



PROVINCIA DI TREVISO
Servizio Ecologia e Ambiente



UNIVERSITÀ DI PADOVA
Dipartimento di Geoscienze

GEOSCAMBIO

NELLA PROVINCIA DI

TREVISO

La ricerca è stata affidata al Dipartimento di Geoscienze dell'Università degli Studi di Padova su incarico della Provincia di Treviso, Servizio Ecologia e Ambiente.

Responsabile scientifico:

Antonio Galgaro (Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova)

Responsabile tecnico e coordinatore del progetto:

Simone Busoni (Provincia di Treviso).

Gruppo di lavoro tecnico:

Elisa Destro (Dip. Geoscienze, Univ. Padova)

Antonio Galgaro, (Dip. Geoscienze, Univ. Padova)

Simone Busoni (Provincia di Treviso).

Indice

PREMESSA

INTRODUZIONE

1	IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE GEOTERMICI	3
1.1	<i>Il terreno come sorgente di energia</i>	3
1.2	<i>Riscaldamento</i>	5
1.2.1	Utenze termiche che richiedono acqua a bassa temperatura (fino a 50°C)	6
1.2.2	Utenze termiche che richiedono acqua a medio-alta temperatura (da 50 a 65°C)	6
1.2.3	Utenze termiche che richiedono acqua ad alta temperatura (oltre 65°C)	7
1.3	<i>Raffrescamento</i>	7
1.3.1	Raffreddamento gratuito (Free cooling)	7
1.4	<i>Gli impianti geotermici a circuito chiuso</i>	8
1.4.1	Sonde geotermiche verticali	9
1.4.2	Sonde geotermiche orizzontali	10
1.5	<i>Gli impianti geotermici a circuito aperto</i>	10
1.6	<i>La tecnologia ATES</i>	12
2	LA ZONAZIONE DEL POTENZIALE GEOTERMICO DI BASSA ENTALPIA	13
2.1	<i>Caratteristiche del terreno</i>	14
2.1.1	Proprietà termiche del terreno	15
2.2	<i>Il sistema informativo e l'organizzazione dei dati: il database geotermico di bassa entalpia</i>	16
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	17
3.1	<i>Inquadramento geomorfologico</i>	17
3.2	<i>Inquadramento geologico-strutturale</i>	17
3.2.1	La pianura trevigiana	18
3.3	<i>Inquadramento idrogeologico</i>	20
4	LA BANCA DATI GEOTERMICA	23
4.1	<i>Il sistema informativo e l'organizzazione dei dati</i>	24
4.2	<i>Costruzione del database</i>	24

5	LA CARTOGRAFIA GEOTERMICA	30
5.1	<i>Temperatura media annuale dell'aria.</i>	31
5.2	<i>Il gradiente geotermico.</i>	31
5.2.1	<i>Analisi dell'isoterma 15 C°.</i>	35
5.3	<i>Il flusso geotermico</i>	36
5.4	<i>La velocità della falda</i>	39
6	LA MAPPA DI IDONEITÀ AL GEOSCAMBIO	42
6.1	<i>Aree di salvaguardia (P.T.A.)</i>	42
6.2	<i>La carta del potenziale di geoscambio.</i>	45
6.3	<i>La carta dell'idoneità al geoscambio</i>	46

BIBLIOGRAFIA

WEBGRAFIA

Premessa

Il presente documento rappresenta parte della relazione finale del progetto di ricerca denominato "GEOSCAMBIO nella Provincia di Treviso", stipulato tra il Dipartimento di Geoscienze e la Provincia di Treviso al fine di valutare l'idoneità del territorio ad ospitare diffusamente impianti geotermici che prevedono l'utilizzo di sonde a circuito chiuso, ovvero soluzioni impiantistiche in cui non avvenga movimentazione di acqua di falda, destinati a finalità di climatizzazione di edifici. Si è ritenuto di non trattare i sistemi di geoscambio a circuito aperto, ovvero che prevedono l'utilizzo diretto di acque sotterranee, perché, sia dal punto di vista normativo che esecutivo, essi si rifanno a norme, leggi e modalità realizzative, che rientrano, a tutti gli effetti, nel campo della realizzazioni di derivazioni di acque sotterranee, materia già ampiamente trattata e ben nota.

Viene quindi presentato nel presente lavoro, il processo di analisi e di restituzione cartografica che ha portato alla redazione della mappa del "Potenziale di Geoscambio della Provincia di Treviso", che intende rappresentare l'idoneità territoriale all'impiego di sistemi di scambio termico (geoscambio) dedicati alla climatizzazione di edifici. La finalità di tale studio è volta all'individuazione delle potenzialità "geotermiche d bassa entalpia" nei diversi ambiti geologici che caratterizzano la Marca trevigiana. Vengono inoltre indicati i settori in cui viene richiesta una particolare attenzione all'impiego di tali soluzioni tecnologiche regolandone opportunamente l'applicazione, ad esempio in funzione dei limiti correlati ad usi idropotabili della risorsa idrica sotterranea. La realizzazione di tale prodotto cartografico è il risultato dell'analisi delle principali grandezze fisiche che regolano il comportamento del terreno nei processi di scambio termico. L'approccio seguito consente inoltre di poter disporre di strumenti utili alla valutazione dei processi di reazione indotti nel sottosuolo dalle sollecitazioni termiche prodotte dagli impianti di geoscambio.

La collaborazione tra Università e Provincia di Treviso ha inoltre consentito la predisposizione di una banca dati informatizzata in ambiente Gis in cui sono riportate sia le caratteristiche termo-fisiche e stratigrafiche di tutti i punti di informazione utilizzati, sia la localizzazione e le principali caratteristiche tecniche degli impianti registrati ed autorizzati. Quest'ultima parte della banca dati è stata predisposta anche con lo scopo di facilitare le procedure di controllo, registrazione ed aggiornamento finalizzate alla gestione delle pratiche autorizzative di impianti di geoscambio. L'importante patrimonio geologico, raccolto nella banca dati, potrà inoltre costituire un importante risorsa informativa anche per altre finalità, non direttamente connesse con gli usi "geotermici" del sottosuolo, quali la pianificazione della ottimizzazione della rete di monitoraggio quali-quantitativo delle acque sotterranee o di utilità anche per scopi pianificatori edilizi o di altra natura. Le azioni di raccolta, organizzazione e informatizzazione di dati geologici rappresentano quindi una base informativa di un sistema di archiviazione di fonti geologiche organizzate, disponibili ad una utenza molto ampia e diversificata, a cui la provincia potrà dare supporto.

Introduzione

È noto che la Terra, intesa come sorgente di energia geotermica, può essere considerata una risorsa energetica illimitata. Il flusso di calore naturale prodotto all'interno della Terra e trasferito alla superficie terrestre è strettamente legato alla natura della crosta terrestre e può variare sensibilmente a seconda del territorio che si considera.

Questa differenza di temperatura tra l'aria ed il sottosuolo può essere considerata una risorsa energetica non solo come fonte di calore da utilizzare in assorbimento, ma anche come possibile serbatoio freddo da utilizzare per raffrescare mediante accoppiamento con una macchina termica (pompa di calore) che consente il trasferimento di calore da e verso il sottosuolo con elevata efficienza energetica. Un sistema che sfrutta queste potenzialità è pertanto in grado di offrire calore (azione riscaldante) nella funzione invernale e di sottrarre calore (azione refrigerante) nella funzione estiva all'edificio asservito da tale sistema.

La geotermia a bassa entalpia è un sistema applicabile a tutti i terreni cosiddetti "normali" e si basa su processi di scambio termico con il sottosuolo, inteso come massa di grande capacità e stabilità termica. Grazie alla sua inerzia termica, già pochi metri sotto la superficie, il terreno risente in modo decisamente attenuato e smorzato delle fluttuazioni termiche giornaliere e stagionali dell'aria; la temperatura del terreno, a queste profondità, si può considerare costante per tutto l'arco dell'anno. Esiste perciò la possibilità di estrarre calore dal terreno durante l'inverno, e riscaldare quindi l'edificio asservito, nonché cederlo al sottosuolo asportandolo dall'edificio stesso, raffrescandolo, nel periodo estivo. Grazie a tali tecnologie è possibile quindi evitare il ricorso ai combustibili fossili, azzerando le emissioni locali in atmosfera e riducendo le necessità elettriche per il raffrescamento estivo.

Si preferisce, quindi, utilizzare il termine "sistema di geoscambio" perché si tratta di un vero e proprio scambio di energia termica, dotato di spiccata bidirezionalità, da e verso il sottosuolo.

È evidente che un sistema che sfrutta le caratteristiche termiche del sottosuolo di inerzia e di stabilità termica, nonché di capacità di autorigenerazione dimostra possedere un ridotto impatto ambientale (con una riduzione dell'emissione di sostanze inquinanti che può arrivare al 70% rispetto ad un tradizionale impianto a gas), nonché un considerevole livello di sostenibilità per la possibilità di rinnovare lo status termico del sottosuolo con i processi di accumulo stagionale. Tali qualità producono a loro volta un importante risparmio economico di gestione, correlato all'accoppiamento con sistemi termodinamici (le pompe di calore) ad elevata efficienza energetica.

Nonostante tale tecnologia, ovvero le pompe di calore geotermiche, siano già una realtà consolidata da alcuni decenni, solo recentemente in Italia si è destato un certo interesse verso tale argomento, grazie

anche allo sviluppo che la geotermia ha avuto in diversi Paesi Europei, primi tra tutti la Svizzera, l'Austria e la Svezia, e la Germania.

In Italia, nonostante le condizioni naturalmente favorevoli, le realizzazioni risultano ancora limitate numericamente. Tale esiguo numero di installazioni è correlabile sia alla scarsa conoscenza della tecnologia, che ai costi di realizzazione degli impianti, attualmente piuttosto elevati (anche per la mancanza di incentivazioni nazionali e regionali) ma anche alla mancanza di una adeguata normativa di riferimento. La mancanza parziale di informazione in merito alla diffusione degli impianti esistenti potrebbe anche essere correlata al probabile esteso abusivismo, favorito anche dal vuoto normativo attuale, sia a livello nazionale che locale che si verificato fino ad ora.

Considerato che la Provincia di Treviso è stato uno dei primi enti ad aver emanato una normativa di regolamentazione dedicata al geoscambio, su delega di competenza della Regione del Veneto, è stata quindi prodotta, a supporto di tale sforzo istituzionale, una cartografia che rappresenti l'idoneità all'impiego di sistemi di geoscambio che, negli intenti vuole rappresentare uno strumento applicativo di indirizzo rivolto alla pubblica amministrazione nonché un'informazione di base destinata alla progettazione di fattibilità da parte degli operatori (costruttori e tecnici) che operano sul territorio.

Il lavoro di analisi territoriale oggetto del presente studio può costituire anche un supporto tecnico-scientifico utile ad orientare la pubblica amministrazione verso la predisposizione di linee guida normativa basate sulla conoscenza specifica del territorio, valutandone le peculiarità di idoneità e di criticità. Il quadro normativo potrà quindi avvalersi di una base informativa che consenta di semplificare e velocizzare le procedure amministrative di verifica e controllo nel corso degli iter autorizzativi. L'amministrazione provinciale, animata da finalità di pubblica utilità, ovvero di favorire tutte le opportunità di miglioramento della salubrità dell'aria e di riduzione dei consumi energetici, oltreché alla protezione dell'ambiente, sostenuta da un quadro ambientale di riferimento, è dedicata allo sviluppo sostenibile delle soluzioni rinnovabili quali la Geotermia per la climatizzazione.

Considerata la delicatezza dell'ecosistema provinciale ed i diversi contesti che la caratterizzano, un approccio volto alla tutela ambientale deve quindi animare ogni possibile utilizzo del territorio che deve a sua volta essere opportunamente disciplinato da un chiaro e motivato indirizzo tecnico-amministrativo.

1 IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE GEOTERMICI

1.1 Il terreno come sorgente di energia

È indispensabile introdurre una prima precisazione sul significato di geotermia, che può indicare lo sfruttamento di un flusso termico derivante da fenomeni di carattere geologico o vulcanologico (sorgenti termali, soffioni...), utilizzabile per sola differenza di temperatura, oppure lo scambio di un flusso termico con il sottosuolo, inteso come massa di grande capacità termica e utilizzato come sorgente in un ciclo termodinamico, dal quale estrarre calore durante la stagione invernale ed al quale cederne durante quella estiva. Il primo tipo di geotermia concerne principalmente la produzione di energia elettrica o le acque termali, mentre il secondo tipo riguarda la possibilità di climatizzare un edificio, sia in regime di riscaldamento, che di raffreddamento (Figura 1).

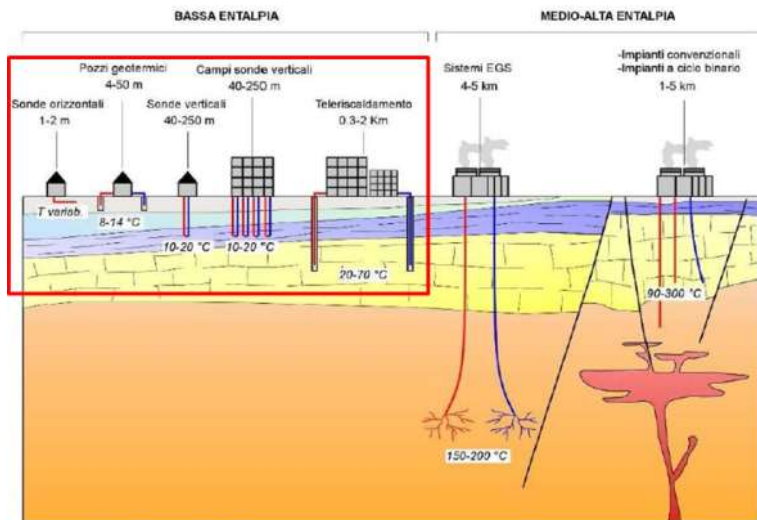


Figura 1 Usi geotermici per la climatizzazione (bassa entalpia), e a fini di produzione di energia geotermoelettrica (media-alta entalpia).

Gli impianti geotermici per la climatizzazione si distinguono poi sulla base della modalità con cui avviene lo scambio termico con il sottosuolo:

- 1) impianti accoppiati con il terreno attraverso un sistema di tubazioni a circuito chiuso al cui interno scorre il fluido termovettore;
- 2) impianti costituiti da un circuito aperto in cui si utilizza l'acqua di falda come fluido termovettore, con o senza reimmissione nella falda stessa dopo l'uso;
- 3) impianti che sfruttano l'acqua dei laghi e dei bacini come sorgente termica attraverso un circuito che può essere sia aperto che chiuso.

I casi 2 e 3 richiedono una situazione ambientale particolare, legata alla disponibilità idrica, e soprattutto comportano maggiori vincoli legislativi dedicati alla protezione quali-quantitativa delle acque (attualmente la materia è regolamentata dal D.L. 152/2006, e dal Piano di Tutela delle Acque regionale (PTA 2009).

Prendendo invece in considerazione la prima tipologia si osserva come grazie alla sua elevata inerzia termica, già a moderata profondità, il terreno risenta poco delle fluttuazioni termiche giornaliere e stagionali, al punto che la sua temperatura può essere considerata in prima approssimazione pressoché costante per tutto l'anno: l'ampiezza dell'escursione termica giornaliera si riduce a un decimo a circa 3.5 m di profondità, mentre quella dell'escursione termica stagionale si riduce dello stesso fattore a circa 6 m di profondità (Figura 2).



Figura 2 Andamento della temperatura in funzione della profondità nelle diverse stagioni dell'anno.

In termini più elementari si può osservare come, a partire da una certa profondità, il terreno risulti più caldo dell'aria esterna in inverno e più freddo durante i mesi estivi; dunque si rivela conveniente sfruttare questa circostanza, facendo in modo di fare confluire il caldo o il freddo all'interno dell'edificio, secondo le esigenze. Il livello termico a cui si trova il sottosuolo non è però sufficiente a garantire delle temperature adeguate al soddisfacimento del fabbisogno termico lato utenza, per cui è necessario un "aiuto":

Si può quindi semplicemente affermare che la funzione della pompa di calore geotermica è quella di "pompare" il caldo o il freddo dal sottosuolo all'abitazione, fornendo però un'integrazione al livello termico. Cioè la pompa di calore è un dispositivo che consente di innalzare il livello dell'energia termica prelevata da una sorgente la cui temperatura non ne consente un utilizzo vantaggioso. È pertanto interessante considerare l'impianto geotermico sotto l'aspetto della sua particolare convenienza: si tratta infatti di un sistema semplice, ma efficace, in quanto sfrutta una risorsa ampiamente disponibile, ma altrimenti inutilizzata.

Operando in queste condizioni, la pompa di calore non risente delle oscillazioni termiche giornaliere dell'aria, in quanto le variazioni di temperatura nel sottosuolo risultano attenuate e sfasate rispetto all'onda termica in aria. Questo sfasamento, che dipende dalla profondità e dal tipo di terreno, può risultare anche dell'ordine di qualche mese, e la temperatura più bassa può aver luogo addirittura alla fine del periodo di riscaldamento.

L'accoppiamento della pompa di calore al terreno visto come sorgente termica esterna (GSHP: Ground-Source Heat Pump) può essere realizzato mediante sonde geotermiche, ovvero tubazioni inserite nel

terreno e percorse da un fluido termovettore (solitamente acqua eventualmente addizionata da sostanze anticongelanti quali glicole propilenico), che non sono altro che un particolare tipo di scambiatore di calore.

Un impianto che utilizza l'energia geotermica per la climatizzazione è sostanzialmente composto da (Figura 3):

- un sistema di sonde di geoscambio più frequentemente costituito da sonde geotermiche in polietilene percorse da un fluido termovettore che veicola l'energia termica;
- una pompa di calore, per la produzione dell'energia termica necessaria al fabbisogno utile alla climatizzazione dell'edificio e alla produzione di acqua calda sanitaria;
- un accumulo termico per sopperire all'impossibilità di poter produrre istantaneamente tramite pompa di calore il fabbisogno termico richiesto;
- un sistema di distribuzione ed erogazione del calore o del freddo, comprendente i terminali di impianto (ventilconvettori, pavimenti radianti...).

