineare (fig.2 e 3).

fonte: VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 (p.10)

Type de roche – rock type	Conductibilité thermique – Thermal conductivity λ , (W/mK)			Capacité thermique volumétrique – Volumetric thermal capacity ρC (MJ/m ³ K)
	min	valeur typique	max	
Roches magmatiques – Magmatic rocks				
Basalte – basalt	1.3	1.7	2.3	2.3 – 2.6
Diorite – diorite	2.0	2.6	2.9	2.9
Gabbro – gabbro	1.7	1.9	2.6	2.6
Granit – granite	2.1	3.4	4.1	2.1 – 3.0
Péridotite – peridotite	3.8	4.0	5.3	2.7
Rhyolithe – rhyolite	3.1	3.3	3.4	2.1
Roche métamorphiques – Metamorphous rocks				
Gneiss – gneiss	1.9	2.9	4.0	1.8 – 2.4
Marbre – marble	1.3	2.1	3.1	2.0
Métaquartzite – metaquartzite		env. 5.8		2.1
Micaschistes – micaschists	1.5	2.0	3.1	2.2
Schistes argilleux – argillaceous schists	1.5	2.1	2.1	2.2 – 2.5
Roches sédimentaires – Sedimentary rocks				
Calcaire – limestone	2.5	2.8	4.0	2.1 – 2.4
Marne – marl	1.5	2.1	3.5	2.2 – 2.3
Quartzite – quartzite	3.6	6.0	6.6	2.1 – 2.2
Sel – salt	5.3	5.4	6.4	1.2
Gres – sandstone	1.3	2.3	5.1	1.6 – 2.8
Roches argilleuses, limoneuses – claystone/siltstone	1.1	2.2	3.5	2.1 – 2.4
Roches non consolidées – Unconsolidated rocks				
Gravier, sec – gravel, dry	0.4	0.4	0.5	1.4 – 1.6
Gravier, saturé d'eau – gravel, watersaturated		env. 1.8		env. 2.4
Moraine – moraine	1.0	2.0	2.5	1.5 – 2.5
Sable, sec – sand, dry	0.3	0.4	0.8	1.3 – 1.6
Sable, saturé d'eau – sand, watersaturated	1.7	2.4	5.0	2.2 – 2.9
Argile/limon, sec – clay/silt, dry	0.4	0.5	1.0	1.5 – 1.6
Argile/limon, saturé d'eau – clay/silt, watersaturated	0.9	1.7	2.3	1.6 – 3.4
Tourbe – peat	0.2	0.4	0.7	0.5 – 3.8
Autres substances – Other substances				
Bentonite – bentonite	0.5	0.6	0.8	env. 3.9
Béton – concrete	0.9	1.6	2.0	env. 1.8
Glace (-10 °C) – ice (-10 °C)		2.32		1.87
Plastique (PE) – plastic (PE)		0.39		-
Air (0-20 °C, sec) – air (0-20 °C, dry)		0.02		0.0012
Acier – steel		60		3.12
Eau (+10 °C) – water (+10 °C)		0.58		4.19

Fig.2 – conducibilità termica e capacità termica lineare in funzione di diverse litologie

VDI Richtlinien – valori di $q_{\text{estrazione}}$ (W/m) possibili		
Underground	q estrazione (W/m)	
	fino a 1800 ore/a	fino a 2400 ore/a
General guideline values		
Poor underground (dry sediment) ($\lambda < 1.5$ W/mK)	20 W/m	20 W/m
Normal rocky underground and water saturated sediment ($\lambda = 1.5 - 3$ W/mK)	50 W/m	50 W/m
Consolidated rock with high thermal conductivity ($\lambda > 3.0$ W/mK)	70 W/m	70 W/m
Individual rocks		
Gravel, sand, dry	<20 W/m	<20 W/m
Gravel, sand, water saturated	55 – 65 W/m	55 – 65 W/m
For strong groundwater flow in gravel and sand	80 – 100 W/m	80 – 100 W/m
Clay, loam, damp	30 – 40 W/m	30 – 40 W/m
Limestone (massif)	45 – 60 W/m	45 – 60 W/m
Sandstone	55 – 65 W/m	55 – 65 W/m
Siliceous magmatite (e.g. granite)	55 – 70 W/m	55 – 70 W/m
Basic magmatite (e.g. basalt)	35 – 55 W/m	35 – 55 W/m
Gneiss	60 – 70 W/m	60 – 70 W/m

fonte: VDI Richtlinien 4060, Blatt 2 (p.16)

Fig.3 - resa termica lineare in funzione di diverse litologie

Tali valori permettono di dare una prima stima delle proprietà termiche del terreno.

Al fine di giungere a valutazioni di maggior dettaglio è necessario definire, per ogni litologia, il suo assetto stratigrafico congiuntamente alle caratteristiche fisiche elencate in precedenza.

Ciò è possibile prevalentemente attraverso la raccolta e l'interpretazione dei log stratigrafici derivati da sondaggi geognostici e dai certificati delle prove condotte in laboratorio che parametrizzano i campioni prelevati durante i carotaggi.

Si rende poi necessario, vista la considerevole influenza dell'acqua sulle proprietà termiche del terreno, definire la geometria dell'acquifero e le sue caratteristiche.

5. il percorso analitico

Le analisi territoriali di fattibilità per l'installazione di impianti geotermici prevedono l'utilizzo di una mole di dati sovente eterogenea e a distribuzione spaziale discontinua; gli studi non possono quindi prescindere dall'uso dei Sistemi Informativi Territoriali (G.I.S.).

Il progetto è stato realizzato attraverso l'applicativo ArcGIS 9.3 utilizzando come sistema di coordinate il World Geodetic System 1984 (WGS 84).

Il modello di analisi è stato definito al fine di giungere, attraverso step progressivi, alla realizzazione di livelli informativi propedeutici alla valutazione della vocazione del territorio allo sfruttamento geotermico a bassa entalpia.

In questo contesto gioca un ruolo determinante la conoscenza dell'assetto geologico del sottosuolo e delle relative caratteristiche fisiche.

E' necessaria dunque una ricerca bibliografica funzionale alla raccolta, mappatura, elaborazione, integrazione e sintesi dei dati disponibili.

I dati raccolti sono così interpretati, vettorializzati ed archiviati all'interno di un geodatabase realizzato ad hoc (cap.6).

Attraverso la creazione del modello 3d del sottosuolo e tramite l'attribuzione ad ogni formazione ricostruita delle relative proprietà termiche, è possibile definire le carte delle isobate delle stesse individuando anche la geometria dell'acquifero.

Il sistema permette inoltre interrogazioni sui singoli dati come nel caso particolare dei sondaggi geognostici.

I complessi processi intermedi che permettono di giungere a questo risultato sono stati resi automatici attraverso la creazione di appositi tools all'interno dei quali, sono definiti i percorsi che rendono possibili i processi di *query* e di modellizzazione.

6. Descrizione Geodatabase

I dati geografici raccolti nella fase di screening sono stati organizzati in un database geografico in ambiente ArcGIS 9.3 (Fig.2).

Il geodatabase è stato strutturato in modo da poter raccogliere ed analizzare i dati provenienti da diverse fonti bibliografiche, da indagini effettuate *in situ* ed in laboratorio.

Inoltre i dati organizzati in tabelle e *features* sono relativi a dati originali e agli stessi dati interpretati in modo da non perdere il dato di partenza.

Il geodatabase contiene, nello specifico:

- shape file della geologia di superficie
- shape file dei sondaggi geognostici
- shape file delle isofreatiche
- shape file delle sezioni stratigrafiche (fig.4)
- dati tabellari

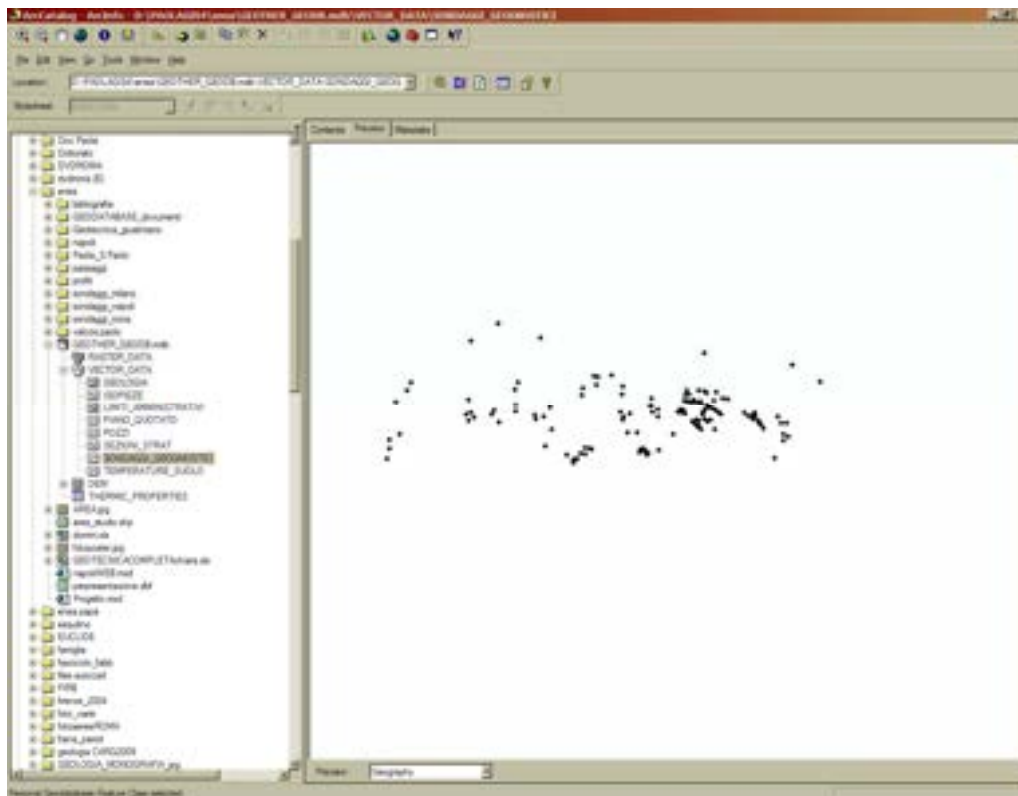


Fig.4 – ArcCatalog: il geodatabase e la visualizzazione del .shp relativo all'ubicazione dei sondaggi geognostici

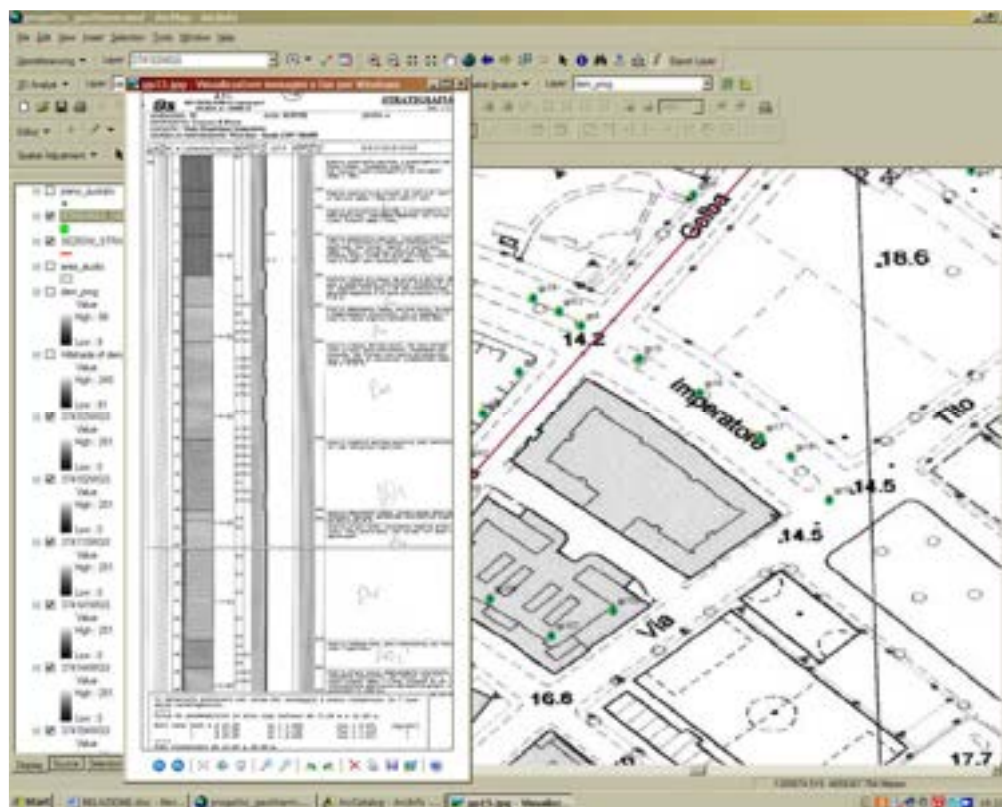


Fig. 5: i sondaggi geognostici e un .jpg relativo al log stratigrafico archiviato nel geodatabase.

Dalla *feature* puntuale dei “sondaggi” in cui sono riportati gli attributi generali relativi ai sondaggi (Fig.6), attraverso relazioni di tipo 1:M e 1:1 sono state relazionate le seguenti tabelle:

- Caratteristiche Fisiche
- Caratteristiche Termiche
- Caratteristiche Stratigrafiche
- Caratteristiche Idrogeologiche

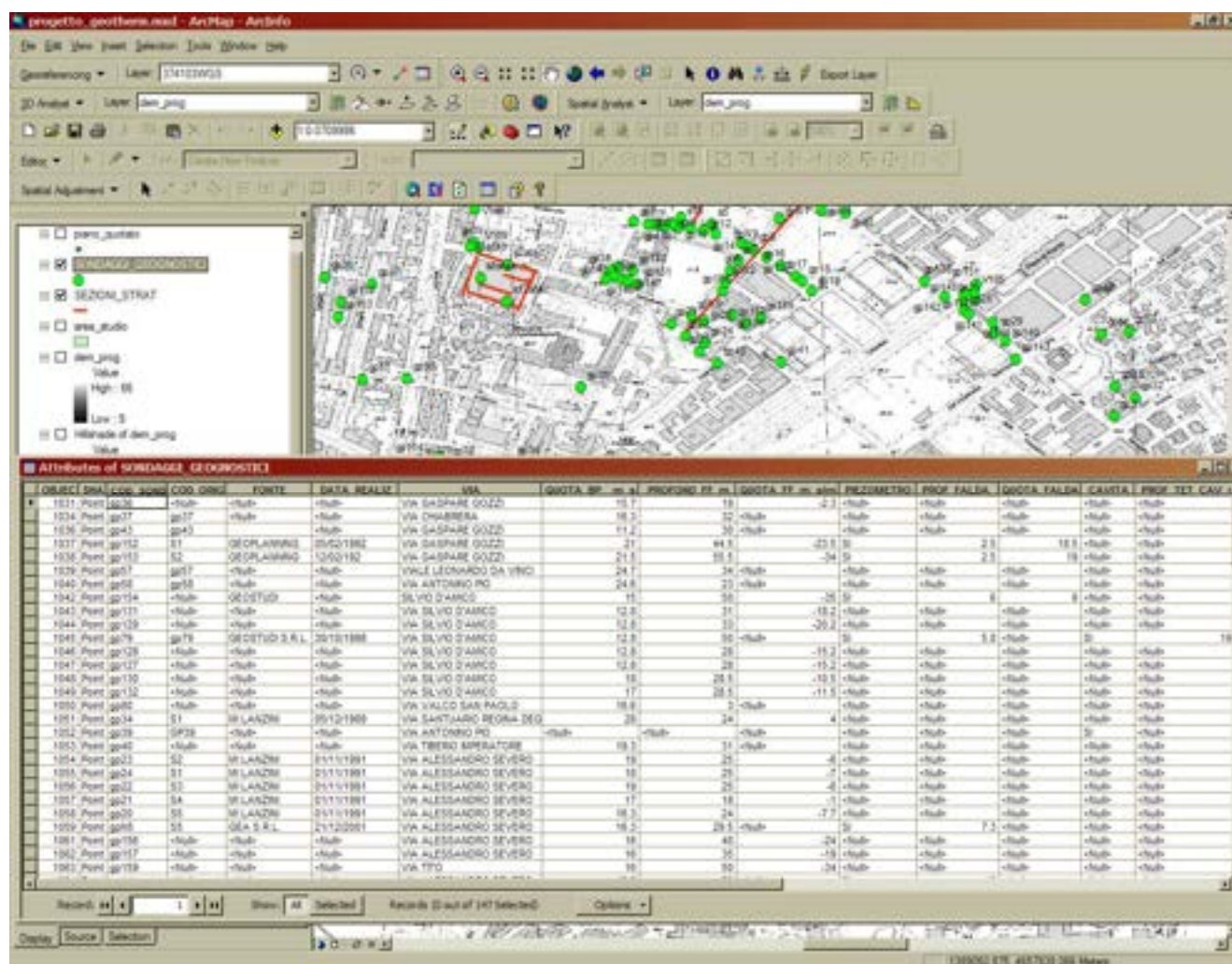


Fig.8 - shape file dei sondaggi geognostici: la tabella degli attributi

Per la tabella Caratteristiche Termiche, è stato definito un dominio di tipo “Coded Values” per il campo LitologiaVDI. Secondo questa struttura è quindi possibile interrogare ogni singolo sondaggio ed avere informazioni relative a:

- Codice Sondaggio – *identificativo unico alfanumerico del sondaggio*
- Codice Originale – *identificativo del sondaggio secondo codifica di provenienza*
- Fonte – *fonte bibliografica*
- Data – *data di realizzazione*
- Via – *indirizzo più prossimo*
- Quota Boccapozzo – *espressa in m s.l.m.*
- Quota Fondo Foro - *espressa in m s.l.m.*
- Piezometro – *indicazione della presenza o assenza di un piezometro*
- Cavità - *indicazione della presenza o assenza di una cavità ipogea*
- Quota tetto cavità - *espressa in m s.l.m.*

- Quota letto cavità - *espressa in m s.l.m.*

Oltre alle informazioni generali, sono poi visualizzate le informazioni relative alle caratteristiche fisiche, termiche, stratigrafiche ed idrogeologiche dei terreni intercettati da ogni singolo sondaggio geognostico.

