



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE MM.FF.NN.

Dipartimento di Geoscienze
Direttore: Domenico Rio

TESI DI LAUREA TRIENNALE IN
SCIENZE GEOLOGICHE

**GENERAZIONE DI UNA BANCA DATI
GEOLOGICA IN AMBIENTE ARCGIS
FINALIZZATA ALL'UTILIZZO GEOTERMICO
DEL SOTTOSUOLO NELLA PROVINCIA DI
TREVISO**

Relatore: Prof. Antonio Galgaro
Correlatore: Dott. Elisa Destro

Laureando: Peter Castelletti

ANNO ACCADEMICO 2010 / 2011

Indice:

Abstract	Pag. 1
Introduzione	Pag. 1
Capitolo 1 – Energia Geotermica	Pag. 4
- 1.1 – Geotermia di media-alta entalpia	
- 1.2 - Geotermia di bassa entalpia	
- 1.3 - Parametri fisici	
- 1.4 – Sistemi di geoscambio	
Capitolo 2 – La pianura nella provincia di Treviso	Pag.11
- 2.1 – Alta, Media e Bassa Pianura	
Capitolo 3 - Raccolta dati	Pag.13
- 3.1 – Parametri significativi	
- 3.2 – Raccolta dei dati	
Capitolo 4 - Archiviazione nel sistema ArcGIS	Pag.17
- 4.1 - Introduzione al Geographical Information System (GIS) e Generazione di una banca dati	
Capitolo 5 - Analisi dei dati	Pag.19
- 5.1 – Applicazione parametri bibliografici	
- 5.2 – Inserimento dei dati provenienti da altre fonti	
Capitolo 6 – Cartografia tematica	Pag.23
- 6.1 – Metodi statistici	
- 6.1.1 – IDW: Inverse Distance Weighted	
- 6.1.2 - Kriging	
- 6.2 – Elaborazione di carte tematiche	
- 6.2.0 – Carta dei Punti Campionati	
- 6.2.1 – Carta delle Soggiacenze	
- 6.2.2 – Carta della conducibilità termica	
- 6.2.3 – Carta della conducibilità idraulica	
- 6.2.4 – Carta della velocità di falda	
- 6.2.5 – Carta del gradiente di temperatura	
Capitolo 7 – Carta del potenziale di geoscambio	Pag.32
Conclusioni	Pag.35
Bibliografia / Webgrafia	Pag.37
Ringraziamenti	

Abstract: Generating a database of geological environment in ArcGIS intended use of geothermal ground in the Province of Treviso.

This thesis want to show how to generate a database of geologic data and use it to map geoexchange potential.

The studied area take place about 30 km East from Treviso and it's disposed NW-SE in the Po Plan.

Input dataset was taken, mostly, from the archives in Treviso's Genio Civile, as lithostratigraphic column. Other data has been taken from bibliographic records: thermal and hydraulic conductivity, groundwater level and thermal gradient.

Data has been displayed as points, everyone with their geological information.

With two statistics tools (Kriging and Inverse Distance Weight) all the points has been interpolated into thematic maps.

All the results has been used to create the geoexchange potential map. All values has been divided in three classes: low, medium and high potential.

Introduzione:

Il presente lavoro propone la creazione di una banca dati, compilata in un ambiente arcGIS, libera e potenzialmente fruibile tramite sistemi webGIS; tale banca dati, riassunto della catalogazione di pratiche documentate negli archivi del Genio Civile della Provincia di Treviso, è stata quindi sfruttata per la creazione di una mappa tematica del potenziale di geoscambio di una scelta area della provincia di Treviso.

Tale lavoro di mappatura tematica nasce dalla necessità, oramai sempre più evidente, di veicolare lo sfruttamento energetico, tuttora principalmente legato alla combustione di idrocarburi fossili, verso fonti energetiche maggiormente rispettose dell'ambiente, economicamente competitive e "rinnovabili".

Una fonte energetica "rinnovabile" è una fonte di energia in grado di rigenerarsi nella scala dei tempi umani. Il suo utilizzo non deve pregiudicare lo sfruttamento della risorsa naturale alle future generazioni.

Sotto tale ottica appare immediatamente palese come l'attuale sistema di distribuzione energetica, basata sullo sfruttamento del petrolio e dei suoi derivati, non sia rinnovabile: il tempo che la risorsa impiega infatti a formarsi non è neppure lentamente paragonabile ai tempi di estrazione ed utilizzo della stessa.

Non è inoltre trascurabile l'impatto che tale sistema crea nell'ambiente: è infatti sempre più evidente come l'inquinamento atmosferico, perlopiù legato all'emissione di anidride carbonica nell'atmosfera, stia imponendo cambiamenti climatici che difficilmente possono essere ignorati.

Questa progressiva presa di coscienza ha portato, l'11 dicembre 1997, più di 160 nazioni, alla firma del Protocollo di Kyoto, un accordo creato al comune fine di fissare l'impegno a transitare progressivamente allo sfruttamento di forme di energia non inquinanti (o perlomeno meno inquinanti) attraverso il parametro delle emissioni di CO₂ e di altri gas serra.

Le risorse alternative a quelle fossili sono tuttora oggetto di forte ricerca e sperimentazione in tutto il mondo. Tali ricerche purtroppo, non sono ancora fortemente incentivate nel nostro paese il quale ancora dipende quasi unicamente da fonti energetiche fossili e dall'acquisto di energia di origine termonucleare dai paesi limitrofi. Non è comunque da ignorare il forte sfruttamento del potenziale idroelettrico, principalmente sito nelle aree alpine e pre-alpine, operato e, forse, saturato, fino primi anni '60 del vecchio secolo. Esempio di virtuosismo in tale sfruttamento resta la parte altoatesina della regione autonoma Trentino-Alto Adige la quale trae completamente la propria energia elettrica da fonti idroelettriche; la provincia di Bolzano ha saputo quindi ottimizzare il potenziale energetico naturale presente nel suo, montano, territorio.

Un atteggiamento analogo è attualmente seguito, in altre province, con simili intenti ma mirando a differenti fonti energetiche: l'energia solare, eolica e geotermica.

Ne sono un esempio la Provincia di Treviso e la Provincia di Venezia: site in una zona di pianura, esse hanno iniziato un'opera di classificazione e di mappatura del potenziale di scambio geotermico del loro territorio.

Tale cartografia tematica è infatti considerata un potente strumento di ausilio alla progettazione di impianti geotermici e un ulteriore parametro di giudizio per ciò che riguarda la gestione territoriale sia a livello comunale sia ad un livello più ampio, regionale.

In tale contesto, questo elaborato si propone come contributo a tali progetti: gli studi effettuati coinvolgono un'area che si sviluppa in direzione Nord Ovest – Sud Est sita nella provincia di Treviso.

Obiettivo del lavoro è quindi la raccolta e la catalogazione di dati presenti negli archivi del Genio Civile di Treviso e nelle banche dati dell'ARPAV (Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale – Veneto) sottoforma di banca dati sviluppata in sistema arcGIS e la mappatura, in forma di carta tematica, dei valori di potenziale di geoscambio.

Capitolo 1 – Energia Geotermica

1.1 – Geotermia di alta-media entalpia

L'energia Geotermica è, per definizione, l'energia generata tramite lo sfruttamento di fonti di calore di natura geologica. Essa viene considerata una forma energetica rinnovabile, a patto di considerare la stessa in tempi relativamente brevi.

Essa trae origine dalla naturale produzione di calore che, dal nucleo della terra, ove avvengono potenti reazioni esotermiche di decadimento nucleare di elementi radioattivi, fluisce verso la crosta continentale.

Questo flusso di calore genera un progressivo aumento della temperatura in funzione della profondità dalla superficie terrestre; ad ogni modo non ogni zona del globo risente del flusso in eguale maniera: esistono infatti zone, definite di “anomalia termica” dove il gradiente di temperatura (frutto del rapporto tra temperatura e profondità) è ragguardevolmente maggiore rispetto la media. Tali zone sono spesso definite come zone ad “anomalia termica positiva”. Un esempio valido e semplice è quello della Toscana: fin dall'antichità sede di importanti aree termali, il cui sottosuolo è stato studiato e, per la prima volta al mondo, il 4 luglio 1904, sfruttato al fine di produrre corrente elettrica attraverso turbine a vapore.

Seppur tuttora la risorsa energetica geotermica non sia ancora sfruttata, se non in minima parte, essa rappresenta un potenziale talmente vasto da renderla il soggetto di continui ed approfonditi studi e ricerca.

Considerate le elevate temperature raggiunte in profondità dai materiali che compongono crosta e mantello, le quali posso raggiungere anche qualche centinaio di gradi centigradi, tale potenziale energetico viene spesso sfruttato per la produzione di energia elettrica tramite turbine a vapore. Le acque di scarico, ancora dotate di temperature elevate, vengono spesso sfruttate per il riscaldamento di edifici ed ad uso terapeutico termale.

Proprio dallo sfruttamento di queste sorgenti di calore dotate di alta temperatura l'Islanda ricava enormi quantitativi di corrente elettrica e può riscaldare le proprie case, risparmiando in termini non solo economici ma anche ambientali.