Vengono di seguito descritti gli usuali sistemi di climatizzazione geotermica.

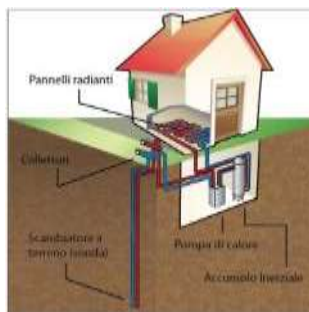


Figura 3 Tipica configurazione di un sistema GCHP con sonda geotermica verticale.

1.2 Riscaldamento

Lo schema di base è costituito dal circuito idraulico che riceve calore dal condensatore della pompa di calore e lo cede agli ambienti da riscaldare (vedi Figura 4). Nei sistemi più complessi si ha un'eventuale suddivisione in zone, ciascuna servita da un proprio circuito "secondario" che fa capo a collettori di mandata e ritorno. Il circuito "primario" è in questo caso quello compreso tra condensatore e collettori. L'adottabilità delle pompe di calore è essenzialmente funzione della temperatura dell'acqua calda richiesta dall'utenza, come qui di seguito descritto.

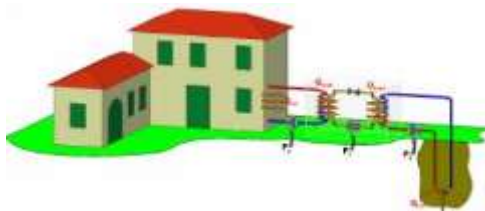


Figura 4 Schema di principio di una pompa di calore in regime di riscaldamento (De Carli et al., 2007 modificata).

1.2.1 Utenze termiche che richiedono acqua a bassa temperatura (fino a 50°C)

Le tipologie di impianti di riscaldamento più diffuse appartenenti a questa categoria sono impianti a pannelli radianti, impianti a ventilconvettori, impianti a tutta aria e travi attive. Questi impianti sono ottimali dal punto di vista dell'impiego di pompe di calore poiché richiedono temperature dell'acqua calda anche inferiori a 35°C ed occasionalmente valori pari a circa 50°C (per la produzione dell'acqua calda sanitaria), con apprezzabili valori di COP (vedi Figura 5). I citati terminali di impianto possono essere inoltre utilizzati nel raffrescamento, estendendo il tempo di utilizzo della pompa di calore (in questo caso reversibile) anche alla stagione estiva. In questo caso il tempo di ritorno dell'investimento è basso, visto l'utilizzo continuo della macchina durante l'anno.

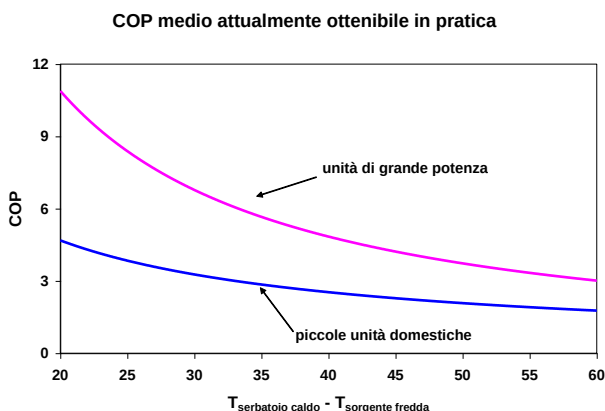


Figura 5 Andamento del COP in funzione della differenza tra le temperature dell'utenza calda e della sorgente fredda (De Carli, 2006).

1.2.2 Utenze termiche che richiedono acqua a medio-alta temperatura (da 50 a 65°C)

Le tipologie di impianti di riscaldamento più diffuse che fanno parte di questa categoria sono impianti a radiatori, ventilconvettori, aerotermini, unità di trattamento aria (UTA).

Nel caso di impianti nuovi il miglior criterio è quello di dimensionarli per temperature di esercizio inferiori all'intervallo considerato. Ciò è relativamente facile nel caso degli aerotermini e delle UTA, per le quali lo scambio termico è di tipo convettivo forzato dal ventilatore. Nel caso dei radiatori la potenza erogata è fortemente dipendente dalla temperatura dell'acqua, cosa che comporta maggiore ingombro e maggior costo nel dimensionamento a bassa temperatura.

Nel caso di impianti esistenti occorre verificare la fattibilità sia tecnica che economica. I casi di più immediato interesse che si prospettano in relazione a questa tipologia di intervento sono quelli di edifici o di quartieri costruiti negli anni '60 e '70 che hanno la necessità di ristrutturare la centrale termica. Si noti peraltro come l'utilizzo di pompe di calore di elevata potenza (vedi Figura 5) permette di ottenere comunque elevati COP, seppure con temperature di mandata, ai terminali di impianto, piuttosto elevate. Inoltre, se la sostituzione della centrale termica è accompagnata da interventi di riqualificazione dell'involucro, come per esempio la sostituzione di serramenti, le temperature di funzionamento dei corpi scaldanti diminuiscono, con evidente beneficio sull'efficienza.

1.2.3 Utenze termiche che richiedono acqua ad alta temperatura (oltre 65°C)

Per quanto detto in precedenza la pompa di calore potrebbe ancora essere adeguata per servire utenze quando la temperatura dell'acqua calda richiesta eccede i 65°C, solo per impianti di elevata potenza e comunque in presenza di acqua superficiale fluente ad una temperatura non inferiore a 5°C. E' quanto accade nei grandi impianti di teleriscaldamento scandinavi, dove si possono trovare installazioni di alcune decine di megawatt termici, eventualmente accoppiate ad impianti di cogenerazione (De Carli, 2006).

1.3 Raffrescamento

Esistono sostanzialmente due modalità: utilizzo di una pompa di calore reversibile, e il raffreddamento gratuito (free cooling).

Il funzionamento di una pompa di calore reversibile nella modalità di raffreddamento è in tutto simile a quello di un gruppo frigorifero raffreddato ad acqua (Figura 6). Bisogna porre particolare attenzione al dimensionamento della macchina, quando essa deve operare sia in regime di riscaldamento che di raffreddamento. Generalmente le potenze rese dalle macchine reversibili sono simili, in valore assoluto, in fase di riscaldamento e di raffreddamento; tuttavia, secondo le richieste energetiche in una stagione piuttosto che nell'altra, il dimensionamento del circuito scambiatore sulla sorgente esterna dovrà essere fatto in funzione della situazione più gravosa.



Figura 6 Schema di principio di una pompa di calore in regime di raffreddamento (De Carli, 2007).

1.3.1 Raffreddamento gratuito (Free cooling)

Il free cooling è ottimale nelle stagioni intermedie, poiché permette il raffreddamento degli ambienti senza avviare il gruppo frigorifero, quando il carico frigorifero delle utenze non è ancora elevato ed è generalmente limitato ad alcune di esse. Questa modalità di funzionamento può ottenersi mediante uno scambiatore di calore tra il circuito esterno e il circuito interno di utenza (vedi Figura 7). Tale scambiatore di calore sarà installato in parallelo all'evaporatore della pompa di calore (Bridger, 2005). Nelle località appartenenti alla zona climatica F (con riferimento alla legislazione italiana), nel caso di applicazione residenziale, la limitata richiesta in regime di raffreddamento può essere ottenuta mediante l'operazione di free cooling.

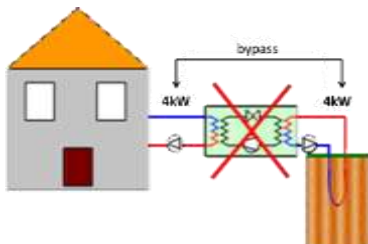


Figura 7 Schema di funzionamento in regime di "free cooling" (De Carli, 2007).

Come può essere utilizzato in free-cooling il sistema ha carattere di reversibilità e può anche funzionare in modalità free-heating, in particolare per riscaldare gli ambienti nelle stagioni temperate.

1.4 Gli impianti geotermici a circuito chiuso

Gli impianti accoppiati direttamente con il terreno attraverso un sistema di tubazioni a circuito chiuso al cui interno scorre il fluido termovettore, rappresentano il sistema più versatile di impiego dell'energia geotermica (De Carli 2004). Le tubazioni interrato che costituiscono un siffatto sistema sono usualmente denominate "sonde geotermiche".

Le pompe di calore accoppiate a sonde geotermiche utilizzano l'acqua come fluido termovettore per il circuito di utenza dell'edificio e anche per gli scambiatori di calore a terreno, in questo caso eventualmente additivata con liquidi anticongelanti. Se nell'utilizzo della macchina prevale nettamente il funzionamento nella stagione invernale (o estiva) può verificarsi un progressivo raffreddamento (o riscaldamento) del sottosuolo, che può causare un decadimento delle prestazioni nel corso degli anni; è necessario in tal caso un sovradimensionamento iniziale dell'impianto (che in genere può essere dell'ordine di 10%), con possibile aumento del tempo di ritorno dell'investimento. L'equilibrio tra funzionamento estivo ed invernale limita o addirittura elimina le variazioni termiche del terreno nel corso degli anni, e diminuisce i tempi di recupero dell'investimento iniziale. Se l'utilizzo è prevalentemente invernale, esiste la possibilità di realizzare il "free cooling" in estate, qualora sia sufficiente un blando raffrescamento, attraverso uno scambiatore (tra circuito lato terreno e circuito lato edificio) in alternativa alla macchina frigorifera, quando le condizioni climatiche (del terreno e dell'ambiente esterno) lo consentono. Un'altra possibilità è quella di rigenerare il terreno (ossia riscaldarlo durante l'estate) accumulando calore mediante collettori solari (Bisco, 2005).

Se durante il periodo estivo è richiesto anche il controllo dell'umidità dell'ambiente, la temperatura di produzione dell'acqua refrigerata non può essere elevata (16°C), come sarebbe richiesto, per esempio da un impianto a pannelli radianti a soffitto o a travi attive, ma deve restare su valori usuali (7°C), introducendo una penalizzazione in termini di COP. Le macchine più evolute, utilizzate in questi impianti, consentono il doppio valore della temperatura di evaporazione (per esempio 5°C e 14°C); in alternativa può essere vantaggioso suddividere la potenza frigorifera su due macchine distinte, una per l'alimentazione dei terminali e una per la deumidificazione dell'aria di ventilazione.

Il materiale comunemente impiegato per la realizzazione delle sonde geotermiche è il polietilene (PE). Grazie alle sue eccellenti caratteristiche, il PE, trova ampi usi nella realizzazione di impianti per gas, acqua ed altre applicazioni industriali; esso possiede i requisiti adatti per l'applicazione nel campo delle sonde geotermiche, tra i quali possiamo ricordare:

- alta resilienza e allungamento alla rottura;
- buone caratteristiche meccaniche;
- buona resistenza alle sostanze chimiche;
- buon comportamento a lungo termine;
- basse perdite di carico idraulico;
- rapporto prezzo/prestazioni vantaggioso.

I tubi in polietilene sono standardizzati come materia prima dalle norme UNI EN 12201 del 2004, e a quanto previsto dal D.M. n. 174 del 06/04/2004 (sostituisce Circ. Min. Sanità n. 102 del 02/12/1978); devono essere contrassegnati dal marchio IIP dell'Istituto Italiano dei Plastici o equivalente marchio europeo, secondo quanto previsto dal "Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 Febbraio 1994, n. 109, e successive modifiche".

Si possono distinguere due tipologie adottabili nel settore delle sonde geotermiche: il polietilene reticolato ad alta pressione (PE-Xa) ed il polietilene non reticolato (PE 100). I vantaggi principali del polietilene reticolato possono riassumersi nei seguenti aspetti (REHAU):

- assenza di propagazione di crepe di lavorazione o fenditure;
- non è necessaria la realizzazione di un letto di sabbia per la posa;
- possibilità di impiego anche a temperature superiori a 40 °C, ovvero di utilizzo per accumulo di calore;
- possibilità di utilizzare raggi di curvatura ridotti, anche in caso di temperature rigide;
- tecnica di collegamento a giunzione solida, rapida e svincolata dalle condizioni atmosferiche.

In Tabella 1 sono riportati alcuni dati di confronto tra PE e PE-Xa.

Tabella 1 Vita media prevista e relative pressioni massime di esercizio continuo per tubazioni di polietilene, in funzione della temperatura (REHAU).

TEMPERATURA	PE-Xa	PE 100
20 °C	100 anni/15 bar	100 anni/15,7 bar
30 °C	100 anni/13,3 bar	50 anni/13,5 bar
40 °C	100 anni/11,8 bar	50 anni/11,6 bar
50 °C	100 anni/10,5 bar	15 anni/ 10,4 bar
60 °C	50 anni/9,5 bar	5 anni/7,7 bar
70 °C	50 anni/8,5 bar	2 anni/6,2 bar
80 °C	25 anni/7,6 bar	-
90 °C	15 anni/6,9 bar	-

Per quanto riguarda le tipologie impiantistiche esistono sostanzialmente due soluzioni adottabili per le sonde geotermiche:

1. Sonde geotermiche verticali (SGV).
2. Sonde geotermiche orizzontali.

Se ne illustrano qui di seguito le principali caratteristiche.

1.4.1 Sonde geotermiche verticali

La temperatura del terreno è influenzata dalle fluttuazioni giornaliere e stagionali di temperatura fino ad una profondità di circa 10 metri; da 10 a 20 metri di profondità la temperatura del terreno rimane relativamente stabile (con oscillazioni di 1 o 2 °C) e pari alla temperatura media annuale della località; per profondità superiori a 20 metri si verifica mediamente un aumento della temperatura pari a 3°C ogni 100 metri, per influenza del calore endogeno della Terra.

Con le sonde geotermiche verticali, la profondità tecnicamente ed economicamente accettabile arriva fino a 150 m, più raramente oltre i 200 m. Nella Figura 8 si riportano alcune configurazioni di posa delle tubazioni per le sonde verticali. Le tubazioni all'interno della sonda verticale possono avere diverse geometrie:

- a. singolo tubo ad U: all'interno della perforazione vengono inseriti un tubo di mandata e uno di ritorno collegati sul fondo, quindi si esegue il getto di riempimento;
- b. doppio tubo ad U: come il precedente, con la differenza che nella perforazione si inseriscono quattro tubi collegati a due a due sul fondo; le due "U" possono essere collegate tra loro in serie o in parallelo;
- c. tubi coassiali: il tubo di ritorno è interno a quello di mandata, che occupa tutta la sezione della perforazione, e quindi, se il diametro del tubo esterno è uguale o di poco più piccolo di quello della perforazione, non è necessario il getto di riempimento.



Figura 8 Sonda geotermica verticale del tipo a "doppia-U" (foto a sinistra, fonte REHAU) e dopo la messa in posto con cementazione (foto a destra, fonte A. Galgaro).

1.4.2 Sonde geotermiche orizzontali

Le sonde geotermiche orizzontali a prima vista possono apparire più economiche rispetto a quelle verticali, ma molto dipende dal tipo di scavo e dall'eventuale presenza di falda superficiale.

Il campo di sonde a sviluppo orizzontale può presentarsi in diverse configurazioni, differenti fra loro secondo le diverse disposizioni delle tubazioni, del numero di tubi impiegati e della connessione fra i rami. E' evidente che ad un maggiore fabbisogno termico dell'edificio corrisponde una maggiore estensione della superficie del terreno dedicato alla posa del campo di sonde. I parametri principali che influenzano il flusso termico scambiato fra la sonda e il sottosuolo sono sostanzialmente la lunghezza della tubazione, la profondità di installazione ed il passo tra i tubi; pertanto occorre valutare con attenzione la disponibilità di superficie di terreno da parte dell'utenza qualora si scelga di adottare un impianto a sonde geotermiche a sviluppo orizzontale (De Carli, 2007).

Le sonde orizzontali richiedono comunque superfici del terreno sensibilmente maggiori rispetto a quelle verticali, risentendo inoltre, in certa misura, dell'escursione annuale di temperatura dell'aria esterna. Quest'ultimo aspetto peraltro può giocare a favore di questa tecnologia, soprattutto in ambito residenziale, dove il rapporto tra carichi invernali ed estivi è compreso tra 2 e 3. Risulta pertanto interessante l'utilizzo delle sonde orizzontali, visto che la rigenerazione del terreno in estate può essere fatta a spese della temperatura e dell'irradiazione esterna, e quindi in modo gratuito.

1.5 Gli impianti geotermici a circuito aperto

Qualora come sorgente termica da abbinare alla pompa di calore venga scelta l'acqua si può utilizzare un sistema a circuito aperto o chiuso. Esempi di circuito aperto e chiuso sono evidenziati nella Figura 9.

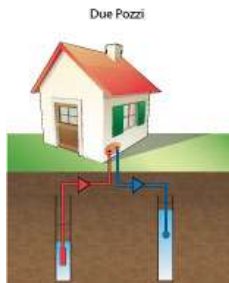


Figura 9 Sistemi a ciclo aperto e chiuso utilizzando l'acqua come sorgente termica.

Tra le sorgenti termiche per le pompe di calore, l'acqua, sia essa di superficie (mari, laghi, fiumi, corsi d'acqua) che sotterranea (falda più o meno profonda), è una valida soluzione, dato che, a parità di temperatura con l'aria, presenta caratteristiche di scambio termico di gran lunga migliori ed un calore specifico più elevato. Inoltre il suo livello termico non è negativamente influenzato dalle condizioni esterne: aria più calda nei momenti di maggior carico termico estivo, aria più fredda nei momenti di maggior carico termico invernale.

L'uso delle acque superficiali è favorevole in Italia rispetto all'Europa settentrionale perché raramente i nostri corsi d'acqua o i laghi ghiacciano anche a fronte di prolungate temperature esterne sotto zero. Per contro, un ostacolo è costituito dalla variazione stagionale di portata d'acqua che può essere rilevante, con cospicue riduzioni nel periodo estivo, quando l'acqua è utile nel funzionamento della macchina come refrigeratore. Nel territorio trevigiano gli specchi di cava con falda esposta costituiscono aree generalmente inutilizzabili, potendo però rappresentare una sorgente geotermica di bassa entalpia molto importante anche per sistemi di distribuzione in rete per agglomerati edilizi, centri sportivi, serre, etc..).