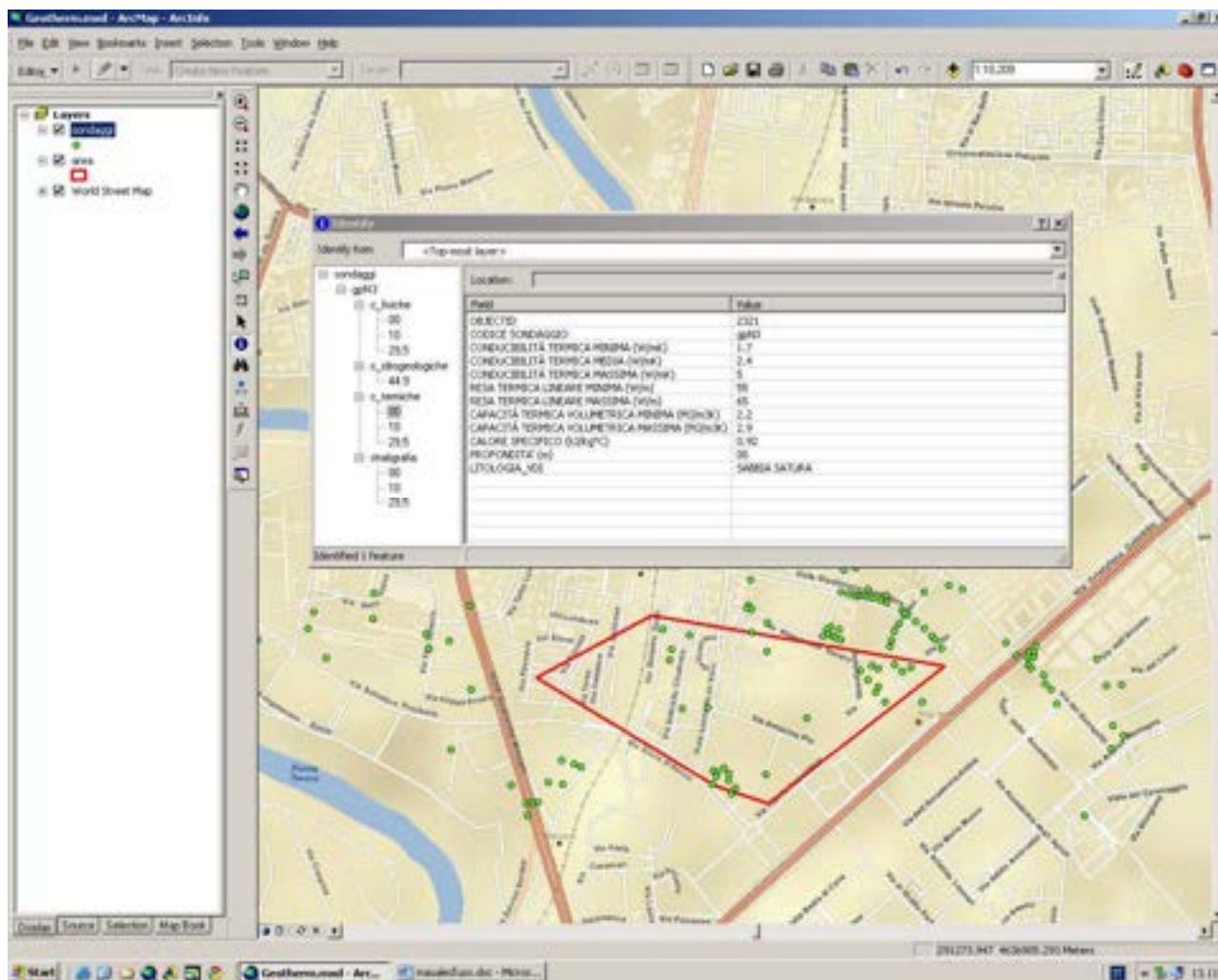


Fig.9 – interrogazione sulle caratteristiche generali dei sondaggi geognostici

Le informazioni, per ogni categoria descritta sono:

Caratteristiche fisiche:

Umidità naturale – *quantità di acqua presente nella roccia espressa in %*

Ghiaia – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Sabbia – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Limo – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Argilla – *frazione granulometrica della roccia ricadente in questa categoria, espressa in %*

Permeabilità media – *espressa in m/sec*

Peso di volume – *rappresenta la densità espressa in kN/m³*

Umidità naturale media - *quantità di acqua presente nella roccia espressa in % ricavata da dati bibliografici*

Peso di volume medio – *rappresenta la densità espressa in kN/m³ ricavato da dati bibliografici*

Caratteristiche Termiche

Conducibilità termica minima – *valore minimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro Kelvin (W/mK)*

Conducibilità termica media - *valore medio riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro Kelvin (W/mK)*

Conducibilità termica massima - *valore massimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro Kelvin (W/mK)*

Resa termica lineare minima - *valore minimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro (W/m)*

Resa termica lineare massima - *valore massimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Watt su metro (W/m)*

Capacità termica volumetrica minima - *valore minimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Metro Joule su metro cubo Kelvin (MJ/m^3K)*

Capacità termica volumetrica massima - *valore massimo riportato nelle tabelle VDI Richtlinien 4060, Blatt 1 e 2, espressa in Metro Joule su metro cubo Kelvin (MJ/m^3K)*

Calore Specifico – espresso in $kJ/Kg^{\circ}C$

Caratteristiche Stratigrafiche

Codice identificativo sondaggio - *Identificativo unico alfanumerico del sondaggio*

Descrizione originale – *Descrizione come riportata nel log stratigrafico del sondaggio*

Nomenclatura ufficiale – *Nome della formazione come indicato nella legenda C.A.R.G. (Cartografia Geologica Regionale)*

Quota tetto - *espressa in m s.l.m.*

Quota letto - *espressa in m s.l.m.*

Spessore - *espresso in metri*

Caratteristiche Idrogeologiche

Quota Falda - *espressa in m s.l.m.*

Temperatura - *espressa in $^{\circ}C$*

7. Strumenti di interrogazione

Oltre all'interrogazione geografica, ottenuta selezionando manualmente il punto rappresentante l'ubicazione del sondaggio, sono stati sviluppati degli strumenti di ricerca in grado di filtrare il dato degli stessi in base a dei parametri di scelta.

Esempio: selezione dei sondaggi con piezometro:

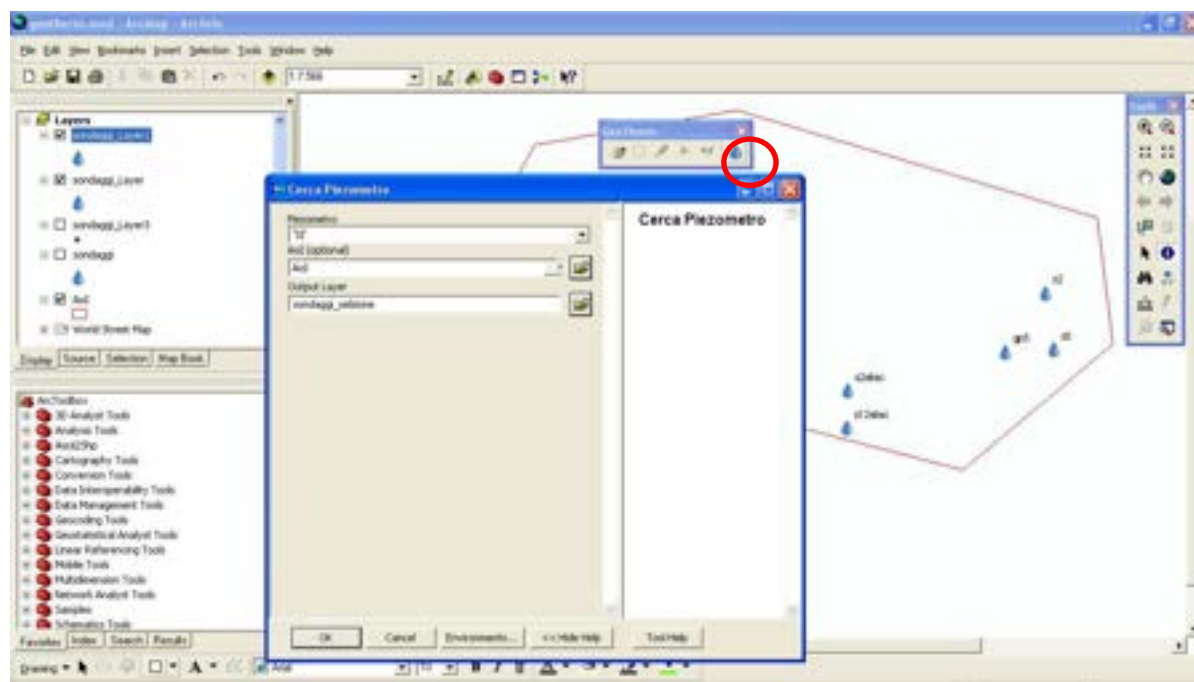


Fig.10 – strumento di interrogazione: ubicazione dei fori di sondaggio attrezzati con piezometro

Selezionando l'icona cerchiata nella toolbar GeoTherm, viene visualizzata una maschera che guida l'utente nell'operazione di selezione. I parametri della selezione sono:

Piezometro: *Selezione della presenza o assenza del piezometro nel foro di sondaggio*

AoI (Area of Interest) – *è un'opzione per limitare la selezione dei sondaggi in una specifica area geografica indicata dall'utente*

Output Layer: *nome con cui si intende salvare la selezione*

Oltre all'esempio riportato, sono stati sviluppati strumenti di ricerca per:

Via – *l'utente indica l'indirizzo desiderato e la selezione viene effettuata sulla corrispondenza più prossima al nome digitato (operatore LIKE)*

Quota Fondo Foro – *l'utente indica la profondità minima che il sondaggio deve raggiungere (operatore $\geq$ quota digitata)*

Cavità – *la selezione viene effettuata in base alla presenza o assenza di cavità incontrate nel corso dell'esecuzione del sondaggio*

Conducibilità termica MINIMA – *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una conducibilità termica MINIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Conducibilità termica MASSIMA – *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una conducibilità termica MASSIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Resa termica lineare MINIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una resa termica lineare MINIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Resa termica lineare MASSIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una resa termica lineare MASSIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Capacità termica volumetrica MINIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una capacità termica volumetrica MINIMA maggiore o uguale del valore digitato*

Capacità termica volumetrica MASSIMA - *ricerca dei sondaggi in cui le litologie incontrate hanno una capacità termica volumetrica MASSIMA maggiore o uguale del valore digitato*

8. Strumenti di Analisi

In aggiunta ai tools sopra descritti, sono stati sviluppati degli strumenti semplificati per operare analisi di tipo spaziale sui dati memorizzati nel geodatabase. Queste analisi hanno lo scopo di mostrare l'andamento con la profondità delle proprietà termiche del terreno. In tal modo si ottiene una zonizzazione della propensione del territorio per lo sviluppo di impianti geotermici.

Tali analisi si basano sul concetto dell'interpolazione lineare, eseguita con metodo IDW – Inverse Distance Weighted – con lo scopo di individuare l'andamento con la profondità della formazione litologica più produttiva dal punto di vista geotermico. Di conseguenza l'analisi automatica crea delle mappe che andranno ad indicare:

- andamento della superficie di tetto della formazione scelta;
- andamento della superficie di letto della formazione scelta;
- mappa degli spessori di tale formazione;

Riguardo il caso specifico si è scelto di modellizzare tetto, letto e spessore dell'acquifero principale in quanto questa formazione è quella indicata dalle stesse norme VDI quella più produttiva dal punto di vista geotermico (in modo particolare in presenza di ghiaie con falda in pressione). Nel data entry, qualora ci si trovi in una condizione di acquifero ad alta produttività con falda, semiconfinata o in pressione, l'operatore inserirà un "SI" nel campo "acquifero produttivo" nella tabella "stratigrafia". Tale campo è stato inserito nella tabella stratigrafia e non in quella relativa alle caratteristiche idrogeologiche in quanto in questa ultima non sono presenti le descrizioni delle varie litologie definite dal log stratigrafico (uno a molti: un sondaggio, molti attributi) ma solo la quota della falda e la sua temperatura (uno a uno – un sondaggio un attributo).

9. Il Modello di analisi

L'analisi si basa sulla selezione delle formazioni litologiche riconosciute come sede di acquifero produttivo dal punto di vista geotermico. La scelta è basata su un campo della tabella idrogeologia di tipo SI/NO. Una volta isolati i record della tabella che individuano le formazioni sede di acquifero produttivo, queste informazioni vengono legate all'ubicazione dei sondaggi. Da qui si procede con un'interpolazione di tipo IDW per le quote di TETTO e di LETTO della formazione individuata. Infine, viene calcolata una mappa degli spessori.

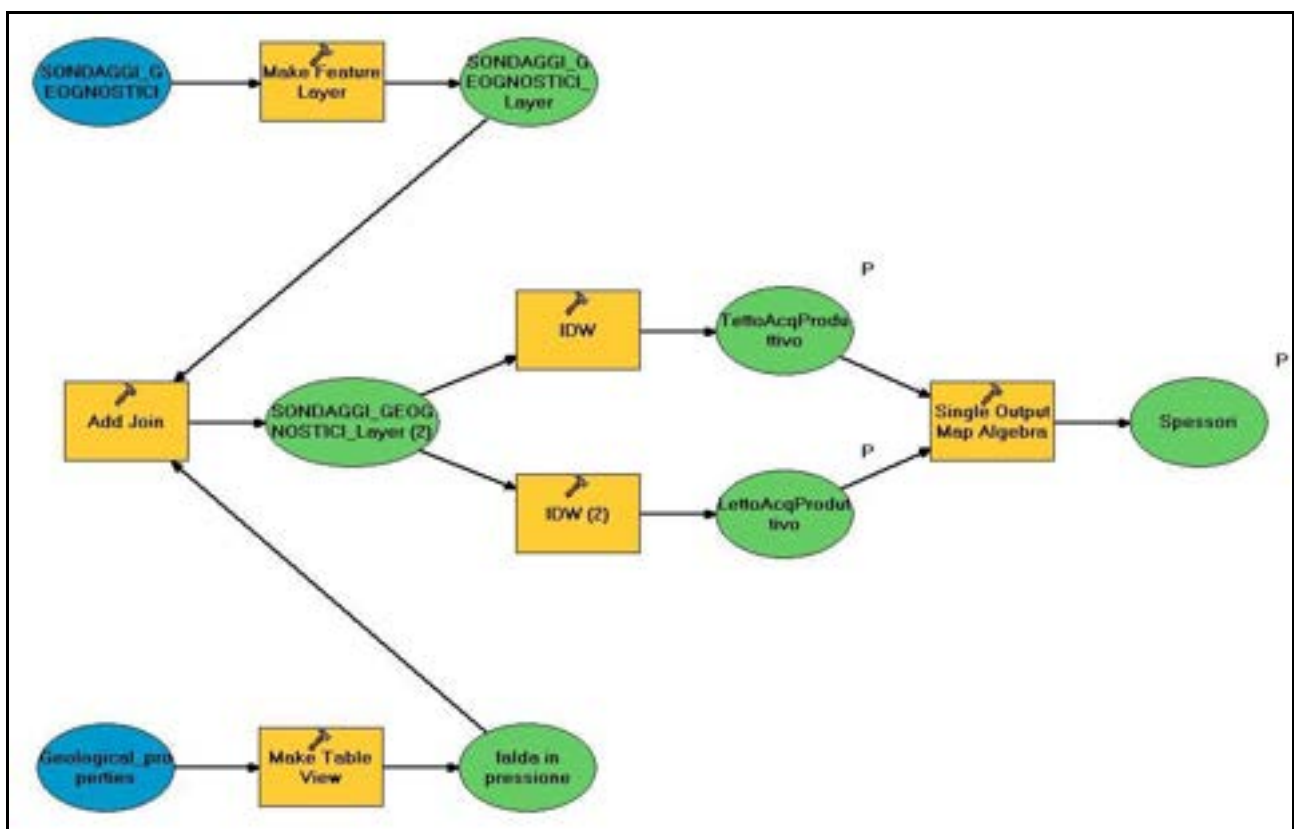


Fig.11 – modello di analisi per la ricostruzione del tetto, del letto e dello spessore dell'acquifero più produttivo.

Questo tipo di analisi prevedrebbe una conoscenza approfondita dei software GIS e dei relativi strumenti di analisi. Attraverso la costruzione del modello (fig.11), l'utente invece dovrà solo scegliere la directory e quindi il nome con cui salvare le tre diverse mappe prodotte.

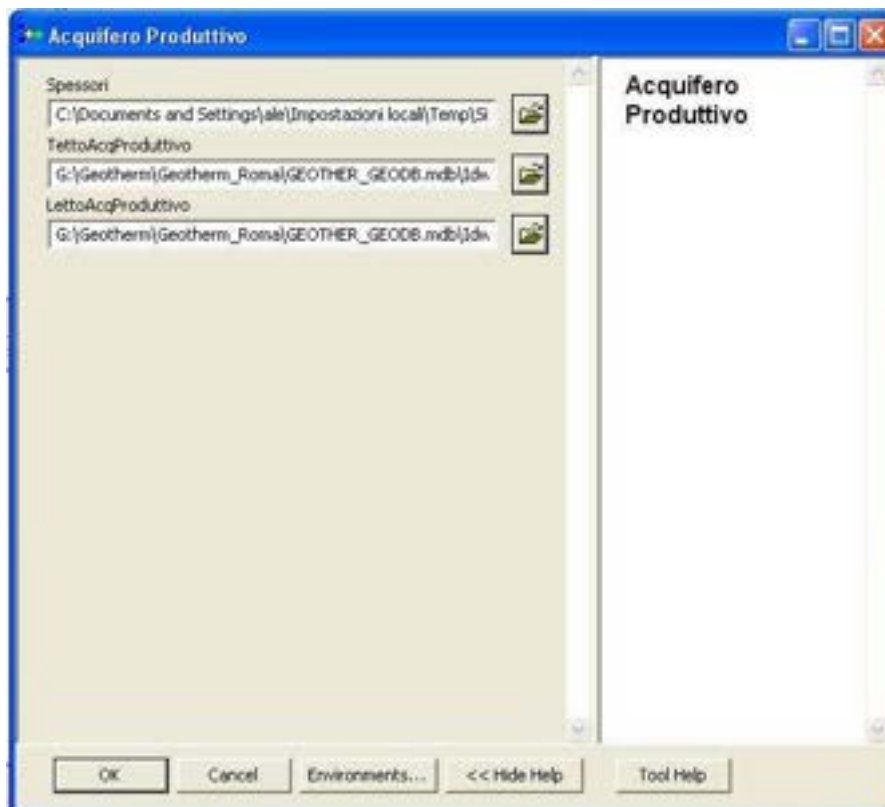


Fig.12 – tool per la realizzazione delle superfici di letto e tetto dell’acquifero e del suo spessore

I risultati sono automaticamente aggiunti alla visualizzazione, tutti con una tematizzazione pre-impostata, e con la legenda pronta (fig.11,12 e 13).

