

Verso lo sviluppo sostenibile della geotermia nella climatizzazione degli edifici

Claudio Alimonti¹, Ettore Cardarelli², Gerardina Di Filippo³, Emanuele Marinucci⁴, Mirko Avellini³

¹Dip. Ingegneria Chimica Materiali Ambiente Università di Roma "Sapienza", ²Dip Ingegneria Civile Edile Ambientale Università di Roma "Sapienza", ³Alfa Ambiente Consulting s.r.l., ⁴Studio Associato Hydroingea

Introduzione

La sempre maggior domanda di energia con conseguente produzione di CO2 nell'atmosfera e la crescente difficoltà nell'approvvigionamento delle risorse energetiche tradizionali, ha portato ad un incremento dell'uso delle risorse energetiche rinnovabili (fotovoltaico, solare, geotermico, eolico, ecc.) parallelamente ad un miglioramento tecnologico di quelle più tradizionali come l'idroelettrica.

Se si pensa alla risorsa geotermica è importante considerare che essa viene classificata in funzione del contenuto entalpico. La geotermia ad alta entalpia, che riguarda strutture geologiche profonde, è destinata alla produzione di energia primaria mentre la geotermia a bassa entalpia interessa la porzione di sottosuolo prossima alla superficie la cui energia può essere utilizzata per climatizzare le abitazioni e gli edifici pubblici e industriali.

Tra tutte le fonti energetiche rinnovabili, la geotermia è senza alcun dubbio tra quelle a più basso impatto ambientale, in quanto rappresenta una fonte di energia rinnovabile, pulita e disponibile, nella maggior parte dei luoghi.

Grazie a queste caratteristiche la geotermia a bassa entalpia ha avuto negli ultimi anni un notevole sviluppo che non è stato accompagnato da un adeguato supporto scientifico al fine di garantire i criteri di sostenibilità. A seguito di ciò il nostro studio vuole individuare un approccio metodologico al fine di un utilizzo ottimale della risorsa geotermica salvaguardando al contempo l'ambiente. Da questa necessità nasce la nostra equazione:

"Gestione consapevole del sottosuolo = massimo rendimento + rispetto dell'ambiente" (Cardarelli et al. 2010)

Che propone la geotermia a bassa entalpia come fonte energetica rinnovabile e sostenibile per la climatizzazione degli edifici.

E' da ricordare che i rischi connessi ad un approccio prevalentemente empirico sono principalmente quattro:

- La connessione tra falde sotterranee e falde superficiali
- L'inquinamento di acque di falda dovuti principalmente a: fanghi di perforazione e liquidi termovettori
- La variazione della temperatura nel sottosuolo (inquinamento termico)
- I potenziali fenomeni di subsidenza e cedimenti delle strutture geologiche coinvolte.

Al fine di prevenire i suddetti rischi occorre affrontare il problema da un punto di vista geologico definendo in un modo più accurato l'assetto degli strati, le loro caratteristiche geometriche ed i rapporti idraulici esistenti. Va detto inoltre che lo studio del territorio deve essere finalizzato anche ad individuare le strutture con una maggiore conducibilità termica, strettamente connessa all'assetto geologico-strutturale e valutare le caratteristiche idrogeologiche dei suoli al fine di determinarne la porosità ed il conseguente contenuto in acqua (Bonetto et al. 2009, Pasquini et al. 2009). Tali studi possono essere eseguiti utilizzando indagini indirette di tipo geofisico le quali, con costi relativamente bassi ed in tempi brevi, forniscono i parametri necessari per una modellazione che permette di simulare le risposte in funzione del fabbisogno energetico dell'impianto.

Approccio metodologico

In base a quanto esposto l'approccio metodologico proposto può essere riassunto seguendo il diagramma di flusso riportato in figura 1, il quale descrive in tutte le sue fasi il percorso: dallo studio di fattibilità alla realizzazione dell'impianto.

L'aspetto innovativo di tale approccio è lo studio di base che va affrontato prima della progettazione e costruzione dell'impianto e la simulazione numerica che ne consegue. Lo studio di carattere geologico ed idrogeologico ha bisogno di strumenti adeguati per essere compiutamente sviluppato. Tali strumenti possono essere forniti dalla geofisica applicata che per il suo carattere non invasivo, la sua facilità di esecuzione ed economicità la rendono senza dubbio lo strumento più idoneo.