1.2 - Geotermia di Bassa Entalpia

La Geotermia a Bassa Entalpia è definita tale in quanto espressione di fenomeni geotermici caratterizzati da basse temperature.

In tale ambito il sottosuolo assume una funzione di “serbatoio termico”: l'impianto infatti funziona assorbendo calore dal sottosuolo, al fine di riscaldare gli edifici, nel periodo invernale per poi, nel periodo estivo, immettere in profondità il calore in esubero.

Per poter svolgere una funzione simile non è quindi necessaria una fonte elevata di calore, bensì una fonte costante, a media temperatura, ed una pompa di calore.

La pompa di calore è una macchina in grado di privare di calore una fonte “fredda” per cederla ad una parte più “calda”.

Questo processo, evidentemente non spontaneo in quanto termodinamicamente sfavorito, necessita l'immissione di un certo Lavoro sotto forma di energia elettrica.

Un esempio di pompa di calore, seppur invertita, è il comune frigorifero: esso infatti, come il condizionatore d'aria, tramite un lavoro elettrico, trasferisce calore da un corpo più freddo (l'interno del macchinario) ad uno più caldo (l'aria esterna).

La pompa di calore risulta avere rese maggiori laddove la differenza tra temperatura esterna e temperatura del sottosuolo è maggiore.

Importante è il ruolo di re-immissione di calore nel sottosuolo, durante il periodo estivo: esso, infatti, va a ripristinare, più o meno parzialmente, lo stato termico precedentemente (nella stagione estiva) alterato, rigenerando l'assetto termico.

Laddove invece il terreno sia caratterizzato da importanti velocità della falda acquifera, si verificherà un continuo e naturale ripristino dello stato termico del terreno, a causa del trasporto termico advettivo operato dal moto di falda, favorendo così una migliore resa del sistema, ma non consentendo azioni di accumulo termico.

Appare dunque chiaro il concetto di terreno come scambiatore di calore. Proprio grazie a questo tipo di utilizzo, i sistemi geotermici di Bassa Entalpia vengono comunemente chiamati di “geoscambio”.

1.3 – Parametri Fisici

Parametri termici fondamentali nell’ambito del geoscambio sono: il gradiente di temperatura, la capacità termica e conducibilità termica.

Il gradiente di temperatura è un valore che esprime la tendenza alla variazione di temperatura in funzione dello spostamento. Tale parametro è misurato, nel Sistema Internazionale in $\left[\frac{^{\circ}C}{m}\right]$

La capacità termica rappresenta il rapporto tra il calore che vien fornito ad un corpo e il suo conseguente aumento di temperatura. Essa viene misurata in: $\left[\frac{J}{K}\right]$.

Tale parametro ha proprietà estensive in quanto dipende direttamente e proporzionalmente dalla quantità di materia coinvolta.

La conducibilità termica rappresenta l’attitudine di un materiale a trasmettere calore. Essa dipende unicamente dal materiale in questione ed è espressa, nel sistema internazionale come: $\left[\frac{W}{mK}\right]$

Altro parametro d’interesse è quello legato al grado d’umidità: il livello di saturazione. Tale valore è stato ricavato dalla carta delle soggiacenze ed indica la profondità, rispetto il piano campagna, del livello di falda.

Una necessaria e coerente approssimazione è stata quella di considerare, al di sotto del livello di falda, tutti materiali quali saturi.

Un elemento importante è anche il movimento della falda. È dunque necessario studiare i moti dell'acqua in profondità.

Strumento fondamentale al fine è la Legge di Darcy:

$$q = -k \frac{dh}{dx}$$

Dove q è un valore di portata;

k rappresenta la permeabilità;

$\frac{dh}{dx}$ è la variazione di carico idraulico (al variare di x).

Dalla legge di Darcy viene ricavata l'equazione semplificata che descrive le velocità della falda nel mezzo:

$$V = -k \cdot i$$

Dove V indica la velocità;

k rappresenta la permeabilità idraulica;

i esprime il rapporto tra carico idraulico (altezza colonna d'acqua) e la distanza in cui intendiamo misurare.

L'introduzione di tali concetti è necessaria in quanto saranno poi implicitamente utilizzati nella fase d'elaborazione dei dati.

Sono infine definiti come processi di scambio termico i seguenti:

- Irraggiamento
- Convezione
- Conduzione
-

L'irraggiamento è inteso come trasferimento di energia tra due corpi per mezzo di onde elettromagnetiche.

La convezione è un tipo di trasporto causato da un gradiente di pressione e dalla forza di gravità. È assente in solidi e caratteristico di fluidi come liquidi e gas.

La conduzione è intesa come trasmissione di calore attraverso un mezzo, sia esso liquido, solido o gassoso, da un mezzo più caldo ad uno più freddo per contatto. Il fenomeno della conduzione sta alla base del “principio zero” della termodinamica: un elemento A, in equilibrio termico con un elemento B, il quale, a sua volta, in equilibrio termico con un terzo elemento C, è in equilibrio anche con il terzo elemento con cui non è in contatto.

1.4 – Sistemi di geoscambio

Al fine di trasferire calore dal terreno alla superficie (e/o viceversa), è necessario creare un collegamento fisico tra le due parti. La tecnologia atta ad assolvere il compito viene classificata come GSHP: Ground Source Heat Pump. Essa rappresenta infatti i sistemi termici che sfruttano il terreno quale fonte di calore cui trarre e cedere calore.

La re-immissione di calore nei periodi caldi in profondità va a contribuire alla naturale forma di re-equilibrio legata all’assorbimento di calore proveniente, in parte, dalla radiazione solare.

È però doveroso aggiungere come l’effetto della radiazione solare si manifesta solamente negli strati più superficiali del terreno, solitamente in un ordine di grandezza di una decina di metri.

Proprio questa caratteristica permette di estrarre calore in fase invernale per poi cederlo in fase estiva, avendo a che fare con un sistema la cui temperatura risulta essere svincolata dalle temperature esterne.

Gli impianti sono composti, schematicamente, da 3 parti fondamentali:

- sonda geotermica: per scambiare il calore con il sottosuolo
- pompa di calore: per trasferire il calore
- sistema di diffusione: per diffondere il calore

I sistemi geotermici esistenti sono molteplici ma si suddividono principalmente in 2 categorie:

- a circuito aperto: a scambiare calore è l’acqua di falda (o di laghi e fiumi)
- a circuito chiuso: un fluido termovettore circola in sonde collegate alla pompa di calore.

Gli impianti a circuito chiuso sembrano esser preferiti in quanto più sicuri ecologicamente e non vincolati ad un continuo flusso l'acqua. Essi vengono di solito applicati in forme verticali od orizzontali.

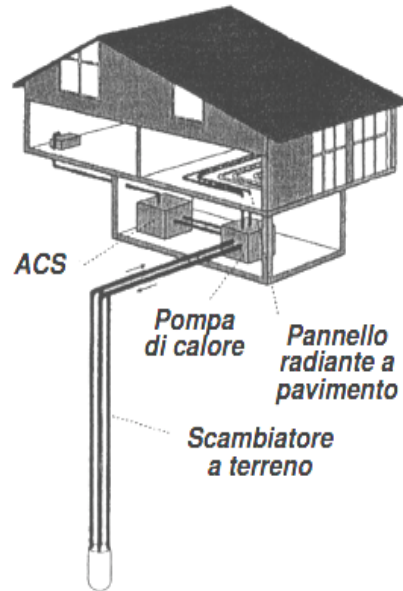


fig.1.1 [Sonda verticale]

*(Pompe di Calore Geotermiche – Alberto Cavallini Workshop Internazionale
28marzo2007)*

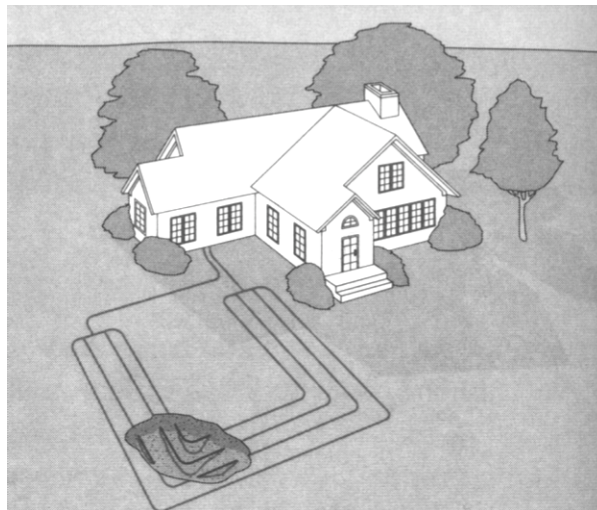


fig.1.2 [Sonda orizzontale]

*(Pompe di Calore Geotermiche – Alberto Cavallini Workshop Internazionale
28marzo2007)*

In Fig.1.1 ed 1.2 si vedono degli schemi raffiguranti due differenti tipologie di sonde. Le possibili applicazioni nel campo sono molteplici e varie; esse variano da sonde semplici “ad U” a sonde a “doppia U” fino ad arrivare a tecniche che sfruttano gli stessi piloni delle fondamenta dell’edificio.