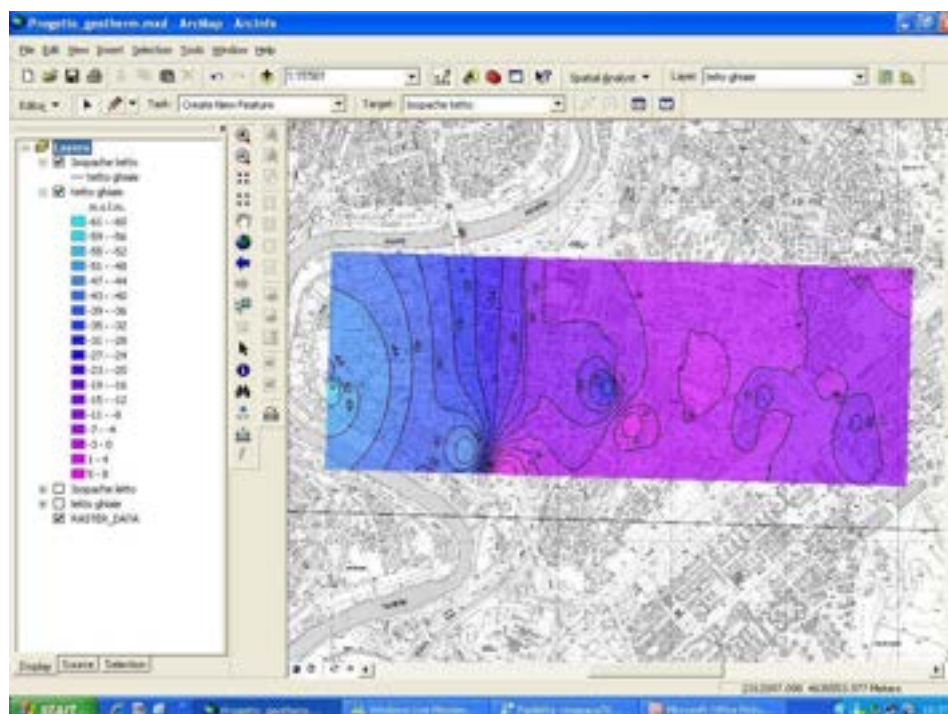


Fig.13 – distribuzione spaziale del tetto dell’acquifero più produttivo e relative isobate

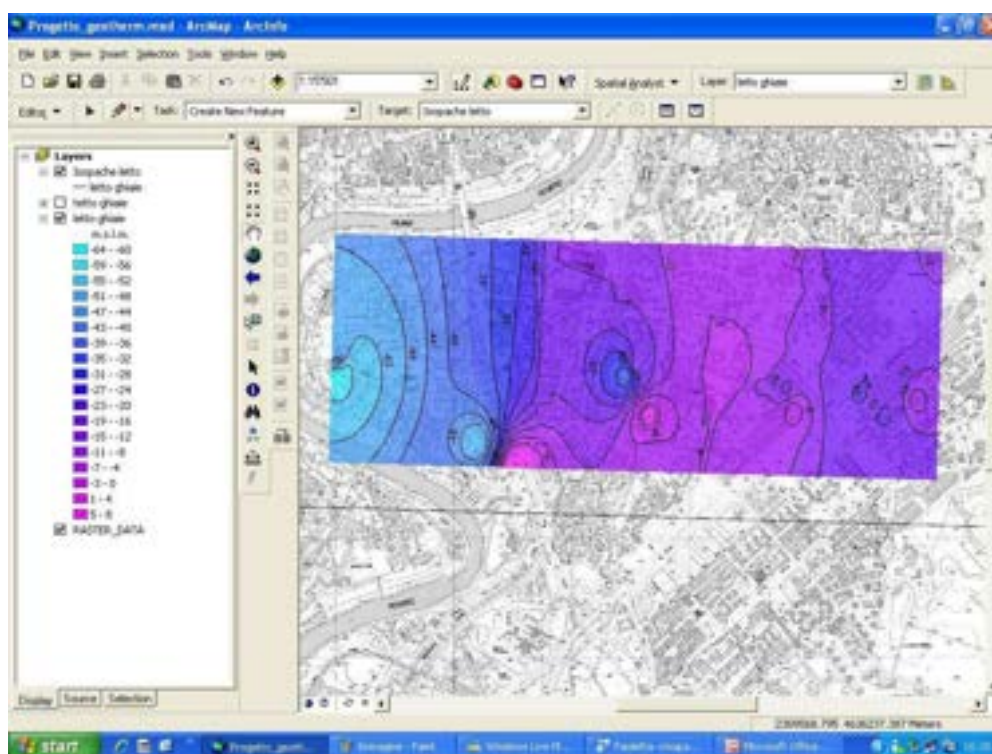


Fig.14 - distribuzione spaziale del letto dell'acquifero più produttivo e relative isobate

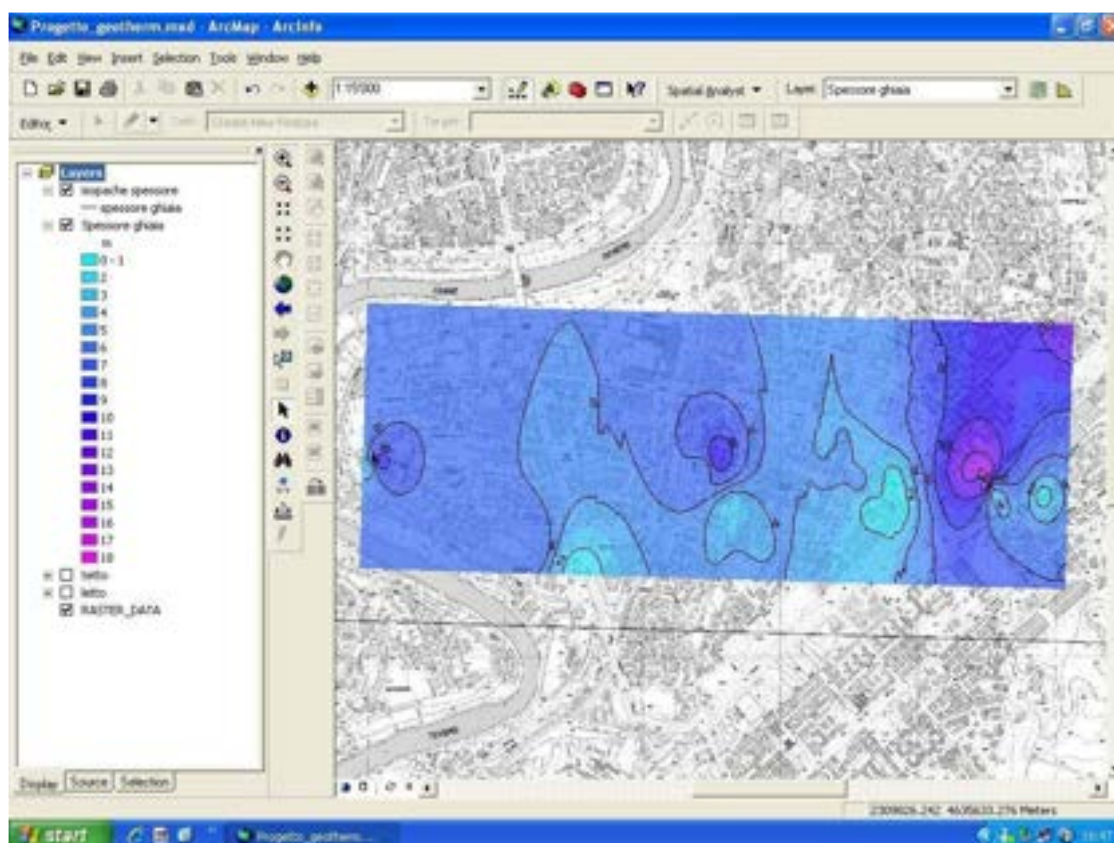


Fig.15 - distribuzione spaziale dello spessore dell'acquifero più produttivo e relative isopache

10. La scalabilità del sistema

La realizzazione del modello tridimensionale del sottosuolo e quindi del modello delle variazioni delle caratteristiche termiche del terreno con la profondità, prevede delle assunzioni che fanno del sistema proposto un prodotto che fornisce indicazioni generali sulla propensione del territorio ad ospitare impianti geotermici ma non può restituire indicazioni puntuali utilizzabili in fase di progettazione.

La scala di analisi, vista la densità di dati e la loro distribuzione, non dovrebbe essere maggiore di 1:25.000.

Fino a tale scala è possibile definire la propensione generale dell'area esaminata, individuando le profondità di massima delle formazioni "produttive", l'andamento generale della falda e la geomorfologia di superficie.

Oltre questa scala ogni valutazione assumerebbe una precisione non conforme al modello di analisi utilizzato a causa della sporadicità del dato e delle conseguenti assunzioni derivate dai processi di interpolazione.

La tabella strutturata all'interno del geodatabase permette tuttavia, di effettuare interrogazioni puntuali sui dati raccolti (prevalentemente indagini geognostiche e dati rilevati da letteratura) lasciando ad operatori esperti la facoltà di condurre le analisi e di giungere alle relative conclusioni.

Il geodatabase difatti, è stato progettato al fine di poter contenere tutte le informazioni necessarie alle valutazioni di propensione del territorio ad ospitare impianti geotermici.

Questi dati opportunamente elaborati attraverso software dedicati (per esempio simulazioni attraverso TRNSYS 16), possono rendere l'indagine con una scala di maggior dettaglio senza però prescindere dagli studi da condurre direttamente in loco.

11. L'esempio di Roma, l'area di San Paolo – V.le Giustiniano Imperatore

Il modello di analisi è stato testato su un'area campione della città di Roma posta nel settore sud – orientale tra Via Ostiense (Basilica di San Paolo) e Via Cristoforo Colombo.

Quest'area sin dai primi anni '50 mostrò gli effetti di una subsidenza indotta da terreni ancora in fase di consolidazione su edifici realizzati talvolta con materiali scadenti e con fondazioni inadeguate al terreno di posa.

Nel 2000 la situazione di alcuni palazzi si è fatta talmente grave da indurre il Comune di Roma alla demolizione di 2 corpi di fabbrica dando inizio ad un processo di riqualificazione edilizia dell'intero quartiere.

In questo contesto si pone in maniera ottimale uno studio mirato alla valutazione della possibilità di dotare di sistemi innovativi per la produzione di energia elettrica, tra i quali i sistemi geotermici a bassa entalpia, gli edifici previsti dal piano di sostituzione.

Per quest'area sono stati raccolti tutti i dati bibliografici relativi a studi pregressi ed in modo particolare *log* stratigrafici ed informazioni provenienti da campagne geognostiche.

Si tratta di 147 sondaggi che sono stati interpretati secondo gli studi effettuati per la realizzazione del progetto C.A.R.G. (Cartografia Geologica Regionale) individuando le formazioni costituenti il sottosuolo.

In fig. 16 si presenta il profilo geologico rappresentativo dell'area trasversale alla valle di Grotta Perfetta.

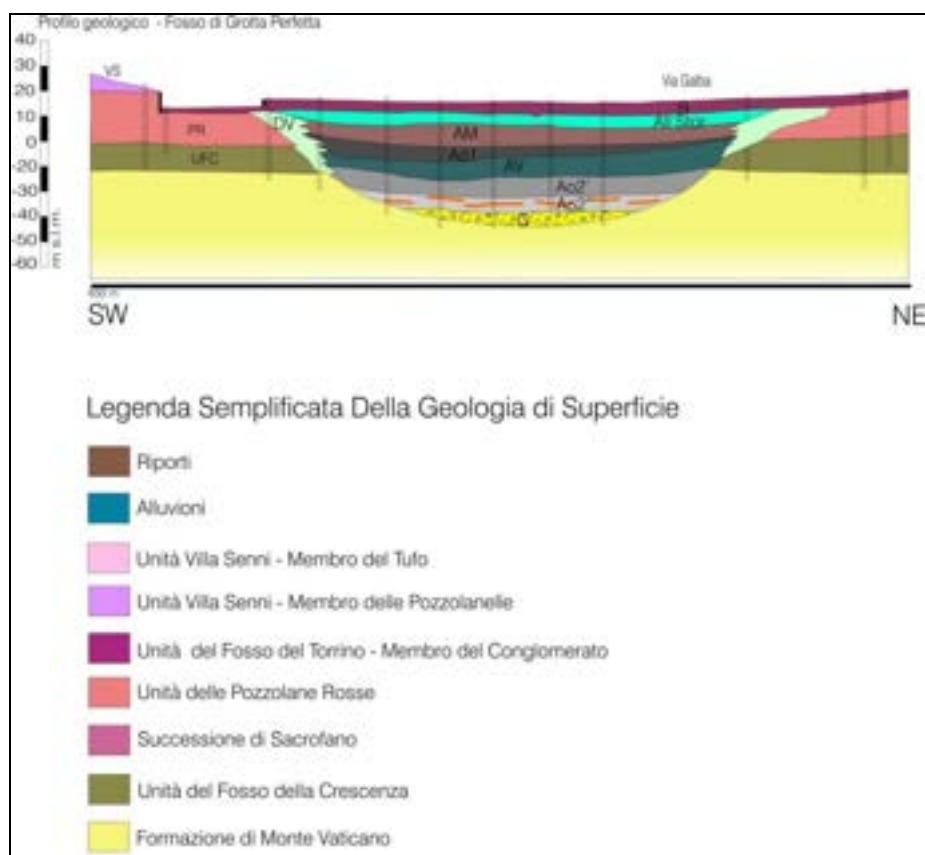


Fig. 16 - profilo geologico rappresentativo trasversale al Fosso di Grotta Perfetta

Ad ognuna di queste formazioni sono stati attribuiti parametri fisici ricavati da bibliografia o direttamente rilevati da indagini condotte su campioni prelevati durante i carotaggi.

Inoltre, secondo le norme VDI Richtlinien 4060, sono stati definite le principali proprietà termiche delle formazioni.

Nello specifico, per ciò che concerne la stratigrafia tipo dell'area considerata, la relazione tra formazioni incontrate e tipi di suoli e rocce elencati nelle norme VDI è la seguente:

Nomenclatura ufficiale C.A.R.G.	Nomenclatura da norme VDI
Riporti	Sabbia satura
Vuoto	Aria
Formazione di Villa Senni – Mem. Tufo Lionato	Roccia argilloso limosa
Formazione di Villa Senni – Mem. Pozzolanelle	Argilla e limo saturo
Pozzolane Rosse	Sabbia satura
Unità del Fosso della Crescenza – membro argilloso limoso	Argilla e limo saturo (FCZ)
Unità del Fosso della Crescenza – membro sabbioso	Sabbia satura (FCZ)
Unità del Fosso della Crescenza – membro ghiaioso	Ghiaia satura (FCZ)
Formazione di Monte Vaticano	Roccia argilloso limosa
Alluvioni tiberine - argillose	Argilla e limo saturo
Alluvioni tiberine - sabbiose	Sabbia satura
Alluvioni tiberine - ghiaiose	Ghiaia satura (T)
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Arg. Marroni	Argilla e limo secco
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Arg. Organiche	Argilla e limo saturo
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Arg. Verdi	Argilla e limo saturo
Alluvioni Fosso Grotta Perfetta – Ghiaie sabbiose	Ghiaia satura
Detriti di versante	Sabbia satura

Tav. 1 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Roma.

Nell'attribuire alle formazioni definite nel corso dell'interpretazione dei sondaggi la relativa nomenclatura delle norme VDI si sono rese necessarie alcune assunzioni:

- nelle norme VDI non sono presenti i tufi; si sono quindi attribuite, a questo tipo di rocce, le proprietà termiche delle “rocce limoso argillose”;
 - il materiale vulcanico molto alterato è stato assimilato ad “argilla e limo saturo” e le pozzolane a “sabbia satura”;
 - sono stati inoltre distinti i terreni che pur avendo lo stesso nome nelle norme VDI sono caratterizzati da proprietà termiche differenti (per esempio presenza di una falda in pressione).
- Le ghiaie individuate durante lo studio infatti presentano una falda in pressione solo nell'Unità del Fosso della Crescenza e quindi sono state distinte con l'acronimo (FCZ) da quelle del Tevere (T).

Quanto descritto è riassunto in tav. 2

COD. SOND.	ORG. DESCR.	Densità Specifica (kg/m ³)	PESSO IN VOLUME (densità media) (kg/m ³)	CONDUCIBILITÀ TERMICA min (W/mK)	CONDUCIBILITÀ TERMICA max (W/mK)	CAPACITÀ TERMICA VOLUMETRICA min (MJ/m ³ K)	CAPACITÀ TERMICA VOLUMETRICA max (MJ/m ³ K)	CAPACITÀ TERMICA VOLUMETRICA max (MJ/m ³ K)	RESA TERMICA LINEARE min (W/m)	RESA TERMICA LINEARE max (W/m)
ge9	riporto proclastico	0.92	19.1	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55	65
ge9	argilla limosa moderatamente consistente, marne	0.92	16.6	0.4	0.5	1.0	1.5	1.6	30	40
ge9	argilla limosa organica non	0.92	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge9	argilla limosa verdastra priva di	0.92	15.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge9	argilla limosa organica non	0.92	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	riporto proclastico	0.92	0.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55	65
ge12	argilla limosa moderatamente consistente, marne	0.92	16.1	0.4	0.5	1.0	1.5	1.6	30	40
ge12	argilla limosa organica non	0.92	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	argilla limosa verdastra priva di	0.92	12.3	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	argilla limosa organica non	0.92	15.3	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	ghiaie di base	0.92	19.0	0	1.8	0.0	2.4	2.4	65	65
ge12	argilla grigia molto consistente	0.92	20.0	1.1	2.2	3.5	2.1	2.4	45	60
ge12	riporto proclastico	0.92	16.7	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55	65
ge12	limo argilloso	1.36	14.8	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	limo con argilla debolmente sabbioso, inconsistente	1.36	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	limo con argilla. Presenza di sosterza organica e inclusi	1.36	13.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30	40
ge12	ghiaie e sabbie a luoghi limosa	0.92	19.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	65	65
ge12	argilla limosa grigia, molto	0.92	20.0	1.1	2.2	3.5	2.1	2.4	45	60

Tav.2 – proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI nell'area campione di Roma

12. I casi di Palermo, Napoli e Milano

Al fine di produrre simulazioni del comportamento di impianti di climatizzazione ad energia geotermica a bassa entalpia, l'E.N.E.A. ha richiesto i dati relativi a Milano, Napoli e Palermo.

In particolare riguardo la città di Milano si è considerata l'area urbana che ospiterà l'Expo (Pero – zona Via Giovanni XXIII), per ciò che riguarda Napoli il Centro Direzionale e per Palermo l'area adiacente alla città Universitaria (zona Via Ernesto Basile).

In queste aree sono stati rispettivamente rinvenuti 3, 6 e 4 log stratigrafici.

12.1 Milano

L'area considerata è caratterizzata, stratigraficamente, dal Sintema di Albusciago costituito da sedimenti fluvio-glaciali ghiaioso sabbiosi e in profondità da una unità ghiaioso – sabbioso - limosa.

La quota media topografica è di circa 142 m s.l.m. e gli studi idrogeologici prodotti in passato (fig. 17) attestano la piezometrica intorno ai 134 m s.l.m. di conseguenza la falda è posta ad 8 m di profondità dal piano campagna.

Le formazioni incontrate, eccezion fatta per i terreni di riporto che godono di una escursione idrica stagionale, si possono così ritenere costantemente sotto falda.



Fig.17 - andamento delle isofreatiche nella'area in esame (per gentile concessione dell' Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Regione Lombardia – dott. Marina Credali)

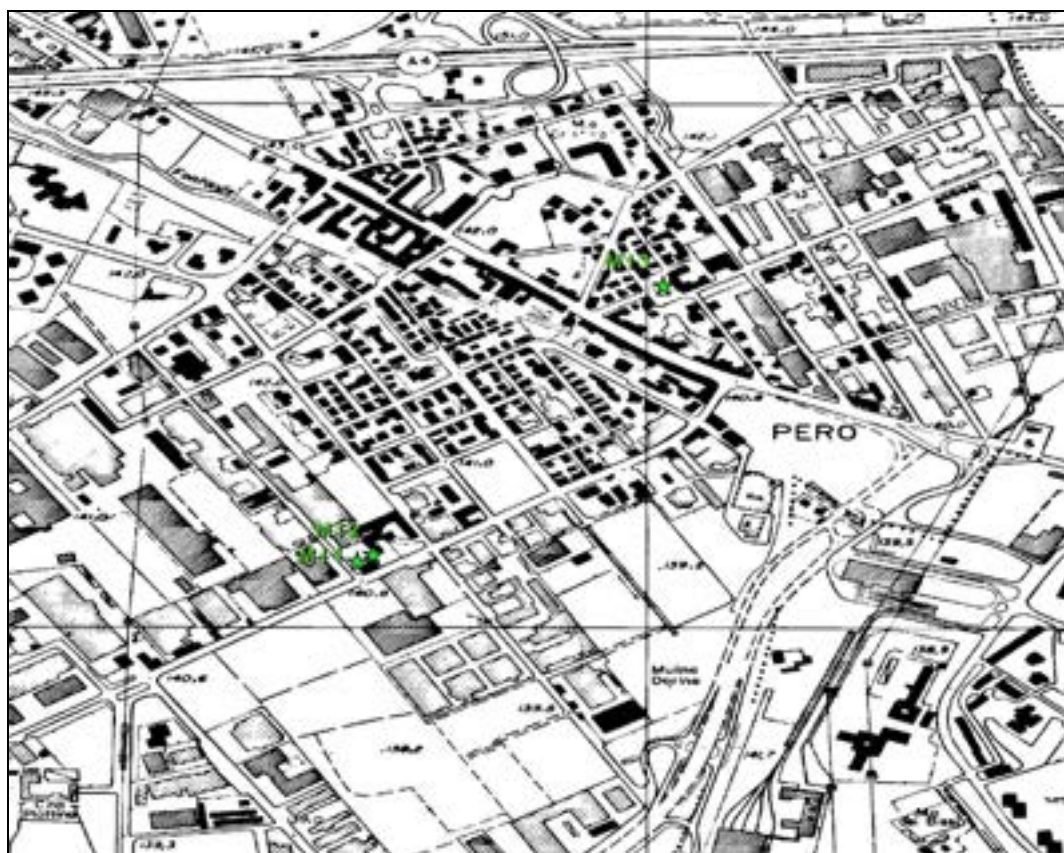


Fig.18 – Ubicazione dei 3 sondaggi geognostici



La relazione tra nomenclatura ufficiale e quella relativa alle norme VDI è presentata in tabella 3.