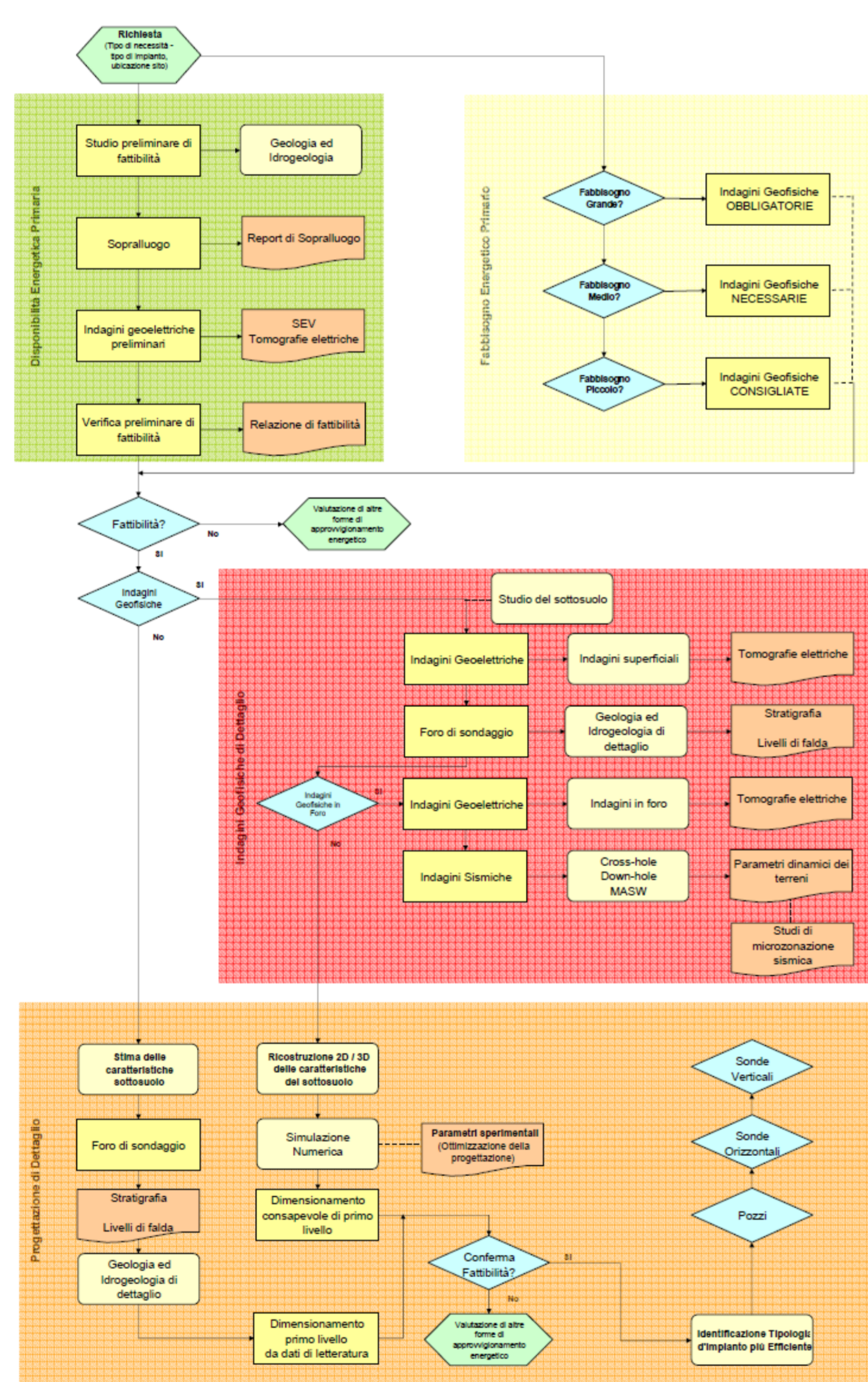


Figura 1. Diagramma di flusso di lavoro.

Un caso di Studio: B.go Isonzo (Latina)

Nell'ambito del progetto di ristrutturazione di un laboratorio di proprietà dell'Università di Roma "Sapienza" con sede in provincia di Latina in località B.go Isonzo, è stata applicata la metodologia sopra descritta. Il progetto prevede lo studio di fattibilità dell'applicazione di un sistema geotermico con pompa di calore accoppiata ad acquifero per la climatizzazione dell'edificio (impianto GWHP).

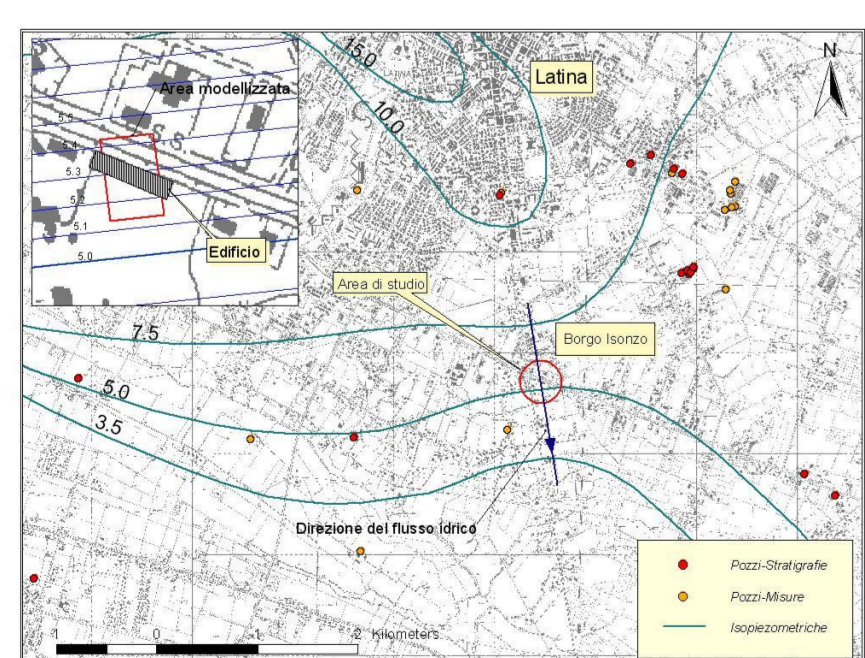


Figura 2. Stralcio della Carta Tecnica Regionale (1:10.000) e localizzazione del sito di interesse, dei pozzi censiti, piezometria (m slm) e direzione di flusso della falda profonda.