Capitolo 2 – La pianura nella provincia di Treviso

2.1 – Alta, Media e Bassa Pianura

La Pianura Padana è caratterizzata da differenti contesti idrogeologici; costituita da sedimenti di natura alluvionale, essa può essere suddivisa in tre fasce:

- Alta pianura
- Media pianura
- Bassa pianura

L'alta pianura corrisponde a quella fascia di terreno che ha inizio laddove i fiumi entrano nella pianura ed ha termine sulla linea delle risorgive.

Il sedimento appare principalmente ghiaioso e sabbioso, poco o nulla differenziato per una profondità di diverse centinaia di metri. In questa zona avviene l'importante fase di ricarica del sistema idrogeologico dell'intera pianura.

In questa fascia, inoltre, i fiumi che scorrono sulla superficie hanno "caratteristiche disperdenti": essi tendono, infatti, a ricaricare la falda con la loro acqua.

Studi dettagliati in argomento sono stati eseguiti nel tempo. Ne è un valido esempio:

“Si ritiene, a tal riguardo, che siano i sistemi fluviali ad assicurare precipuamente, attraverso i processi di dispersione nel tratto di alta e media pianura, l'alimentazione degli acquiferi sotterranei. Il Piave, ad esempio, manifesta, nei confronti della falda regime disperdente nel tratto compreso tra Vidor e Salettuol mentre diventa drenante nel tratto successivo.” [Cit: Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali – Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, 24 febbraio 2010]

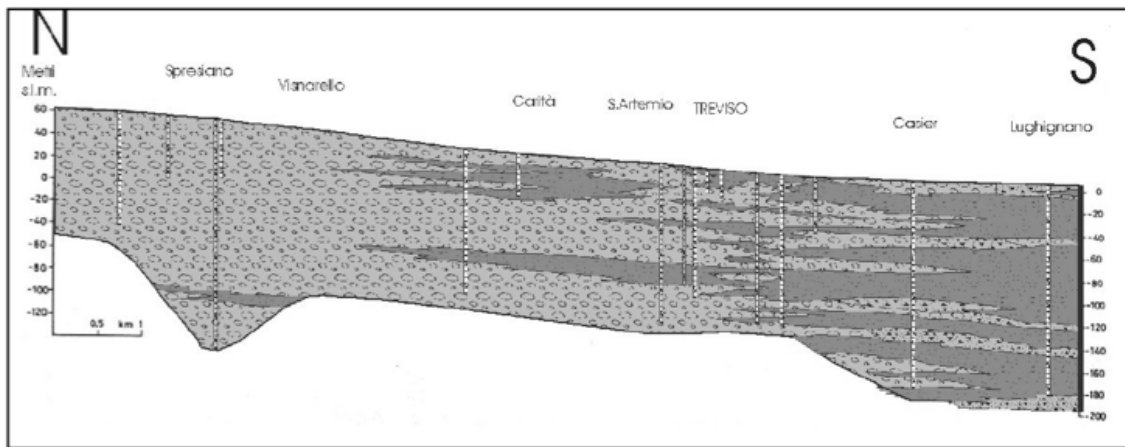
Con il passaggio della linea delle risorgive si entra nella fascia della media pianura: zona caratterizzata dal progressivo passaggio da depositi ghiaioso/sabbiosi indifferenziati a depositi stratificati e continui di materiali fini, come argille e limi, alternati a sedimenti grossolani.

Il passaggio tra i due sistemi ha una geometria definita “ad interdigitazione”.

L'acqua sotterranea si insinua per lo più in falde confinate a formare falde artesiane. La parte in eccesso risale, subendo l'azione di “tappo” dei primi livelli argillosi, verso la superficie dando origine a tipiche fonti definite “fontanili”.

La fascia della bassa pianura, infine, ha origine nella fascia di transizione ed arriva sino la costa marittima.

I sedimenti ghiaiosi divengono particolarmente rari mentre si riscontra un complesso sistema di orizzonti sedimentari fini (argillosi e limosi) alternati ad orizzonti sabbiosi. Oltre alla falda freatica abbiamo una complessa serie di falde confinate ed in pressione. I fiumi, a differenza di quanto avviene nella zona di alta pianura, hanno natura drenante: vengono infatti alimentati dalla falda stessa che, nelle zone limitrofe, risulta essere ad una “quota più alta”.



Img2.1 (Schema idrogeologico dell'alta e media pianura Veneta)

Capitolo 3 – Raccolta Dati

3.1 – Parametri significativi

Come precedentemente anticipato, l'opera di mappatura del potenziale di geoscambio risulta essere un utile strumento sia nell'ambito della valutazione e la gestione territoriale, sia in ambito di pre-progettazione come punto di partenza per uno studio locale più approfondito.

Perché tale mappatura acquisti significato, è necessario che i parametri sulla quale la si costruisce siano significativi.

I parametri ritenuti importanti sono:

- caratteristiche degli strati, informazioni litostratigrafiche
- granulometria e tessitura degli strati
- caratteristiche di conducibilità idraulica e termica

Le caratteristiche litostratigrafiche consentono di riconoscere le caratteristiche naturali del sedimento: dimensioni, caratteristiche geometriche ed i rapporti tra strati.

La granulometria risulta utile nel suddividere in classi, sulla base della dimensioni, i depositi alluvionali. Le classi riconosciute, al fine della definizione dei tematismi di interesse, sono state così semplificate sulla base della classe dominante: Ghiaia, Sabbia, limo ed argilla. Sono poi stati considerati livelli intermedi: argilla e sabbia, argilla limosa, sabbia e ghiaia e sabbia limosa. Sono inoltre stati presi in considerazione anche i litotipi coerenti come la marna ed il conglomerato, considerati come roccia integra.

Le caratteristiche di conducibilità idraulica e termica sono invece fondamentali nell'assegnare un significato concreto, almeno sotto il punto di vista della mappatura del potenziale, ai valori di granulometria ed alle informazioni litostratigrafiche.

I valori di conducibilità termica sono stati tratti dalle normative tedesche nominate: VDI 4640 (10 Years VDI 4640 – German guidelines for Ground Coupled Heat - Pumps, uses and direct thermal use of the underground – M.Reuss, 2007).

I valori di conducibilità idraulica sono stati anch'essi tratti da valori bibliografici. (riportati anche in: Prospezioni Idrogeologiche - Pietro Celico [1993]).

Un'ulteriore considerazione è stata fatta sulle caratteristiche della falda acquifera. Sono,

infatti, più che rilevanti, al fine di calcolare il valore di conducibilità termica, i parametri di saturazione dei pori. L'acqua nel materiale, infatti, enfatizza ed innalza la capacità di scambio fino a valori superiori del 200% ed oltre, in talune situazioni.

La falda, inoltre, con il suo movimento, può creare differenze nel potenziale di geoscambio, in quanto è in grado di ripristinare in breve tempo gli squilibri termici indotti.

Le elaborazioni al riguardo dei livelli di falda e del suo movimento sono stati fatti a partire da dati forniti dall'ARPA-Veneto.

3.2 – Raccolta dei dati

I dati utilizzati in questo lavoro sono stati presi da due fonti: l'ARPA Veneto ed il Genio Civile di Treviso.

Nel primo caso essi erano già redatti in formato digitale e catalogati in funzione di lavori analoghi antecedenti (*Tesi inedita, Destro E. 2007-2008*).

I dati ricavati dal Genio Civile, invece, non erano mai stati catalogati in formato digitale.

Il lavoro di raccolta dati quindi è consistito nel fotografare, negli archivi del Genio Civile di Treviso, i documenti relativi alle pratiche di richiesta di permesso per lo sfruttamento idrico ad uso privato tramite pozzo.

Tali pratiche contengono infatti indicazione geografica relativa alla locazione del pozzo, la descrizione della colonna stratigrafica perforata, l'anno della pratica ed altre notizie, futuri al fine pratico della mappatura del potenziale di geoscambio ma utili in sede di archiviazione in banca dati digitale.

Il range d'assunzione dati è stato fissato nei 10 anni intercorsi tra 2000 e la prima metà del 2010, inclusi.

I riferimenti geografici sono stati riportati su mappe digitali disponibili on-line (<http://www.google.com/earth>) così da poter ottenere, partendo da indirizzi civici, coordinate geografiche esportabili in un unico file [*.kmz], formato compatibile con il Geographical Information System (GIS).

Questi file di coordinate sono poi stati adattati al sistema di riferimento di Monte Mario

ed, infine, come sopra accennato, importate nel Geographical Information System (arcGIS, ESRI™).

REGIONE VENETO
UFFICIO DEL GENIO CIVILE DI TREVISO

PP - / /

Ditta
residente a San Polo di Piave Via Spiridiona – località S. Giorgio

Perforazione / Approfondimento pozzo ad uso domestico

in Comune di San Polo di Piave Frazione S. Giorgio

Località via Spiridiona Sezione Foglio mapp.