Nomenclatura ufficiale	Nomenclatura da norme VDI
Riporto	Sabbia satura
Sintema di Albusciago – membro argilloso	Argilla e limo saturo
Sintema di Albusciago – membro sabbioso	Sabbia satura
Sintema di Albusciago – membro ghiaioso	Ghiaia satura

Tav.3 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Milano.

Di seguito si riporta la tabella (tav.4) relativa alla parametrizzazione termica dei terreni (norme VDI) derivata dall'interpretazione dei tre sondaggi effettuati nell'area in esame.

COD. SONDO	DESCRIZIONE ORIGINALE DA LOG terreno	NOMENCLATURA UFFICIALE RIPORTO	QUOTA BP (m s.l.m.)	QUOTA TETTO (m s.l.m.)	QUOTA LETTO (m s.l.m.)	SPESORE (m)	CONTERM CA min (W/mK)	CONTERM ICA med (W/mK)	CONTERM CA max (W/mK)	CAP. TERM. VOL. min (MJ/m3K)	CAP. TERM. VOL. max (MJ/m3K)	RESA TERM. LIN. Min (W/m)	RESA TERM. LIN. Max (W/m)
M1		SINTEMA DI	140.0	140.0	137.0	3.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M1	argilla	ALBUSCIAGO	140.0	137.0	102.5	34.5	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M1	ghiaia e sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	102.5	99.0	3.5	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M1	sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	99.0	90.0	0.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M1	ghiaia e sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	90.0	72.0	18.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M1	sabbia con intercalati	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	72.0	70.0	2.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M1	ghiaia, ciottoli e	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	70.0	60.0	10.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M1	argilla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	60.0	57.0	3.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M2	terreno di ciottoli,	RIPORTO	140.0	140.0	139.0	1.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M2	ghiaia,	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	139.0	89.0	50.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M2	argilla e sabbione argilloso	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	89.0	70.5	18.5	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M2	passante sabbia e ghiaia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	70.5	49.0	21.5	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M2	argilla gialla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	140.0	49.0	38.0	11.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M3	terreno di ghiaia e	RIPORTO	141.0	141.0	136.5	4.5	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	sabbia con argilla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	136.5	119.5	17.0	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M3	ghiaiastra	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	119.5	117.3	2.2	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M3	ghiaia, ghiaietto e	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	117.3	84.0	33.3	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M3	argilla e sabbia	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	84.0	73.0	11.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	ghiaia, sabbia e	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	73.0	60.8	12.2	0.0	1.8	0.0	2.4	2.4	55.0	65.0
M3	argillosa	ALBUSCIAGO	141.0	60.8	55.4	4.4	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	argilla	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	55.4	43.0	13.4	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0
M3	ghiaiastra	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	43.0	39.0	4.0	1.7	2.4	5.0	2.2	2.9	55.0	65.0
M3	argillosa	SINTEMA DI ALBUSCIAGO	141.0	39.0	31.0	8.0	0.9	1.7	2.3	1.6	3.4	30.0	40.0

Tav.4 – proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI

12.2 Napoli

L'area in esame a Napoli è quella del Centro Direzionale (fig.19).

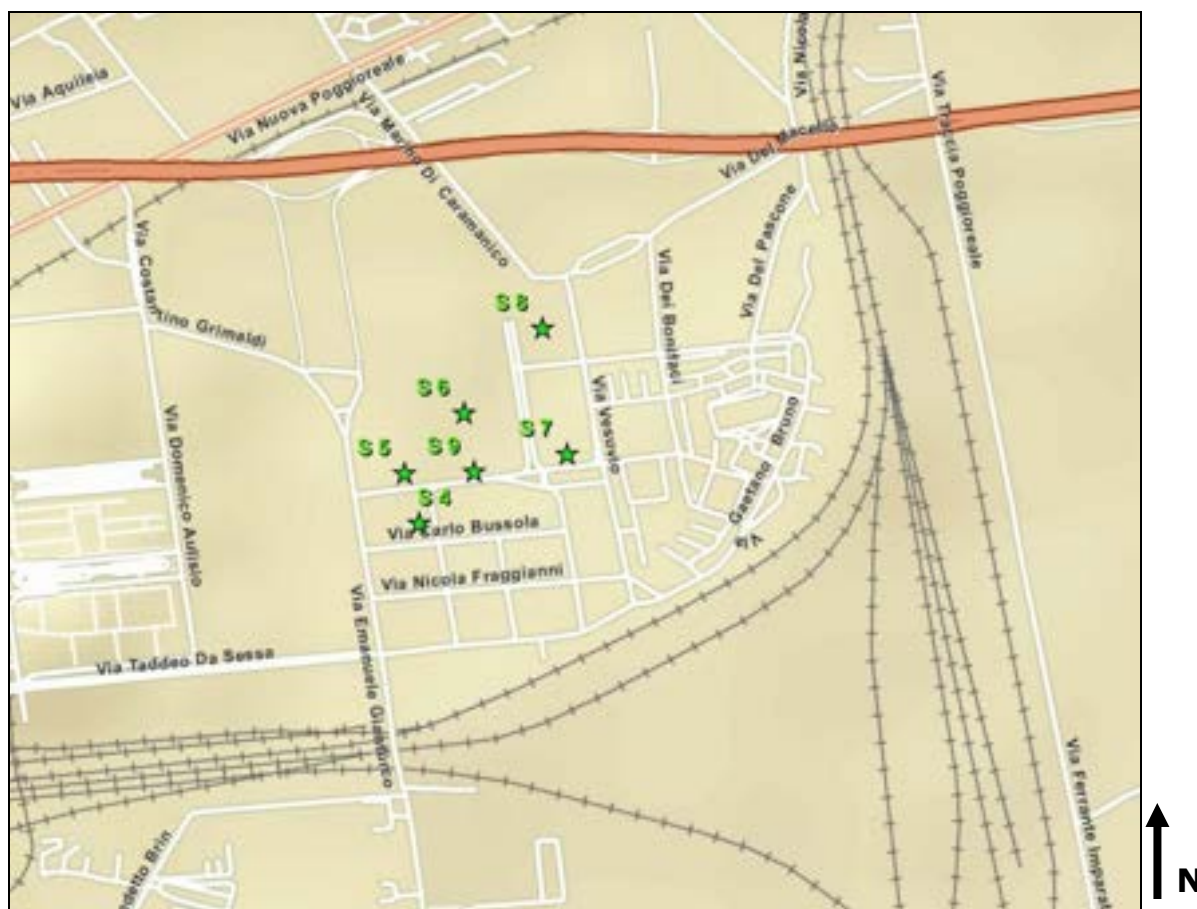


Fig.19 – ubicazione dei sondaggi geognostici nell'area del Centro Direzionale a Napoli

In quest'area, al di sotto di una coltre di terreni di riporto, si individuano depositi alluvionali costituiti da prodotti piroclastici indifferenziati rimaneggiati provenienti dai vari centri flegrei costituiti prevalentemente da cineriti e pozzolane.

Lo spessore è superiore ai 35 m.

Tale formazione viene individuata nella Carta Geologica di Italia foglio n. 183 -184, da "t³".

In Allocca et alii (2008) quest'ultima viene definita come "deposito alluvionale costituito da sedimenti piroclastici in sede e rimaneggiati, avente granulometria variabile da medio fine a medio grossolana e depositi detritici. Permeabilità da media a medio bassa per porosità. La circolazione idrica si attesta a 4/5 m s.l.m."

La relazione tra nomenclatura ufficiale e quella relativa alle norme VDI è presentata in tabella 5.

Nomenclatura ufficiale	Nomenclatura da norme VDI
Riporto	Sabbia satura
t ³ membro limoso	Argilla e limo saturo
t ³ membro torboso	Torba
t ³ membro sabbioso	Sabbia satura
t ³ ceneri – fraz. limosa	Limo secco
t ³ ceneri – fraz. sabbiosa	Sabbia secca
t ³ pomici	Ghiaia secca

Tav.5 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Napoli.

Di seguito si riporta la tabella (tav.6) relativa alla parametrizzazione termica dei terreni (norme VDI) derivata dall'interpretazione dei sondaggi effettuati nell'area in esame.

COD. SOND	ORG. DESC.	Calore Specifico kJ/kg°C	LITOLOGIA_VDI	UMIDITA' %	PIED. S. VOLUME (densità media) K/m³	CONDUCIBILITA' TERMICA med (W/mK)	CONDUCIBILITA' TERMICA med (W/mK)	CONDUCIBILITA' TERMICA max (W/mK)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA med (J/m³K)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA max (J/m³K)	RESA TERMICA LINEARE med (W/m)	RESA TERMICA LINEARE max (W/m)
54	riporto	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	limo torboso e torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
54	limo costituito da cenere rimaneppata di colore grigio	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
54	sabbia ghiaiosa costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
54	sabbia ghiaiosa costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	limo torboso e torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
54	cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa fine	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	2.20	2.90	55	85
54	ponci eterometriche rimaneppate ed alterate	0.80	GHIAIA SECCA	0.00	18.00	0.40	0.40	0.50	1.40	1.60	0	20
54	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	riporto	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	limo costituito da cenere rimaneppata a granulometria finissima decisamente sabbiosa	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
55	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
55	limo costituito da cenere rimaneppata a granulometria finissima decisamente sabbiosa	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
55	torba e limo torboso	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
55	sabbia ghiaiosa costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
55	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
55	cenere rimaneppata e ponci	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	0.40	0.40	0.50	1.40	1.60	0	20
55	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	riporto	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa fine	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	torba e limo torboso	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossa	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	sabbia medio grossolana	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	sabbia media	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	ponci rimaneppati di colore grigiastro	0.80	GHIAIA SECCA	0.00	18.00	0.40	0.40	0.50	1.40	1.60	55	20
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata	0.80	SABBIA SECCA SABBIA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	riporto	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	limo torboso e torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa medio grossolana	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85
56	torba	0.80	TORBA	37.50	18.00	0.20	0.40	0.70	0.50	3.80	30	40
56	limo costituito da cenere rimaneppata	0.80	ARGILLA, LIMO SECCO	0.00	18.00	0.90	1.70	2.30	1.60	3.40	30	40
56	ponci rimaneppati di dimensioni massime di 2 cm	0.80	SABBIA SATURA	0.00	18.00	0.90	1.80	5.00	2.40	2.40	55	85
56	sabbia costituita da cenere rimaneppata a granulometria sabbiosa	0.80	SABBIA SECCA	0.00	18.00	1.70	2.40	5.00	1.60	3.40	55	85

Tav.6 – proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI

12.3 Palermo

L'area presa in esame per Palermo è quella della città Universitaria (fig. 20).

In quest'area, al di sotto dei terreni di riporto, si individuano le Calcareniti di Palermo per uno spessore di circa 30 m, costituite da un complesso detritico organogeno di deposizione marina con granulometria da siltitica a ghiaiosa; alla base sono presenti le Argille di Ficarazzi costituite da una successione di sabbie fini e silt sabbiosi che si rinvengono in eteropia con le Calcareniti (ISPRA, 2010).

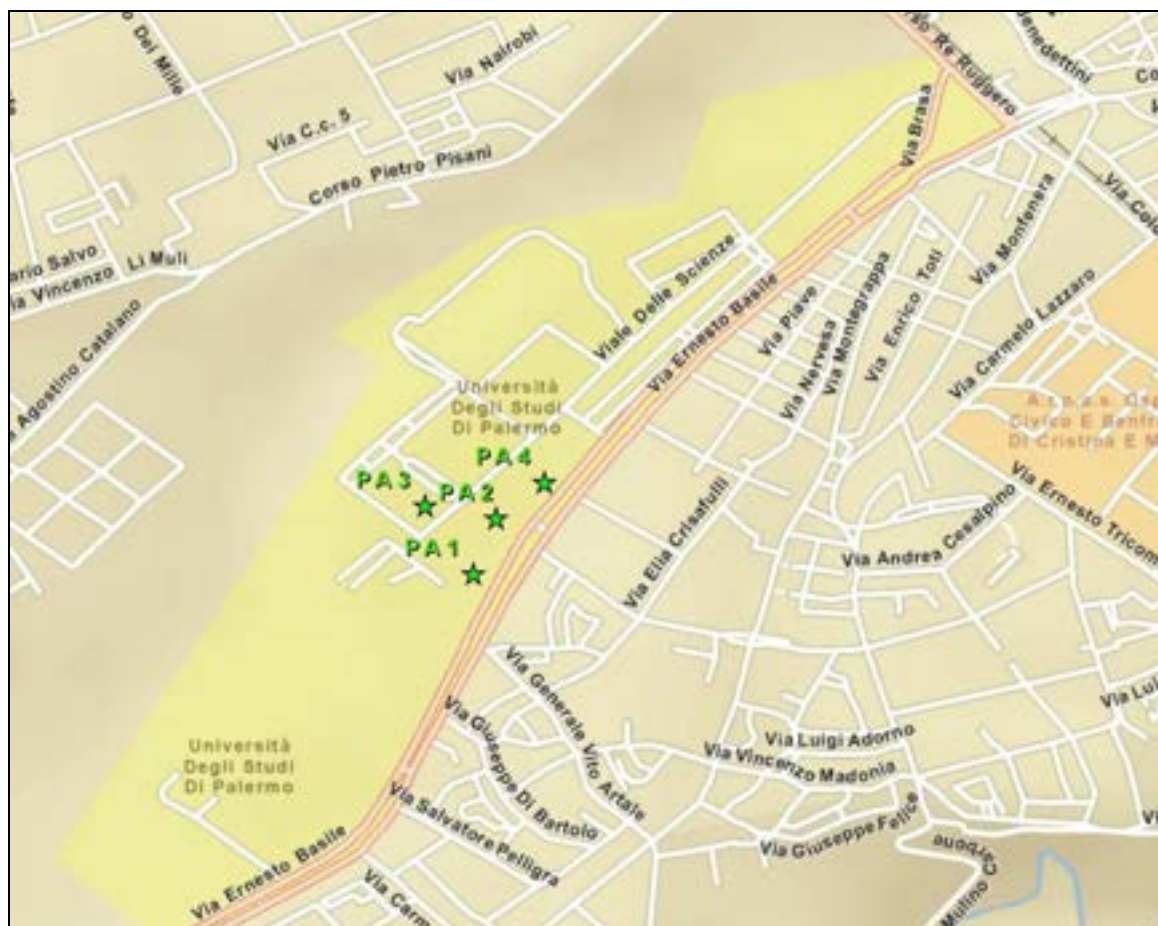


Fig. 20 – Ubicazione dei sondaggi nell'area della città Universitaria di Palermo

La relazione tra nomenclatura ufficiale e quella relativa alle norme VDI è presentata in tabella 7.

Nomenclatura ufficiale	Nomenclatura da norme VDI
Riporto	Sabbia satura
Calcareniti di Palermo – membro superiore	Areniti
Calcareniti di Palermo – membro inferiore	Sabbia satura
Argille azzurre di Ficarazzi	Sabbia satura

Tav.7 – relazione tra nomenclatura geologica ufficiale e quella relativa alle norme VDI nell'area campione di Napoli.

Di seguito si riporta la tabella (tav.8) relativa alla parametrizzazione termica dei terreni (norme VDI) derivata dall'interpretazione dei sondaggi effettuati nell'area in esame.

COD. SONO	OPQ. DESC.	NOMENCLATURA UFFICIALE	LITOLOGIA ICD	PIESO E VOLUME (densità media)(t/m ³)	Calore Specifico kJ/kg°C	CONDUCIBILITA' TERMICA mK (W/mK)	CONDUCIBILITA' TERMICA mK (W/mK)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA mK(MJ/m ³ K)	CAPACITA' TERMICA VOLUMETRICA mK(MJ/m ³ K)	RESA TERMICA LINEARE mK (W/m)	RESA TERMICA LINEARE mK (W/m)	RESA TERMICA LINEARE mK (W/m)
P1A	riporto	RIPORTO	SABBIA SATURA			0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti e sabbie calcaree	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	sabbie	CAICARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	terre rosse	RIPORTO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	sabbie con ciottoli cementati	CAICARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	sabbie	CAICARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	sabbie	CAICARENITI D'IPALERMO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	prevalenza di sabbie e sabbie fini	ANGOLE AZZURRE DI FICARAZZO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	terre rosse	RIPORTO	SABBIA SATURA	18,00	0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini con cemento primario intravento da processi di decomposizione ricambi delle acque di falda	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti e sabbie calcaree	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	terreno argenteo	RIPORTO	SABBIA SATURA		0,90	0,75	2,40	5,50	180	0,40	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	calcareniti in banco e punti fuori sabbiosi	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti e sabbie calcaree	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00
P1A	alternanza di calcareniti pseudomodulate e sabbie fini	CAICARENITI D'IPALERMO	ARENITI	21,00	0,90	0,30	2,30	5,50	180	0,30	55,00	95,00

Tav.8— proprietà termiche dei terreni identificati nei sondaggi geognostici da norme VDI

13. Conclusioni

Lo studio presentato, oltre ad essere un importante mezzo di archiviazione del dato, è uno strumento valido nella ricerca ed analisi degli indicatori geologici ed ambientali per la coltivazione dell'energia geotermica a bassa entalpia.

Il modello concettuale è stato sviluppato al fine di produrre un mezzo performante, editabile, scalabile ed *user friendly*, ovvero facilmente utilizzabile anche dai non esperti in sistemi informativi territoriali. attraverso interrogazioni, query e analisi.

Attraverso ricerche guidate l'utente può passare da una prima fase di “*screening*” territoriale ad una fase di interrogazione del dato archiviato per giungere a conclusioni utili alla progettazione di indagini mirate alla definizione puntuale delle caratteristiche geotermiche del sito individuato.

La realizzazione del geodatabase in ambiente ArcGis e dei relativi strumenti di analisi assumerebbe un ruolo importante nella valutazione delle potenzialità territoriali nell'ambito delle energie alternative qualora, attraverso alcune modifiche, si proceda alla pubblicazione in internet in modo da poter rendere fruibile a chiunque non solo l'interrogazione del dato ma anche il suo aggiornamento.