	Spessore (m)	da (m) a (m)	Descrizione	Falda
Duna Costantiniana	7	20	argille sabbiose	
	17	13	sabbie sciolte	
	5	-4	argille grigiastre (post Siciliano)	
	6	-9	sabbie marine eoliche	
Formazioni del Siciliano	9	-15	tuffo liodico	unità 1
	30	-24	sabbie sciolte addensate con intercalazioni argillose e travertine	unità 2
Calcitrato	5	-54	argille grigiastre	

Tabella 1. Modello stratigrafico di riferimento

Nell'impianto proposto l'acqua estratta attraverso appositi pozzi passa attraverso una pompa di calore che provvede all'estrazione del calore da o verso l'edificio (a seconda, rispettivamente, che il ciclo sia estivo o invernale). L'acqua viene quindi reiniettata nell'acquifero. In tal modo si crea un volume dell'acquifero più caldo ed uno più freddo. La semplice inversione del ciclo di estrazione e reiniezione e viceversa consente di utilizzare il calore immagazzinato. Il dimensionamento del volume di stoccaggio è funzione della porosità e delle proprietà termiche dei terreni e dell'acqua e dei fabbisogni energetici dell'edificio. Al fine di integrare il fabbisogno energetico e di mitigare l'eventuale impatto ambientale sono necessari degli impianti di recupero di energia. In tal modo si può compensare la variazione di temperatura dell'acqua iniettata nella falda.

Lo stoccaggio termico in falda può così essere adottato come fonte diretta di produzione di energia termica o per immagazzinare energia termica proveniente dalle altre fonti che compongono l'insieme dell'impianto. A tale scopo si è dapprima reperita la bibliografia riguardante la geologia dell'area e l'assetto idrogeologico generale. Sono stati individuati e caratterizzati gli acquiferi di interesse ospitati nelle vulcaniti (unità 1) e nelle sabbie della Formazione del Siciliano più profondo (unità 2).

	Estate	Inverno
Capacità termica nominale (pico)	61.1 kW	74 kW
COP (pico)	3.25	3.2
Consumo di energia elettrica	17.4 kW	23.1 kW
Range temperatura acqua prodotta	12 - 7 °C	35 - 45 °C
Temperatura acquifero (invasi)	17 - 22 °C	17 - 12 °C
Prelievo dall'acquifero	1.7 l/s	1.7 l/s

Tabella 2: Dati tecnici del sistema GWHP

Simulazione numerica di prima approssimazione

Partendo dai dati raccolti in bibliografia si è eseguita una simulazione numerica di prima approssimazione al fine di valutare la fattibilità del sistema di climatizzazione. La simulazione numerica è stata effettuata utilizzando il modello HST3D, sviluppato dal US Geological Survey, che consiste in un codice di simulazione tridimensionale per il trasporto di calore e di massa in acquiferi.

La regione di simulazione ha un'estensione orizzontale di 75x50 m. Lo spessore verticale della regione è stato fissato in 55 m. Questa comprende entrambi i livelli di interesse (unità 1 e 2). Per la realizzazione dell'impianto si è considerato di utilizzare il primo livello acquifero che si incontra così da ridurre il potenziale impatto sulle risorse idriche sotterranee. Lo spessore del primo acquifero (unità 1) è di 9 m, posto tra 11 e 20 m di profondità dalla parte sommitale della regione.

La tipologia impiantistica analizzata è stata il sistema ATES, con pozzo caldo e pozzo freddo. I pozzi, posti a distanza di 25 m l'uno dall'altro, sono stati disposti lungo la direzione di flusso della falda.

Le simulazioni sono state effettuate considerando il funzionamento degli impianti in continuo per un periodo di tre anni. I fabbisogni e quindi le portate di acqua movimentate sono state sovradimensionate rispetto al picco massimo per massimizzare l'impatto sugli acquiferi. (Alimonti et al., 2010)

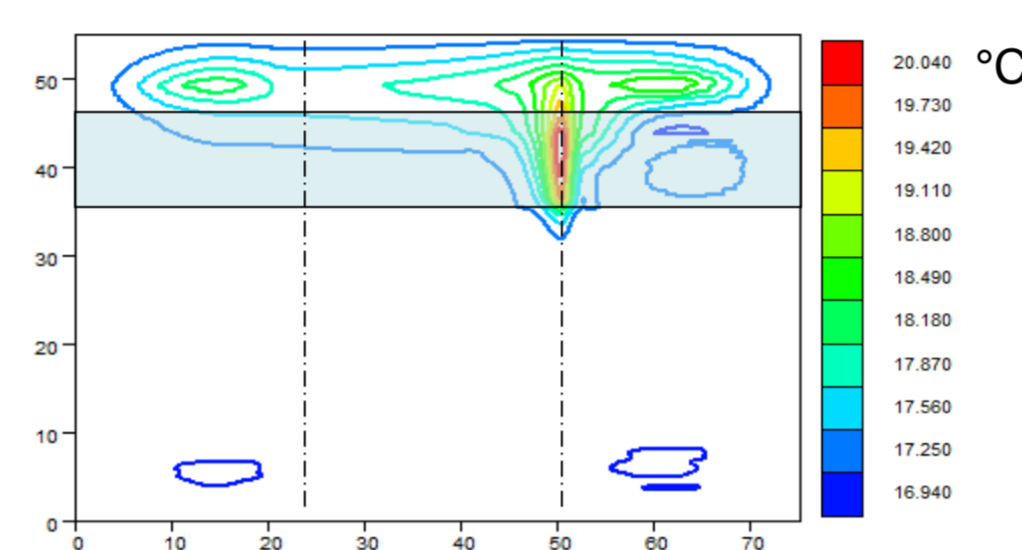


Figura 3. Isotherme in corrispondenza dell'acquifero ai tempi di inversione stagionale estiva