Data di ultimazione dei lavori 18 GEN. 2001

Ditta perforatrice

Caratteristiche del pozzo:
 avanpozzo (si o no) NO
 interno tubi mm. 76
 profondità mt. 110,00

Caratteristiche del gruppo:
 motore pompa:
 livello statico m. +3,20
 livello dinamico m. +2,10
 tipo della pompa centrifuga
 max prevalenza della pompa m. 21,30
 tipo di motore elettrico
 potenza del motore CV = 0,75
 portata emunta: lt/sec. 18,00
 Superficie irrigata (per pozzi irrigui)
 ha. are ca.

Consumo giornaliero (per pozzi per usi alimentari, industriali, zootecnici ecc.)
 mc.

STRATIGRAFIA DEL TERRENO	
Indicare la natura dei terreni e le FALDE ACQUIFERE ATTRAVERSATE, specificando se il tubo è fenestrato in corrispondenza e se si tratta di sabbia, finissima, fina, media, grossa o ghiaietto.	
da mt. 0,00	a mt. 0,50
terreno vegetale	
da mt. 0,50	a mt. 12,00
ghiaia mista a sabbia	
da mt. 12,00	a mt. 49,00
argilla compatta	
da mt. 49,00	a mt. 57,00
ghiaia mista a sabbia	
da mt. 57,00	a mt. 73,20
argilla	
da mt. 73,20	a mt. 78,00
ghiaia	
da mt. 78,00	a mt. 80,30
argilla compatta	
da mt. 80,30	a mt. 88,00
ghiaia	
da mt. 88,00	a mt. 100,00
argilla compatta	
da mt. 100,00	a mt. 110,00
ghiaia con acqua	

[Esempio di pratica esaminata (alcuni campi sono stati oscurati per preservare la privacy dell'intestatario del pozzo)]

I dati sono poi stati suddivisi per comune d'appartenenza ed inseriti in tabelle digitali, di cui un esempio:

nome pozzo	N pratica	Fonte	Anno	Comune	Litologia	prof pozz	Tetto	Letto	Spessore	POINT X	POINT Y	ID pozzo
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	terreno vegetale	110	0	0,5	0,5	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	sabbia e ghiaia	0	0,5	3	2,5	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	sabbia e ghiaia	0	3	12	9	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	argilla	0	12	49	37	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	sabbia e ghiaia	0	49	57	8	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	argilla	0	57	73,2	16,2	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	ghiaia	0	73,2	78	4,8	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	argilla	0	78	80,3	2,3	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	ghiaia	0	80,3	88	7,7	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	argilla	0	88	100	12	1765068,97	5075184,73	17650695075185
spiridiona	001068	genio civile	2001	san polo di piave	ghiaia	0	100	110	10	1765068,97	5075184,73	17650695075185

[Esempio di pratica catalogata]

Si notano i campi:

Nome pozzo, Numero di pratica, Fonte del dato, Anno della pratica, Comune della perforazione, Litologie (adattate al sistema tedesco VDI4640, di cui sopra accennato),

Profondità del pozzo, Tetto del singolo strato, Letto dello stesso, Spessore, due campi di coordinate geografiche (in sistema chilometrico) ed, infine, il codice di riconoscimento univoco per ogni pozzo ID Pozzo.

CAPITOLO 4 - Archiviazione nel sistema ArcGIS

Una volta catalogati in tabelle, tutti i dati sono stati importati nel programma ESRI arcGIS™, cosicché l'insieme di informazioni potesse esser sia visualizzato tramite punti in una mappa, sia elaborato al fine di creare delle carte tematiche.

4.1 – Introduzione al Geographical Information System (GIS) e generazione di una banca dati

“ArcGIS is a system for people who rely on accurate geographic information to make decisions. It facilitates collaboration and lets you easily author data, maps, globes, and models on the desktop and serve them out for use on a desktop, in a browser, or in the field, depending on the needs of your organization.”

(cit: <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>).

I file trattati dal programma sono tipicamente due:

- Shape file
- Raster dataset

Lo shape file è così definito:

“A shapefile stores nontopological geometry and attribute information for the spatial features in a data set. The geometry for a feature is stored as a shape comprising a set of vector coordinates. Shapefiles can support point, line, and area features. Area features are represented as closed loop, double-digitized polygons. Attributes are held in a dBASE® format file.

Each attribute record has a one-to-one relationship with the associated shape record.”

[cit: *ESRI Shapefile Technical Description*, An ESRI White Paper - July 1998]

Il Raster dataset è così definito:

“Raster dataste - A single picture of an object or a seamless image covering a spatially continuous area. This may be a single original image or the result of many

images appended together”

[cit: *Raster Data in ArcSDE® 9.1, An ESRI® White Paper - September 2005*].

Nella pratica il Raster è una rappresentazione della realtà attraverso una griglia regolare nella quale ad ogni cella è associato un valore alfanumerico che ne rappresenta un attributo.

Il GIS è quindi, sostanzialmente, un sistema interattivo capace di memorizzare informazioni e di dare loro significato geografico. Esso lavora su differenti piani definiti “Layers”, fatto particolarmente utile in quanto consente la semplice visione sia di un insieme di dati, sia solamente una loro selezione.

Nel contesto di questo programma, i dati catalogati in precedenza, sono stati salvati nella forma di Attribute Table di uno Shapefile: ogni informazione è stata associata alle coordinate geografiche del punto in questione in modo chiaro ed univoco. (Un esempio di Attribute Table è riportata sopra, nel contesto della classificazione dei dati raccolti) Questo lavoro ha avuto come risultato la creazione di una banca dati caratterizzata da un semplice e chiaro significato e un comodo utilizzo.

Ulteriore punto di forza di questo sistema è la possibilità di condivisione delle banche dati in un sistema nominato WebGIS. Questa funzione consente quindi di recuperare dati già elaborati da terzi, importarli ed utilizzarli al fianco dei propri personali. Potenzialmente poi, anche questi ultimi dati saranno poi resi condivisibili e reperibili in rete, facilitando così il compito a terzi pubblici o privati. Una precisazione da fare, inoltre, è quella che riguarda l’accesso a tali dati: il creatore potrà decidere il livello d’accesso a tali dati di modo da selezionare l’utenza che usufruirà del proprio lavoro.

Capitolo 5 - Analisi dei dati

I dati catalogati, mappati e catalogati consistono in un numero superiore a 2400 pozzi. Di questi però solo una parte sono stati poi utilizzati nell'area di studio scelta: circa 250 dati. La scelta dell'area è stata fatta in modo da poter ottenere una sezione orientata approssimativamente lungo un asse nord-sud in grado di mostrare le differenze presenti tra alta, media e bassa pianura.

5.1 – Applicazione parametri bibliografici

Al fine di ottenere una catalogazione coerente ed una cartografia tematica quanto più precisa possibile, si è deciso di affiancare i dati litostratigrafici e granulometrici a valori bibliografici di conducibilità termica ed idraulica.

Conducibilità termica

Sistema Tedesco VDI4640, il quale assegna ai materiali trattati i valori seguenti:

Litologia	Asciutto [W/mK]	Saturo [W/mK]
Argilla	0,5	1,7
Limo	0,5	1,7
sabbia	0,4	2,4
Ghiaia	0,4	1,8
Argilla e Sabbia	0,45	2,05
Argilla Limosa	0,5	1,7
Sabbia e Ghiaia	0,4	2,1
Sabbia Limosa	0,45	2,05
Terreno vegetale	0,5	1,7
Torba	0,4	0,4
Conglomerato	3,22	3,59
Marna	2,1	2,1
Arenaria	2,3	2,3

[tabella 5.1 – Valori di conducibilità termica tratti dalle norme tedesche VDI 4640]

I valori sopra elencati sono stati inseriti nella banca dati ed assegnati opportunamente. Per determinare i livelli saturi da quelli insaturi si ha applicato una ragionevole approssimazione: al di sotto del livello medio di falda tutte le litologie sono state considerate essere sature.

Il livello di falda medio è stato ottenuto, per ogni punto, tramite lo studio della Carta delle Soggiacenze (fonte: ARPA Veneto), carta che riassume la differenza tra i valori di quota topografica ed i valori di quota della falda, graficata attraverso uno shape file delle linee isofreatiche (fonte: ARPA Veneto), entrambi rapportati sul livello del mare medio (l.m.m).

I valori di conducibilità termica, moltiplicati per il relativo spessore, sommati ed infine rapportati all'altezza della colonna stratigrafica totale, ci hanno fornito il valore di conducibilità medio per ogni pozzo.

Conducibilità Idraulica

Nel calcolo dei valori medi di conducibilità idraulica sono stati presi in considerazione, come base di partenza, i valori bibliografici descritti in: *Prospezioni Idrogeologiche - volume primo, Pietro Celico (1993)*

Grado di Permeabilità Relativa	Coefficienti di Permeabilità (m/s)	Tipi di Materiale
Alto	$K > 10^{-2}$	Ghiaia
Medio	$10^{-2} > K > 10^{-4}$	Sabbia
Basso	$10^{-4} > K > 10^{-9}$	Sabbia Fine, Silt
Impermeabile	$10^{-9} > K$	Argilla

[Tabella 5.2, Permeabilità Idraulica]

I valori dei materiali precedentemente definiti come “intermedi”, sono stati adattati a questa tabella in modo da tener conto delle differenze che li caratterizzano. Ciò è stato fatto sfruttando il range che contraddistingue ogni valore. Un esempio è il campo “Sabbia e Ghiaia” che avrà una conducibilità inferiore a quella della ghiaia ma superiore a quella della sabbia ($10^{-2} < K_{\text{sabbia e ghiaia}} < 10^{-4}$, dove il valore K è stato quindi assunto

come 10^{-3}).