Si può osservare che, in un caso del genere, l'acqua consente anche il free-cooling, cioè il suo impiego diretto (tramite uno scambiatore di calore) nell'impianto di condizionamento, per il raffreddamento o il pre-raffreddamento dell'aria. L'ostacolo più rilevante per l'utilizzo dell'acqua è purtroppo quello burocratico-amministrativo, sia per le indispensabili autorizzazioni sia per le normative nazionali e regionali che condizionano il prelievo e lo scarico, come più oltre riportato.

Le temperature competenti 12-14 °C, sono valori adatti sia per la sorgente fredda della pompa di calore sia come serbatoio termico per il refrigeratore.

A sua volta, l'impiego delle acque sotterranee, tutt'altro che scevro da problemi tecnici, è confortato da una vastissima sperimentazione e pertanto, vista la numerosità delle realizzazioni anche di grandi dimensioni, può considerarsi ormai una tecnologia matura.

Anche in Italia l'acqua sotterranea (generalmente acqua di pozzo), è tuttora largamente utilizzata nei processi di raffreddamento in ambito industriale, con limitazioni sempre più severe nei confronti sia dello scarico in rete fognaria, sia del prelievo, per motivi ambientali di sostenibilità e preservazione della risorsa primaria idropotabile. Per quanto riguarda lo smaltimento a valle dell'uso, è anche possibile, e talvolta obbligatoria, la reiniezione dell'acqua prelevata in falda, sia per evitarne l'impoverimento, sia con funzioni di accumulo stagionale. Purtroppo tanto la trivellazione dei pozzi e il prelievo dell'acqua, quanto la reiniezione in falda, in Italia sono ancora temi controversi e l'iter burocratico risulta estremamente complesso e caratterizzato da lunghi tempi di risposta.

I sistemi geotermici a ciclo aperto utilizzano questa risorsa estraendo l'acqua dalla falda mediante pozzi e inviandola ad uno scambiatore di calore che permette di trasferire l'energia termica dell'acquifero ad un impianto utilizzante, per esempio, una pompa di calore. La maggior parte dei sistemi a circuito aperto successivamente scarica l'acqua utilizzata in un acquifero superficiale oppure la reintroduce in uno strato acquifero eventualmente diverso da quello di prelievo. Questo tipo di sistemi è relativamente semplice da realizzare e per applicazioni residenziali, commerciali e istituzionali è in grado di offrire una quantità di energia anche notevolmente superiore a quella ottenibile da sistemi a circuito chiuso con il vantaggio di un minor costo dell'impianto. Tuttavia questi sistemi possono potenzialmente causare la degradazione ambientale dell'acquifero dovuta al riscaldamento o raffreddamento prolungato dello stesso; questo è particolarmente vero nei casi in cui l'iniezione (o la sottrazione) di calore non è ricambiata dalla rimozione (o dall'immissione) di una pari quantità di calore, causando così lo scompenso termico dell'acquifero. Particolare attenzione va quindi posta al rapporto tra i carichi termici e frigoriferi in gioco, progettando eventuali soluzioni di mitigazione.

1.6 La tecnologia ATES

La tecnologia ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) è un particolare tipo di accumulo termico che sfrutta l'acqua del sottosuolo come serbatoio prelevandola da due diversi pozzi sufficientemente distanti. Durante la stagione estiva, l'acqua di falda viene estratta dal "pozzo freddo" ed è utilizzata per il raffreddamento del condensatore del refrigeratore e successivamente immessa nel sottosuolo nel "pozzo caldo". Durante il periodo invernale il prelievo avviene dal "pozzo caldo" e, dopo essere stata utilizzata nell'evaporatore della pompa di calore, viene immessa nel pozzo freddo, predisponendolo alla stagione estiva successiva (Figura. 10). Questa tecnologia può essere proficuamente adottata in presenza di bassa o nulla velocità di falda (De Carli, 2004).

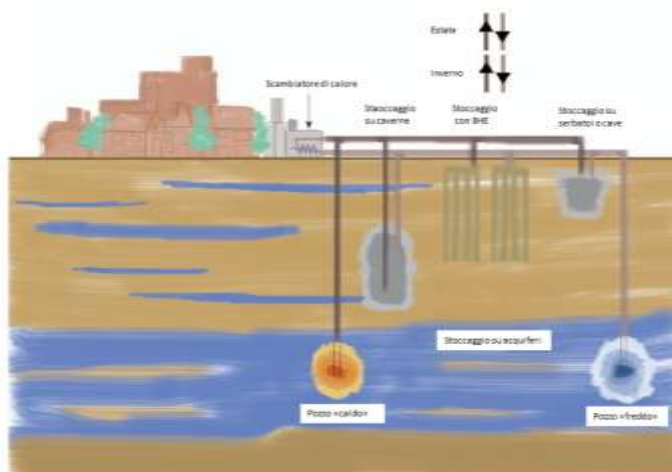


Figura 10 Principio di funzionamento della tecnologia A.T.E.S. (www.geoenergy-solutions.com).

Con il termine "acqua di falda" ci si riferisce all'acqua che occupa serbatoi sotterranei costituiti da materiali permeabili per porosità o fratturazione o per processi di dissoluzione chimica (carsificati).

2 LA ZONAZIONE DEL POTENZIALE GEOTERMICO DI BASSA ENTALPIA

Il modello concettuale geotermico del sottosuolo (Modello Geotermico del Sottosuolo, MGS) è una rappresentazione schematica nelle tre dimensioni del sottosuolo o porzione di esso.

Il processo di integrazione per realizzare il modello geotermico del sottosuolo deve iniziare dalla definizione chiara dei parametri quantitativi utili e dei prodotti attesi:

- zonazione della risorsa geotermica;
- valutazione del potenziale geotermico.

La zonazione geotermica consiste nella definizione delle aree in superficie che sottendono nel sottosuolo corpi tridimensionali di cui sono definite le caratteristiche termo-fisiche.

La valutazione del potenziale geotermico consiste nella individuazione delle zone precedentemente definite con parametri termo-fisici idonei al geoscambio, nell'integrazione con dati superficiali relativi all'uso del territorio e alla successiva stima di parametri significativi.

Va inoltre segnalato che esiste una grande differenza tra i due obiettivi. La zonazione geotermica è finalizzata all'individuazione della sorgente e/o la risorsa geotermica qualunque essa sia. Da questo punto di vista il modello del sottosuolo in linea teorica deve arrivare al massimo dettaglio compatibile con i dati di base e le informazioni disponibili, nonché la scala di rappresentazione.

La valutazione del potenziale risulta invece altamente dipendente dalla sua utilizzazione e dalla modalità elaborativa scelta per il suo calcolo; essa dovrà quindi fare riferimento a un sottoinsieme minimo e definito di dati di base e delle informazioni.

La definizione del modello necessita di una serie di processi di elaborazione a partire da informazioni e da dati di base diversi: geologia, idrogeologia, geotermia, geofisica/geotecnica. Il modello del sottosuolo rappresenta quindi la sintesi delle elaborazioni ed analisi dei dati che vengono validati dai diversi soggetti che costituiscono le fonti o da coloro che gli hanno prodotti.

Il modello concettuale del sottosuolo è il risultato di un processo, finalizzato alla definizione del minimo numero di parametri termo-fisici necessari per fornire, mediante appropriate procedure di calcolo, una ricostruzione del sottosuolo in Unità Geotermiche Omogenee (UGO).

Si definiscono UGO le unità caratterizzate da valori simili (entro limiti di incertezza/errore) dei parametri rilevanti ai fini della valutazione del potenziale geotermico.

In sintesi il processo ha previsto la creazione di una corrispondenza che permettesse il passaggio da unità litologiche e/o formazioni a unità caratterizzate da parametri geometrici, termici, idrogeologici, geotecnici/geofisici.

La corrispondenza è realizzata da una procedura operativa applicata sui dati che ha previsto l'associazione e classificazione dei dati di base mediante tecniche cluster e/o tessiturali.

In particolare, sono state definite per le diverse UGO:

- le geometrie e i limiti superiori, inferiori e laterali
- localizzazione della falda al loro interno, conducibilità idraulica, temperatura della falda (con valutazione della variabilità / incertezza di tali parametri);
- conducibilità termica (con valutazione della variabilità / incertezza di tali parametri);

Va sottolineato che le UGO non corrispondono alle unità lito-stratigrafiche ma possono essere il risultato di accorpamento o viceversa la separazione di esse.

La definizione di una UGO dipende dalla quantità e qualità dei dati disponibili utili alla loro definizione, di conseguenza il modello concettuale ha consentito la zonazione del potenziale con una discriminazione più o meno fine.

In funzione dei risultati da raggiungere e delle finalità cartografiche si possono distinguere la zonazione di primo livello e la zonazione di secondo livello.

La zonazione di primo livello è basata sulla definizione di un modello concettuale geotermico del sottosuolo che preveda una UGO. Essa sarebbe costituita dal volume inglobante tutte le unità lito-stratigrafiche fino a una profondità definita (profondità operativa del geo-scambiatore; 50-150 m) con parametri mediati sulla lunghezza di uno scambiatore di lunghezza standard pari a 100 m.. Una definizione minima come quella data consente la zonazione geotermica di base o di indirizzo.

La zonazione di II livello (livello di progetto) ha richiesto la chiara identificazione di una o più UGO con una discriminazione fine (es. quelle interessate da flussi idrici) e la definizione dei corrispondenti parametri fisico-termici.

Per la valutazione del potenziale sono state previste le seguenti fasi:

- a) realizzazione di un primo modello del sottosuolo suddiviso in UGO e zonato arealmente (zonazione geotermica);
- b) stima di indicatori integrali del potenziale termico;
- c) Intersezione con carte d'uso del territorio e dati climatici dell'area;
- d) filtraggio delle zone o porzioni di esse sulla base dei dati di superficie relativi a morfologia del rilievo, dissesti, zone di vincolo e protezione.

Il sottosuolo dal punto di vista geotermico può essere definito come un volume di roccia con diverse caratteristiche fisico-termiche al disotto di una predefinita area di indagine, in cui si possa definire, a partire dai dati di base e informazioni, la risposta termica del volume nel suo complesso.

Le proprietà/parametri rilevanti del sottosuolo che interessa conoscere sono:

fisiche (granulometria, tessitura), termiche (temperatura, conducibilità termica), mineralogico-petrografiche ed idrogeologiche (profondità della falda, direzione di flusso della falda, livello di saturazione, conducibilità idraulica, gradiente e velocità degli acquiferi).

2.1 Caratteristiche del terreno

Dal punto di vista termico il terreno è suddiviso in due strati principali:

- a) strato termicamente instabile, prevalentemente sfruttato con sistemi di scambio orizzontali;
- b) strato termicamente stabile, prevalentemente sfruttato con sistemi di scambio verticali.

Lo strato termicamente instabile è la porzione di terreno in cui la temperatura è variabile, prevalentemente influenzata dalle fluttuazioni climatiche atmosferiche, mentre lo strato termicamente stabile è la porzione di terreno la cui temperatura non è influenzata dalle fluttuazioni climatiche, ma dipende principalmente dal flusso geotermico e dalla presenza di falde sotterranee.

In entrambi gli strati le condizioni termiche del terreno sono alterate dalla presenza di acqua di falda, la quale, in funzione della sua velocità di scorrimento nel terreno, generalmente influisce sulla capacità di scambio del campo geotermico e sulla capacità di accumulo inter-stagionale dell'energia, come più oltre discusso.

2.2 Il sistema informativo e l'organizzazione dei dati: il database geotermico di bassa entalpia

Lo studio prodotto ha previsto la costruzione di una banca dati contenente una serie di informazioni dedicate alla caratterizzazione geotermica del territorio. Il processo logico-tecnico seguito per la costruzione della carta di sintesi è stato strutturato in modo tale da permettere una chiara comprensione dei livelli informativi registrati.

I record ad indirizzo geotermico sono stati predisposti secondo una logica di utilizzo generale. Sono quindi state inserite informazioni stratigrafiche relative a pozzi più rappresentativi e che superavano i 60 m di profondità: tale limite è stato assunto sulla base della necessità di rappresentare il comportamento del terreno a profondità confrontabili con quelle tipiche raggiunte dalla sonde geotermiche verticali (100-120 m), che costituiscono la tipologia di geo-scambiatore più diffusamente utilizzata negli impianti geotermici. Tale limite è correlato sia alle caratteristiche e limiti costruttivi delle sonde stesse, che sono in grado di sopportare sollecitazioni meccaniche entro limiti correlati a range combinati di temperatura e pressione, oltreché ai metodi perforazione che per profondità limitate tecnicamente risultano più semplici e meno costose.

Il lavoro di selezione, archiviazione, e validazione, ha previsto anche una operazione di omogeneizzazione fra le diverse fonti. I dati raccolti hanno dimostrato una elevato grado di disomogeneità a causa dei diversi metodi di esecuzione delle perforazioni e della soggettività relativa alla redazione del rapporto di perforazione. Vista la notevole complessità dell'assetto geologico ed idrogeologico del territorio trevigiano sono stati adottati criteri di validazione, controllo ed organizzazione dei dati che potessero quanto meno ridurre le incertezze di carattere compilativo.

La validazione è stata realizzata tramite il controllo incrociato tra i dati stessi ed i dati nell'immediato intorno in relazione a contesti geologici omogenei; in caso di evidenti discrepanze si è provveduto all'eliminazione del dato, registrando solo le informazioni che risultavano più coerenti ed affidabili.

Considerata inoltre la notevole complessità dell'assetto geologico e idrogeologico del territorio provinciale sono stati adottati criteri di organizzazione dei dati che tenessero in adeguata considerazione gli aspetti di eterogeneità sia laterale che in profondità.

Il database creato per questo progetto è caratterizzato da un'elevata flessibilità, consentendo, tramite il modello relazionale, di modificare e creare nuove combinazioni campi informativi diversi, interrogabili in base alle diverse esigenze dell'utente.

I termini considerati nella banca dati sono stati archiviati ed organizzati con finalità di caratterizzazione geotermica. I parametri considerati sono stati derivati dalle informazioni litostratigrafiche ed idrogeologiche determinando valori medio-pesati considerando una colonna equivalente di 100 m di profondità.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 Inquadramento geomorfologico

La provincia di Treviso si estende su un'area di circa 2480 km², di cui, il 30% caratterizzato dalle fasce Prealpine, ed il rimanente 70% costituito dalla pianura veneto-friulana.

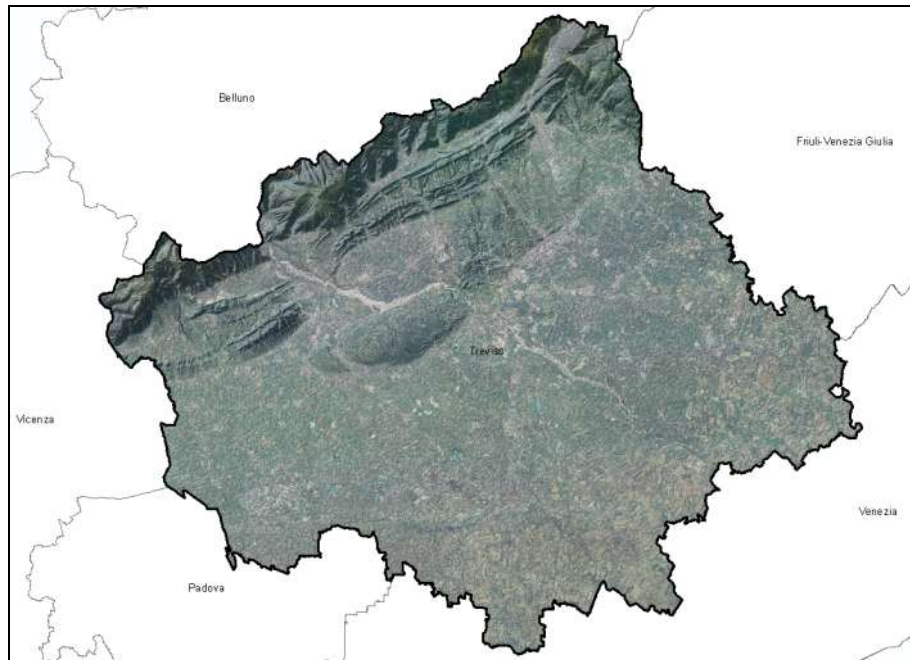


Figura 11 Ortofoto del territorio provinciale trevigiano su DTM (risoluzione 5 m).

I rilievi, che si trovano nella parte nord-occidentale, raggiungono la quota massima di 1750 m s.l.m. col massiccio del Monte Grappa; la pianura, invece, nel suo settore sud-orientale raggiunge anche quote di 1-2 m al di sotto del livello del mare. IL settore pedealpino, esibisce una serie di rilievi costituiti e formati sia da deformazioni tettoniche (Montello e Rilievi di Tarzo), sia da depositi morenici lasciati dai ghiacciai dopo il loro ritiro (V.Veneto).

3.2 Inquadramento geologico-strutturale

L'evoluzione tettonica dell'area è caratterizzata dalla progressiva convergenza della placca adriatica con la placca europea che ha determinato, nel Neogene e nel Quaternario, il sollevamento di vasti settori del Sud Alpino con formazione di pieghe, sovrascorrimenti e bacini sedimentari lungo il fronte dei principali assi di deformazione (Mazzola, 2003).

Le Prealpi Trevigiane rientrano nella fascia orientale delle Prealpi Venete, sono strutture che appartengono all'Unità delle Alpi Meridionali. Il loro limite meridionale verso la pianura è rappresentato da un'importante struttura tettonica denominata Flessura pedemontana che rappresenta il fronte di un sovrascorrimento in movimento verso sud, denominato "Bassano-Valdobbiadene", il cui piano di scivolamento si immerge a profondità di oltre 5 km ed è riconoscibile in superficie per oltre 100 km (Note Illustrative della Carta Geologica del Veneto scala 1:250.000, 1988).

Un elemento morfostrutturale di particolare interesse è rappresentato dal Montello. La struttura del colle del Montello corrisponde ad una anticlinale molto aperta con piano assiale sub verticale orientato ENE-OSO che tende a chiudersi lateralmente. Tale piega si è formata per un fenomeno di compressione ad opera di forze che agiscono perpendicolarmente rispetto all'asse di allungamento del rilievo; queste forze hanno piegato gli strati, tanto che, nel settore meridionale, si riesce a misurare una debole immersione verso sud, e, in quello settentrionale, una modesta immersione verso nord.