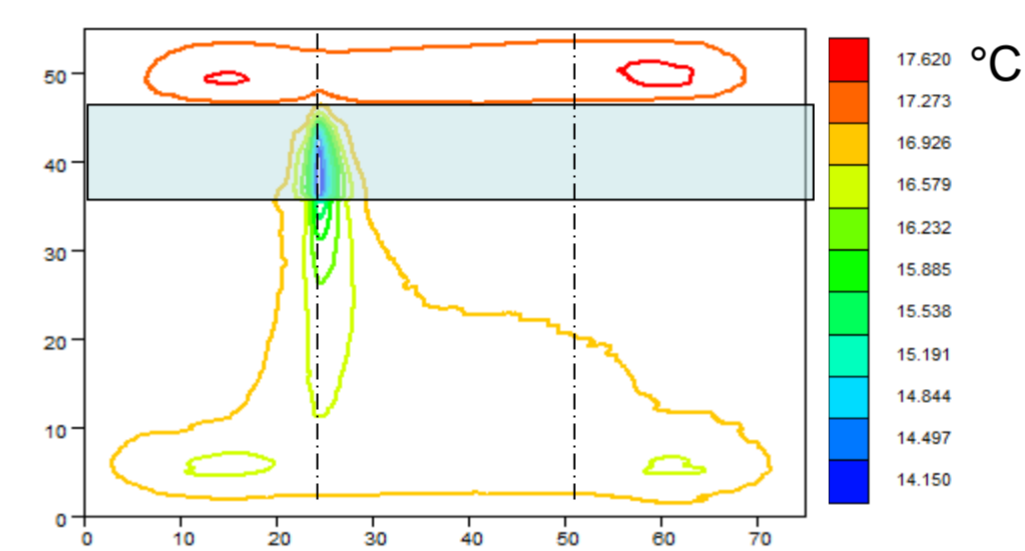


Figura 4. Isotherme in corrispondenza dell'acquifero ai tempi di inversione stagionale invernale

Indagini geofisiche

Per ottenere un modello reale del sottosuolo sono stati eseguiti 3 profili geoelettrici con lo scopo di ricostruire planimetricamente l'andamento degli strati fino alla profondità di interesse.

In figura 5 è riportata l'ubicazione dei profili geoelettrici, la freccia rossa indica il laboratorio della "Sapienza".