Con un procedimento simile a quello già applicato nel calcolo della conducibilità termica, i dati sono stati mediati in funzione del loro peso.

Il risultato è stato un database contenente: riferimenti geografici, codice identificativo del pozzo, valori mediati di conducibilità termica ed idraulica.

OBJECTID	nome_pozzo	Comune	POINT_X	POINT_Y	prond_pozz	ID_pozzo	Cond_T_med	K_MEDIO
1798	spirdiona	san polo di piave	1765068,97	5075184,73	110	17650695075185	1,7395	0,002222738
573	stabiuzzo19	cimadolmo	1762293,81	5074223,55	110	17622945074224	1,7077	0,003636469
1237	stadio35	ormelle	1765420,81	5074766,35	109	17654215074766	1,7134	0,001215609
1779	tezze26	pan polo di piave	1762233,4	5079379,29	42	17622335079379	1,6142	0,003333340
1789	tezze8	san polo di piave	1763111,13	5078676,55	108	17631115078677	1,8556	0,005000005
1233	toniolo1	ormelle	1766370,1	5075413,06	110	17663705075413	1,7245	0,003545470

[Tabella 5.2: estratto d'*attribute table* che mostra i valori mediati di conducibilità idraulica (K_MEDIO)]

5.2 – Inserimento dei dati provenienti da altre fonti

Oltre i dati raccolti, come sopra riportato, al Genio Civile di Treviso, altri dati sono stati attinti da banche dati dell'ente regionale ARPA Veneto, dai registri della Provincia di Treviso e dagli archivi della Regione Veneto.

Tali dati sono:

- Temperature medie dell'aria
- Temperature medie a diverse profondità nel terreno
- Carta delle profondità della falda
- File DEM ed Hillshade del territorio

I valori di temperatura media dell'aria sono stati sfruttati per creare una mappa delle temperature medie annuali nell'area studiata.

I dati sono relativi a stazioni di controllo meteorologico diffuse nella regione.

Le temperature medie, misurate a diverse profondità, hanno consentito la creazione, assieme alla carta della T media dell'aria, di una mappa del gradiente di temperatura, in funzione alla profondità, nell'aria di studio. Bisogna specificare però che la temperatura del terreno superficiale è stata approssimata a quella media dell'aria. Questa approssimazione potrebbe creare errori anche influenti qualora si dovesse lavorare nei primi metri di terreno. Esso, infatti, ha continue variazioni di temperatura sia, a scala minore, a livello giornaliero sia a livello stagionale. Il dato da noi sfruttato è quindi una mera media della temperatura annuale. Quest'approssimazione è comunque valida nel contesto di uno studio, come è il caso, del gradiente di temperatura del terreno al fine di calcolare il potenziale di geoscambio del terreno in medie profondità (ordine di grandezza: 100m).

Capitolo 6 – Cartografia tematica

In questo capitolo saranno introdotti i metodi statistici d'interpolazione utilizzati nell'elaborazione delle mappe, le analisi effettuate ed i risultati ottenuti.

6.1 – Metodi statistici

Come sopra descritto, una buona parte del lavoro svolto consta nella creazione di una banca dati geologica ma, nel passare alla seconda fase del lavoro, relativa alla cartografia tematica, ci si trova a dover affrontare un problema: dare un significato spaziale continuo a valori puntuali.

I dati, infatti, sono rappresentativi di pozzi ed hanno quindi una rappresentazione geografica puntuale; risulta quindi necessario il trattamento dei dati attraverso strumenti statistici in grado di interpolare al meglio i nostri punti.

In questo lavoro son stati presi in considerazione due metodi statistici, entrambi integrati nel programma GIS:

- Metodo Inverse Distance Weighted (IDW)
- Metodo Kriging

6.1.1 – IDW: Inverse Distance Weighted:

Metodo di interpolazione che stima i valori delle celle, facendo una media dei valori dei punti di campionamento. Il sistema stima i diversi dati in funzione della loro distanza dalla cella in questione: maggiore è la distanza, minore è il peso che il dato avrà nella media. È possibile interagire con questa funzione in due modi: alterando il parametro definito “Power” (espresso come numero adimensionale capace di spaziare, con continuità, tra 0 e 3, che rappresenta la sensibilità che il calcolatore affiderà a punti più distanti) e alterare il numero di punti più vicini alla cella che il calcolatore andrà ad analizzare.

Caratteristica fondamentale di questo sistema è quella di porre, in corrispondenza di un punto del campione di dati, il valore esatto, reale, del campione. Questa caratteristica, se non attentamente considerata, porta solitamente alla creazione di aree limitate,

circoscritte anche ad un singolo punto, caratterizzate da un valore anomalo. Accettare questa condizione significa implicitamente considerare i valori in possesso come affidabili e certi.

6.1.2 - Kriging:

“Il kriging è un metodo di regressione usato nell'ambito dell'analisi spaziale (geostatistica) che permette di interpolare una grandezza nello spazio, minimizzando l'errore quadratico medio.” [cit: <http://it.wikipedia.org/wiki/Kriging>]

Come il metodo IDW, il Kriging consente di eseguire interpolazioni: ipotizzare un valore di una variabile in un punto dello spazio in cui non abbiamo dati se non ad una certa distanza.

Come il sistema già descritto, il Kriging consente di dare maggior importanza a dati siti più vicini, rispetto a dati maggiormente distanti.

La sostanziale differenza tra IDW e Kriging è l'utilizzo di quest'ultimo, di un sistema di assegnamento dei pesi legato allo studio del semivariogramma: *“un grafico che mette in relazione la distanza tra due punti e il valore di semivarianza tra le misure effettuate in questi due punti. Il semivariogramma espone, sia in maniera qualitativa che quantitativa, il grado di dipendenza spaziale, che altro non è che l'autocorrelazione”* [it.wikipedia.org]

Il semivariogramma, all'interno dell'ambiente GIS, è caratterizzato da diversi possibili modelli di riferimento: Circolare, Sferico, Esponenziale, Gaussiano e Lineare.

Nelle elaborazioni del dataset di questo lavoro, è stato preferito l'utilizzo di un modello sferico.

Ulteriore differenza tra i due sistemi è che il kriging, a differenza dell>IDW, non restituisce necessariamente il valore esatto del campione, nel punto del campione stesso.

Tutti i sistemi di interpolazione prevedono necessariamente l'introduzione di un errore. Il loro fine è proprio quello di minimizzare tale errore.

Il programma, ad ogni modo, confrontando con un modello fisico prestabilito, è in grado di fornire all'utente un parametro di errore, così ch'egli possa valutare il margine di correttezza della propria operazione.

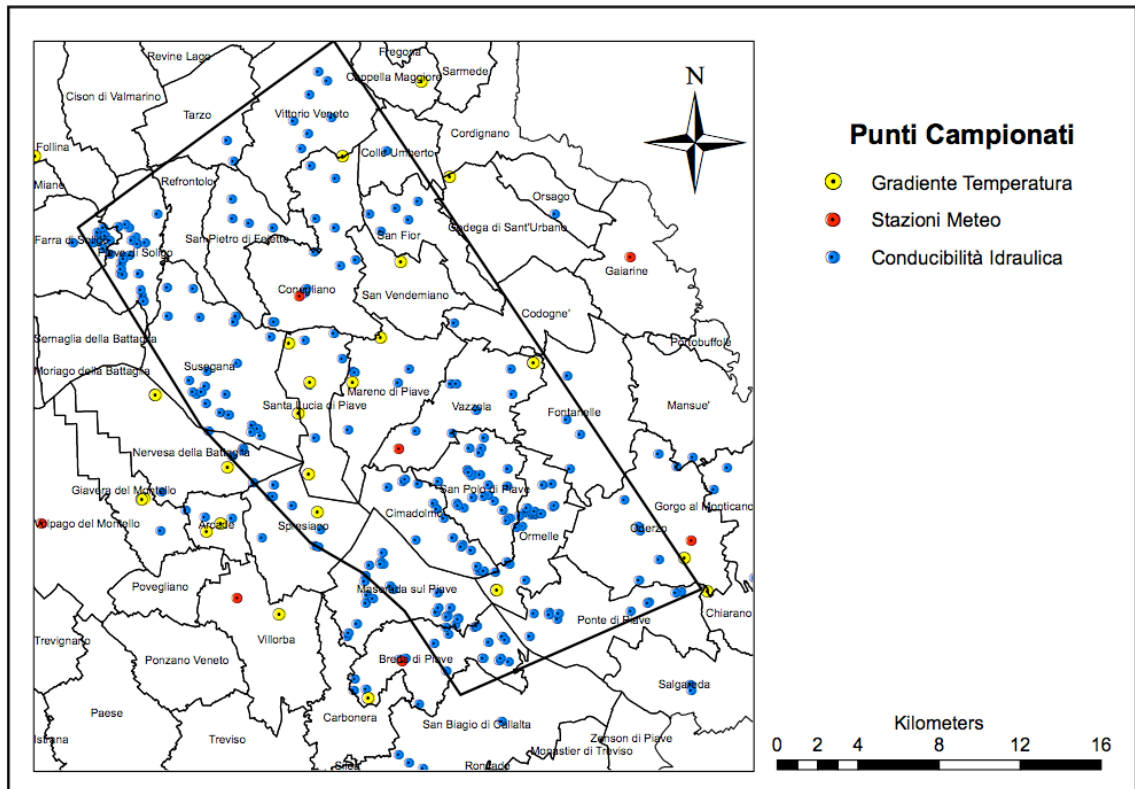
6.2 – Elaborazione di carte tematiche

In questo paragrafo verranno inserite e commentate la carte tematiche elaborate.