I rilievi trevigiani sono stati modellati da fenomeni erosivi e glaciali di età wurmiana i quali hanno conseguentemente portato a differenti dinamiche deposizionali, sia spaziali che temporali nella pianura sottostante. Durante la fase cataglaciale, le acque di scioglimento, si riversarono in elevata quantità nella pianura antistante. In pianura tali materiali vennero depositati secondo i meccanismi della dinamica sedimentaria fluviale.

Si formarono importanti ventagli deposizionali che, con la loro inter-digitazione, costituiscono le strutture dell' alta e della media pianura trevigiana. Queste deposizioni sono limitate ad ovest dalle alluvioni del Brenta, mentre ad est da quelle del complesso di Bacino del Livenza-Cellina-Meduna.

Durante la fase postglaciale si formarono nuove correnti fluvioglaciali che, seguendo i medesimi percorsi indicati dalle correnti precedenti, trasportavano verso la pianura i materiali abbandonati dal ritiro dei ghiacciai. Le nuove deposizioni si sovrapposero alle precedenti, inizialmente con i medesimi criteri di dinamica deposizionale; tuttavia la morfologia impostata dalle precedenti deposizioni, che aveva creato delle vaste superfici, finì con l'influenzare l'andamento delle correnti fluvioglaciali, che furono maggiormente incanalate rispetto a quelle della fase deposizionale precedente. Questo comportò una velocità maggiore di trasporto ed un potere erosivo maggiore lungo delle sezioni di scorrimento più ristrette.

Man mano che le acque di trasporto dei sedimenti diminuivano la loro velocità, questi si sono depositi con una gradazione normale a partire dai materiali più grossolani, in vicinanza dei rilievi montuosi (alta pianura), fino ai più fini in prossimità degli ambienti costieri (dalla media alla bassa pianura).

3.2.1 La pianura trevigiana

La Pianura Padana è un bacino sedimentario terziario compreso tra il fronte delle falde sud-vergenti delle Alpi Meridionali e le strutture Appenniniche nord-vergenti. L'evoluzione di tale territorio è legata a eventi tettonici e climatici che l'hanno interessata a partire dall'Oligocene. L'area padana è quindi caratterizzata da una subsidenza molto accentuata e da un importante apporto detritico che portò alla deposizione di numerosi cicli sedimentari separati da discontinuità di estensione regionale. La sedimentazione è pertanto sia fluviale che marina: lo spessore dei sedimenti risulta molto variabile perché legato alla subsidenza differenziale nelle diverse parti del golfo; la potenza massima è raggiunta sul margine appenninico e supera i 7000 m.

Con l'inizio del Quaternario (Pleistocene medio-inferiore), quando la zona alpina e parte della fossa padana sono completamente emerse, l'evoluzione geologica dell'area padana comincia a differenziarsi. In questo periodo la sedimentazione nella parte veneta assume un carattere prettamente continentale e l'ambiente è dominato da un complesso sistema fluviale. In questa fase comincia il riempimento del vasto bacino di avampaese caratterizzato da depositi alluvionali trasportati dai grandi sistemi fluviali e da sedimenti derivanti da fasi di trasgressione marina. Da allora la pianura alluvionale viene costantemente modellata dalle continue variazioni di percorso dei corsi d'acqua che la solcano, come testimoniano i numerosi paleovalle presenti in superficie ed in profondità. In particolare, a valle del loro sbocco montano, i fiumi hanno ripetutamente cambiato percorso interessando aree molto ampie fino a coprire migliaia di km². Si sono così formati ampi e piatti conoidi alluvionali.

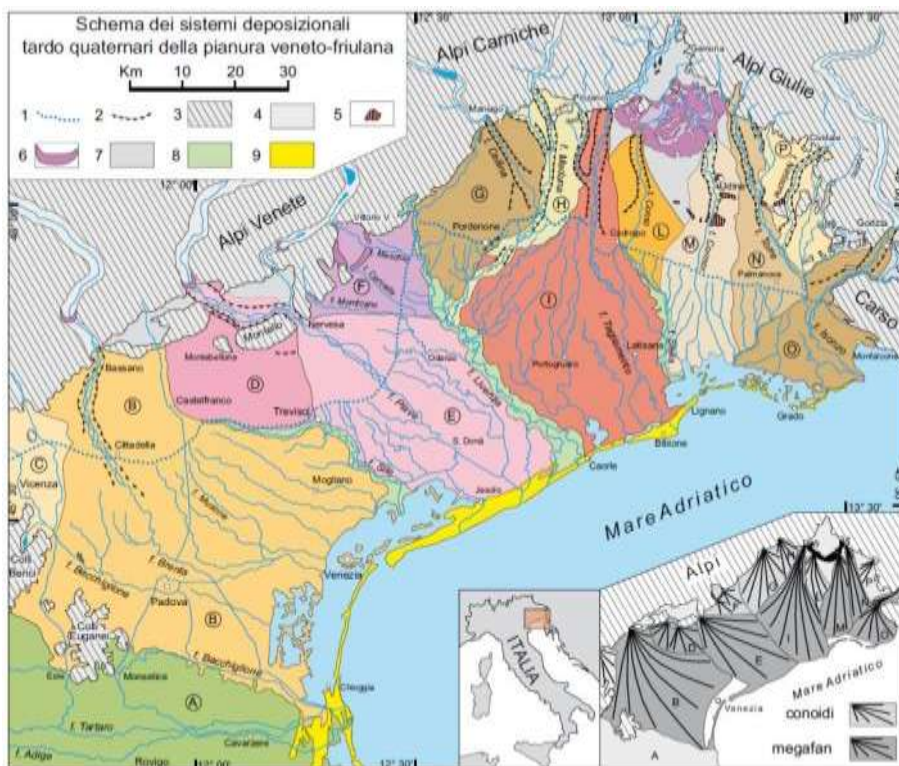


Figura 12 Schema dei sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana, (Geomorfologia della Provincia di Venezia, 2004).

Il settore centrale della pianura trevigiana è occupato dal megafan del Piave, il quale si divide in Piave di Nervesa e Piave di Montebelluna. Il limite occidentale è caratterizzato dalle propaggini orientali del megafan del Brenta, mentre il limite orientale è suddiviso a sua volta in due parti: la parte settentrionale occupata dal conoide del Cervada-Meschio; la parte meridionale dal margine occidentale del megafan del Tagliamento.

Nella zona di interdigitazione tra i maggiori megafan, si sono insidiati i più importanti corsi di risorgiva o di risorgenza carsica che, con i loro sistemi, hanno occupato quindi le aree depresse d'interfluvio. È questo il caso dei fiumi Livenza, tra i megafan di Tagliamento e Piave, e Sile, tra i megafan di Piave e Brenta. Vi sono inoltre dei fiumi e torrenti minori che si sono impostati per le medesime condizioni stratigrafiche e sono: il Musone, al limite tra l'alta pianura pleistocenica del Brenta e quella del Piave di Montebelluna; e il Giavera, tra le alluvioni del conoide di Montebelluna e le alluvioni più recenti del Piave.

I corsi d'acqua hanno portato alla deposizione degli ultimi 30-50 m di sedimenti, a partire dal Pleistocene superiore.

La deposizione, allo sbocco delle valli, è costituita da sedimenti molto omogenei, alternanze di ghiaie e ghiaie sabbiose; nella parte più bassa della pianura si riscontra invece la presenza di materiale fine che compone una stratigrafia eterogenea e complessa. Sedimenti limosi, corrispondenti a facies di piana di esondazione, corpi sabbiosi lenticolari, costituenti facies di canale e banchi limoso-argillosi, vanno a depositarsi nelle parti più distali, costituendo uno spessore complessivo di 10 m.

Si può pertanto suddividere la piana alluvionale veneta nelle tre fasce denominate di alta, media e bassa pianura in relazione alla prevalenza di sedimenti a granulometria grossolana, in relazione all'equa presenza di materiale grossolano e fine, o alla prevalenza di sedimenti a granulometria più fine.

Nella zona di transizione tra l'alta e la bassa pianura, dove le lenti ghiaiose superficiali dell'alta pianura si chiudono verso valle e incontrano gli strati meno permeabili della bassa pianura, avviene l'emergenza della falda freatica. Tale fascia, denominata fascia delle risorgive, caratterizza gran parte del territorio centrale del trevigiano.

3.3 Inquadramento idrogeologico

La Pianura Padana è costituita da una spessa coltre di materiale alluvionale all'interno della quale vi si insediano le acque sotterranee. Dal punto di vista idrogeologico si possono individuare condizioni stratigrafiche e idrogeologiche tipiche che caratterizzano intere fasce della pianura. Queste fasce, con caratteristiche abbastanza omogenee, si succedono dalle Prealpi al mare Adriatico, si sviluppano in direzione sub parallela rispetto al limite dei rilievi montuosi e alla linea attuale della costa e perpendicolarmente ai corsi d'acqua.

Viene di norma suddivisa nelle tre fasce: alta, media e bassa pianura.

La prima fascia, larga da 5 a 20 km, si trova a ridosso dei rilievi prealpini dove i fiumi sboccano dai bacini montani, e si estende fino al limite superiore delle risorgive. È costituita da materiali grossolani permeabili delle conoidi, indifferenziati fino al substrato roccioso; le ghiaie sono prevalentemente di natura calcareo-dolomitica in matrice ghiaioso-sabbiosa, la percentuale di materiale sabbiosa varia da 10 a 30 % circa.

È caratterizzata da un unico acquifero freatico indifferenziato contraddistinto da una notevole continuità laterale. Si tratta di un acquifero potente e abbondante la cui profondità è massima a ridosso dei rilievi, dove si trova compresa tra i 50 e i 150 m al di sotto del piano campagna. In alta pianura la falda freatica è spesso alimentata dai fiumi a carattere disperdente; allo sbocco dalle valli montane i letti incidono le alluvioni ghiaiose di antica deposizione permettendo una facile infiltrazione dell'acqua.

Il Piave, in alta pianura, disperde interamente nel sottosuolo; la falda di subalveo è caratterizzata da deflusso permanente di acque freatiche anche durante il periodo di magra, quando l'alveo è privo di

scorrimento superficiale; il letto si mostra completamente asciutto per tratti di alcuni chilometri e presenta alcune emergenze dette perenni (Mazzola, 2003).

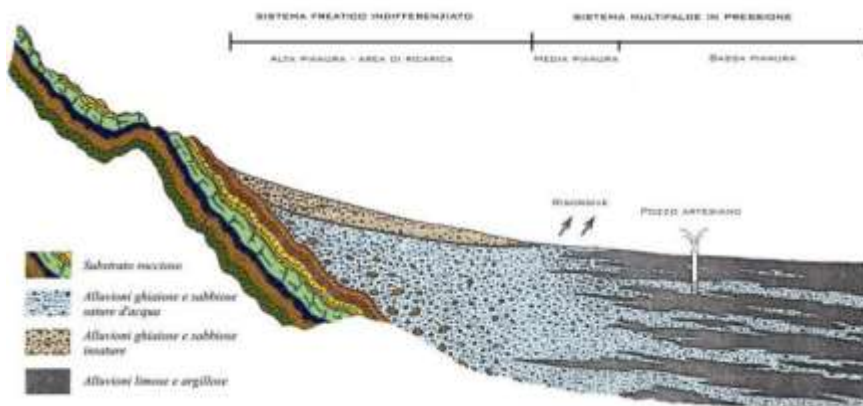


Figura 13 Schema idrogeologico della pianura veneta (Dal Prà, 1983, modificato).

Dalla linea delle risorgive le ghiaie diminuiscono progressivamente verso sud, in una zona di transizione detta di media pianura, in cui il complesso indifferenziato delle ghiaie dell'alta pianura si diversifica interdigitandosi entro orizzonti limoso-argillosi, propri della bassa pianura. I livelli di ghiaia ancora presenti si esauriscono quasi completamente dopo una decina di chilometri, assottigliandosi e lasciando spazio all'aumento rapido di materiale più fine sabbioso e argilloso. I livelli di ghiaie più profondi si spingono molto a sud, arrivando in qualche caso anche al di sotto della laguna veneta.

Come già accennato, la media pianura coincide con la fascia delle risorgive, zona in cui la falda freatica si avvicina progressivamente alla superficie, fino ad affiorare spontaneamente attraverso un sistema capillare di sorgenti chiamate *risorgive* o *fontanili*.

Le innumerevoli sorgenti danno origine a tutta una serie di corsi d'acqua, tra cui il Sile.

La fascia meridionale, denominata bassa pianura, si estende dalla zona di transizione fino alla costa adriatica. È caratterizzata da una complessa successione deposizionale in cui si alternano spessi orizzonti limoso-argillosi con livelli sabbiosi di potenza limitata e, generalmente, a granulometria fine. I letti sabbiosi di buona permeabilità non sono frequenti, rari sono invece quelli ghiaiosi. In questo tratto i sedimenti marini intercalati a quelli continentali sono da mettere in relazione alle regressioni e trasgressioni occorse in seguito ad oscillazioni glacio-eustatiche.

Nella zona di bassa pianura si trova una falda freatica superficiale, di spessore limitato e caratterizzata da discontinuità laterale, al di sotto della quale si rinviene un sistema di acquiferi confinati e semiconfinati in pressione più profondi.

In via generale la falda superficiale è poco profonda e di modesta portata. Molto spesso più che di una singola falda freatica è corretto riferirsi a un insieme di piccole falde superficiali in comunicazione idraulica tra loro. Tali falde sono ricaricate prevalentemente da acque meteoriche e indirettamente dagli apporti dei corsi d'acqua presenti nel territorio.

Alcune ricerche dell'I.R.S.A. (Istituto di Ricerca sulle Acque) ha stabilito che nella zona meridionale della provincia siano presenti fino a otto sistemi e che la profondità massima raggiunta possa raggiungere i 440 m. s.l.m..

Un'importante struttura idrogeologica si trova, inoltre, nella pianura pedecollinare a ovest della provincia e interessa i comuni di Caerano, Montebelluna, Cornuda, Asolo e Crocetta del Montello. Si tratta di un corpo idrico in roccia in continuità idraulica con l'acquifero principale sovrastante, i deflussi sono legati alle precipitazioni, fenomeno testimoniato da numerosi pozzi che si spingono al basamento conglomeratico messiniano (Mazzola, 2003).

Infine, l'ultima importante struttura idrogeologica si trova in prossimità del Montello, il Quartiere del Piave. Stratigraficamente è caratterizzato da una complessa successione di materiali alluvionali ghiaiosi quaternari superficiali e conglomerati, l'acquifero freatico si trova infatti all'interno delle alluvioni ghiaiose più superficiali (Dalla Porta, 1978).

4 LA BANCA DATI GEOTERMICA

La banca dati è stata costruita utilizzando i dati ottenuti dalle seguenti fonti: Provincia di Treviso, Genio Civile di Treviso, Provincia di Venezia, AATO Laguna di Venezia, ARPAV, CNR, Regione Veneto ed altri enti di gestione della rete idropotabile.

Al fine di presentare una cartografia significativa dell'idoneità al geoscambio è necessario identificare le grandezze fisiche che maggiormente influenzano il comportamento del terreno dal punto di vista termico.

I parametri utilizzati, ritenuti significativi ai fini geotermici, sono stati:

- ✓ le proprietà di carattere prettamente geologico quali la tessitura dei materiali e di conseguenza la loro granulometria, ricavata dallo studio delle sequenze litostratigrafiche;
- ✓ le informazioni di tipo idrogeologico, quali la quota della prima falda; la permeabilità equivalente desunta dai dati granulometrico-tessiturali, la velocità "Darciniana";
- ✓ le grandezze di tipo termodinamico quali la conducibilità termica del terreno (stimata da dati bibliografici su base granulometrico-tessiturale) e la distribuzione della temperatura nel sottosuolo.

La prima fase del lavoro ha previsto l'individuazione delle caratteristiche litostratigrafiche fornite dalle testimonianze delle successioni dei materiali attraversati nella realizzazione di pozzi e terebrazioni di varia natura, riportate nei rapporti di perforazione raccolti.

Successivamente sono state analizzate le componenti di carattere prettamente idrogeologico.

L'informazione della posizione altimetrica della falda libera permette di valutare l'eventuale presenza di acqua di saturazione nei materiali sciolti fattore che condiziona in modo importante la conducibilità termica dei materiali stessi. Come noto, infatti, i valori di conducibilità termica del materiale sono sensibilmente condizionati dalla presenza di acqua nei pori, in quanto contribuiscono ad aumentare la capacità di trasporto di calore, conferendo continuità fisica al mezzo. La conoscenza delle condizioni di saturazione dei materiali che compongono il sottosuolo, interessati dai processi di scambio termico, costituisce un'informazione fondamentale per la definizione delle capacità di scambio termico con il sottosuolo. Quindi si è considerata, nell'assegnazione dei valori competenti di conducibilità termica ai materiali alluvionali, una situazione di tipo binario, ovvero saturo o insaturo, in quanto è sufficiente anche una piccola percentuale di umidità presente negli interstizi a conferire un carattere di maggiore conduttività termica, quindi le condizioni di parziale saturazione non sono state differenziate.

Il parametro gradiente della superficie piezometrica ha consentito il calcolo della velocità apparente della falda libera. La presenza di acqua in movimento nel sottosuolo, determina la generazione di moti convettivi in grado di trasportare calore molto velocemente ed efficacemente, se confrontata con i processi di trasmissione per sola conduzione.

La conducibilità termica assegnata ai vari materiali che compongono il sottosuolo, è stata ricavata da una rigorosa analisi di dati bibliografici provenienti da oltre 40 fonti scientifiche riportate su riviste nazionali ed internazionali.

La temperatura del primo sottosuolo è stata assegnata sulla base di serie temporali di temperatura dell'aria, ed assunta corrispondente alla temperatura media annua dell'aria nelle varie località considerate.

Si è inoltre provveduto a verificare tale distribuzione sulla base di un algoritmo (Claps, 2003) che considera la temperatura una variabile dipendente da latitudine e quota, validato da una estesa e distribuita rete di stazioni meteo a livello nazionale.