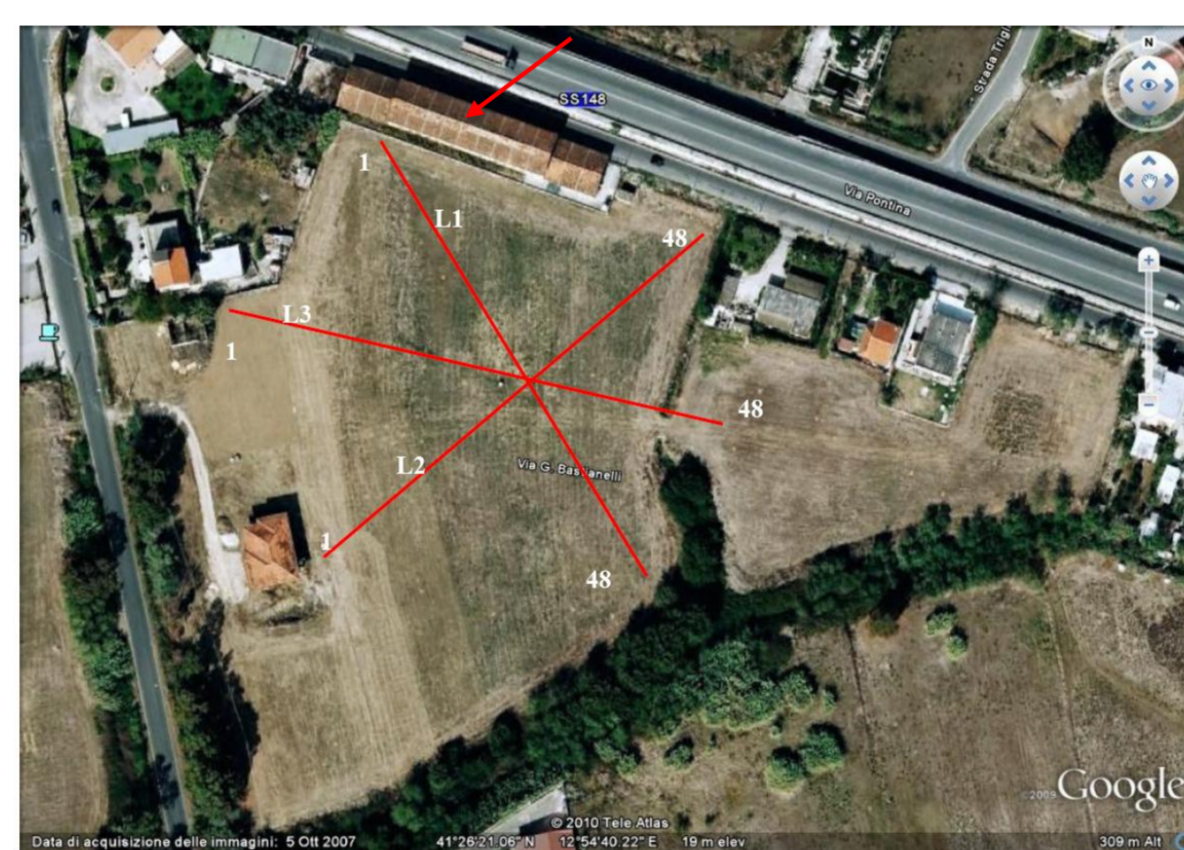


Figura 5. Ubicazione dei profili geoelettrici

Le indagini sono state condotte utilizzando le configurazioni doppio dipolo radiale e polo dipolo al fine di avere la massima risoluzione e al contempo la massima profondità di indagine a parità di distanza elettrica. I set di dati così acquisiti sono poi stati uniti (circa 2000 dati per ogni profilo acquisito) e si è eseguita un'inversione unica che li conteneva entrambi. I risultati sono riportati in figura 6 a, b, c.

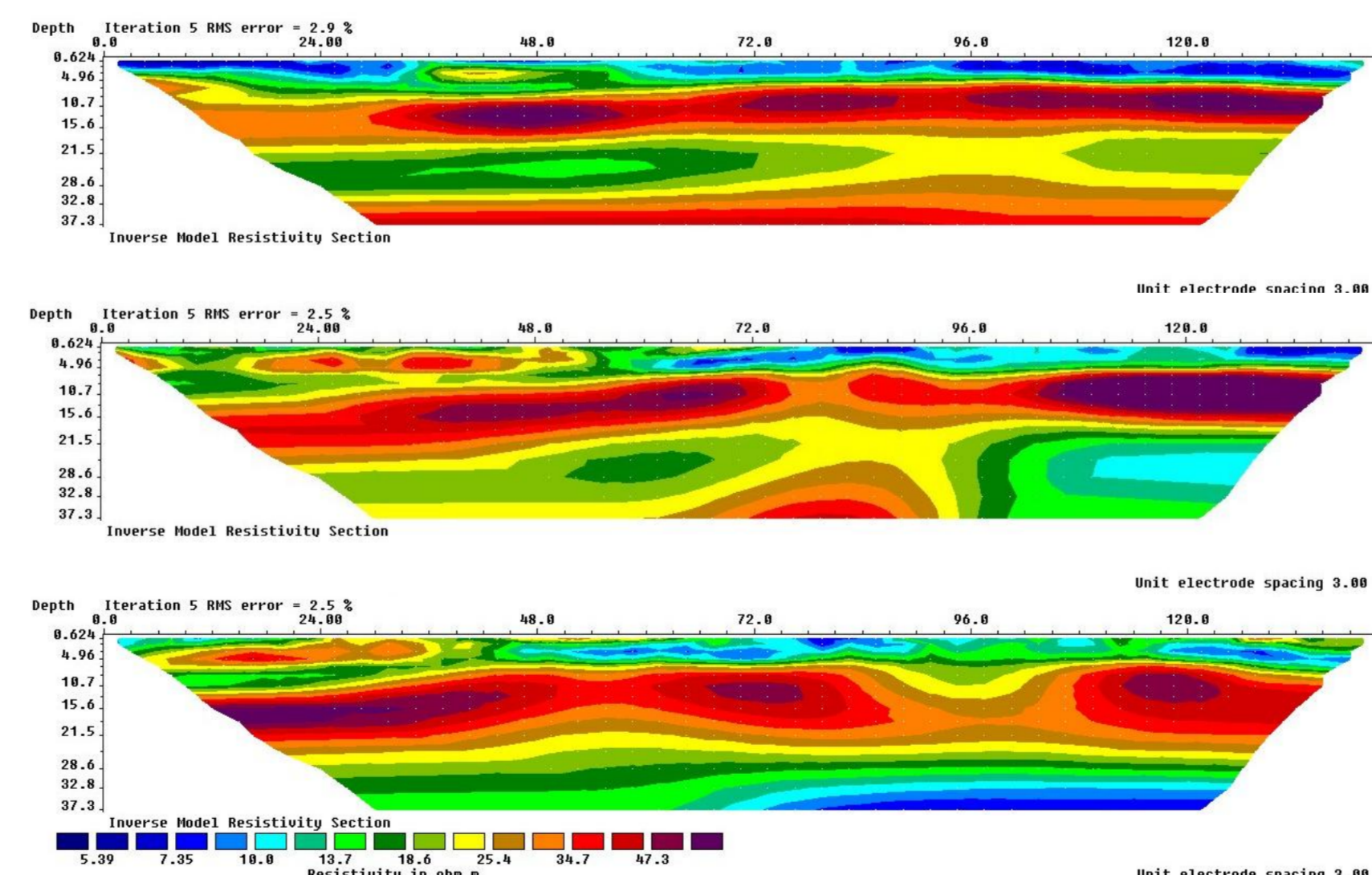


Figura 6. Profili geoelettrici a) profilo 1, b) profilo 2, c) profilo 3.

Dopo un primo mezzo pressoché omogeneo e a bassa resistività, il profilo geoelettrico individua uno strato con un valore di resistività più alto (40-60 ohm.m), rispetto alle sabbie limose che lo comprendono, e di spessore 9-10 m. Tale mezzo è ascrivibile all'acquifero superficiale formato da sabbie e ghiaie, come descritto nella stratigrafia di figura 7. Per tale acquifero supponendo un valore di resistività dell'acqua dolce di circa 150ohm.m e dando al mezzo un valore medio di resistività di 50ohm.m si può dedurre una porosità di prima approssimazione dell'acquifero pari a circa il 9%.