14. Bibliografia

- ALLOCCA V., CELICO P. (2008) – *Scenari idrodinamici nella piana ad Oriente di Napoli (Italia), nell'ultimo secolo: cause e problematiche idrogeologiche connesse* – Giornale di Geologia Applicata, 9(2) – pg. 175-198
- CAMPOLUNGHİ M.P., LANZINI M., CAPELLI G., FUNICIELLO R. (2007) – *Geotechnical studies for foundation settlement in Holocenic deposits in the city of Rome (Italy)* – Engineering Geology 89 (2007)- pg. 9-35
- CANZONIERI V., GIAMMARINARO M.S., GIGLIUZZA G., VALLONE P., (2001): Area urbana palermitana; analisi delle proprietà geotecniche dei terreni supportata da tecnologia GIS. Atti del XXI Conv. Naz. Di Geot., 37-45.
- CAPELLI ET AL., (1998) *La conoscenza idrogeologica del territorio quale presupposto alla gestione delle risorse idriche: il caso dei Colli Albani* In: Uso e tutela delle acque sotterranee – Giornata di studio per l'approfondimento dei temi di attuazione della Legge Galli, Viterbo 3 aprile 1998
- COLOMBO F., RAFFAELLI L., RAIMONDI P., ROSTI G. (1996) – *Le problematiche idrogeologiche delle aree altamente industrializzate: l'esempio di Milano* Provincia di Milano – Assessorato all'Ambiente Settore Ecologia U.O Tecnica Progetti Speciali
- FUNICIELLO R., TESTA O., CAMPOLUNGHİ M.P., LANZINI M., CECILI A. (2004) – *La struttura geologica dell'area romana e il Tevere* – Atti del Convegno “Ecosistema Roma” 14/16 aprile 2004 Accademia Nazionale dei Lincei
- FUNICIELLO R. et al. (1995) – *La Geologia di Roma. Il Centro Storico*. Mem. Descr. della Carta Geologica d'Italia, vol.L – Servizio Geologico Nazionale.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008 a) – *La nuova carta geologica di Roma: litostratigrafia e organizzazione stratigrafica* - Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia – Volume LXXX Parte I – La geologia di Roma dal Centro Storico alla periferia – APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 39-85
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2008 b) – *La nuova carta geologica di Roma in scala 1:10.000* in: Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia – La geologia di Roma dal Centro Storico alla periferia – APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici, 39-85
- ISPRA – (2010) Dipartimento Difesa del Suolo Servizio Geologico d'Italia – Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000 - Palermo
- ONDREKA J., RUSGEN M.J., STÖBER I., CZURDA K. (2007) - *Gis supported mapping of shallow geothermal potential of representative areas in south western Germany – possibilities and limitations*. Renewable Energy 32 pp.2186 – 2200.
- PASQUINI A., MANTOVANI F., CARMIGNANI L. (2009) – *L'importanza dei parametri geologici per l'ottimizzazione di sonde geotermiche applicate a pompe di calore: stime teoriche e casi di studio* – Atti del 3° Congresso Nazionale A.I.G.A. – San Giovanni Valdarno

SIGNORELLI S. (2004) – *Geoscientific investigation for the use of shallow low-enthalpy system*. PhD thesis, ETH Zurich

VENTRIGLIA U. (2003), *Geologia del Territorio del Comune di Roma*, Amministrazione Provinciale di Roma – Difesa del Suolo

ZOHRA KEDAID F. (2007) - *Data base on the geothermal resources of Algeria* – *Geothermics* 36 pp.265-275

Riassetto della normative in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche a norma dell'articolo 27, comma 28 della legge 23 luglio 2009, n.99 – decreto legislativo 11 febbraio 2010 n.22 pubblicato sulla G.U. del 24 febbraio 2010 n.45

Criteri per la redazione della Carta geoenergetica regionale in attuazione dell'articolo 10, comma 7, della LR 24/2006 - Regione Lombardia Deliberazione Giunta regionale 30 dicembre 2009, n. 8/10965

Richtlinie VDI 4060 Integrierte Managementsysteme (IMS); Handlungsanleitung zur praxisorientierten Einführung

15. Ringraziamenti

*Si ringrazia il **Laboratorio di G.I.S G.P.S. e Cartografia Automatica** del Dip. Di Scienze Geologiche dell'Università Roma TRE nelle persone del dott. **Alessandro Cecili** e del dott. **Guido Giordano**.*

*La dott. **Chiara Santini** e il dott. **Alessandro Cinnirella** che si sono occupati dell'interpretazione dei dati raccolti, del data entry e della realizzazione informatica del progetto.*

*Si ringraziano, inoltre, per l'estrema disponibilità e cortesia la **Prof.ssa Maria Stella Giammarinaro** del Dipartimento Geologia e Geodesia dell'Università di Palermo per averci fornito i dati derivati da indagini geognostiche archiviati nella banca dati "City GIS" strutturata dal suo dipartimento, la **dott.ssa Marina Credali** della "Infrastruttura per l'Informazione Territoriale della Regione Lombardia" e il **dott. Geol. Lucio Amato della Tecno In S.p.A. di Napoli**.*

MANUALE D'USO

Quando si apre il progetto nella *table of contents* si individuano (fig.1)

- 1) lo .shp dei sondaggi geognostici
- 2) l'area di studio (editabile)
- 3) la cartografia di base (nel caso specifico caricato tramite connessione internet dal sito <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)

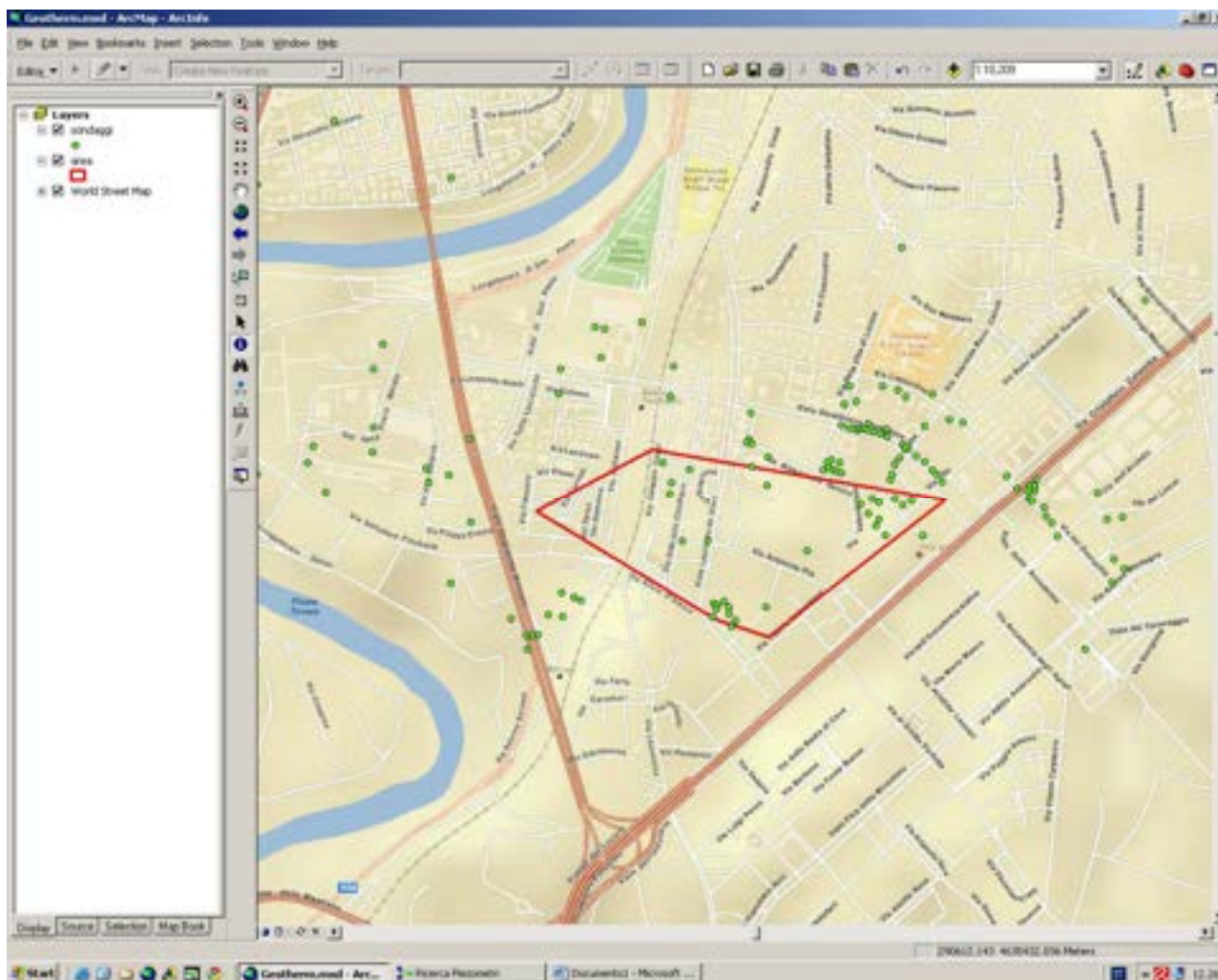


Fig.1 – visualizzazione iniziale del progetto

OPERAZIONI DI INTERROGAZIONE:

le operazioni di interrogazione e analisi possibili si ottengono attraverso:

- **operatore "i" (identify)**

clickando sulla "i" nella barra *tools* e poi sugli oggetti nella mappa, si visualizzerà una tabella che riporta le informazioni relative all'oggetto. In modo particolare, clickando sui sondaggi, si aprirà una tabella che, in prima istanza, riporterà il codice del sondaggio e le sue informazioni generali (fig.2).

Similmente per le sezioni stratigrafiche, attraverso *l'identify* (fig.4) sarà possibile visualizzare il profilo stratigrafico relativo alla sezione (fig.5).

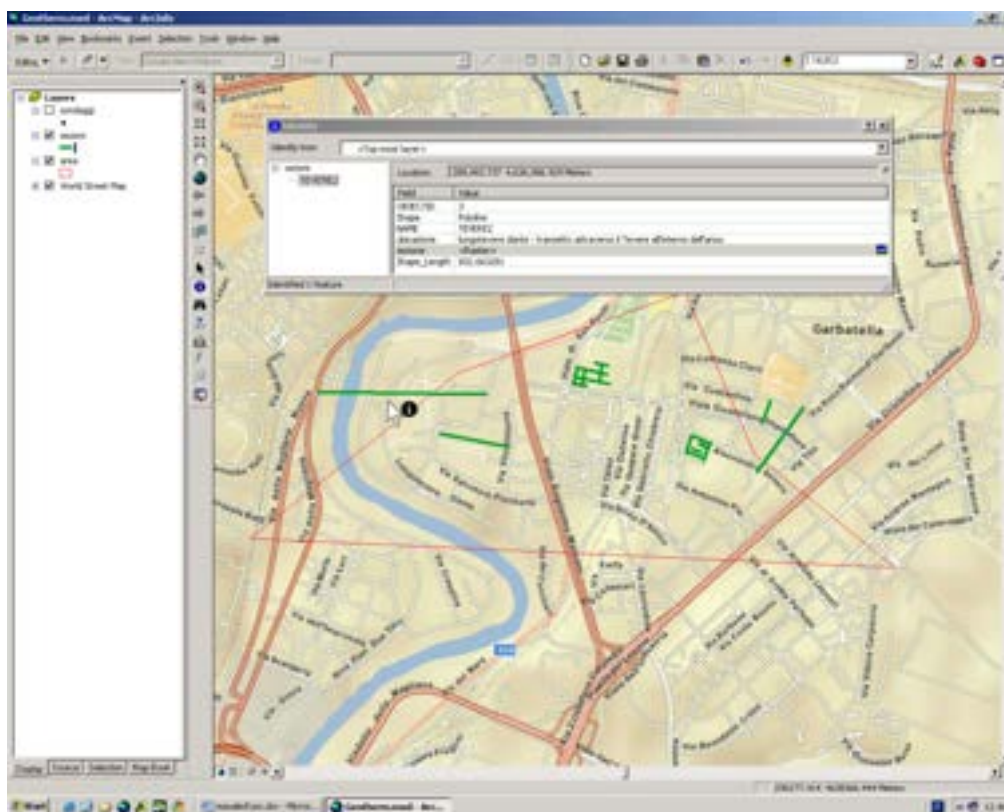


Fig.4 – *l'identify* per visualizzare la sezione stratigrafica (rette verdi)

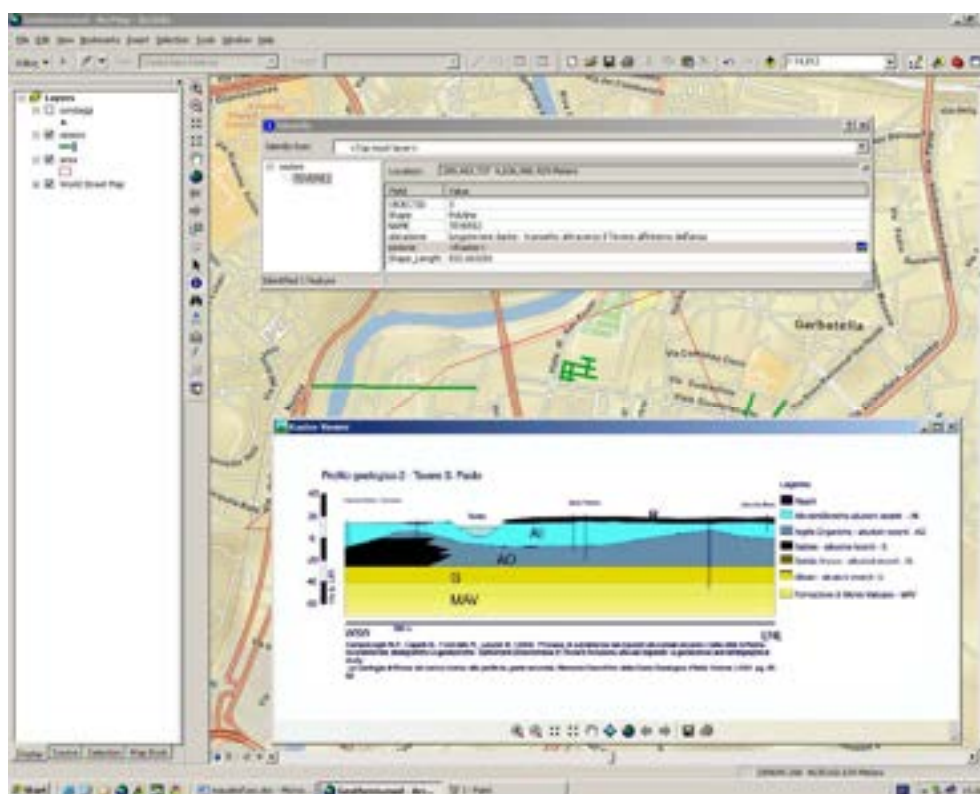


Fig.5 – visualizzazione della sezione stratigrafica attraverso *l'identify*

Cliccando sul “+” del codice del sondaggio si aprirà il menù relativo alle caratteristiche fisiche, termiche, idrogeologiche e stratigrafiche individuate dall’interpretazione e l’analisi del sondaggio (fig.6).

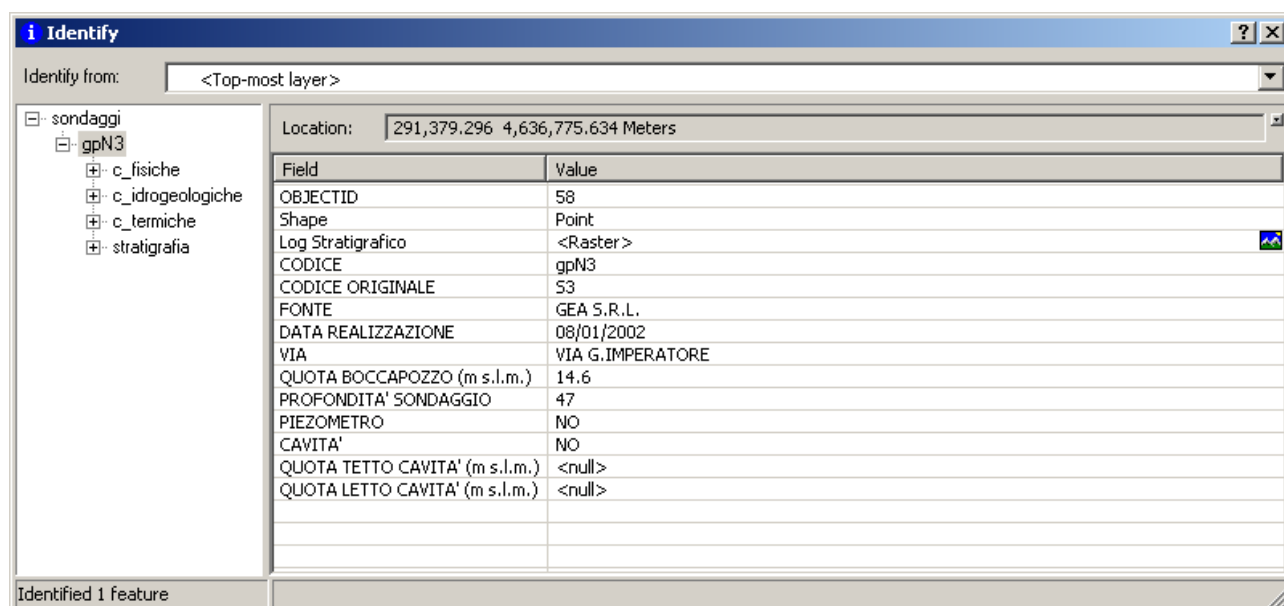


Fig.6 – attributi associati al sondaggio geognostico

In “caratteristiche fisiche” si individuano le caratteristiche fisiche relative alle diverse litologie incontrate nel corso del carotaggio al variare della profondità dal p.c. espresse in m (00m dal p.c., 01m dal p.c., e così via) (fig.7)

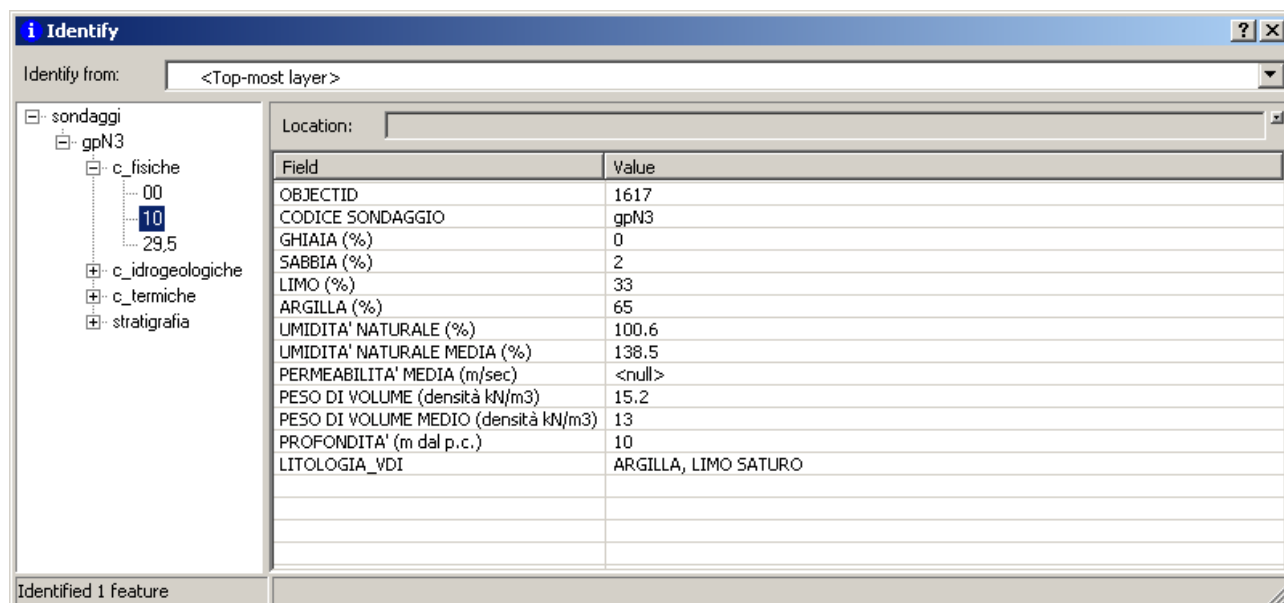


Fig.7 – attributi relativi alle caratteristiche fisiche delle litologie intercettate dal sondaggio geognostico

Mentre per caratteristiche fisiche, termiche e per la stratigrafia gli step relativi alle varie descrizioni sono univoci ed individuati dalla variazione delle litologie incontrate, per le caratteristiche idrogeologiche è presente una sola profondità (dal piano campagna) relativa alla quota in cui è stata individuata la falda acquifera (fig.7)