4.1 Il sistema informativo e l'organizzazione dei dati

La raccolta e l'organizzazione ragionata di tutti i dati disponibili ha permesso la creazione di una banca dati dedicata.

I dati reperiti, analizzati e validati sono stati inseriti secondo lo standard già seguito per la banca dati della Provincia di Venezia.

Dai dati originari, che si presentavano in formati diversi, alcuni su supporto cartaceo, altri in formato digitale, si è proceduto alla loro informatizzazione, validazione ed omogeneizzazione qualitativa in una unica banca dati. L'intera banca dati è stata concepita in ambiente Gis, e consente di poter disporre di metadati grafico-numericamente facilmente aggiornabili e consultabili.

4.2 Costruzione del database

Il metodo di archiviazione delle informazioni stratigrafiche non è risultato univoco poiché le fonti da cui sono state raccolte le informazioni stratigrafiche erano caratterizzate in buona parte da supporto originario prevalentemente cartaceo, e, soltanto per la parte di dati già presenti nel sistema informativo della Provincia di Venezia e dell'AATO Laguna di Venezia, in formato organizzato ed ospitati in una banca dati dedicata all'uso del suolo.

Le informazioni stratigrafiche archiviate sono state 1388, 1295 delle quali si trovano all'interno dei confini provinciali trevigiani, le altre interessano settori periferici caratterizzati da una fascia ampia circa 5 km, considerate per poter verificare la continuità laterale delle strutture geologiche, anche oltre il confine amministrativo provinciale, nonché migliorare le convergenze di "effetto bordo" prodotte dagli algoritmi di interpolazione.

Il Genio Civile di Treviso ha fornito la maggior parte dei dati archiviati. Le pratiche in formato cartaceo da cui sono state tratte gran parte delle informazioni stratigrafiche sono state digitalizzate ed organizzate nella banca dati (934 su 1388).

L'archivio stratigrafico del C.N.R. disponibile presso il Dipartimento di Geoscienze (148 su 1388), e le informazioni di fonte ARPAV (24 su 1388), hanno consentito di completare la banca dati.

Dalla banca dati già esistente della Provincia di Venezia e dell'AATO Laguna di Venezia sono state estratte le informazioni relative alle indagini geognostiche riguardanti l'ubicazione dei sondaggi e le stratigrafie correlate (23 su 1388 dalla Provincia di Venezia, 259 dall'AATO Laguna di Venezia), da cui sono stati selezionati i record relativi a sondaggi di profondità superiore a 60 m.

In Figura 14 si osserva la distribuzione dei punti di informazione stratigrafica. La distribuzione risulta piuttosto omogenea, con una densità di informazione pari a circa un punto ogni 2 km². Nel settore collinare sono state archiviate 111 stratigrafie su 1295, circa 15 punti ogni 10 km², nella pianura vi sono invece 1184 punti su 1295, circa 68 punti ogni 10 km². Maggiore densità di informazioni si riscontra nella città di Treviso, 215 punti su una superficie comunale di 55 km², circa 4 punti ogni km². Purtroppo, dei 95 comuni trevigiani, per alcuni (Possagno; Segusino, Miane; Cison Valmarino, Revine Lago, Cappella Maggiore,

Sarmede, Godega Sant'Urbano, San Vendemiano, Portobuffole, Meduna di Livenza, Chiarano e Zenson del Piave) le informazioni stratigrafiche sono risultate carenti e talora assenti.

All'interno dei territori comunali in cui sono state reperite scarse informazioni perché relative a pozzi di piccola profondità, si è scelto di non considerare tali dati per evitare interpolazioni poco significative perché basate su informazioni disomogenee e statisticamente non confrontabili.

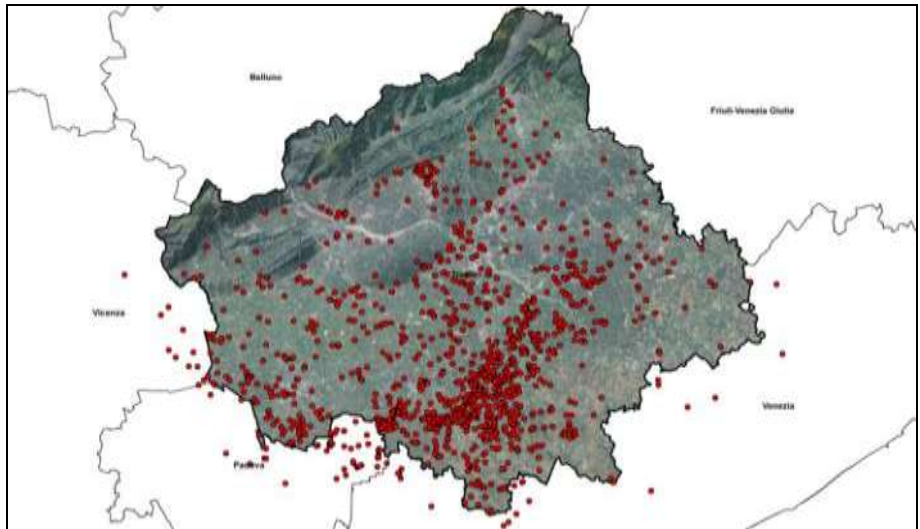


Figura 14 Ubicazione dei punti di informazione stratigrafica.

Le banche dati possono quindi essere considerate dei “magazzini” in cui l'utente può scegliere di estrarre informazioni in base alle specifiche necessità, il tipo di dati ed il loro livello di dettaglio.

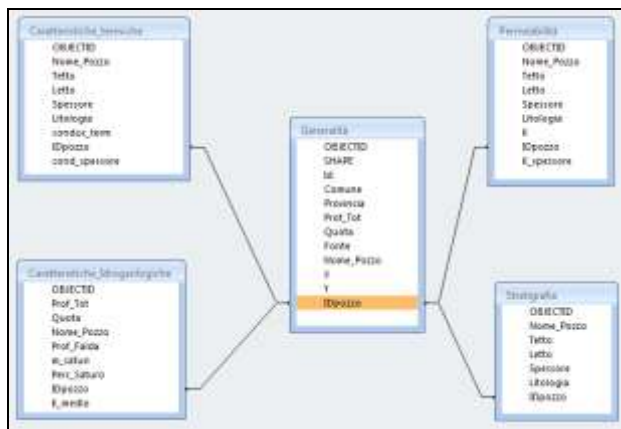


Figura 15 Struttura del database.

In Figura 15 viene rappresentata la struttura del database. Una prima tabella è stata creata e denominata "Generalità". In tale record sono presenti le voci che indicano i caratteri generali del punto, ovvero, oltre al nome identificativo e la fonte che ha fornito la stratigrafia, sono riportate anche informazioni geografiche, quali il comune e la provincia di appartenenza, e le coordinate metriche Gauss-Boaga (fuso ovest); la quota del punto misurata sul livello del medio mare, ed infine l'ID del pozzo. Tale identificativo è il campo che mette in relazione la tabella "Generalità" a tutte le altre tabelle. Si può notare che le tabelle generate riguardano anche le caratteristiche termiche e idrogeologiche del punto, in cui i valori rappresentano le mediane del dato bibliografico, a loro volta normalizzate sulla media pesata calcolata sull'intera profondità del pozzo (conducibilità termica e permeabilità media verticale). I valori di conducibilità idraulica e conducibilità termica assegnata alle varie litologie sono principalmente basati sulla normativa tedesca VDI 4640 e confrontata, come detto, con altre fonti internazionali di caratura scientifica.

La tabella "Stratigrafia" presenta i caratteri identificativi del punto, OBJECTID, il nome del punto e la stratigrafia. I campi "Tetto" e "Letto" indicano rispettivamente la profondità in metri del tetto e del letto di ciascuno strato, lo spessore. Per quel che riguarda la litologia sono stati compilati i campi in base alle litologie riscontrate più frequentemente.

Vista la complessità e la variabilità dell'ambiente geologico della pianura trevigiana sono stati adottati particolari criteri di organizzazione dei dati litostratigrafici. Per i terreni sciolti sono stati utilizzati tutti i termini descrittivi della classificazione granulometrica standard (Atkinson, 1997) e i termini intermedi sono stati raggruppati in modo da ottenere un massimo di due termini.

I valori di conducibilità termica indicati in tabella di Figura 16 corrispondono a quelli assegnati alle litologie riscontrate nelle descrizioni litostratigrafiche e nell'affiorante, per quanto riguarda specificatamente i materiali coerenti. Ai materiali sciolti sono stati assegnati valori di conducibilità termica considerando le litologie specifiche e valutandone le condizioni di saturazione o meno, sulla base dell'informazione ricavata dal livello occupato della falda freatica e considerando saturo tutto il materiale che giace al di sotto di tale livello. Le litologie *dry* differiscono generalmente in modo importante dalle corrispondenti *wet*, ad esempio: la sabbia saturo assume generalmente valori di conducibilità termica pari a 2.4 W/mK mentre alla sabbia secca competono valori prossimi a 0.4 W/mK

OBJECTID *	pozzo *	Nome Pozzo	Tetto	Letto	Spessore	Litologia	conduc. term	K
2324	17646635068269	S. Bartolomeo	0	1	1	terreno vegetale	0.8	0.000001
3484	17646635068269	S. Bartolomeo	1	5	4	argilla	0.93	0.00000001
3485	17646635068269	S. Bartolomeo	5	6.5	1.5	ghiaia	0.4	0.01
3486	17646635068269	S. Bartolomeo	6.5	33	26.5	argilla	0.93	0.00000001
3487	17646635068269	S. Bartolomeo	33	40	7	ghiaia	0.4	0.01
3488	17646635068269	S. Bartolomeo	40	60	20	argilla	0.93	0.00000001
3489	17646635068269	S. Bartolomeo	60	83	23	ghiaia	0.4	0.01
3490	17646635068269	S. Bartolomeo	83	88	5	argilla	0.93	0.00000001
3491	17646635068269	S. Bartolomeo	88	93	5	ghiaia	0.4	0.01
3492	17646635068269	S. Bartolomeo	93	98	5	argilla	0.93	0.00000001
3493	17646635068269	S. Bartolomeo	98	106	8	ghiaia	0.4	0.01
3494	17646635068269	S. Bartolomeo	106	124	18	argilla	0.93	0.00000001
3495	17646635068269	S. Bartolomeo	124	128	4	ghiaia	0.4	0.01
3496	17646635068269	S. Bartolomeo	128	138	10	argilla	0.93	0.00000001
3497	17646635068269	S. Bartolomeo	138	150	12	ghiaia	0.4	0.01

Figura 16 Particolare di una tabella del database stratigrafico.

Dalle prime verifiche di corrispondenza delle proprietà di conducibilità termica ricavata da informazioni di letteratura, e di quelle ottenute da prove di risposta termica in sito (GRT o TRT) risultano ottime corrispondenze. Dovrà comunque essere eseguita per opportuna validazione ed ottimizzazione del prodotto cartografico, una campagna di misure in sito e su campioni delle proprietà termiche dei materiali litici e sciolti.

I materiali litoidi sono stati considerati come materiali compatti, poiché, sia per motivi di scala di lavoro e di restituzione, sia di opportunità correlata alle finalità del presente studio, non sono stati considerati lo stato di fratturazione o la presenza di falda, nelle valutazioni delle proprietà di scambio termico, considerando la matrice quale espressione di sostanziale contributo alle proprietà di conducibilità termica delle rocce.

I valori di riferimento di conducibilità termica utilizzati sono stati ricavati da quelli riportati nella norma tedesca dedicata al geoscambio (VDI 4640), perché riconosciuta a livello internazionale e sostanzialmente l'unica, ad eccezione le norme statunitensi (ASHRAE), a rappresentare una guida di riferimento nel campo della geotermia di bassa entalpia.

Nei casi in cui le litologie presenti non trovavano corrispondenza nella norma citata sono stati assegnati i valori più frequenti proposti da vari autori selezionati da bibliografia o valori di mediana tra quelli proposti dagli autori stessi.

Tabella 3 Tabella dei valori di conducibilità termica dei materiali rocciosi.

Litologia	Geoscienze 2011
arenaria	2.3
calcare	2.8
calcare con marna	2.6
calcare scelcioso	3.2
calcare fortemente scelcioso con marna	3.0
calcare scelcioso con marna	2.7
calcare e dolomia	3.0
dolomia	3.2
dolomia con selce e marna	2.9
dolomia con marna	2.8
dolomia con calcare e arenaria	2.8
marna	2.2
marna con dolomia	2.4
basalto	1.7

Al fine di poter realizzare le carte tematiche di interesse, sono stati scelti i parametri per la loro realizzazione.

I parametri ritenuti significativi al fine di caratterizzare la capacità di scambio termico del sottosuolo sono:

- conducibilità termica media equivalente dei terreni;
- il gradiente di temperatura;
- la velocità teorica della falda

Tale velocità apparente è ottenuta sulla base della relazione di Darcy semplificata. L'informazione così ottenuta può essere considerata cautelativa, in quanto la velocità reale risulta sempre maggiore di quella apparente.

5 LA CARTOGRAFIA GEOTERMICA

Al fine di presentare una cartografia significativa della zonazione a fini "geotermici di bassa entalpia" risulta necessario identificare le grandezze fisiche che maggiormente influenzano il comportamento del terreno dal punto di vista termico. I parametri utilizzati, ritenuti significativi ai fini della caratterizzazione geotermica, sono:

- ✓ le proprietà di carattere prettamente geologico quali la tessitura dei materiali;
- ✓ le informazioni di tipo idrogeologico, quali la quota della prima falda; la permeabilità equivalente desunta dai dati granulometrico-tessiturali, il gradiente idraulico e la velocità "Darciniana" della falda;
- ✓ le grandezze di tipo termodinamico quali la conducibilità termica del terreno (stimata da dati bibliografici su base granulometrico-tessiturale) e la distribuzione della temperatura nel sottosuolo, sulla base delle caratteristiche locali di gradiente geotermico e della temperatura media annua dell'aria nelle località considerate.

Oltre a determinare le grandezze che influenzano lo scambio termico con il sottosuolo, è necessario individuare le aree soggette a particolari vincoli, che possono limitare o precludere, in alcuni casi, l'utilizzo di sonde geotermiche.

I dati raccolti per la costruzione delle carte tematiche si interpolano usando metodi statistici semplificati e variabili per tematismo sulla base delle diverse geometrie di distribuzione delle informazioni di base.

Al fine di poter realizzare le carte tematiche di interesse, sono stati scelti i parametri per la loro realizzazione.

I parametri fisici ritenuti significativi e considerati al fine di caratterizzare zonazione termica del sottosuolo sono:

- temperatura media annua dell'aria;
- conducibilità termica media equivalente dei depositi e dei materiali litici;
- profondità del livello di saturazione;
- gradiente di temperatura;
- velocità teorica della falda.

Dallo studio e dall'analisi dei parametri selezionati, dalla prescrizione del Piano di Tutela delle Acque, in cui si delega la Provincia ad autorizzare la realizzazione di sistemi di scambio termico con il sottosuolo che non prevedano la movimentazione di acqua, e sulla base degli indirizzi del Dlgs 22/2010, in cui si definiscono le piccole utilizzazioni locali di calore geotermico, vengono prodotte ed incrociate le carte tematiche utili alla definizione dell'idoneità territoriale all'impiego di metodi di geoscambio.

La rappresentazione, in carte tematiche, di alcune grandezze fisiche territoriali richiede l'adozione di operazioni di interpolazione i cui risultati risultano fortemente condizionati dalla scelta del metodo statistico.

Le carte tematiche sono state interpolate usando come metodi statistici l'inverso del quadrato della distanza e del kriging.

I metodi di interpolazione hanno contribuito in maniera diversa alla creazione delle carte tematiche poiché i temi stessi descrivevano proprietà con distribuzioni variabili arealmente.

5.1 Temperatura media annuale dell'aria.

La carta delle temperature medie annue si è basata su una relazione proposta da Claps *et alii* nel 2003 che prevede la dipendenza della temperatura media annua dalla quota e dalla latitudine. La relazione considerata è del tipo:

$$T_a = 33.73 - 0.0063Z - 0.4091Lat$$

Dove T_a è la temperatura media annua, Z è la quota del punto di indagine e Lat la sua latitudine in gradi sessadecimali.

Il risultato di tale analisi è visibile in Figura 17.

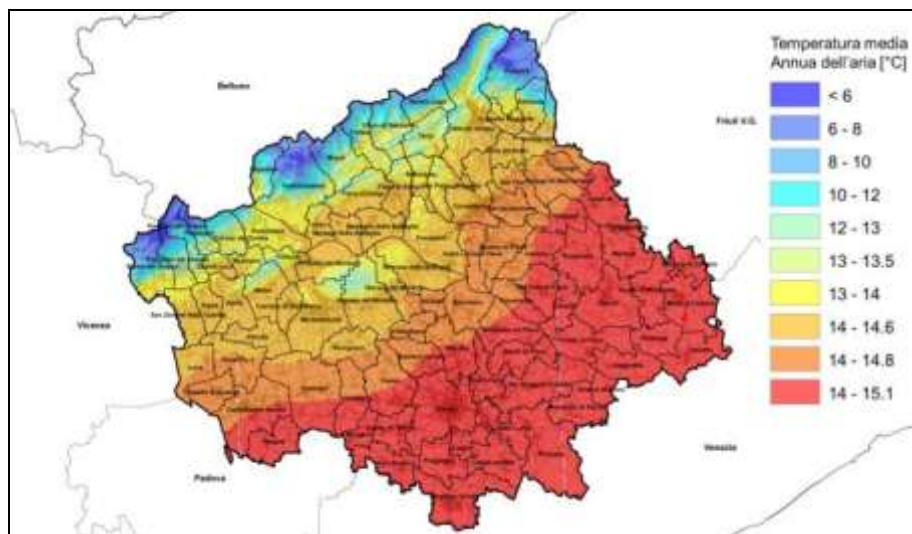


Figura 17 Carta della temperatura media dell'aria (Claps, 2003).