Le carte inserite sono state alterate e non rispettano l'originale scala 1:200.000. Le carte originali, nel loro corretto formato, saranno poi aggiunte in formato A4, in forma di allegato, alla fine di questo documento.

Tutti gli elaborati qui esposti, ad eccezione dei primi due, sono stati ottenuti attraverso il sistema statistico Kriging.

6.2.0 – Carta della localizzazione dei punti di informazione

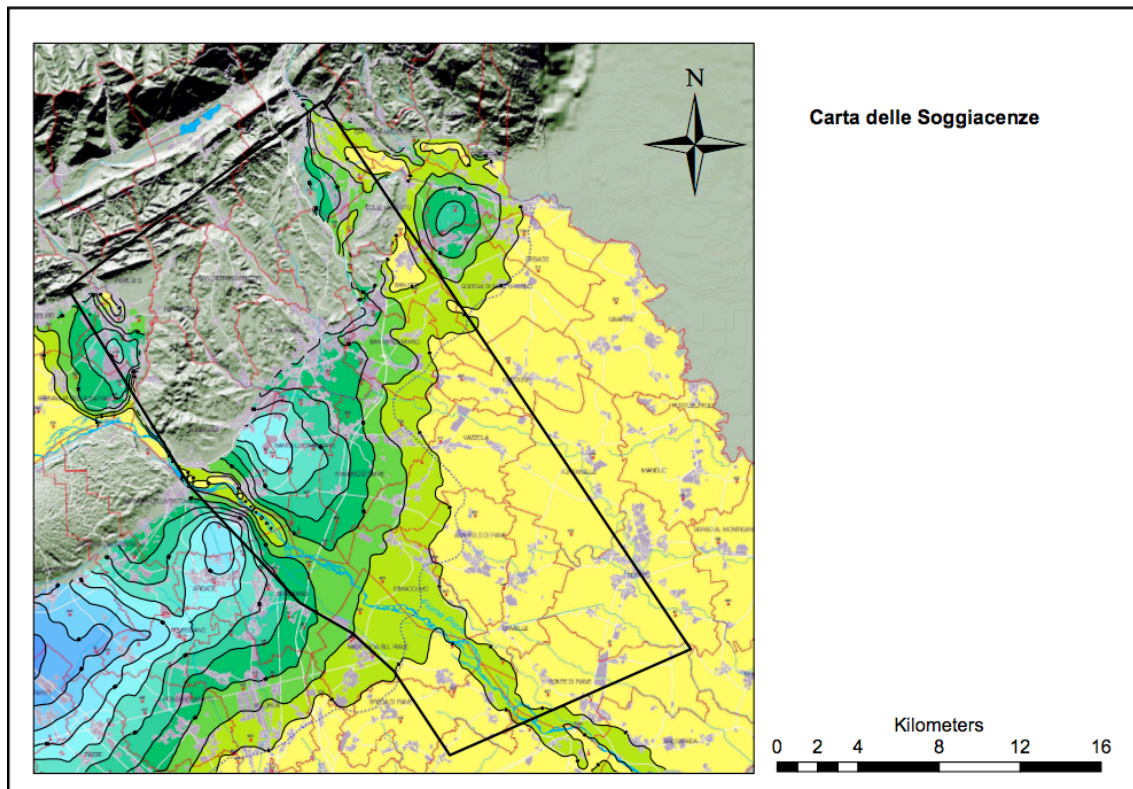


La mappa mostra la distribuzione dei punti di campionamento e la localizzazione dell'area di studio.

I punti in giallo (Gradiente di Temperatura) ed i punti in rosso (Stazioni Meteo) sono stati usati, assieme, nel calcolo dei valori di gradiente di temperatura punto per punto. I primi forniscono dati sulle temperature a diverse profondità. I secondi ci hanno fornito le temperature medie annuali dell'aria e quindi, secondo la nostra approssimazione, i valori dello strato superficiale di terreno.

I punti in blu, nella legenda nominati come Conducibilità Idraulica, sono relativi ai pozzi ad uso privato, catalogati dall'archivio del Genio Civile. Negli stessi punti, non rappresentati perché sovrapposti, abbiamo anche i valori di conducibilità termica.

6.2.1 – Carta delle Soggiacenze

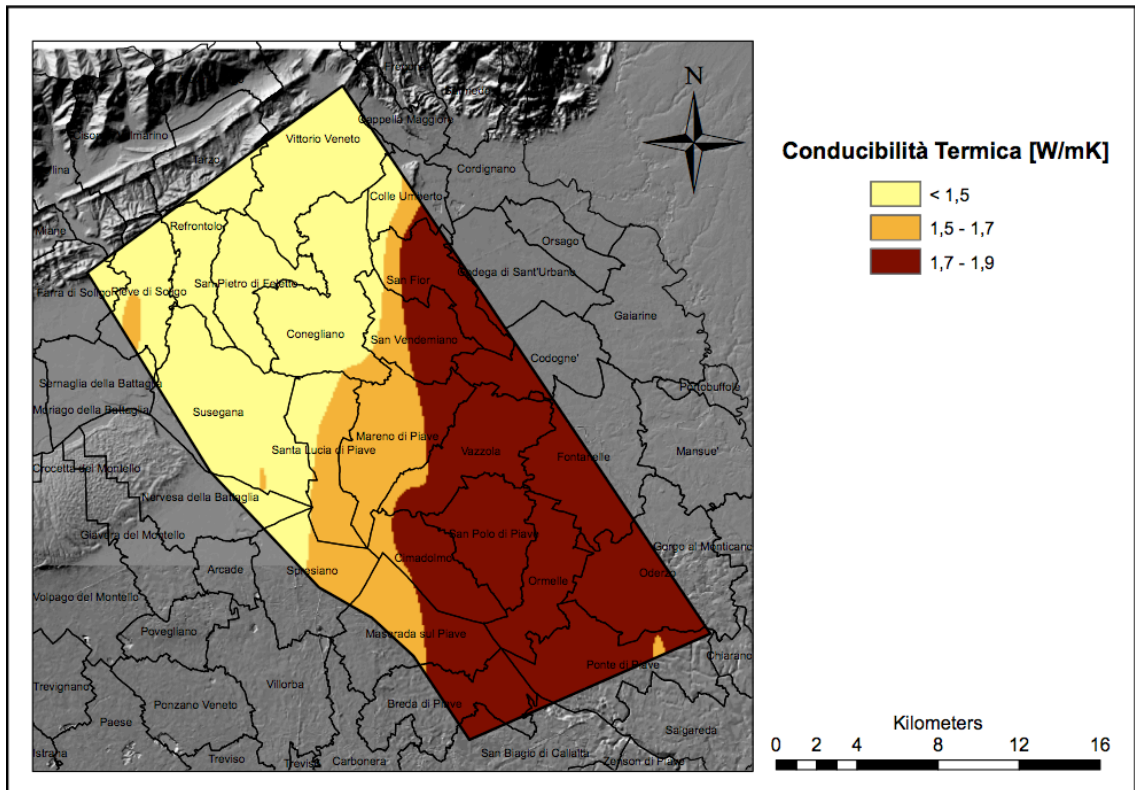


La carta delle soggiacenze mostra la profondità della falda rispetto il piano campagna. Tale mappa è stata ottenuta calcolando le differenze dei valori, per ogni punto, di quota del livello di falda e le quote topografiche, entrambe rispetto il Livello Medio del Mare.

La profondità parte da un livello compreso tra gli 0 ed i 5 metri. Ogni cambio di colore (dal giallo verso il blu) indica un approfondimento della falda, rispetto il piano campagna. Ogni salto cromatico corrisponde ad una differenza di 5 m.

Le aree in grigio sono caratterizzate da un'eccessiva profondità della falda. I materiali presenti in quelle aree sono stati considerati interamente asciutti.