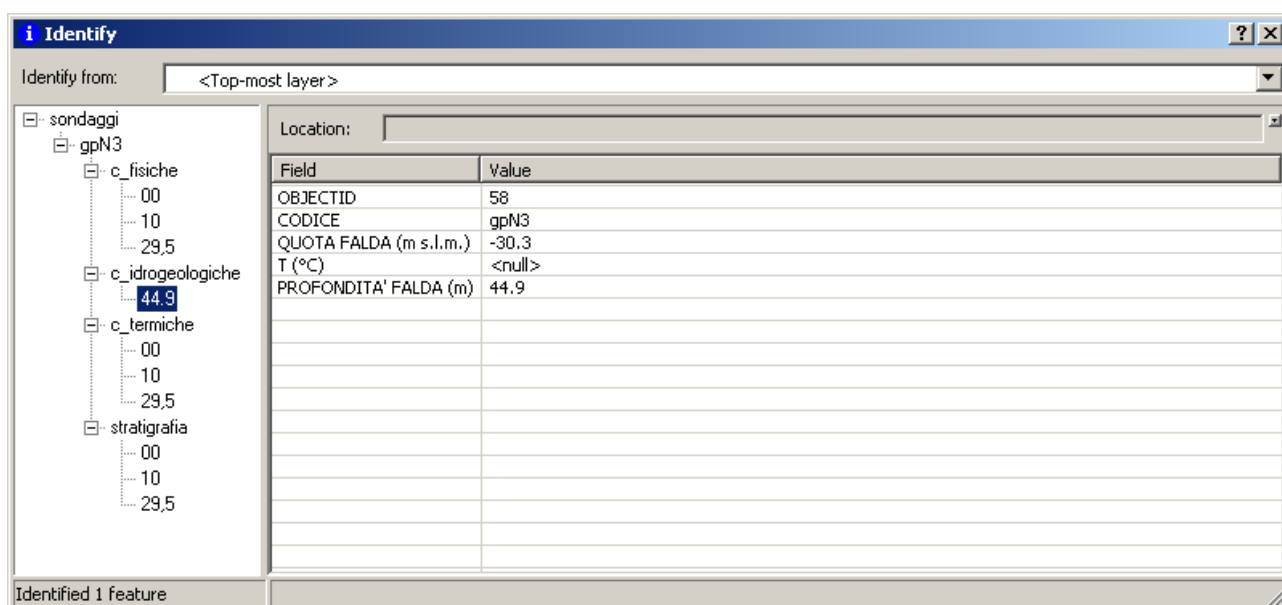


Fig.8 – attributi relativi alle caratteristiche idrogeologiche dedotte dalle descrizioni riportate nei log stratigrafici

Naturalmente nelle caratteristiche stratigrafiche le variazioni litologiche oltre che in profondità dal p.c. sono anche espresse in quote assolute (m s.l.m.) (fig.9)

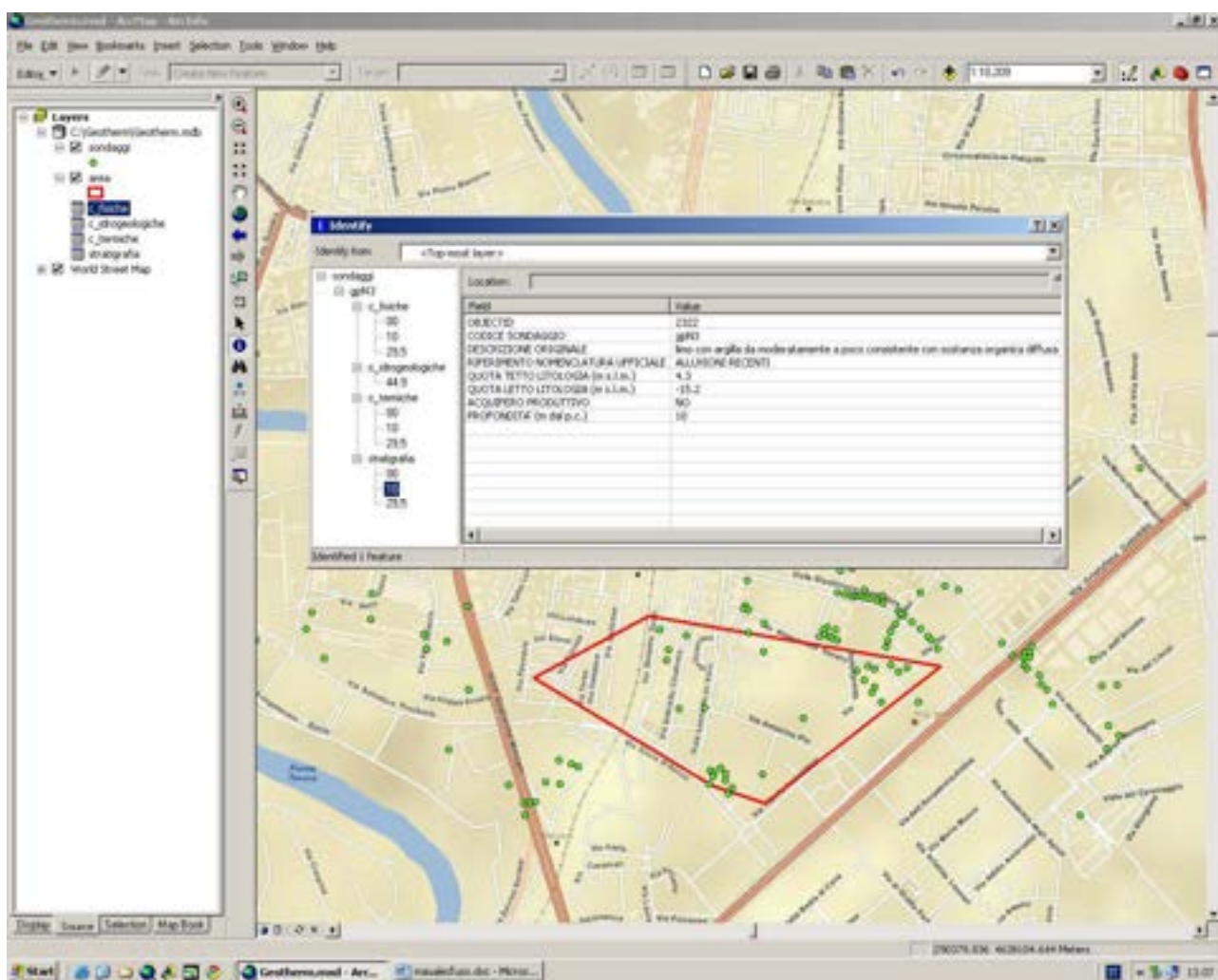


Fig.9 – attributi relativi alla sequenza stratigrafica definita dal log

Le caratteristiche termiche sono visualizzate sempre a seconda delle diverse profondità dal p.c. (fig.10).

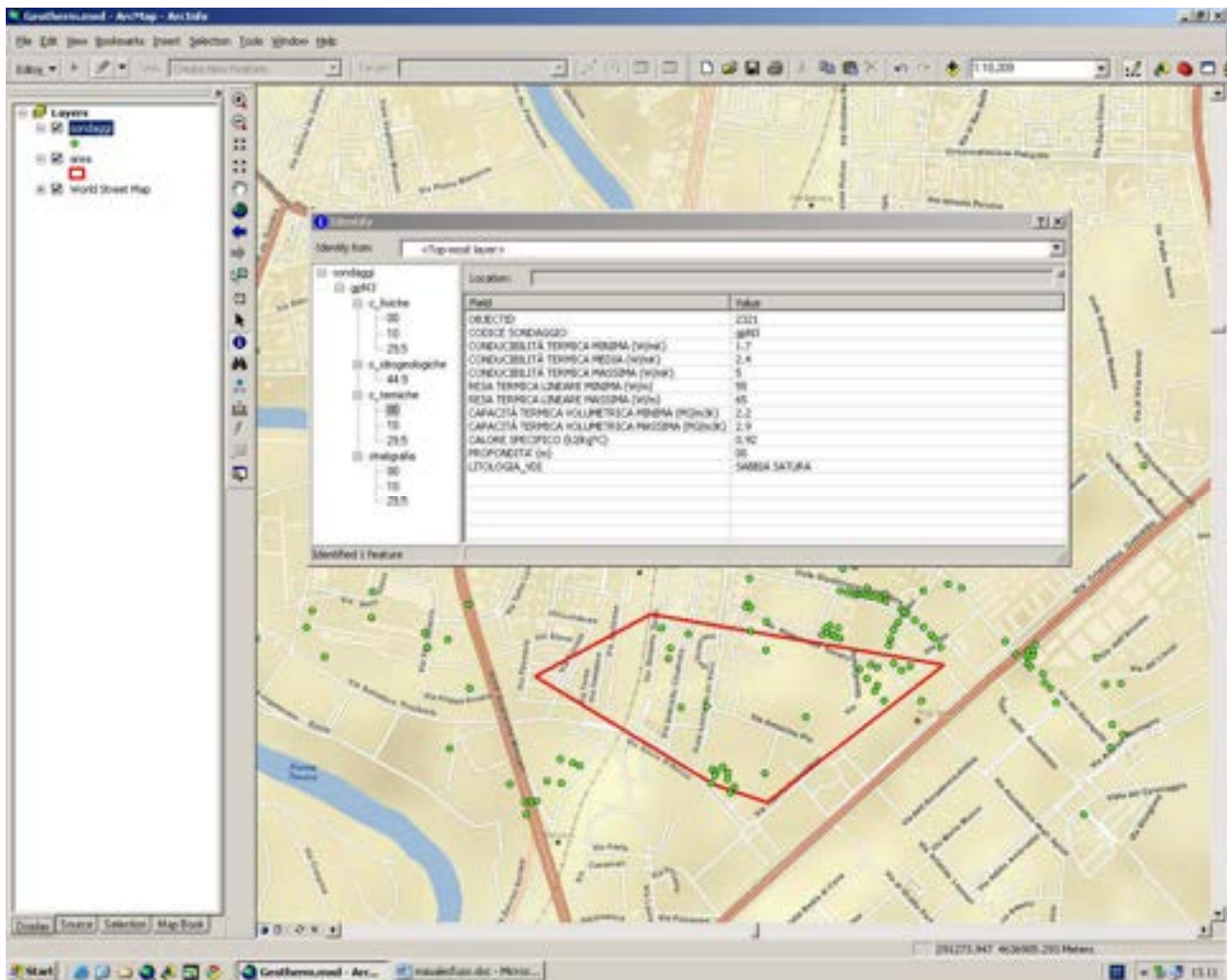


Fig.10 - attributi relativi alle caratteristiche termiche delle litologie intercettate dal sondaggio geognostico

- Query

Attraverso le query è possibile interrogare il sistema individuando aree di indagine. Queste aree si ottengono editando il poligono "area" già presente nella *table of contents* o creandone uno nuovo. L'editing dell'area o la creazione di una nuova si effettua cliccando sul *editor* e poi su "start editing" (fig.11)

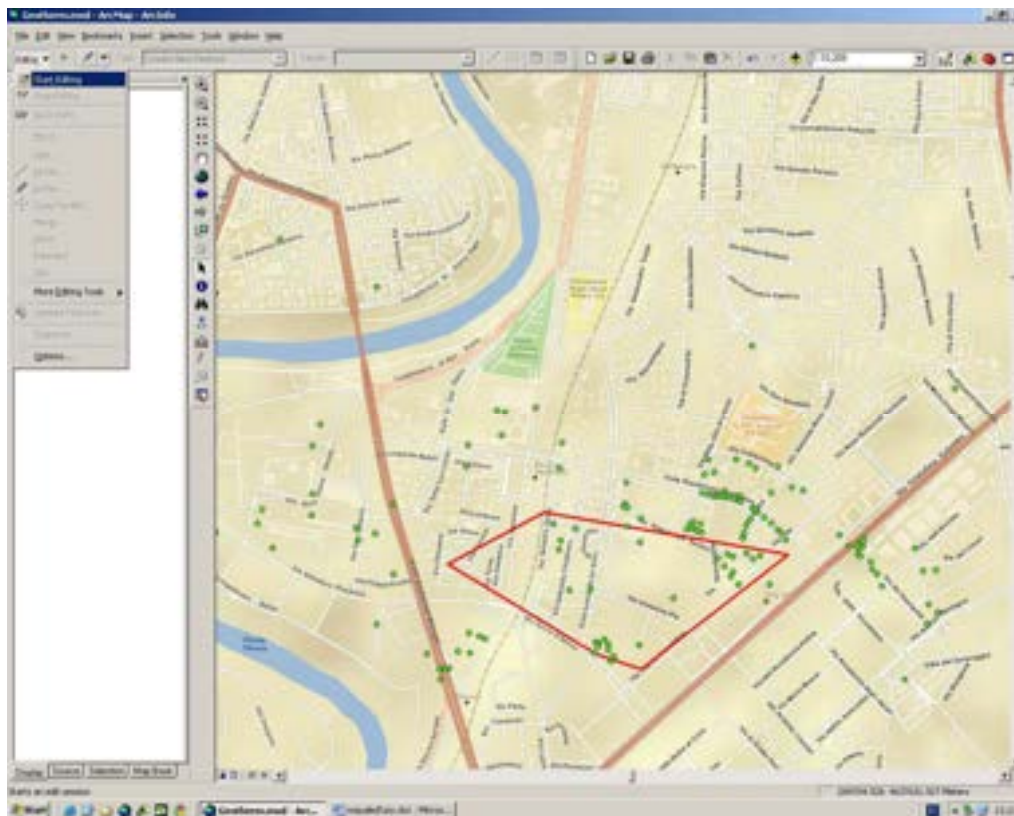


Fig.11 – editazione attraverso modifica dell'area in studio

Se si vuole creare una nuova area nello *shape* delle aree si dovrà scegliere, nel menù a tendina, “*create new feature*” e usare come *target* “*area*” fig. 12.

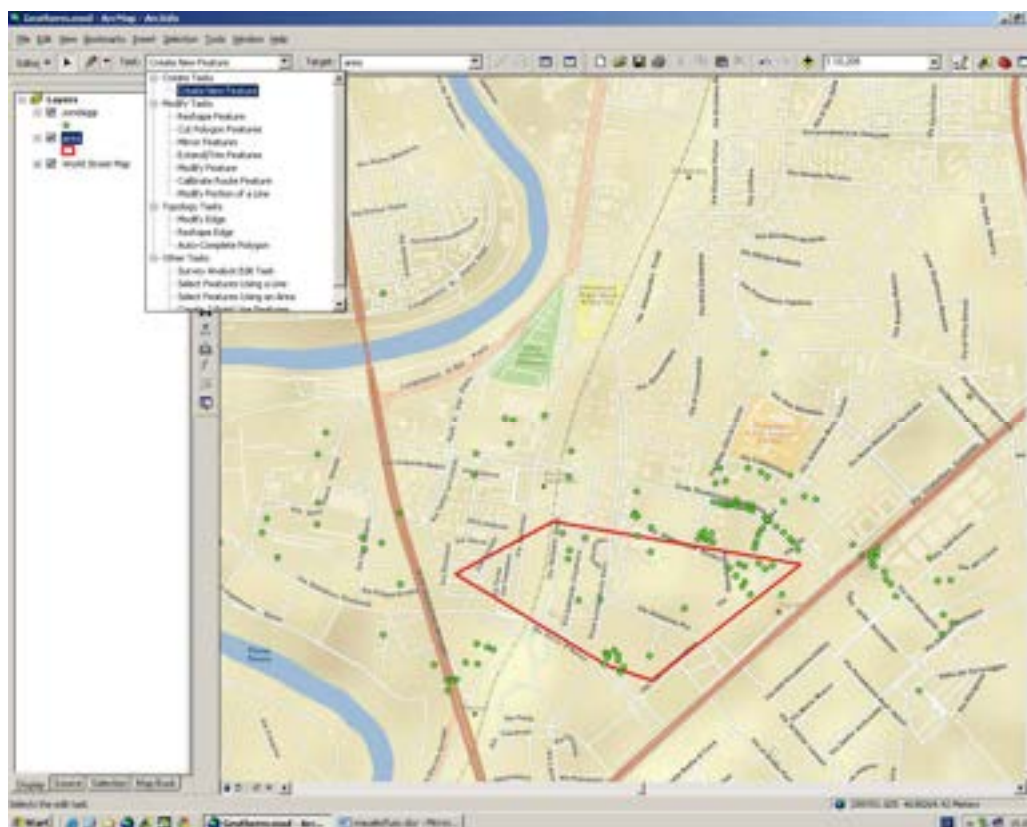


Fig.12 – editazione attraverso creazione ex novo di una ulteriore area

Si cliccherà poi sulla matita nella barra dell'*editor* e si creerà la nuova area (per chiudere il poligono doppio clic) fig. 13 e 14.
Andando su *editor* e su *save edits* e *stop editing* si procederà al salvataggio della nuova area.

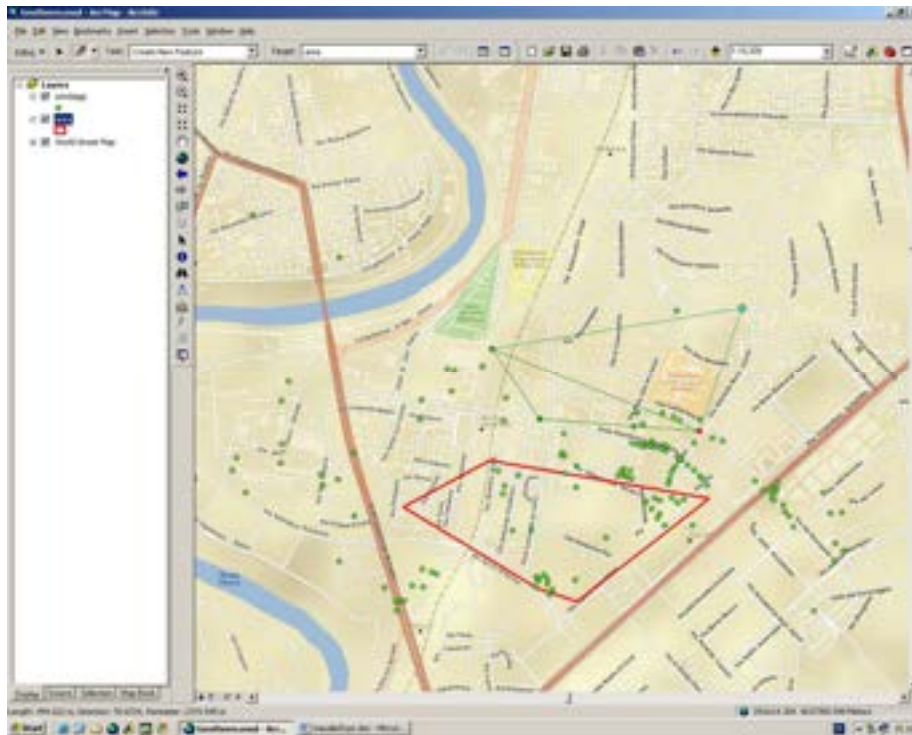


Fig.13 – creazione attraverso il tool “matita” dell’area

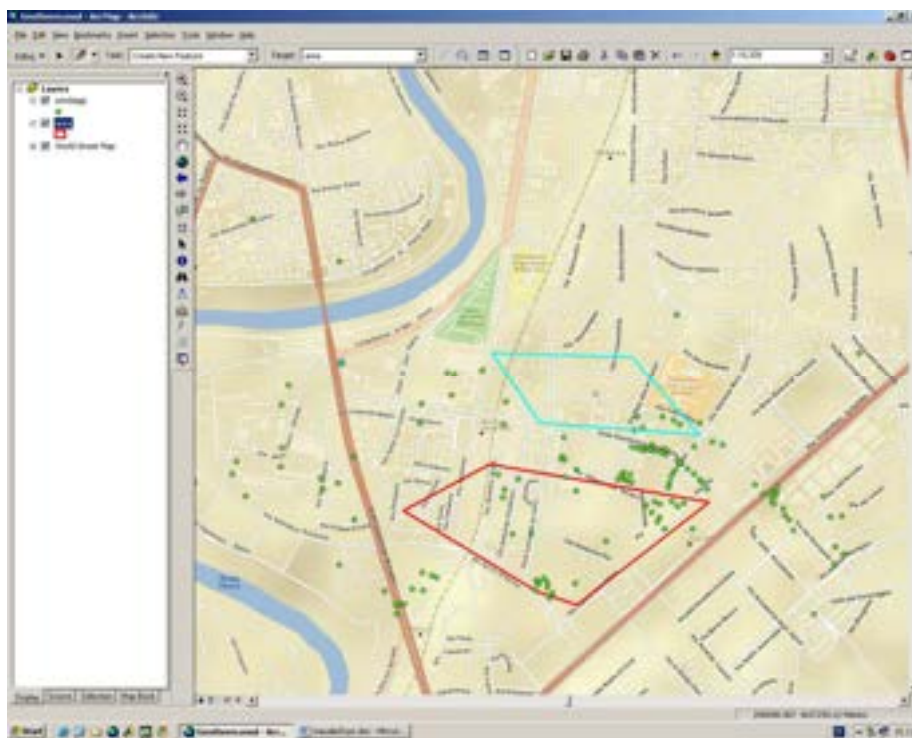


Fig.14 – il nuovo poligono relativo all’area di studio

Qualora si voglia modificare l’area già esistente, nella barra dell'*editor* si dovrà impostare “*modify task*” avendo sempre come *target* “*area*” (fig.15).