Tale tematismo costituisce un elemento di notevole importanza per il calcolo del gradiente geotermico e delle necessità termiche e frigorifere degli edifici insediati nel territorio, che costituiscono la potenziale utenza di tali sistemi di climatizzazione. Nel paragrafo successivo verrà illustrata la modalità con cui quest'ultimo parametro è stato ottenuto.

5.2 Il gradiente geotermico.

La temperatura del primo sottosuolo è fortemente correlata alla temperatura media annua dell'aria. L'assetto termico nei primi metri di profondità è condizionato dai livelli di irraggiamento e di assorbimento dell'energia solare. Più in profondità prevale invece il contributo del flusso di calore geotermico di origine endogena.

Il gradiente geotermico corrisponde alla variazione di temperatura in relazione alla profondità come è descritto dalla formula seguente:

$$\text{grad } T = \frac{dT}{dz}$$

Come si osserva nello schema in Figura 18, per il calcolo del gradiente geotermico sono necessari almeno due punti di informazione termica a diversa profondità.

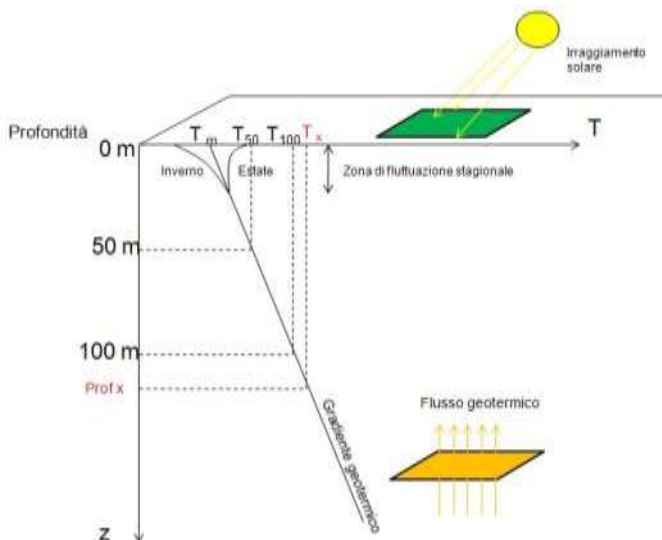


Figura 18 Schema per il calcolo del gradiente geotermico.

I dati a disposizione non hanno distribuzione omogenea è stato perciò di fondamentale importanza valutare il dato di partenza temperatura media annuale dell'aria. Infatti, come si può osservare nello schema, i valori noti sono T_m e T_x , ovvero rispettivamente la temperatura media dell'aria e la temperatura del sottosuolo alla profondità x .

La temperatura del sottosuolo alla profondità x è stata misurata nei punti di informazione riportati in Figura 19, che risultano 2202. Per le ragioni già enunciate in precedenza in relazione ad altri parametri, sono stati presi in considerazione, 3835 punti, raccolti grazie alle fonti citate nei paragrafi precedenti. I dati derivano da misure dirette su pozzi condotte dall'ARPAV, dalla Provincia e dall'AATO Laguna di Venezia in collaborazione con la Provincia di Venezia.

Tali dati sono stati oggetto di analisi statistica allo scopo di omogeneizzare gli stessi, e filtrarne i valori anomali. Le cause di tali incoerenze possono spesso essere imputate a metodi di misura talvolta non rigorosi o ad errori di trascrizione, o a strumentazione di misura non tarata.

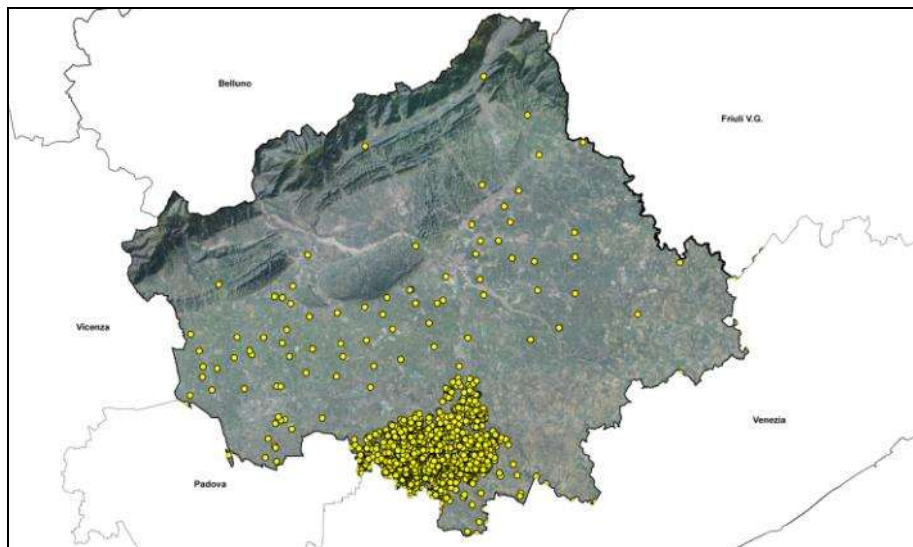


Figura 19 Ubicazione dei punti di misura di temperatura a fondo pozzo.

Per poter calcolare il gradiente nei punti in cui la temperatura in profondità è nota si utilizza la temperatura media annua, assunta come temperatura dei primi metri di sottosuolo secondo convenzione sperimentale, ed in assenza di anomalie termiche significative.

A tal fine è stato prodotto dal valore di temperatura distribuito, calcolato mediante un algoritmo di interpolazione, un dato raster delle temperature medie annuali dell'aria (Figura 17) distribuite sull'intero territorio provinciale. Sono stati poi calcolati i valori di gradiente nei punti di coincidenza tra il dato così definito ed il valore di temperatura delle acque alle relative profondità, rilevati in corrispondenza dei pozzi disponibili. Tale procedimento consente di poter ottenere sia isobate di particolari livelli termici, sia la distribuzione delle temperature alle profondità desiderate.

Osservando la figura che rappresenta il gradiente di temperatura si riconosce un'area di anomalia termica che attraversa la fascia centrale del territorio provinciale in direzione prevalente SO-NE. Tale fascia risulta trovarsi in corrispondenza degli importanti sovrascorrimenti che caratterizzano le falde sud-vergenti delle Alpi meridionali. Probabilmente, ad influenzare in maniera così decisa il gradiente di temperatura è la linea di Aviano, che si riconosce a sud del Montello. Le acque calde profonde, in corrispondenza delle faglie, trovano delle vie preferenziali di rapida risalita pertanto non riescono a raffreddarsi e mantengono una temperatura più elevata rispetto a quella delle acque nelle zone circostanti.

Dall'analisi delle posizioni reciproche dell'area di anomalia termica e delle strutture tettoniche che costituiscono un sistema a basso angolo di sovrascorrimenti alpini risulta una lieve traslazione verso sud del plume termico che esibisce valori di gradiente più elevati, probabilmente a causa del moto di falda con direzione prevalente verso sud-sud-est, in questa zona piuttosto elevato, e del mescolamenti con acque più fredde e superficiali che interessano la coltre alluvionale.

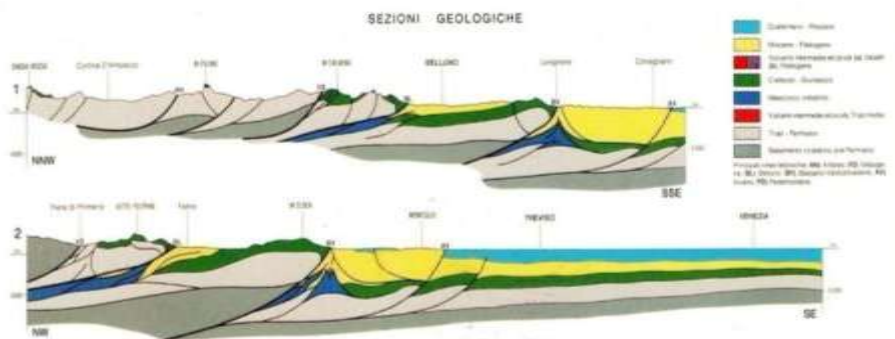
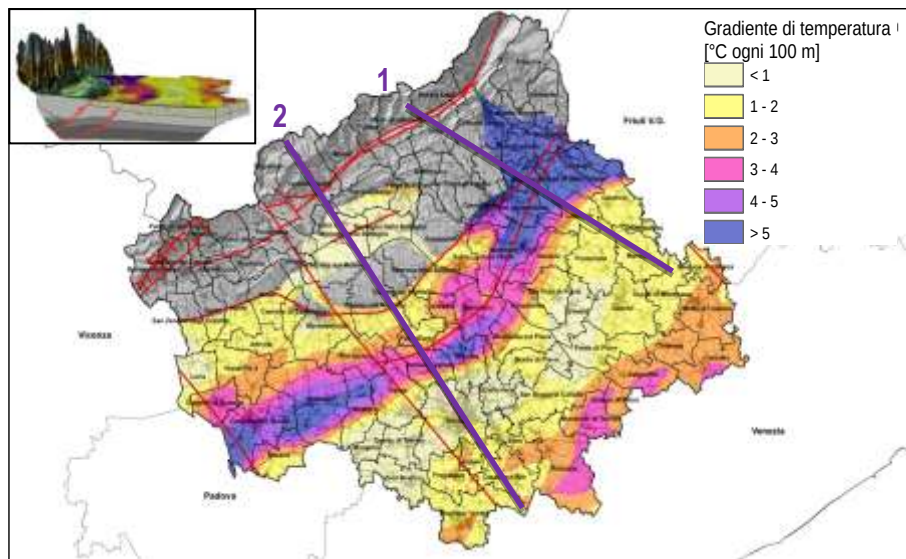


Figura 20 Gradiente di temperatura, le linee rosse identificano gli elementi strutturali, la linea viola identifica la traccia del profilo geologico (Carta geologica del Veneto, scala 1: 250 000).

La fascia meridionale del territorio provinciale esibisce invece una evidente zona più fredda, talvolta caratterizzata da valori di gradiente al di sotto del gradiente geotermico considerato normale ($3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Tale fenomeno può essere correlato con l'aumento dello spessore della coltre alluvionale ed il miscelamento con circuiti idrogeologici di altra provenienza.

Si osserva inoltre, in prossimità del confine con la provincia di Venezia, un ulteriore aumento del gradiente di temperatura, fenomeno studiato dal gruppo di lavoro del Dipartimento di Geoscienze per la Provincia di Venezia, che in quest'area potrebbe essere correlato alla presenza sia del plume residuale del bacino euganeo, sia della presenza di sistemi geostutturali dell'appennino settentrionale.

5.2.1 Analisi dell'isoterma 15°C.

Applicando la formula di calcolo del gradiente geotermico, si può ricavare a quale profondità nel sottosuolo corrisponde una determinata temperatura:

$$\text{grad } T = \frac{T_{\text{Prof } x} - T_m}{\text{Prof } x - 0}$$

$T_{\text{Prof } x}$ = temperatura misurata alla profondità x ;

T_m = temperatura media annua dell'aria

$\text{Prof } x$ = profondità x del pozzo in metri.

Nel caso specifico è stato deciso di calcolare la profondità alla quale si trovano 15°C di temperatura poiché la Legge 99/2009 e il Dlgs 22/2010 stabiliscono che sono da considerarsi termali tutti i fluidi geotermici con temperatura maggiore o uguale a 15°C.

In Figura 21 le isolinee indicano la distribuzione delle profondità competenti all'isoterma 15°C. Il colore ciclamino indica una profondità di 50 m, al colore viola è associata una profondità di 100 m, al colore rosso di 150 m, al colore blu corrisponde una profondità pari a 200 m, in colore giallo viene riportata la profondità di 400 m, infine al colore arancione è associato alla profondità di 600 m. Le isolinee di profondità seguono fedelmente l'andamento del gradiente di temperatura dalle quali sono state ricavate.

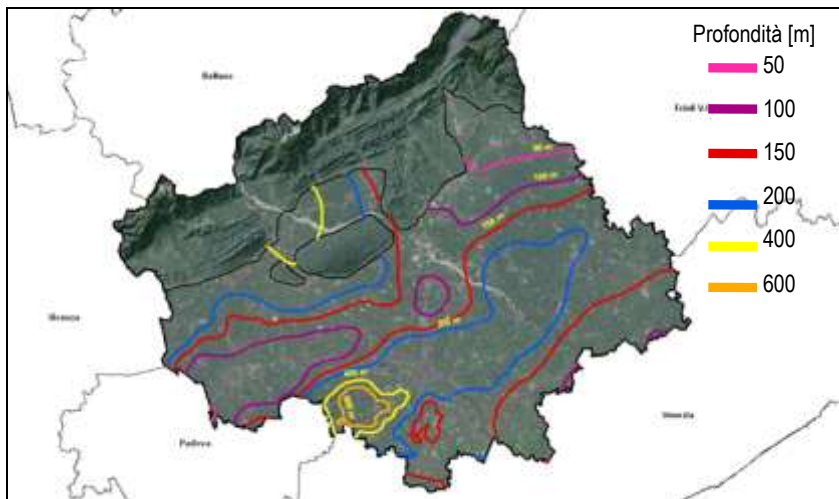


Figura 21 Isolinee di profondità dell'isoterma 15°C.

Tale rappresentazione, riportata in Figura 21, viene riprodotta in relazione ad alcune interpretazioni normative basate sul Regio Decreto del 1933, ed il DM 22 febbraio 2010, in cui le derivazioni di acque sotterranee vengono ritenute competenti all'ambito minerario, per fluidi ("reflui") con temperature superiori ai 15°C.

5.3 Il flusso geotermico

La temperatura del primo sottosuolo è strettamente legata alla temperatura media annua dell'aria, più in profondità risulta predominante il contributo del calore geotermico di origine endogena.

Per il calcolo del flusso geotermico si fa riferimento alla legge di Fourier che mette in relazione il flusso geotermico ed il gradiente di temperatura per calcolare la conducibilità termica:

$$\lambda = \frac{Q}{A * (d\theta/dz)}$$

λ = *conducibilità termica;*

Q = *flusso geotermico;*

$d\theta/dz$ = *gradiente geotermico*

A = *superficie su cui si calcola il flusso.*

Considerando (A) l'estensione di una superficie unitaria si può ricavare il valore del flusso geotermico;

$$Q = \lambda \frac{d\theta}{dz}$$

Le modalità di calcolo del gradiente geotermico sono state già descritte nel paragrafo precedente. La carta della conducibilità termica media ottenuta su base litologica e stratigrafica è riportata in Figura 22.

La carta della conducibilità termica media è stata calcolata in base alla carta della quota e della soggiacenza della falda (Mazzola 2003).

Per calcolare il flusso geotermico sono state incrociate le carte tematiche del gradiente geotermico e della conducibilità termica media sulla base della relazione di Fourier.

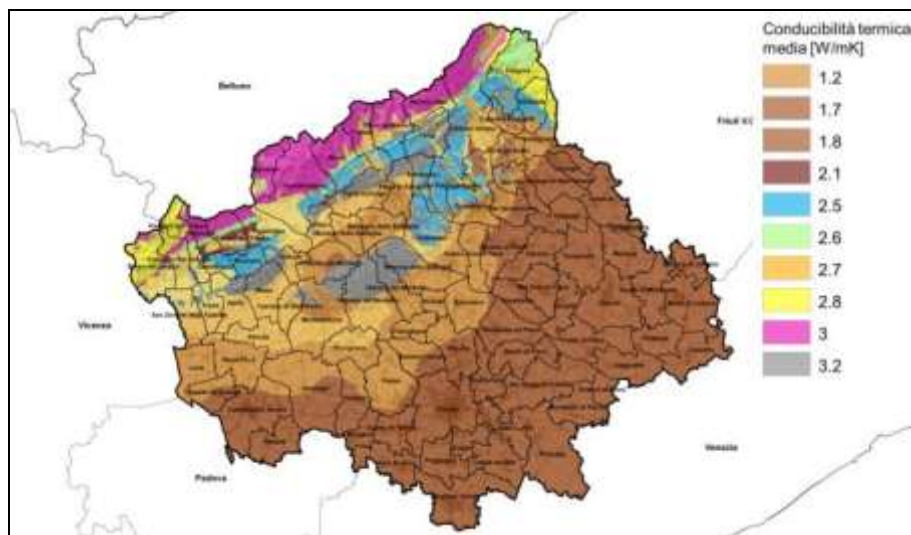


Figura 22 Carta della conducibilità termica media.

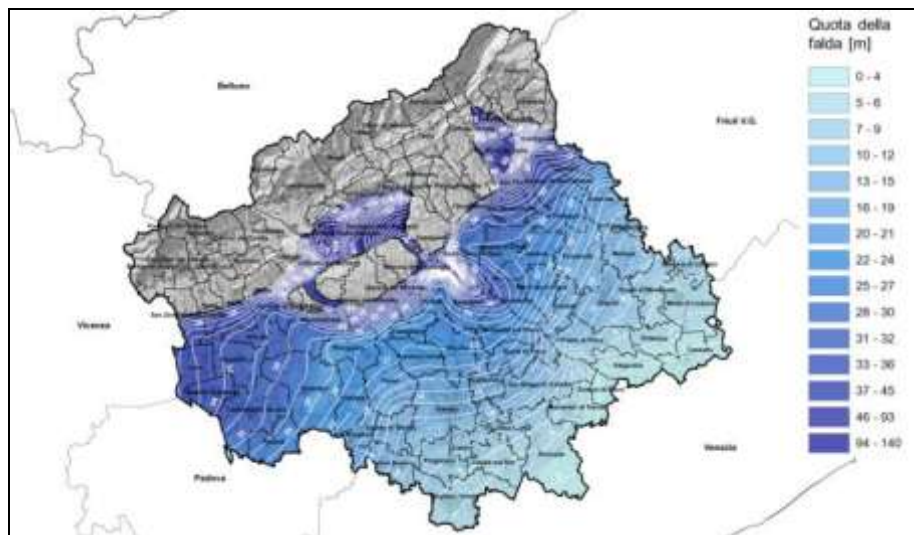


Figura 23 Carta della quota della falda (modificata da Mazzola, 2003).