Al fine di tarare le indagini geofisiche si è acquisita la stratigrafia di un pozzo (figura 7) posizionato a circa 500 m dall'area in studio in direzione nord ovest. Come si evince dalla stessa, dopo un'alternanza di sabbie più o meno limose, è presente una prima falda di superficie alla profondità di 12m. L'acquifero è composto di sabbia e ghiaia, la fa da letto uno strato argilloso dello spessore di circa 2m. Al di sotto proseguono alternanze di materiali di deposito formati da sabbie e limi.

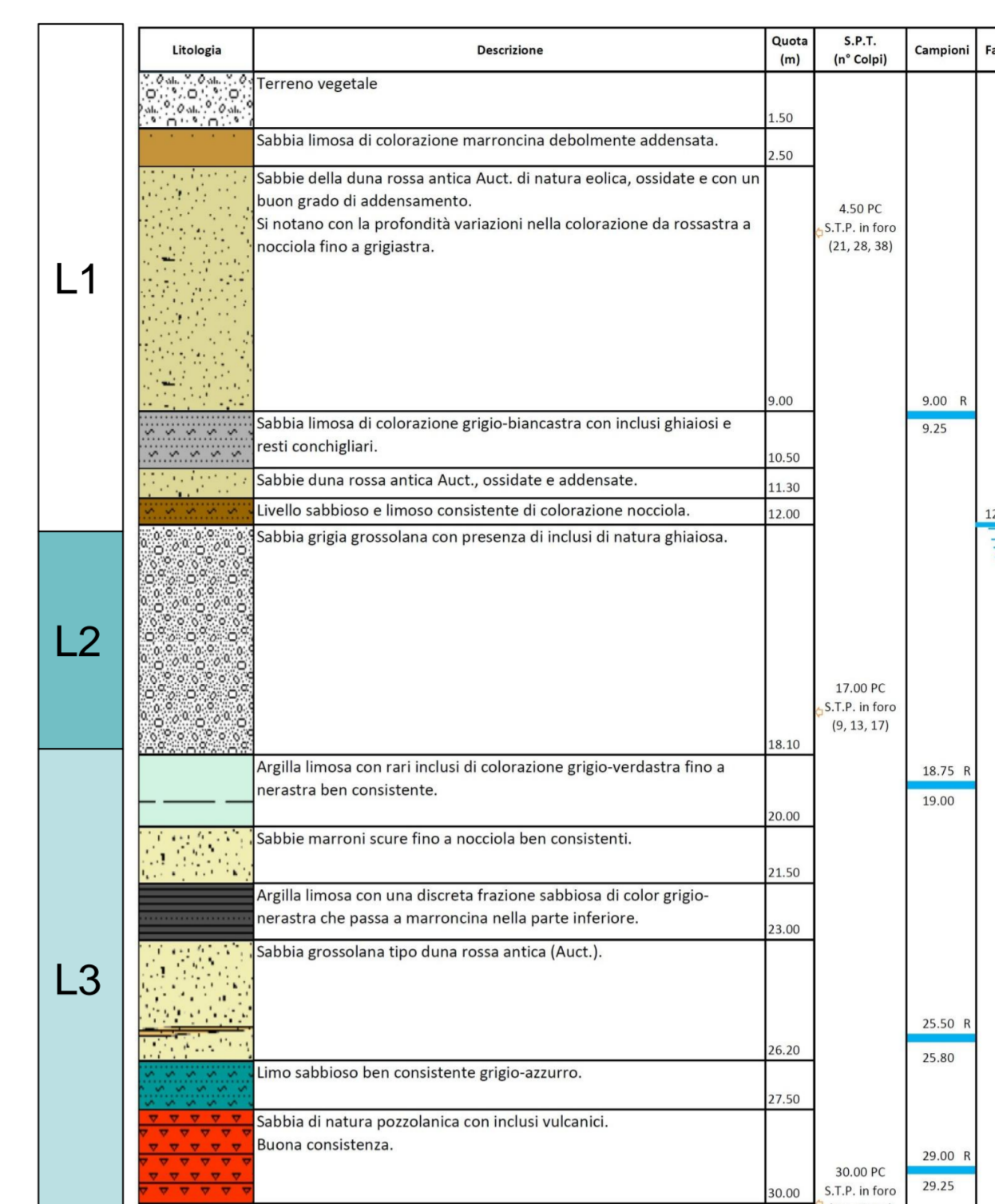


Figura 7. Stratigrafia del sondaggio meccanico e modello adottato per la simulazione numerica.

Simulazione numerica aggiornata

Partendo dai risultati della geoelettrica e considerando il modello dell'assetto stratigrafico riportato in figura 7 si sono identificati tre livelli principali corrispondenti alla copertura (L1), probabilmente insatura, all'acquifero di interesse per la GWHP (L2) e alla porzione a letto dello stesso (L3). E' stato quindi possibile aggiornare il modello numerico per la simulazione del flusso termico. La regione di simulazione è stata definita mantenendo l'estensione areale di 75x50 m e considerando la massima profondità di interesse pari a 30m. Dopo una serie di valutazioni tecniche aggiuntive si è fissata la distanza tra i pozzi pari a 30m.