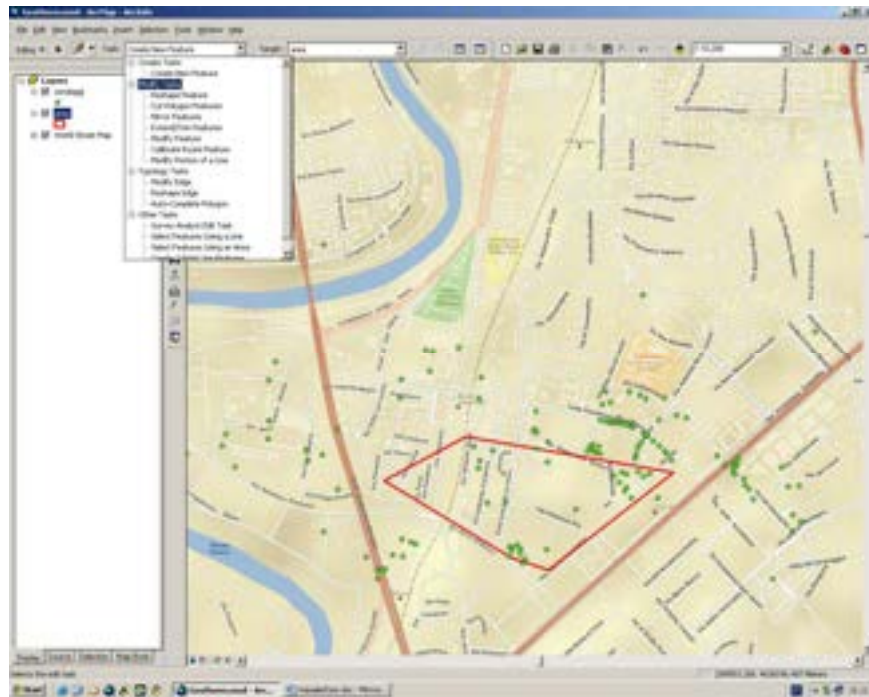


Fig.15 – modifica dell'area già esistente

Questa volta invece di andare sulla matita si cliccherà sulla freccia nera fig.16

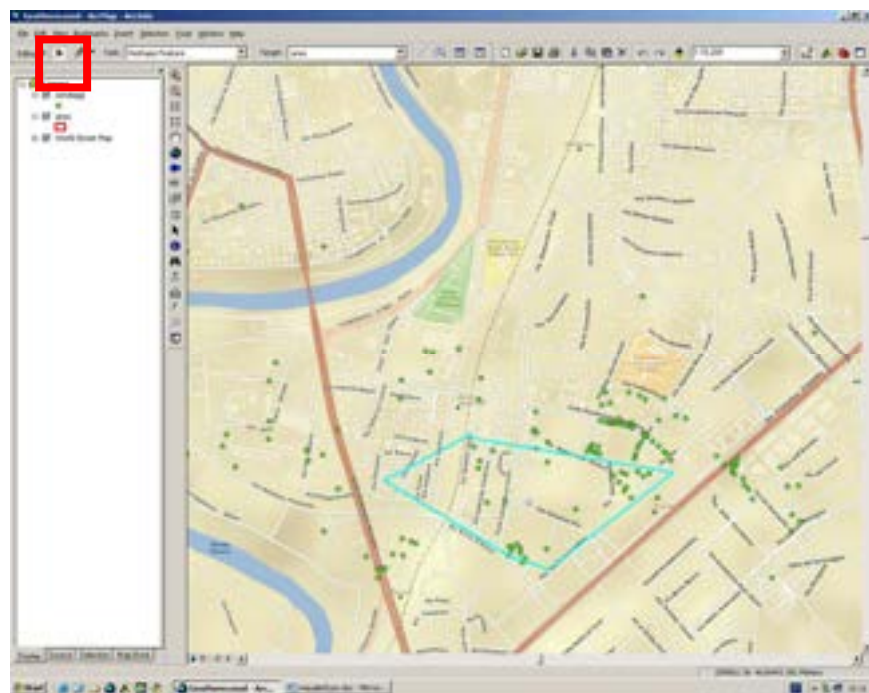


Fig.16 – tool per la modifica del poligono

Con doppio clic sul poligono si evidenzieranno i vertici che potranno essere spostati (fig.17)

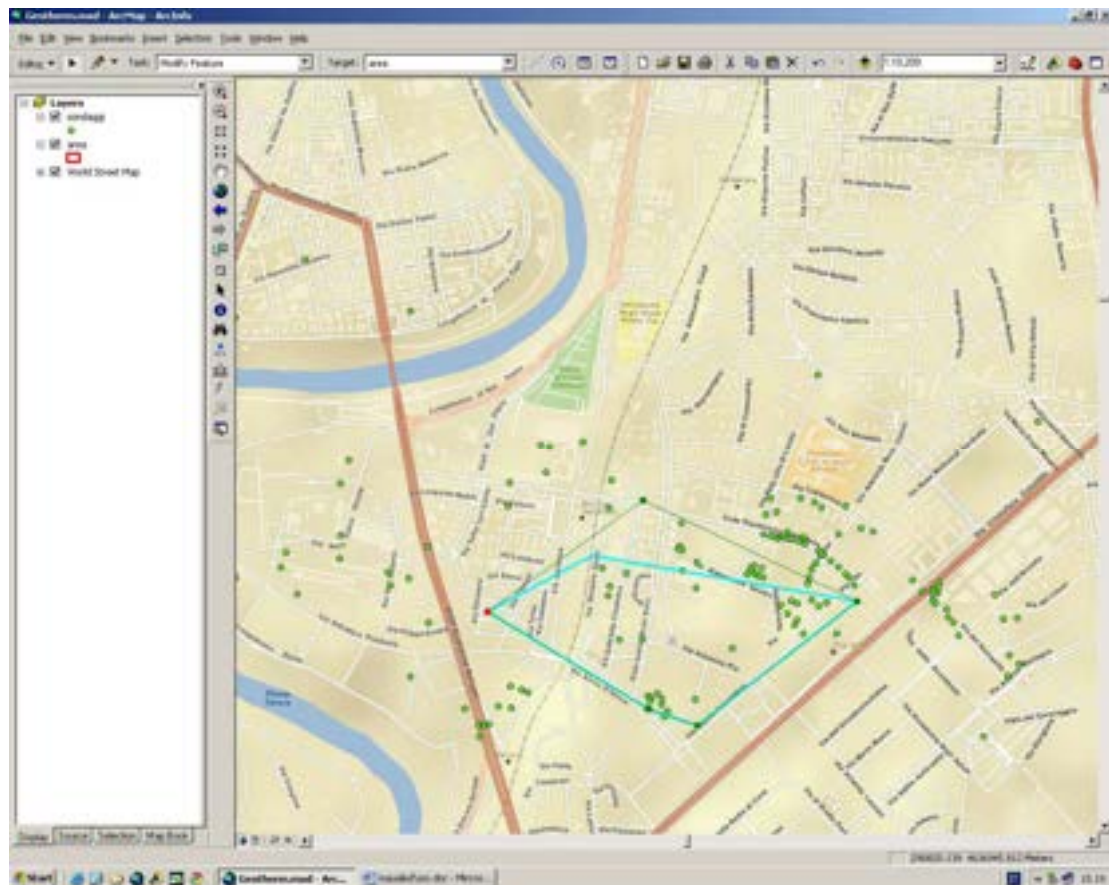


Fig.17 – modifica del poligono relativo all'area di studio

Cliccando su *editor* e impostando il *save edits* e lo *stop editing* l'area verrà salvata con la nuova forma.

Una volta stabilita l'area di indagine si può procedere alle *query*.

Qualora non sia già disponibile la barra delle *query* si troverà tra cliccando con il tasto destro nello spazio riservato ai vari menù sotto il nome "**geotherm**" (fig.18).

La barra è costituita da 6 simboli diversi e da un menù a tendina (fig.19)

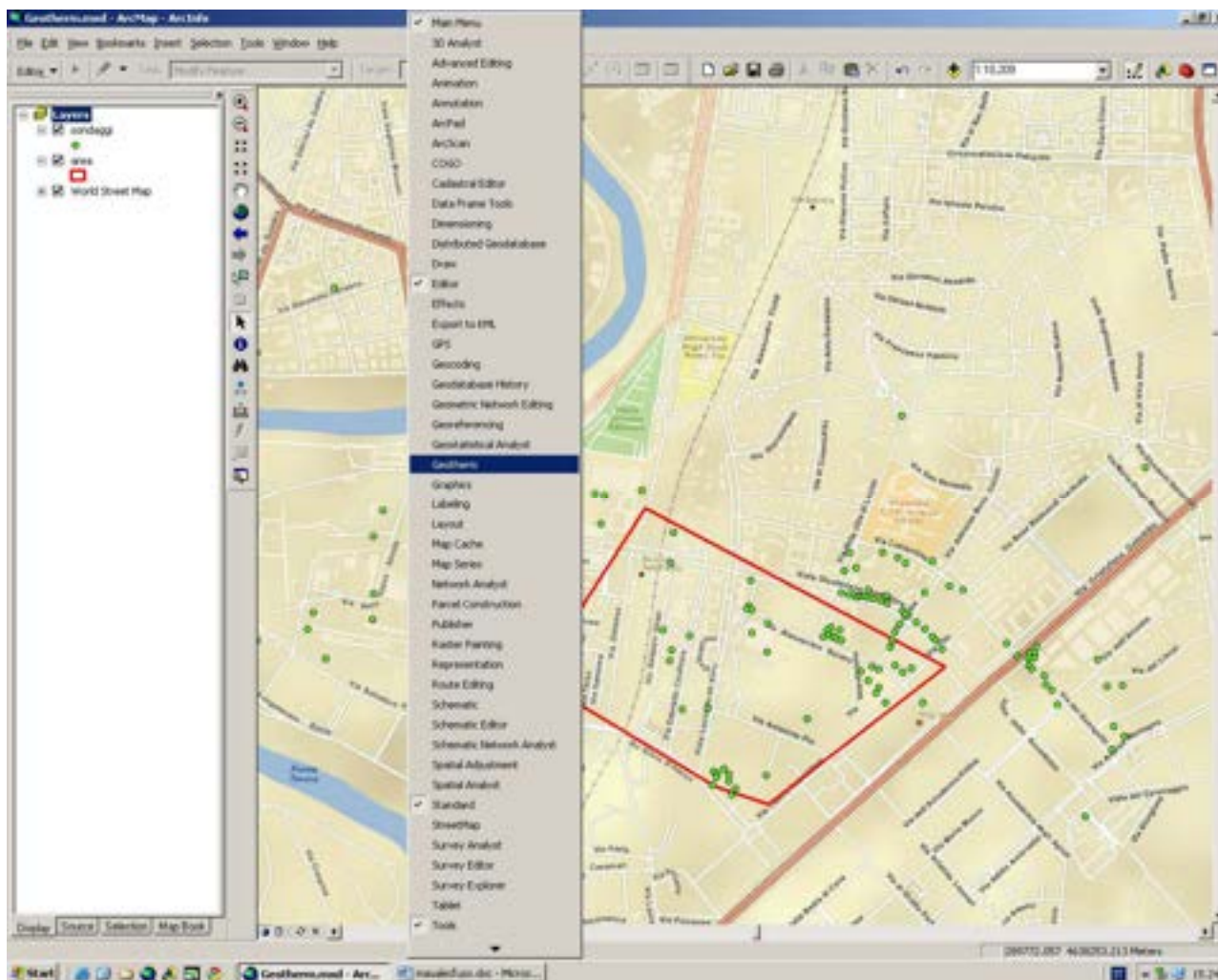


Fig.18 – ricerca della barra delle query



Fig.19 – barra delle query "geotherm"

Nel menù "**Ricerca**" c'è la possibilità di effettuare le seguenti ricerche (fig.20).

Ricerca capacità termica min: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una capacità termica minima $\geq$ del valore digitato

Ricerca capacità termica max: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una capacità termica massima $\leq$ del valore digitato

Ricerca conducibilità termica minima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una conducibilità termica minima $\geq$ del valore digitato

Ricerca conducibilità termica media: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una conducibilità termica media $\geq$ del valore digitato

Ricerca conducibilità termica massima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una conducibilità termica massima $\leq$ del valore digitato

Ricerca resa termica lineare minima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una resa termica lineare minima $\geq$ del valore digitato

Ricerca resa termica lineare massima: ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno una resa termica lineare massima $\geq$ del valore digitato

Ricerca umidità naturale e umidità naturale media: Ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno un valore di umidità naturale percentuale $\geq$ del valore digitato

Ricerca Peso di Volume e peso di volume medio (densità): Ricerca ed evidenzia tutti i sondaggi che hanno un valore di Peso di volume $\geq$ del valore digitato

Ricerca piezometri: ricerca ed evidenzia nell'area scelta tutti i fori di sondaggio attrezzati (o non attrezzati) con piezometro

Ricerca cavità: ricerca ed evidenzia nell'area scelta tutti i sondaggi che hanno individuato (o non individuato) ipogei o cavità

Carica geologia: ritaglia nell'area di studio il vettoriale della geologia

Carica isofreatiche: ritaglia nell'area di studio il vettoriale delle isofreatiche

Carica sezioni: seleziona le sezioni presenti nell'area di studio

Carica sondaggi: seleziona i sondaggi presenti nell'area di studio

Carica pozzi: seleziona i pozzi presenti nell'area di studio

Calcola spessori: definisce nell'area di studio il raster delle quote relative al tetto e al letto dell'acquifero principale (m s.l.m.) e il raster relativo al suo spessore (m)

Esporta in dbf: esporta in .dbf le tabelle relative alle caratteristiche dei sondaggi selezionati (all'interno dell'area di studio o attraverso selezione)

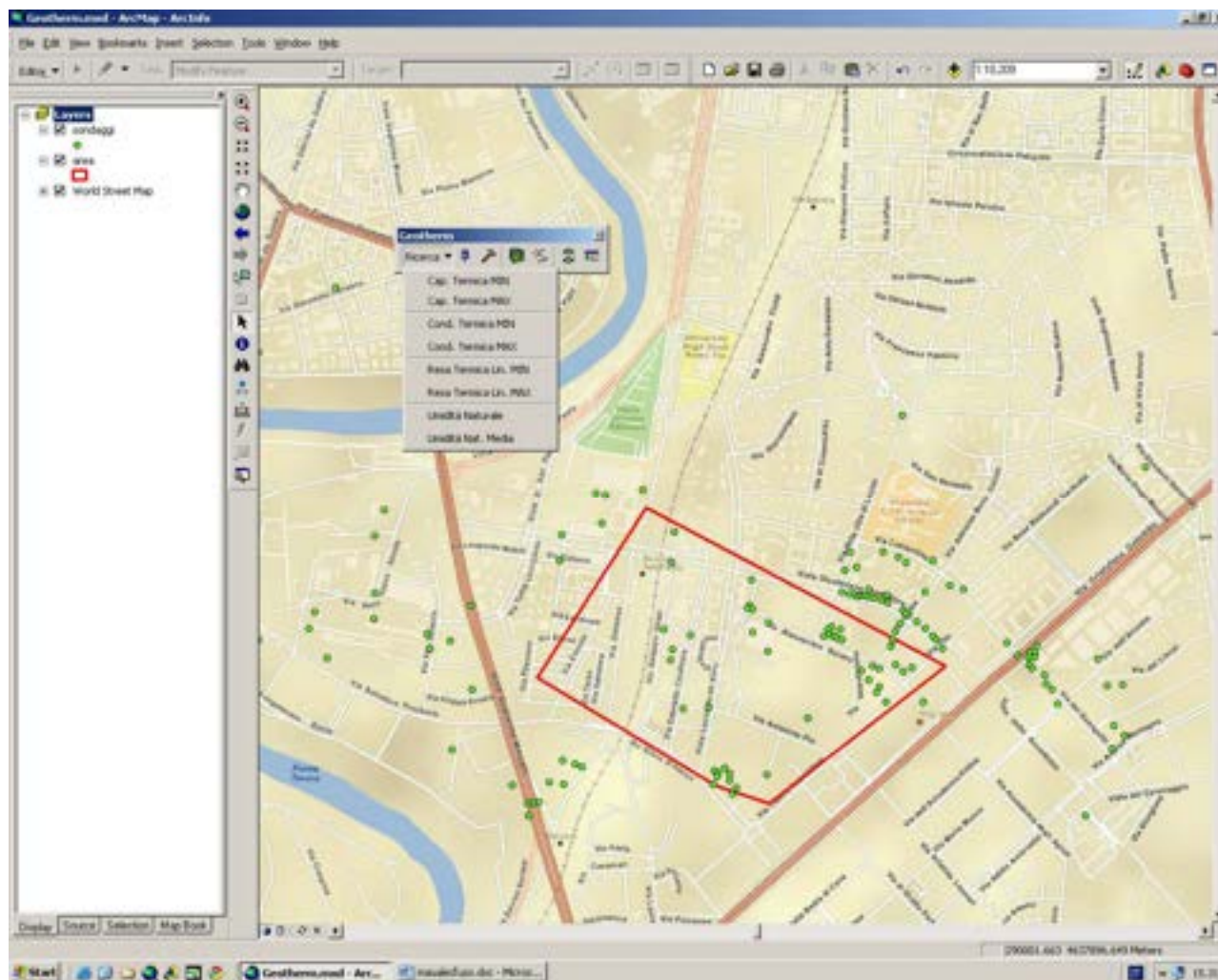


Fig. 20 – ricerca dei sondaggi che soddisfano le condizioni digitate nelle varie caratteristiche

Cliccando nel menù a tendina e scegliendo le caratteristiche che si intendono ricercare si aprirà una finestra di dialogo (fig.21) in cui verranno richieste le varie opzioni di ricerca.