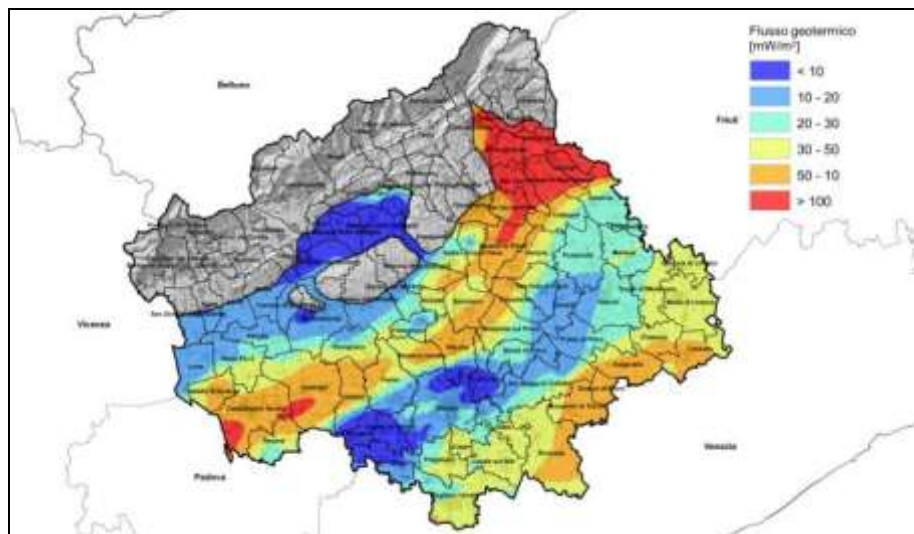


Figura 24 Carta del flusso geotermico.

Dall'osservazione della carta del flusso geotermico si evidenzia la particolare influenza che il gradiente geotermico dimostra rispetto alla conducibilità termica con particolare evidenza nella fascia centrale della provincia. Come osservato infatti in Figura 20 è presente una fascia pressoché continua, caratterizzata da

valori di gradiente termico più elevati, con andamento NE-SO, che replica la direzione dei principali sovrascorrimenti delle Alpi meridionali obliterati dalle alluvioni della medio-alta pianura.

A conferma di tale osservazione, la carta del flusso geotermico superficiale (CNR-IGG) osservabile in Figura 25 esibisce un andamento conforme a quanto risultante dallo studio provinciale qui riportato.

È ben evidenziata una zona a flusso termico pari a circa 60 mW/m^2 su tutta l'area prealpina veneta. Tale fascia interessa il settore prealpino della la provincia trevigiana.

Si ricorda che i valori di flusso calcolati nell'ambito del presente studio sono fortemente influenzati dai valori di conducibilità termica media e pertanto possono differire rispetto ai valori riportati nella cartografia ufficiale (CNR-IGG), i quali hanno comunque valenza a scala nazionale.

La fascia meridionale, che ricade in gran parte nel settore di pianura, è caratterizzata da un flusso termico più ridotto, compreso tra 50 e 60 mW/m^2 e che risente, nel settore sud-orientale della presenza dell'anomalia termica del portogruarese.

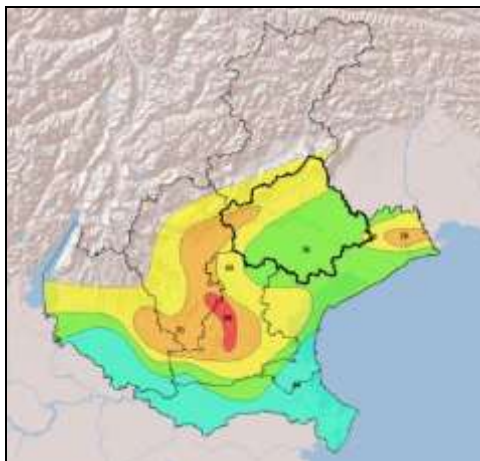


Figura 25 Mappa del flusso di calore [mW/m^2], modificata da Inv. Ris. Geotermiche Italiane 1986 (<http://geothopica.igg.cnr.it>).

Risulta interessante la corrispondenza di tale fascia di anomalia termica che ripercorre il settore di medio-alta pianura (Figura 24) con la presenza di sovrascorrimenti alpini, obliterati dalle alluvioni. Tali elementi geostutturali, che costituiscono strutture tettoniche caratterizzate da livelli di pericolosità sismica più elevata, sono probabilmente interessati da risalita di fluidi caldi veicolati lungo le superfici a basso angolo che tagliano la sequenza carbonatica e che si miscelano poi con gli apporti di acque fredde più superficiali. La componente advettiva del trasporto di calore, associabile al movimento di falda, sembra inoltre favorire la migrazione di tale anomalia termica verso sud-est, verso prevalente di spostamento del sistema acquifero della pianura.

I risultati parziali di tale fenomeno vanno approfonditi con studi specifici di carattere geochimico e con campagne di misura della temperatura di falda sistematiche e rigorose.

5.4 La velocità della falda

La carta delle velocità della falda, per la sua rilevante influenza nei processi di scambio termico, costituisce uno dei tematismi di maggiore importanza.

La determinazione dei valori di conducibilità idraulica, risulta l'operazione più critica, sia per la scarsità di informazioni dirette ottenute da misure in sito che per la variabilità laterale e verticale competente a tale parametro. A tal fine la sua determinazione è stata effettuata assegnando valori bibliografici tipici alle varie componenti litologiche descritte nelle informazioni stratigrafiche. E' stata inoltre operata una validazione sulla base di dati puntuali misurati in sito ed ottenute con metodi puntuali. Per il calcolo della velocità della falda è stata applicata la legge di Darcy in forma semplificata, secondo la quale la velocità è data dal prodotto tra la conducibilità idraulica ed il gradiente idraulico.

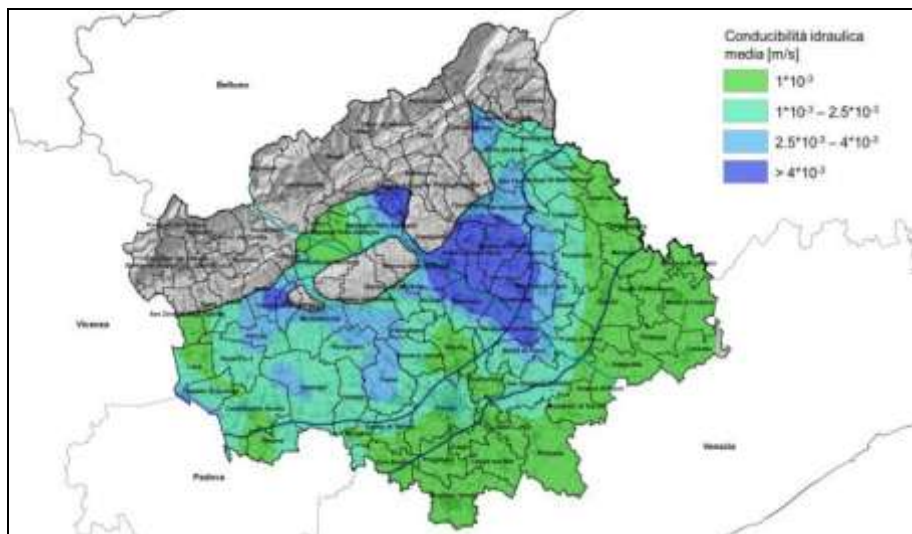


Figura 26 Carta della conducibilità idraulica, le linee blu indicano il limite superiore e inferiore della fascia delle risorgive, la linea azzurra rappresenta il percorso del Piave.

In Figura 26 si può osservare la suddivisione nelle tre grandi fasce che suddividono idrogeologicamente la pianura orientale; è ben riconoscibile l'andamento che caratterizza la fascia delle risorgive; inoltre si distingue nettamente l'area caratterizzata dalle alluvioni grossolane del Piave in bassa pianura, ed il Quartier del Piave in alta pianura.

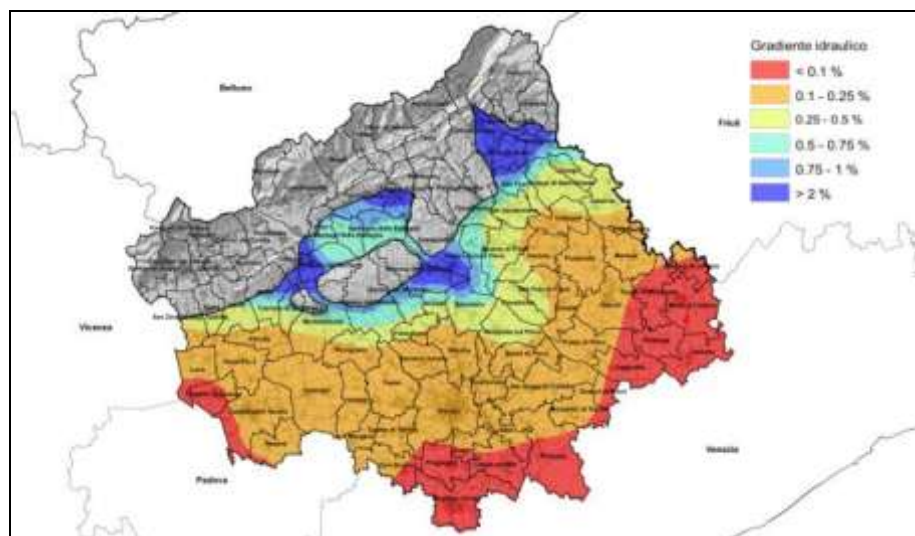


Figura 27 Carta del gradiente idraulico.

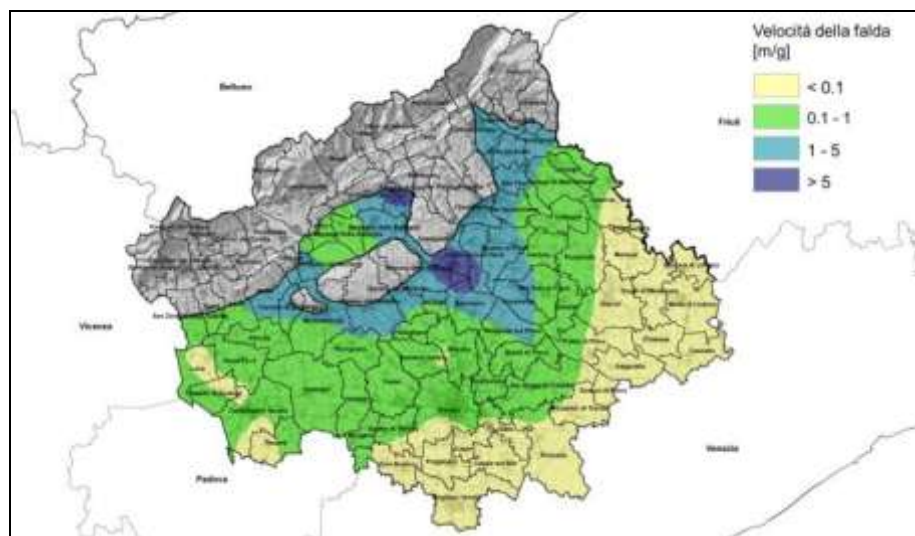


Figura 28 Carta della velocità della falda.

La valutazione del gradiente idraulico, segue la formula $\Delta h/\Delta L$, ovvero il rapporto tra la variazione del carico idraulico in rapporto ad una determinata distanza. Si è scelto di rappresentare il gradiente idraulico in una serie di valori puntuali basandosi sulla carta delle isofreatiche.

In Figura 28, è rappresentata la distribuzione delle velocità darciniane. E' possibile osservare un settore interessato da velocità più elevate in corrispondenza dei settori di alta pianura, in relazione alla presenza di materiale molto permeabile e dotato di valori di gradiente idraulico rilevanti. È riconoscibile, anche in questa rappresentazione, un'area a maggior velocità della falda in corrispondenza del letto e delle alluvioni grossolane recenti del fiume Piave. Si evidenziano inoltre con competenze di elevati valori di velocità, i complessi idrogeologici periferici ai rilievi del Montello, il Quartier del Piave ed il complesso di Montebelluna-Crocetta del Montello.

Una fascia di transizione tra l'alta e la bassa pianura caratterizzata da velocità comprese tra 1 e 10 m/d. segue l'andamento della linea delle risorgive. La bassa pianura è invece dominata da velocità molto più contenute e che caratterizzano aree in cui i sedimenti fini assumono caratteri prevalenti di bassa permeabilità e di gradiente idraulico via via decrescente.

6 LA MAPPA DI IDONEITÀ AL GEOSCAMBIO

Il prodotto cartografico finale è costituito dalla carta di sintesi che ha lo scopo di individuare le aree maggiormente idonee allo scambio termico ed in grado di ospitare diffusamente gli impianti di geoscambio nonché di evidenziare i settori in cui si suggerisce di limitarne l'applicazione per la presenza di particolari criticità e vulnerabilità.

6.1 Aree di salvaguardia (P.T.A.).

Il DLgs 152/2006 stabilisce le norme in materia ambientale. In particolare, nella parte terza, sono riportate le norme che tutelano e disciplinano le risorse idriche, sia sotterranee che superficiali, ponendo l'attenzione sul rispetto delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano.

Le opere di presa, intese come prelievo di acqua ad uso idropotabile, sono preservate principalmente dalle zone di tutela assoluta e dalle zone di rispetto.

Infatti la zona di tutela assoluta è "l' area immediatamente circostante le derivazioni"[...]" in caso di acque sotterranee e, ove possibile, di acque superficiali, deve avere un'estensione di almeno dieci metri di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta e deve essere adibita esclusivamente a opere di presa e ad infrastrutture di servizio". Mentre la zona di rispetto è la " porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia di opera di presa e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa" (Art. 6 PTA).

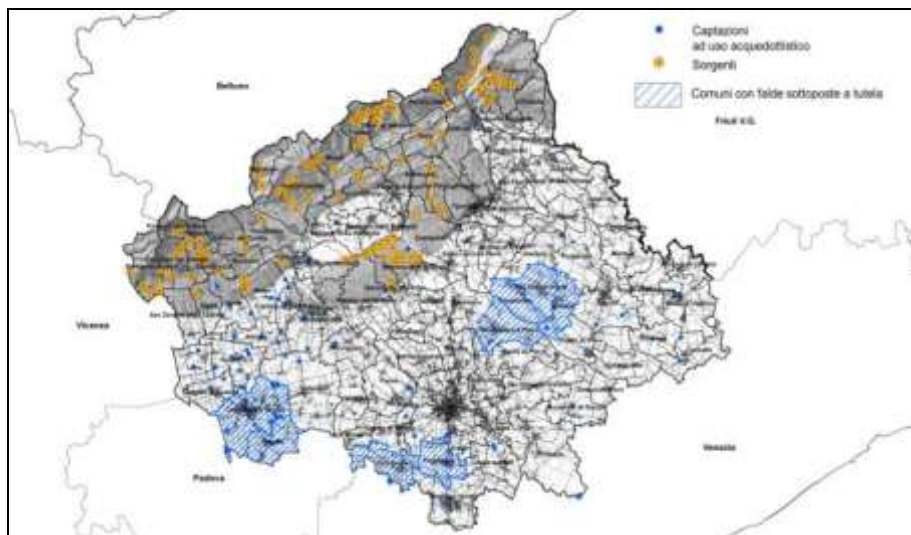


Figura 29 Le aree di salvaguardia ed i punti di captazione idropotabile.

Nel PTA si identifica, per ogni bacino idrogeologico, la profondità e lo spessore delle falde da sottoporre a tutela (Tabella 4).

In Figura 29 sono rappresentate le localizzazioni delle falde protette suddivise per territorio comunale e si indica la loro profondità rispetto al piano campagna.

Nel caso di sistemi di scambio termico che prevedano l'adozione di scambiatori a circuito chiuso risulta comunque necessaria l'adozione di un principio di cautela atto a garantire la preservazione delle caratteristiche di potabilità delle acque non rischiando di alterarne alcun parametro (temperatura inclusa). In quanto ciò potrebbe comportare, in casi particolari, anche alla variazione dei contenuti chimico-biologici. A tal fine, per gli impianti che ricadono in prossimità di aree protette o vincolate, è buona prassi verificare gli eventuali impatti termici prodotti nell'intorno e sulle acque oggetto di utilizzo potabile, con sistemi di monitoraggio adeguati.

Sono otto i comuni della provincia interessati dalla presenza di falde acquifere in salvaguardia: Casteelfranco Veneto, Cimadolmo, Maserada sul Piave, Ormelle, Preganziol, Resana, San Polo di Piave e Zero Branco. Le falde in protezione si trovano a profondità variabili a seconda dell'acquifero intercettato e sono riportate nella tabella sottostante.

In ben 4 di essi, Ormelle, Cima d'Olmo, San Polo di Piave e Maserada sul Piave la falda protetta è compresa tra 50 e 100 m, negli altri comuni sono sottoposte a tutela anche le falde più profonde, come ad esempio a Resana e Preganziol in cui è protetto l'acquifero più profondo, compreso tra 280 e 320 m.

I punti indicati in Figura 29 identificano le captazioni ad uso acquedottistico e le sorgenti.

Tabella 4 Tabella che identifica i comuni nei quali si trova almeno un pozzo di monitoraggio per le falde da sottoporre in tutela.

Nome del comune	ATO	Prof in m dal p.c.	Superficie in ha
Castelfranco Veneto	Veneto Orientale	20-60; 110-160	5132.1912
Cimadolmo	Veneto Orientale	50-130	1787.3751
Maserada sul Piave	Veneto Orientale	50-130; 150-180	2886.554
Ormelle	Veneto Orientale	50-130	1878.9697
Preganziol	Veneto Orientale	100-190; 200-270; 280-320	2297.3767
Resana	Veneto Orientale	280-320	2498.2715
San Polo di Piave	Veneto Orientale	50-130	2096.4158
Zero Branco	Veneto Orientale	20-60; 280-320	2614.8292

Nell'ART. 94 del DLgs 152/2006 (disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano), al comma 6 si riporta:

“In assenza dell'individuazione da parte delle regioni o delle province autonome della zona di rispetto ai sensi del comma 1, la medesima ha un'estensione di 200 metri di raggio rispetto al punto di captazione o di derivazione”.



Figura 30 Esempio di identificazione delle zone di rispetto di raggio pari a 200 m nell'ntorno dei punti di captazione situati nel comune di Castelfranco Veneto (scala 1:25 000).