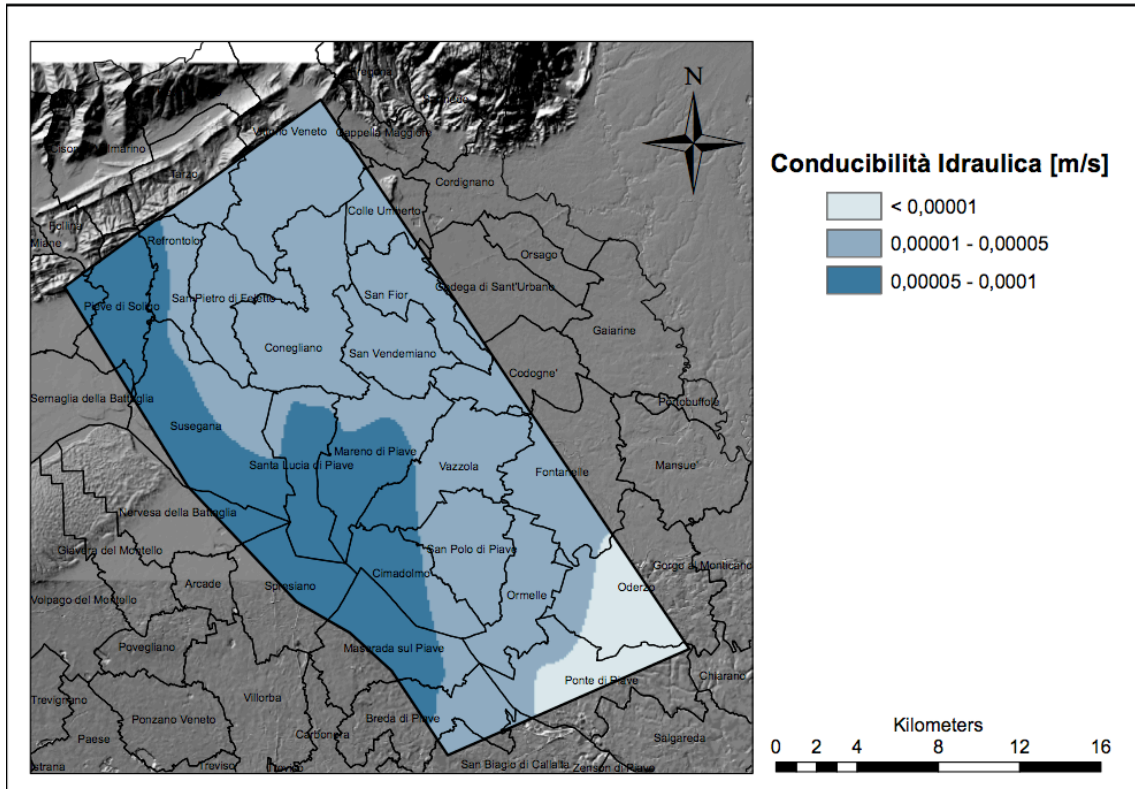
6.2.2 – Carta della conducibilità termica



La carta è stata suddivisa in tre aree cromatiche, al fine di distinguere facilmente le zone a bassa, media ed alta conducibilità termica.

È facile notare come, nelle aree di alta pianura, dove la falda è profonda ed i terreni sono per lo più insaturi, la conducibilità assume valori sensibilmente inferiori rispetto aree ove la falda è maggiormente superficiale. In particolar modo a sud della fascia delle risorgive notiamo la presenza dei valori maggiori.

6.2.3 – Carta della conducibilità idraulica



Analogamente alla carta delle conducibilità termiche, questa mappa è stata suddivisa in tre aree: a bassa, a media ed ad alta conducibilità idraulica.

Notiamo come in zone caratterizzate da terreni a granulometrie maggiori (tipicamente nella fascia di alta pianura) i valori di conducibilità risultano essere maggiori.

Ulteriore considerazione è come, nelle aree limitrofe all'alveo del fiume Piave i valori risultino essere maggiori. Questo fenomeno può trovare spiegazione nella granulometria dell'area, dotata di una composizione sabbiosa sabbiosa ben maggiore di quella di aree più distali dal letto del fiume.

Nella direzione E-W abbiamo una differenziazione netta. Tale fenomeno può essere spiegato, nel tratto meridionale, ad una forma di deposito fluviale che, allontanandosi dall'alveo del Piave, tende verso materiali a granulometria più fine, caratterizzata da conducibilità meno elevate.

Nel tratto settentrionale invece si vede la netta differenza tra la zona valliva, sita ad ovest, composta principalmente da ghiaie indifferenziate e molto conduttive, e la zona collinare ad est, caratterizzata da materiali a granulometria più fine.

6.2.4 – Carta della velocità di falda

Versione preliminare ancora da rivedere

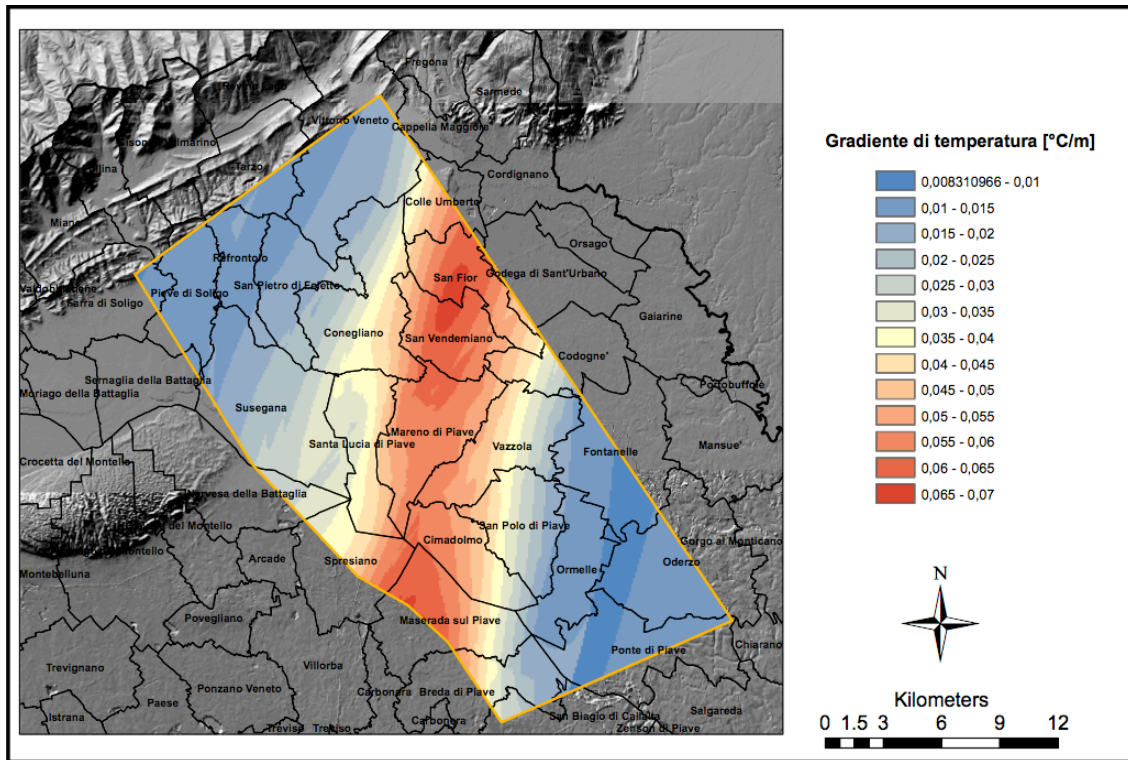
La carta delle velocità di falda è stata elaborata con dati parziali per problematiche legati alla rappresentazione dei dati digitali.

Al fine di non introdurre errori, tale mappa non è stata presa in considerazione nel calcolo del potenziale di geoscambio.

La carta, seppur nella sua versione preliminare, mostra aree caratterizzate da maggiore o minore velocità di falda. Si nota infatti un'area caratterizzata da una grande velocità di falda, laddove il Piave sfocia nella pianura. La granulometria qui, infatti, è per lo più sabbiosa e ghiaiosa e dà origine ad un forte fenomeno di dispersione in falda delle acque del fiume.

È facile osservare che, nella bassa e media pianura, caratterizzate da granulometrie più fini, la falda si muove più lentamente rispetto le zone di alta pianura.

6.2.5 – Carta del gradiente di temperatura



La carta del gradiente di temperatura mostra come, nelle diverse aree, la temperatura cresce, all'aumentare della profondità.

È evidente la presenza di una fascia, orientata approssimativamente lungo un'asse nord-sud, ove il gradiente risulta essere maggiore.

I valori variano tra $\approx 6,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ e $\approx 1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$.

Seppur mediamente l'area risulti avere un gradiente di $\approx 3,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, in accordo con i valori bibliografici, appare evidente l'importanza di una carta come questa, in grado di mostrare come, assumendo altrimenti un valore medio per l'intera area, l'errore cui si andrebbe incontro sarebbe non indifferente.

Capitolo 7 – Carta del potenziale di geoscambio

Il lavoro sinora trattato, ha avuto come risultato la creazione delle carte tematiche sopra riportate; tali mappe, per quanto potenzialmente utili singolarmente, sono state elaborate al fine di creare una mappa in grado di sintetizzare tutti i parametri: la carta del potenziale di geoscambio, fine ultimo di questo lavoro.

I parametri considerati nel calcolo dei valori di potenziale di geoscambio sono:

- Conducibilità termica
- Gradiente termico

I valori sopra elencati appaiono però dotati di differenti grandezze fisiche e non possono esser considerati così come sono stati elaborati in precedenza.