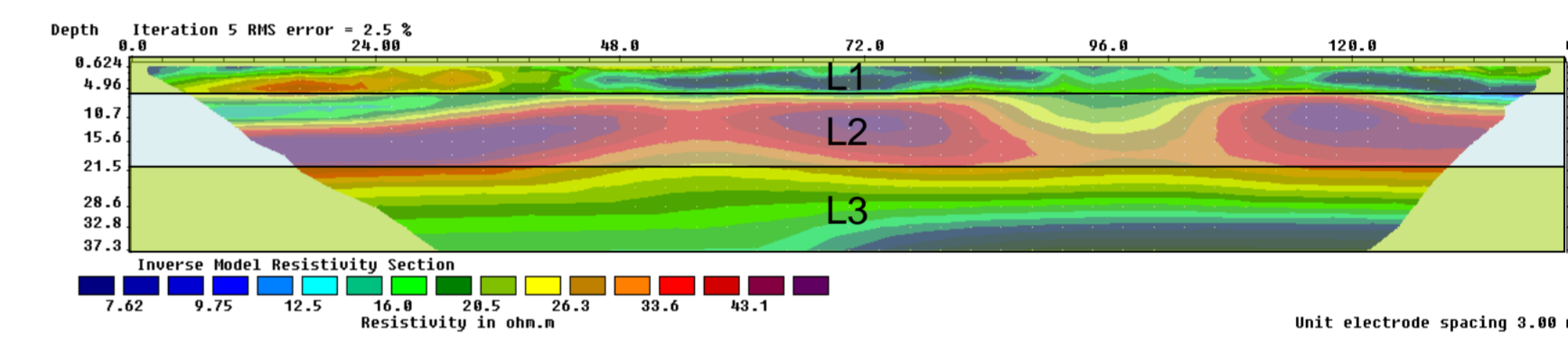


Figura 8. Modello stratigrafico della simulazione numerica e sezione geoelettrica

Rispetto all'assetto presunto nelle simulazioni precedenti le indagini geofisiche si osserva una diminuzione delle dispersioni negli strati adiacenti che induce un aumento di efficienza dell'impianto. Come si può vedere dalle isotherme nell'acquifero non si raggiungono mai i limiti previsti dei 5°C. I grafici sono relativi all'ultimo anno nei mesi di inversione di ciclo, fine marzo e fine ottobre

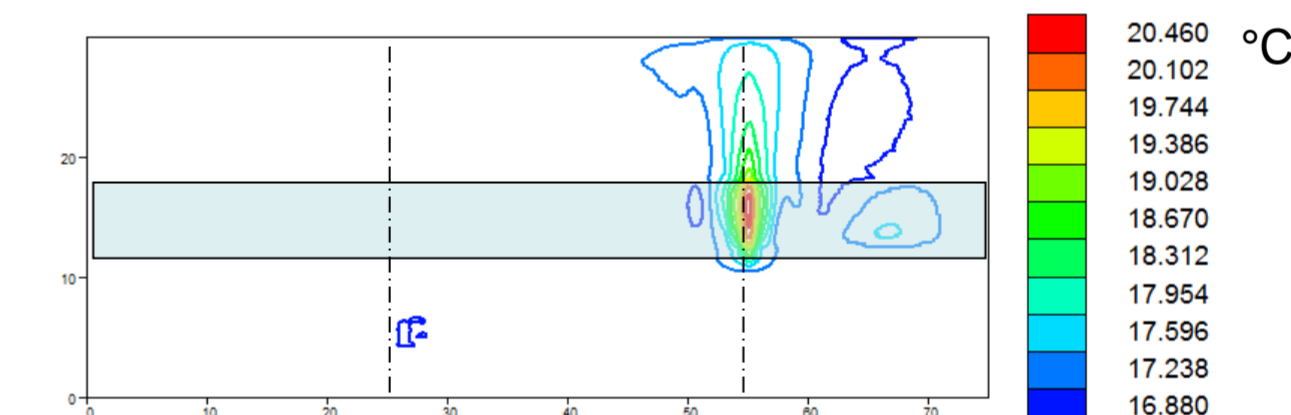


Figura 9. Isotherme in corrispondenza dell'acquifero ai tempi di inversione stagionale estiva

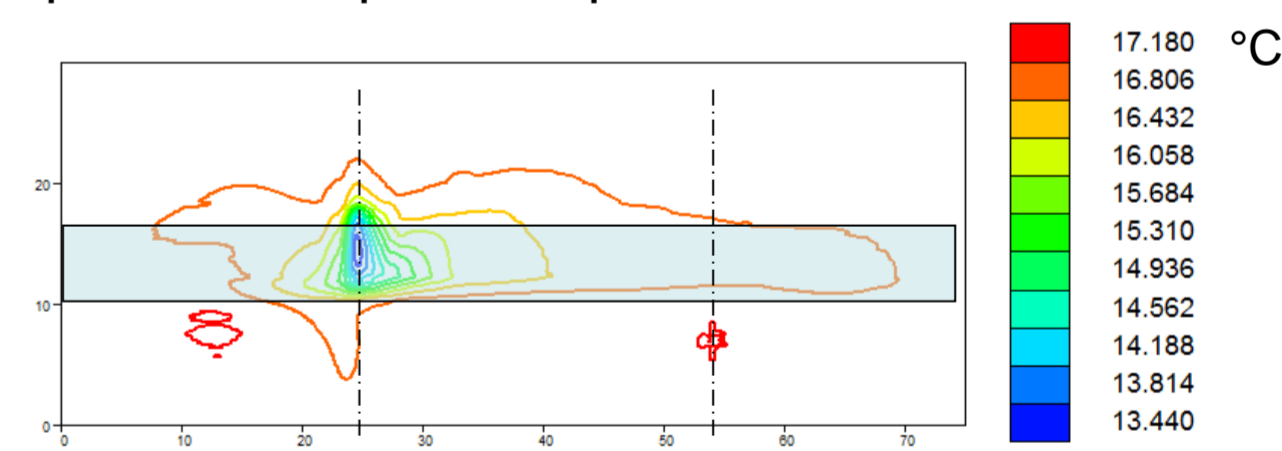


Figura 10. Isotherme in corrispondenza dell'acquifero ai tempi di inversione stagionale invernale