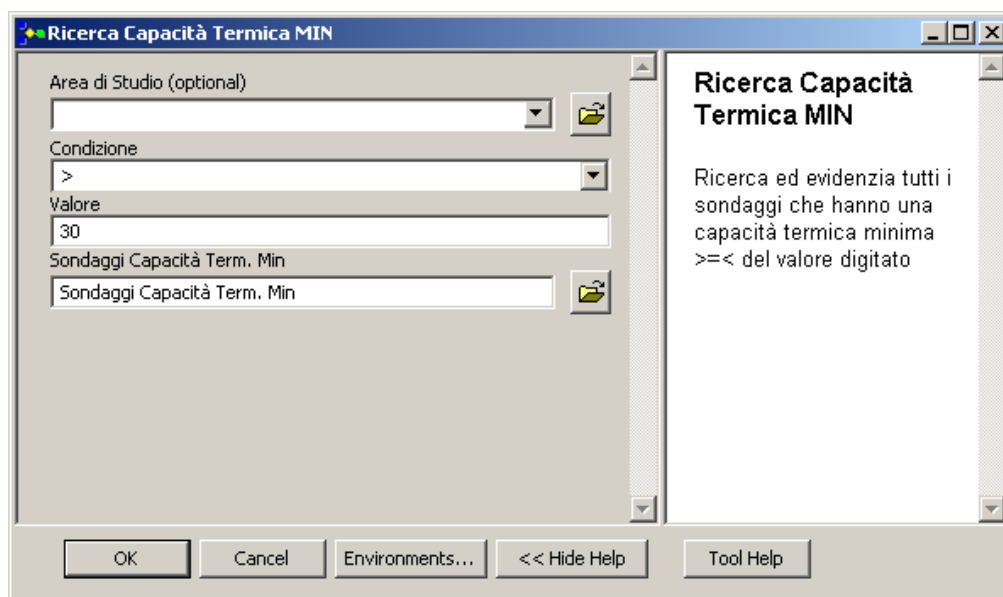


Fig.21 – maschera relativa alla *query* che ricerca tutti i sondaggi, in una determinata area, che soddisfano le condizioni digitate

In questo caso nella *scroll bar* di area di studio si potrà scegliere l'area già editata o creata precedentemente, la condizione (fig.22), il valore e il nome e la collocazione che si intende dare al file di output (ovvero al file relativo a tutti quei sondaggi che rispettano le condizioni digitate).

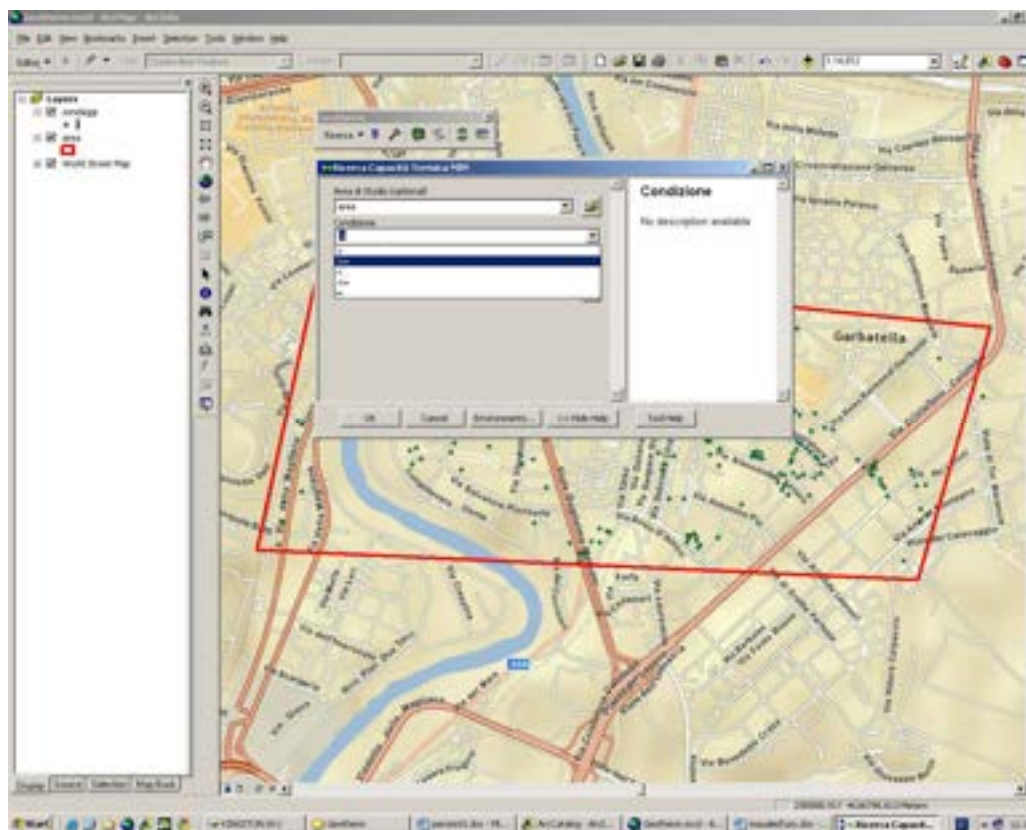


Fig.22 – scelta dell'operatore

La barra di interrogazione possiede anche dei simboli, il primo, la “puntina”, è il *tool* per la ricerca dei sondaggi che sono stati attrezzati con un piezometro (fig. 23)

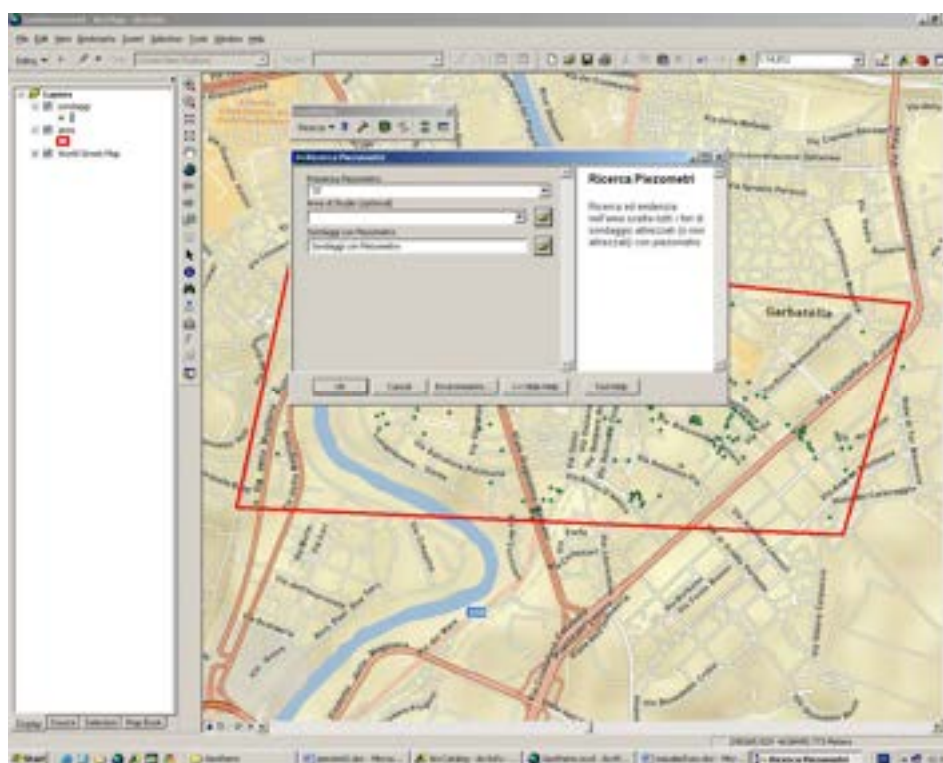


Fig.23 – query per la ricerca dei sondaggi attrezzati con piezometro nell'area di studio

Anche in questo caso il primo menù a tendina permette di stabilire la condizione sondaggi con piezometro si/no, l'area di studio e il nome di output.

Similmente per il tool “martello” che **ricerca i sondaggi** che hanno individuato delle cavità (fig.24), per il *tool* “layer” che carica e taglia secondo l'area di studio lo **shp della geologia**, il tool “linea” che carica e taglia secondo l'area selezionata **le curve isofreatiche**, il tool “strati” che calcola l'**IDW** del tetto, del letto e lo spessore dell'acquifero principale individuato nell'area di studio e il tool “tabella” che **esporta in .dbf** le tabelle degli attributi dei sondaggi individuati nelle precedenti ricerche.

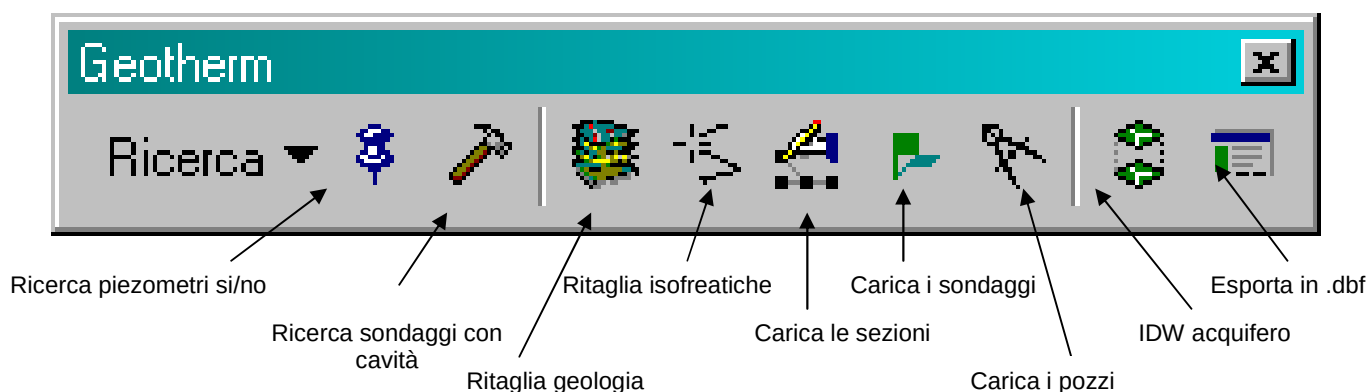


Fig.24 – barra dei *tools* per le query

I risultati della ricerche vengono immediatamente visualizzati nella tabella dei contenuti (*table of contents*) fig. 25.

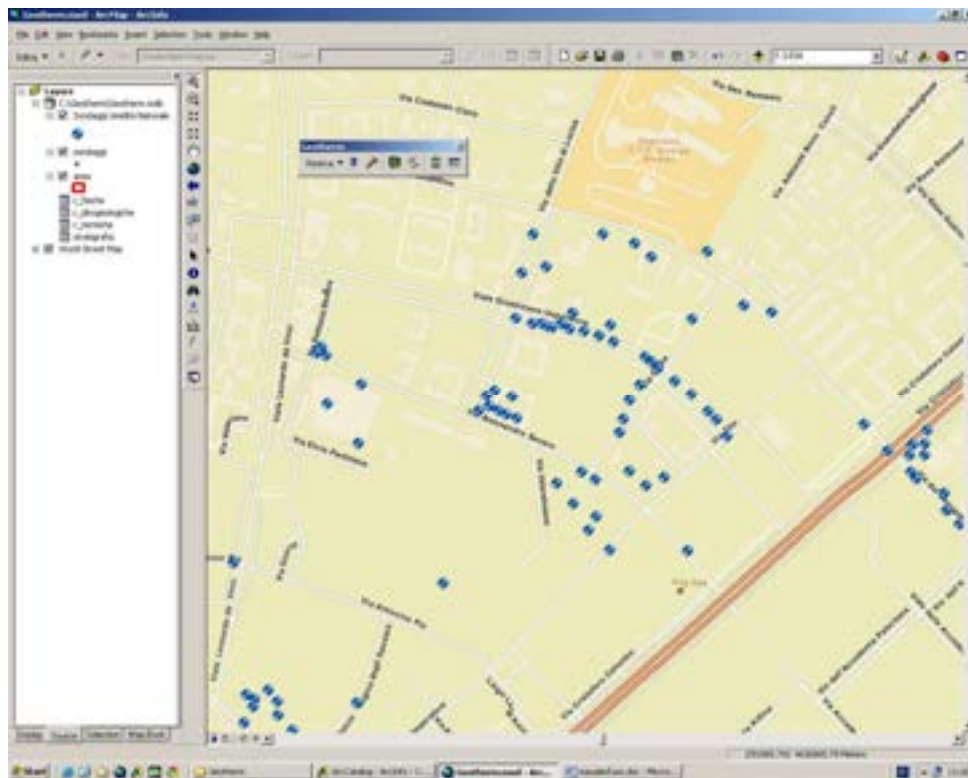


Fig.25 – output derivato dalla query

Tali risultati possono essere salvati esportandoli in qualsiasi cartella precedentemente creata cliccando con il tasto destro sul layer – *data* – *export data* (fig.26).

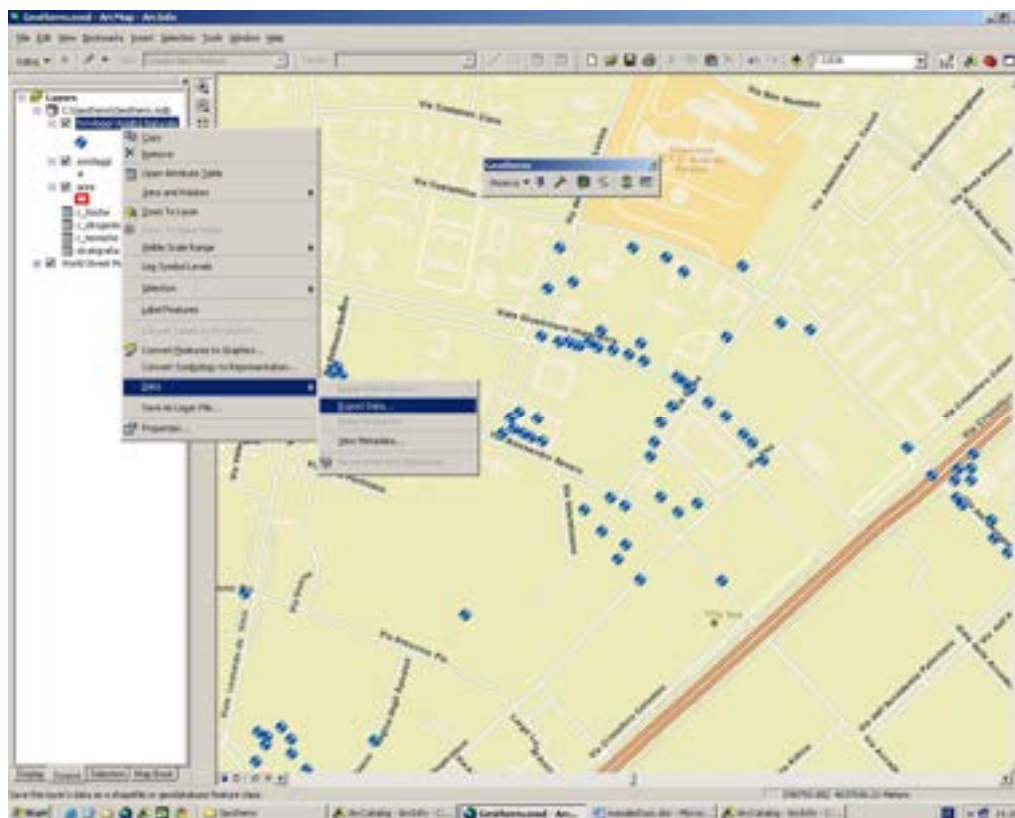


Fig.26 – salvataggio dei dati di output attraverso esportazione

Come prima accennato, è possibile esportare le tabelle degli attributi che interessano in .dbf. ottenendo tabelle in .dbf relative alle caratteristiche fisiche, termiche, idrogeologiche e stratigrafiche dei sondaggi derivati dalle *query* (fig.27)

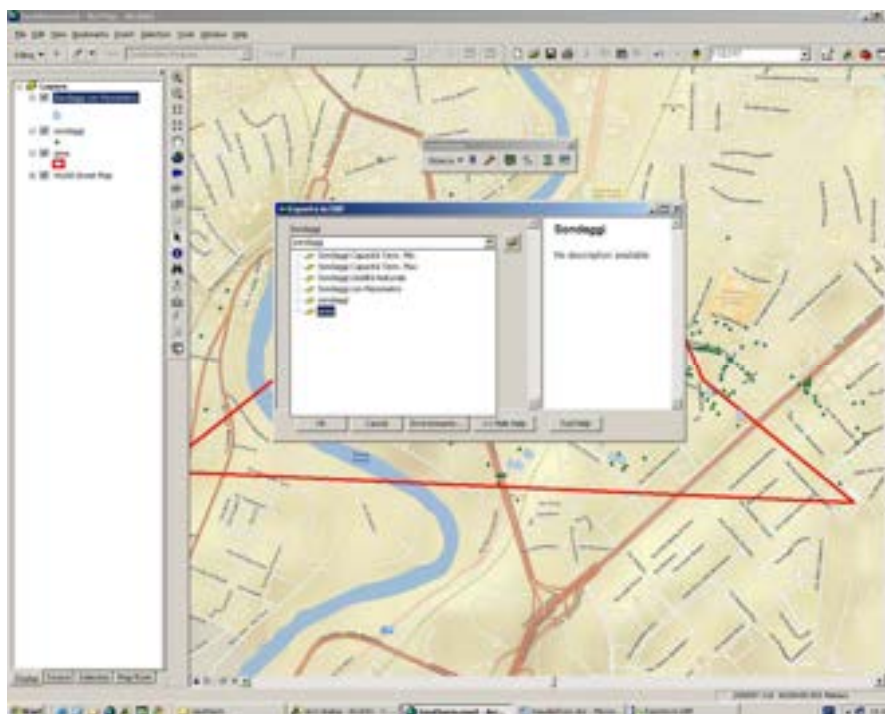


Fig. 27 – shape file derivati dalle query

Queste tabelle saranno salvate nella sottocartella “dbf” all’interno della cartella “Geotherm” che contiene tutto il progetto e il geodatabase con il nome del file scelto dall’utente (fig.28).

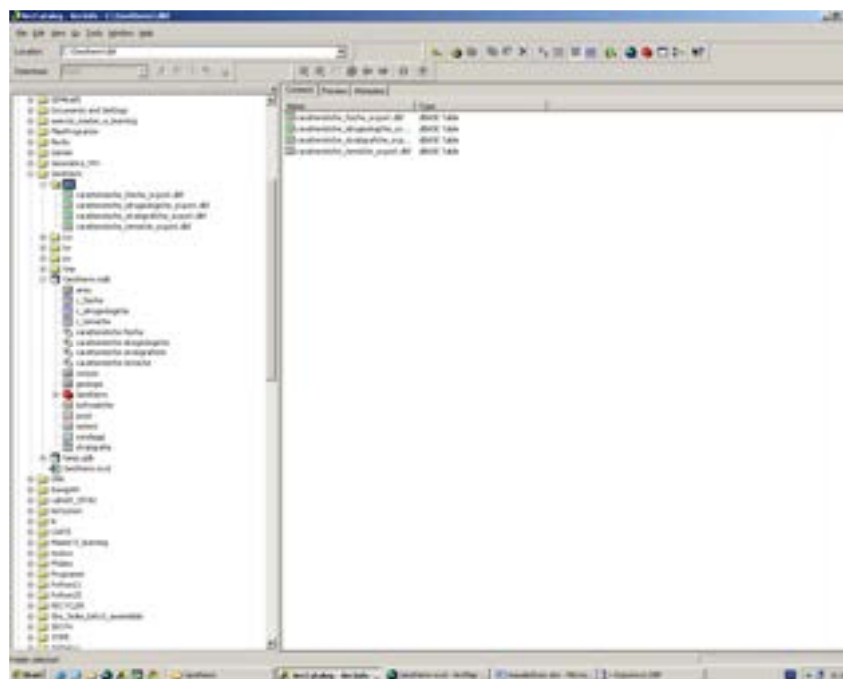


Fig.28 – destinazione delle tabelle degli attributi in .dbf relative ai dati selezionati tramite *query*

Nell’esportazione dei dati in .dbf i nomi dei campi vengono modificati. Non potendo ovviare in altro modo nella cartella GEOTHERM->dbf->nomenclatura campi è inserito un file .xls che permette di identificare l’effettiva nomenclatura.