Appare quindi necessario “normalizzare ad uno” tutti i parametri, punto per punto, al fine di avere dati relativi, non più assoluti, tra loro interfacciabili e rapportabili.

Sommando i due valori normalizzati, il valore di potenziale di geoscambio terrà conto dell’influenza d’ogni parametro dando però un valore che potrà variare tra 0 ed il massimo della somma dei parametri che, essendo in numero di 2, darà un range massimale di 0-2.

I valori ottenuti però risultano essere privi di un significato fisico, essendo somma di molteplici diversi fattori, seppur normalizzati.

Affinché essi potessero assumere un significato indicativo chiaro e di semplice interpretazione, i valori ottenuti sono nuovamente stati “normalizzati ad uno”, ottenendo in questo modo una serie di valori relativi, suddivisibili in 3 aree: Bassa, Media ed Alta idoneità al geoscambio.

Come sopra anticipato, la mappa divide in tre zone cromatiche l'area di studio.

La presenza di valori numerici sarebbe superflua ed introdurrebbe inutili motivi di confusione.

Si nota come, le zone di alta pianura e le zone collinari site a nord della provincia, risultino essere caratterizzate da idoneità basse. Il dato trova spiegazione considerando che le zone d'alta pianura possiedono valori bassi in entrambi i parametri considerati.

Le zone di media e bassa pianura sono caratterizzate da alti e medi valori d'idoneità.

La striscia di maggiore idoneità è motivata dalla concomitanza d'alti valori di gradiente termico e di conducibilità termica.

È inoltre possibile osservare come proprio l'area di massima idoneità ricada nella zona denominata "fascia delle risorgive".

Conclusioni

Questo elaborato ha avuto la funzione, attraverso lo studio condotto ed i risultati prodotti, di dare un contributo importante, attraverso la moltitudine di dati raccolti, alla creazione di una banca dati basata su informazioni di natura geologica e alla redazione di cartografie dedicate alla definizione dell'idoneità di un settore rappresentativo del territorio provinciale al fine dell'impiego di sistemi di geoscambio termico.

L'elaborato non si propone di risolvere l'argomento nella sua interezza ed è stato costruito con la consapevolezza di lavorare in un ambiente non preciso e sottoposto ad inevitabili approssimazioni; nonostante le inevitabili limitazioni però, il lavoro è stato svolto con metodicità ed attenzione.

La carta tematica di Idoneità al Geoscambio risulta essere un'importante strumento: essa infatti può essere considerata sia in ambiti di organizzazione territoriale, da enti locali, sia in ambito di pre progettazione.

Questo lavoro ha risentito molto delle difficoltà legate all'acquisizione dei dati. L'assenza infatti di una banca dati digitale degli archivi del Genio Civile ha fatto sì che la sola catalogazione dei dati richiedesse diverse settimane di lavoro.

La banca dati creata potrà essere sfruttata da terzi liberamente, potrà essere ampliata, alterata e sfruttata al fine di migliorare il lavoro qui esposto o anche ai fini di lavori altri e diversi.

Quest'elaborato rappresenta quindi un passo, seppur piccolo, verso una maggiore conoscenza del territorio; conoscenza applicata ad un settore ancora poco esplorato, nel nostro paese, ma che sta attirando sempre più l'attenzione pubblica e privata, in risposta delle problematiche ambientali ed economiche.

La carta di idoneità al geoscambio mostra come i due parametri considerati influenzino il risultato.

Nella zona a Nord, infatti, abbiamo un'ampia zona considerata secca e, al contempo, caratterizzata da bassi valori di gradiente termico. La somma di questi fattori da un valore di potenziale di geoscambio molto basso (in rosso).

La comparsa della falda acquifera nella zona di bassa pianura a profondità non eccessive riporta i valori di conducibilità termica a livelli intermedi i quali, sommati ad un medio gradiente termico, danno come risultato un valore di potenziale di geoscambio intermedio.

La zona della risorgive, nella media pianura, è caratterizzato dai maggiori valori di gradiente termico. Questo fattore va a sommarsi ad un alto valore di conducibilità legato ad una granulometria principalmente sabbiosa totalmente saturo d'acqua. Ulteriore fattore da considerare è la maggior propensione della sabbia, costituita principalmente da quarzo, a scambiare calore rispetto altri materiali. Tutti questi fattori portano alla definizione della fascia a più alta idoneità dell'area considerata in questo studio.

Il passaggio alla bassa pianura vede un abbassamento a valori intermedi di idoneità al gescambio. Questo effetto è legato al minor valore di gradiente di temperatura ed ad un abbassamento dei valori di conducibilità termica, in risposta ad una maggior presenza di materiali a granulometria fine.

Bibliografia / Webgrafia

- Geotermia e pompe di calore - S.Basta et F.Minchio [2007]
- Tesi di laurea magistrale: Esempio di mappatura del potenziale di geoscambio della Regione Veneto - E.Destro [2007-2008]
- Pompe di Calore Geotermiche – Alberto Cavallini, Workshop Internazionale [28 marzo 2007]
- Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali – Distretto Idrografico delle Alpi Orientali [24 febbraio 2010]
- *AleAnna Resources LLC - Istanza di Permesso di Ricerca di Idrocarburi denominato “Le Saline”*
- 10 Years VDI 4640 – German guidelines for Ground Coupled Heat - Pumps, utes and direct thermal use of the unedrground – M.Reuss (2007)
- <http://www.google.com/earth>
- <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>
- ESRI Shapefile Technical Description, An ESRI White Paper [July 1998]
- Raster Data in ArcSDE® 9.1, An ESRI® White Paper [September 2005]
- Prospezioni Idrogeologiche, volume primo - Pietro Celico [1993] (pag40)
- <http://it.wikipedia.org/wiki/Kriging>
- Convegno: Energie rinnovabili per la climatizzazione: geoscambio in provincia di Venezia. Sostenibilità e regolamentazione - Metodologia e risultati del progetto “Geoscambio – A.Galgaro et E.Destro [29 ottobre 2010]
- Using Hydrogeologic data for geoexchange potential mapping, City of Whitehorse, Yukon – H.Scott Schillereff [2008]
- Development of suitability maps for round-coupled heat pump systems using groundwater and heat transport models – H.Fujii, T.Inatomi, R.Itoi, Y.Uchida [2007]

Grazie ai miei genitori, che mi hanno sempre sostenuto e mi hanno consentito di proseguire gli studi.

Grazie a mio fratello maggiore, Emiliano, che mi ha tenuto compagnia e messo allegria da che io abbia ricordo.

Grazie ai gemelli, Cecilia e Francesco, che, con la loro gioventù ed energia non mi permettono mai di annoiarmi in santa pace.

Grazie ai miei nonni, tutti, per tutte le merende (prima), i caffè (poi) e il tempo speso a tenermi buono, da piccolo e non.

Grazie a Federica che, tra un gatto e l'altro, ha portato allegria e parecchio aiuto in più in un'ampia famiglia.

Grazie a tutta la mia famiglia, nel senso più ampio, per il sostegno e l'allegria che mi han sempre dato.

Grazie a Stefano che, a partire dall'asilo, passando per le medie, il basekt, le superiori e tutti i pomeriggi (quasi letteralmente, tutti) passati a lasciare i libri aperti sul tavolo per "far credere d'aver studiato tutto il pomeriggio...o almeno un po'...", la presenza, sempre e comunque, e tanto, tanto altro.

Grazie agli "amici dungeon" tutti: Stefano, Dalle, Ema, Spa, Vitt, Frigo e Bena (in ordine geografico) per la compagnia, l'allegria e la spensieratezza dei venerdì sera, spesso dei sabati e talvolta delle domeniche. Perché "nerd" è bello ma amici è meglio.

Grazie anche ai vecchi compagni di classe delle superiori (Stefano, Seba, Biso, Fattu, Sindaco e Marm) che, estate dopo estate e vacanza dopo vacanza, hanno dimostrato che il discorso "voi non siete una classe unita" dei professori era quanto mai sbagliato.

Grazie ai compagni di corso: Martina, Genny, Valerio, Michele, Mattia, Silvano, Walter e ancora tanti altri, per avermi sopportato e per avermi fatto sentire a casa anche nei posti più disparati ed in tutte le escursioni.

Grazie a Daniele che, fotografia dopo fotografia, mi ha aiutato nella faticosa raccolta dei dati al Genio Civile di Treviso.

Grazie ai miei coinquilini, quelli vecchi (Alessandro, Giorgio, Giulia e Laura) e quelli nuovi (Marco e Filippo), per i tanti, tantissimi momenti d'allegria, i caciocavalli, le pazienti sopportazioni ed il cibo che mi hanno sempre preparato, salvandomi da morte certa. Senza di loro, credo, non sarei la persona che sono.

Grazie infine al Professor Galgaro ed alla dottoressa Elisa Destro (rispettivamente relatore e correlatrice di questa tesi), per avermi trasmesso l'interesse per la materia e per avermi poi aiutato, con tanta pazienza, a portare a conclusione questo lavoro.