Lo studio qui presentato si inquadra in un contesto più ampio che prevede un progetto di ricerca inteso come start-up per lo sviluppo del Laboratorio di Ingegneria degli Acquiferi, finalizzato alla promozione del nucleo universitario quale Centro di Eccellenza sulla "geotermia a bassa entalpia". L'obiettivo del progetto è quello di realizzare un sistema "pilota e dimostrativo" basato sull'utilizzo della geotermia a bassa entalpia con applicazione della tecnologia di stoccaggio termico in acquifero, Aquifer Thermal Energy Storage (ATES).

La finalità è quella di tarare un modello di approccio per una "progettazione d'insieme" che consenta di riprodurre su larga scala la soluzione più performante dal punto di vista energetico per il sistema considerato, a seconda sia delle specifiche tipologie di utenza che dei specifici vincoli ambientali al contorno.

Il periodo sperimentale servirà a valutare l'efficacia sia delle singole tecnologie adottate sia dell'effetto sinergico della loro combinazione in termini di tempo di ritorno degli investimenti e costo unitario.

Questo consentirà di costruire un piano di investimenti così da poter procedere nella seguente fase di diffusione del sistema edificio-tecnologie. Si prevede infatti che tale piano di investimenti riguardi non solo il concetto principe del progetto, bensì una serie di oggetti tecnologici che si pensa di portare alla produzione e commercializzazione oltre all'insieme di conoscenze che sono fondanti del progetto stesso.

La costituzione del Centro d'Eccellenza rappresenterà essa stessa l'implementazione "commerciale" del progetto, promuovendo nella duplice veste di garante e investitore le conoscenze maturate sia all'interno dei normali processi formativi sia con specifici corsi promossi opportunamente. Tali corsi mirano alla formazione di un corpo tecnico che possa non essere un semplice utente delle conoscenze ma anche promotore così da creare sinergie nel settore.

Conclusioni

I risultati finora ottenuti mostrano come sia estremamente importante accedere alle corrette informazioni sull'assetto del sottosuolo. La geoelettrica infatti ha fornito un modello del sottosuolo che mostra chiaramente la complessità del livello acquifero. D'altra parte il modello di simulazione risulta, a fronte di tale risultato, limitato in quanto consente di realizzare modelli stratigrafici di terreni isotropi omogenei. Nonostante tale limite è possibile percepire il contributo che è stato ottenuto integrando i dati geofisici e geologici nella modellizzazione del sito. La simulazione numerica ha consentito di valutare il potenziale impatto sul sistema naturale dell'impianto ATES. Interessante è notare come nelle due simulazioni si sia invertito il processo di dispersione termica conducendo ad una previsione più accurata e a favore della fattibilità dell'impianto.

Ultima considerazione merita la potenzialità della metodologia nella scelta del miglior posizionamento dei pozzi in relazione all'assetto morfologico sotterraneo. Quest'ultimo aspetto costituisce il successivo passo nel flusso che prevede la costruzione di un modello tridimensionale dell'acquifero e l'adozione di un adeguato modello di simulazione. Si considera che un modello accurato in fase di progettazione preliminare di un grande complesso edilizio può infatti diminuire i costi delle sole perforazioni anche del 20-30%. Ciò diviene di fondamentale importanza per favorire la diffusione dei sistemi geotermici per la climatizzazione degli edifici.

Bibliografia

- Alimonti C., Gnoni A. & Marinucci E. (2010) - "Toward A Sustainable Optimisation Of Very Low Enthalpy Geothermal Plant. Configuration Efficiency And Environmental Assessment", ASME-ATI-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems, 16 - 19 May, 2010, Sorrento, Italy.
- Bonetto S., Guglielmetti L., Mandrone G., Peletta M. (2009) - Considerazioni Preliminari sulle Applicazioni Dei Sistemi Geotermici A Bassa Entalpia a Circuito Chiuso in Italia Nord-Occidentale 3° Congresso Nazionale A.I.G.A. S. Giovanni Valdarno
- Cardarelli E., Alimonti C., Di Filippo G., Marinucci E., (2010). Energia sostenibile? La geotermia a bassa entalpia. Gestione consapevole del sottosuolo = massimo rendimento + rispetto dell'ambiente. 1. Convegno nazionale sulle problematiche inerenti le energie alternative con particolare riguardo alla geotermia a bassa entalpia. Roma, 2 marzo 2010 - Palazzo Marini - Sala delle Colonne, Via Pelli 19.
- Pasquini A., Mantovani F., Carnignani L. (2009) - L'importanza dei parametri geologici per l'ottimizzazione di sonde geotermiche applicate a pompe di calore: stime teoriche e casi di studio 3° Congresso Nazionale A.I.G.A. S. Giovanni Valdarno.