Tale indicazione si deve intendere pertanto per ogni tipo di sistema di derivazione. In Figura 30 si identifica l'estensione della zona di rispetto di raggio pari a 200 m per alcuni punto di captazione a scopo acquedottistico su CTR in scala 1:25 000.

All'interno delle aree di protezione si prevede la possibilità di installazione di impianti di geoscambio purché venga effettuato uno studio specifico di carattere idrogeologico che provi la non interferenza termica con i livelli acquiferi sottoposti a tutela.

6.2 La carta del potenziale di geoscambio.

I parametri da valutare per la carta del potenziale di geoscambio sono la conducibilità termica, il gradiente di temperatura e la velocità della falda.

Poiché i valori di tali grandezze non sono confrontabili tra di loro è necessario normalizzarli al valore massimo di entrambi.

Una volta effettuata la normalizzazione, i valori dei tre parametri considerati intervengono nell'algoritmo per la definizione del potenziale di geoscambio.

Il potenziale di geoscambio è quindi definito dalla seguente formula:

$$P = \lambda + \frac{d\theta}{dz} + Vf$$

dove:

P = potenziale di geoscambio

λ = conducibilità termica

$\frac{d\theta}{dz}$ = gradiente di temperatura

Vf = velocità della falda freatica

Si è scelto di normalizzare anche i valori del potenziale di geoscambio rispetto al suo valore massimo per ottenere una carta di facile interpretazione in cui si indicano con il colore rosso le aree a bassa capacità di geoscambio, con il colore arancio media capacità di geoscambio, giallo buona capacità di geoscambio, verde ottima capacità di geoscambio.

Nelle aree collinari il parametro conducibilità termica è l'unico che si può definire in maniera quantitativa in base all'identificazione litologica dei materiali. Infatti il gradiente di temperatura non si può considerare rappresentativo perché le misure di temperatura profonda sono state effettuate soltanto su quattro punti.

Per quanto riguarda la velocità della falda, tale parametro è stato considerato, sulla base della disponibilità di informazioni, soltanto nelle aree di pianura.

A tal fine, in relazione alla distribuzione delle informazioni fondamentali nell'intero territorio provinciale, si è considerata la distribuzione della sola conducibilità termica nelle aree collinari, il potenziale di geoscambio (come dalla formula) nelle aree di pianura.

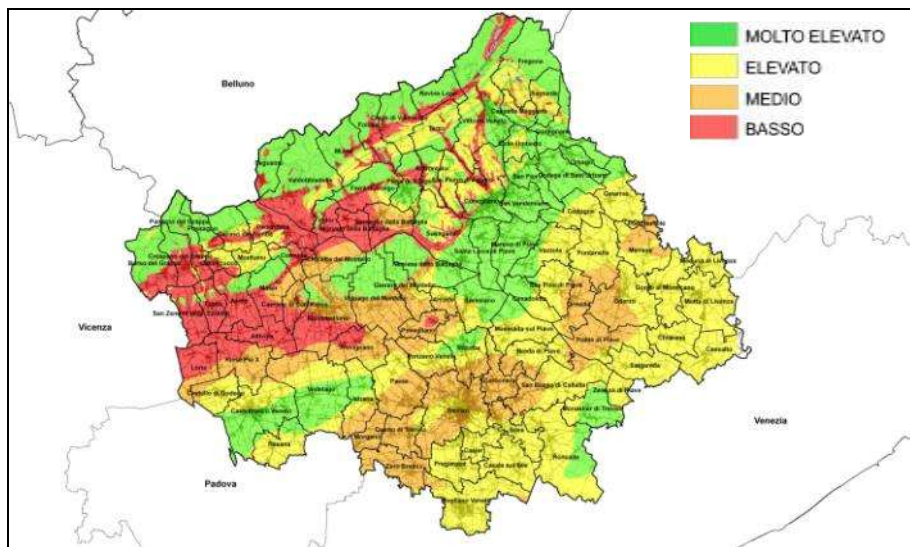


Figura 31 Carta del potenziale di geoscambio.

In Figura 32 si può osservare l'influenza della conducibilità termica nelle aree di rilievo, dei tre parametri nelle aree di pianura.

Gli intervalli di categoria di potenziale di geoscambio sono riferiti ad intervalli normalizzati sulla base del range di variazione dei singoli tematismi che intervengono nella valutazione, e sono stati suddivisi secondo un criterio di idoneità relativa.

6.3 La carta dell'idoneità al geoscambio

La carta di sintesi viene redatta per poter costituire un valido supporto alla pianificazione territoriale in funzione dell'impiego della soluzione geotermica per la climatizzazione di edifici.

Tale prodotto risulta dall'incrocio della potenzialità territoriale in termini di sorgente sottosuolo, con la zonizzazione delle criticità territoriali di natura prevalentemente geologica.

Viene quindi definita quale potenziale di geoscambio l'attitudine del sottosuolo a scambiare calore.

Tale definizione ha voluto assumere un carattere qualitativo e relativo, pur basandosi su dati quantitativi, e si limita a differenziare il territorio in aree a diversa idoneità all'impiego di tali soluzioni evidenziando i settori a maggiore vocazione.

La carta dell'idoneità al geoscambio deriva quindi dalla combinazione delle tematiche indicanti le aree di salvaguardia e tutela e la carta del potenziale di geoscambio.

La carta delle aree di salvaguardia non definisce un potenziale termico sfruttabile ma individua le aree in cui lo scambio termico nel sottosuolo può comportare delle criticità nei confronti di livelli acquiferi pregiati. Si possono osservare, in Figura 32 riportati in colore blu, i punti di captazione ed i comuni in cui ricadono falde sottoposte a tutela (dal PTA 2009).

Il DLgs. n° 152/2006 stabilisce norme in materia ambientale. In particolare, nella parte terza, in cui sono riportate le norme che disciplinano le risorse idriche, sia sotterranee che superficiali, vengono definiti i criteri di zonizzazione dei settori di rispetto delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano.

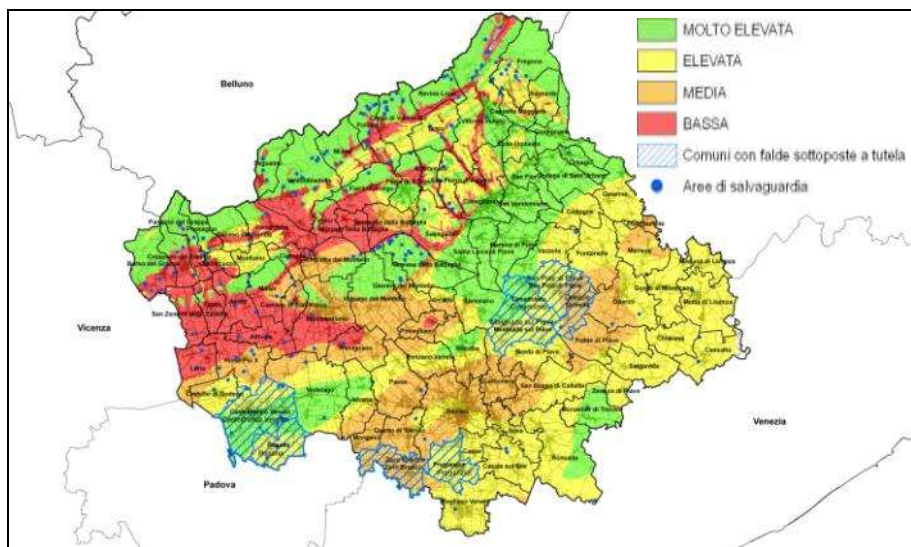


Figura 32 Carta dell'idoneità al geoscambio.

La carta di sintesi costituisce quindi un prodotto di carattere qualitativo che si limita a differenziare zone a diversa idoneità allo scambio termico, e come tale può costituire uno strumento utile alle politiche di pianificazione territoriale a vari livelli, prevedendo eventuali politiche di sostegno, o incentivanti, nelle aree di maggiore attitudine, o valutarne l'opportunità nelle aree di vincolo.

La perfeibilità del prodotto cartografico presentato, consentirà, secondo le intenzioni dei ricercatori coinvolti e dell'amministrazione provinciale, di approfondire le tematiche considerate e di raggiungere un miglior livello di conoscenza del territorio, per consentire di confezionare un risultato di maggior dettaglio in particolare su alcune nuove evidenze riscontrate a livello territoriale di grande interesse non solo scientifico ma anche applicativo.

Bibliografia

ARPAV, (2003), Atlante delle sorgenti del Veneto.

ARPAV, (2006), Le acque sotterranee della Pianura Veneta - I Risultati del Progetto SAMPAS, 189 pp..

AA.VV. (2004), Geomorfologia della Provincia di Venezia.

ATKINSON J., (1997), Geotecnica, McGraw-Hill.

AXELSSON G., E. GUNNLAUGSSON (2000), Background: Geothermal utilization, management and monitoring, in: Long-term monitoring of high- and low enthalpy fields under exploitation, WGC 2000 Short Courses, Japan, 3-10.

BANKS, D., (2008), Introduction to thermogeology. Blackwell publishing, 339 pp..

BARTESAGHI G., L.CASSITTO, M. MONTINI, "Recupero energetico da acque di falda", in comune di Milano, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, www.flanet.org.

BARTHEL R. (2004), Interactive GIS-based site assessment and analysis of the regional potential for geothermal applications in the shallow surface. Geophysical Research Abstracts, 6, 03421, 2004.

BARTHEL R., J. JAGELKE (2005), Ground source heat pumps and seasonal thermal storage in the subsurface: Methods to assess the hydrogeological conditions with regard to efficiency and ecological impacts. Geophysical Research Abstracts, 7, 04352, 2005.

BASTA S., F. MINCHIO (2007), Geotermia e Pompe di Calore, S.Basta, Verona, 54 pp..

BENDERITTER Y., G. CORMY (1990), Possible approach to geothermal research and relative costs, in: M.H. Dickson and M. Fanelli, eds., Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, pp. 59-69.

BISCO F., M. DE CARLI (2005), Ottimizzazione di pompe di calore per applicazioni geotermiche: analisi teorica e sperimentale, CDA n. 10, Novembre 2005.

BORGHETTI G., G. CAPPETTI, R. CARRELLA, C. SOMMARUGA, (2005), Direct Uses of Geothermal Energy in Italy 2000-2004 Update Report, Proc. WGC 2005, Antalya, 24-29 April.

BOZZO G.P., E. SEMENZA (1973), Nuovi elementi tettonici del Vallone Fadalto e loro inquadramento nella struttura del Veneto nord-orientale. Boll. Mus. Civ. St. Nat. Venezia, 24, Suppl., 11-15, Venezia.

BRIDGER D. W., D. M. ALLEN (2005), Designing Aquifer Thermal Energy Storage Systems, Building For The Future-A Supplement To ASHRAE Journal, Settembre 2005.

BRUNELLO P., G. DI GENNARO, M. DE CARLI, R. ZECCHIN (2001), Mathematical modelling of radiant heating and cooling with massive thermal slab, Atti di: Clima 2000, Napoli, 2001.

CAPUTO R., M.E. POLI, A. ZANFERRARI (2010), Neogene-Quaternary tectonic stratigraphy of the eastern Southern Alps, NE Italy. Journal of Structural Geology 32 (2010) 1009-1027.

CARRELLA R., C. SOMMARUGA (2000), Spa and industrial use of geothermal energy in Italy, Proc. WGC 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28- June 10.

CAVALLINI A., L. MATTAROLO (1988), Termodinamica applicata, Cleup editore, Padova.

CENCETTI C., P. DE ROSA, A. FREDDUZZI, I. MARCHESINI (2007) I processi di interpolazione spaziale nella ricostruzione della superficie piezometrica. Un'applicazione all'acquifero alluvionale dell'Alta Val Tiberina, Giornale di Geologia Applicata 6 (2007) 17-32, doi: 10.1474/GGA.2007-06.0-03.0178.

CISTERNINO M., F. RUGGERO, M. STRADA (2004), Pompe di calore con acqua di falda, Condizionamento dell'aria, n.2 Febbraio 2004.

COMEL A., 1955; Staz. Chim. Agr. Sper. di Udine - Annali, s. 3, v. VIII.

COSTA ET AL. (1996), Carta geologica d'Italia scala 1:50000 e note illustrative del foglio 063 Belluno. Servizio Geologico d'Italia, Roma.

CUCCATO M., V. TONIELLO, Geomorfologia Ed Evoluzione Dell'altopiano Del Cansiglio.

DALLA PORTA A. (1978), Idrogeologia del Quartier di Piave (Treviso), tesi di Laurea indeita, Università degli Studi di Padova.

DAL PRÀ A., R. ANTONELLI (1977), Indagini idrogeologiche sulle falde di subalveo di alcuni fiumi veneti e friulani, Quad. I.R.S.A.-C.N.R. n.28, Roma.

DAL PRÀ A., R. ANTONELLI, A. CECCARELLI (1977), Lineamenti idrogeologici della pianura padana, Quad. I.R.S.A.- C.N.R. n.28, Roma.

DANESE A (2002), Il Bacino Termale Euganeo: Un Secolo Di Storia, pubblicazione reperibile presso la Gestione Unica Del Bacino Idrominerario Omogeneo Dei Colli Euganei, Largo Marconi 8, Abano Terme, Ottobre 2002.

DE CARLI M., R. DEL BIANCO, F. FELLIN, M. MANENTE, M. TONON, R. ZECCHIN (2003), Sviluppi nelle pompe di calore: il terreno come sorgente termica, Convegno AICARR "Le moderne tecnologie negli impianti e nei componenti".

DE CARLI M., F. FELLIN, R. ZECCHIN (2006), Impianti con pompa di calore, Convegno AICARR, Padova, Giugno 2006.

DE CARLI M., M. MANTOVAN, L. PRENDIN, A. ZARRELLA, R. ZECCHIN, A. ZERBETTO (2007), Analisi di pompe di calore geotermiche con sonde orizzontali, CDA n. 3, Marzo 2007.

DE CARLI M., R. TONON, F. FELLINI, M. MANENTE, M. TONON, R. ZECCHIN (2004), Sviluppi nelle pompe di calore: il terreno come sorgente termica, CDA n. 6 Giugno 2004.

DICKSON M. H., M. FANELLI (2005), Geothermal Energy: utilization and technology, Ed. UNESCO, London.

DRIVER A., WILLEMSSEN (2001), Groundwater as a heat source for the geothermal heat pumps, International Geothermal Days, Germany.

ESKILSON P. (1987), Thermal analysis of heat extraction boreholes. Ph.D. Thesis, Department of Technical Physics. University of Lund, Sweden.

- FERRARESE F., U. SAURO (2005), Montello – La geomorfologia del Montello, 3KCL, Museo di Storia Naturale e Archeologia di Montebelluna, pp. 27-38.
- FUJII, H. ET AL. (2007), Development of suitability maps for ground-coupled heat pump systems using groundwater and heat transport models. *Geothermics*, 36:459-472.
- GEHLIN S.E.A. AND B. NORDELL (2003). Determining undisturbed ground temperature for thermal response tests, *ASHRAE Transactions*, vol. 109, pp. 151-156.
- HOCHSTEIN M. P. (1990), Classification and assessment of geothermal resources, in: M.H. Dickson and M. Fanelli, eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, UNITAR, New York, pp. 31-57.
- KAVANAUGH S. (1995), Simulation and experimental verification of vertical ground coupled heat pump systems. PhD thesis, Oklahoma State University.
- LEE, C.K., LAM, H.N. (2008), Computer simulation of borehole ground heat exchangers for geothermal heat pump systems, *Renew Energy* 33 (2008), pp. 1289–1296.
- LUND J. W., D. H. FREESTON, T. L. BOYD (2005), World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2005, *Proc. WGC 2005*, Antalya, 24-29 April.
- MASSARI F., P. GRANDESSO, C. STEFANI, A. ZANFERRARI (1986), The Oligo-Miocene Molasse of the Veneto-Friuli region, Southern Alps, in "Giornale di Geologia", 48, 1-2, pp. 235-255.
- MAZZOLA M. (2003), - Idrogeologia e carta freaticometrica della Provincia di Treviso- Il progetto SISMAS, la campagna di monitoraggio, la rappresentazione della superficie freatica, le valutazioni quantitative.
- MUFFLER P., R. CATALDI (1978), Methods for regional assessment of geothermal resources, *Geothermics*, 7, 53-89.
- NICHOLSON K. (1993), *Geothermal Fluids*, Springer Verlag, Berlin, XVIII-264 pp.
- NOOROLLAHI Y., RYUICHI I (2008) GIS integration model for geothermal exploration and well siting, *Geothermics* 37 (2008) 107–131 pp..
- NOOROLLAHI Y., RYUICHI I (2007) GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan, *Computers & Geosciences* 3, 1008–1021 pp..
- ONDREKA J., INGA RUSGEN M. (2007) GIS-supported mapping of shallow geothermal potential of representative areas in south-western Germany—Possibilities and limitations, *Renewable Energy* 32 (2007) 2186–2200 pp..
- PICCIN M. (1980), La Comunità Montana delle Prealpi Trevigiane. Appunti di Geologia, Morfologia e Idrografia. IL FLAMINIO - Sommario del n°2 - Dicembre 1980.
- REHAU, documentazione.
- RAFFERTY K. (2001), An Information Survival Kit For The Prospective Geothermal Heat Pump Owner, Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology.
- VDI 4640-1 (2000), Thermal use of the underground, Fundamentals, approvals, environmental aspects, Verein Deutscher Ingenieure, D - Düsseldorf.

ZAMPIERI D. (2005), Montello - Elementi di Geologia, 3KCL, Museo di Storia Naturale e Archeologia di Montebelluna, pp. 20-25.

ZANFERRARI A. (1973), Osservazioni geologiche sui terreni attraversati dalle gallerie dell'Autostrada di Alemagna presso Vittorio Veneto. Significato dei dati in rapporto alla tettonica del margine meridionale del Cansiglio. Mem. Soc. Geol. Ital., 12, 529-548., Roma.

Webgrafia

www.climaveneta.it

www.geoenergy-solutions.com

www.hakagerodur.ch

www.iii.to.cnr.it/laghi/maggiore.html

www.regioneveneto.it

www.unionegeotermica.it