



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL
DEVELOPMENT FUND

Climatizzazione degli edifici con pompe di calore geotermiche in Emilia-Romagna

Stato dell'arte e linee guida
per uno sviluppo sostenibile
del settore

GEO  **POWER**

Climatizzazione degli edifici con pompe di calore geotermiche in Emilia-Romagna

Stato dell'arte e linee guida per uno sviluppo sostenibile del settore

Il progetto GEO.POWER "Geothermal energy to address energy performance strategies in residential and industrial buildings" è cofinanziato dall'Unione Europea nell'ambito del Programma di Cooperazione INTERREG IVC 2007-2013.

Questa pubblicazione riflette le opinioni degli Autori e le Autorità di Gestione del Programma INTERREG IVC non possono essere in alcun modo ritenute responsabili dell'utilizzo delle informazioni in essa contenute.



progetto GEO.POWER
www.GEO.POWER-i4c.eu/



Programma di Cooperazione INTERREG IVC
www.i4c.eu

A cura di

Luca Martelli ⁽¹⁾ e **Francesco Tinti** ⁽²⁾

Autori

Gabriele Cesari ⁽³⁾ (*Deep delegation Regione Emilia-Romagna*)

Tommaso Colonna ⁽⁴⁾

Luca Martelli ⁽¹⁾ (*Coordinatore Partner Regione Emilia-Romagna*)

Marco Meggiolaro ⁽⁵⁾ (*Coordinatore Progetto GEO.POWER*)

Fabio Carlo Molinari ⁽¹⁾ (*Deep delegation Regione Emilia-Romagna*)

Alfia Pasquini ⁽⁴⁾

Mattia Quarantini ⁽⁶⁾

Francesco Tinti ⁽²⁾ (*Deep delegation Regione Emilia-Romagna*)

Enzo Zanchini ⁽⁷⁾

Progetto grafico e impaginazione:

Simonetta Scappini ⁽¹⁾

(1) Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

(2) Università di Bologna, Dipartimento Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali

(3) GeoNet s.r.l., Consorzio GeoHP, Commissione Geotermia Consiglio Nazionale Geologi

(4) CGT SpinOff s.r.l. dell'Università degli Studi di Siena

(5) EURIS s.r.l.

(6) GeoNet s.r.l., Consorzio GeoHP

(7) Università di Bologna, Dipartimento Ingegneria Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale

Un particolare ringraziamento al prof. **Bruno Della Vedova**, del Dipartimento di Ingegneria e Architettura dell'Università degli Studi di Trieste, per la lettura critica del manoscritto e i preziosi suggerimenti.

1	Geotermia e competitività: un binomio per la crescita Il progetto GEO.POWER	5
1.1	Il contesto	5
1.2	Gli obiettivi	5
1.3	Le attività	5
1.4	I risultati	6
2	La geotermia a bassa entalpia, ovvero a bassa temperatura	7
2.1	La pompa di calore e campi di applicazione	9
2.2	Aspetti economici e ambientali	11
3	Inquadramento sulle potenzialità geotermiche in Emilia-Romagna	12
3.1	Aree d'interesse geotermico in Emilia-Romagna	12
3.2	Sistemi geotermici di geoscambio e pompe di calore in Emilia-Romagna	16
4	Potenzialità e criticità in area urbana	17
4.1	Potenzialità	17
4.2	Criticità e rischi ambientali	17
4.3	Aspetti geologici ed idrogeologici negli impianti <i>closed loop</i>	18
4.4	Esempio di cartografia termica del sottosuolo	21
4.4.1	<i>Finalità dello studio</i>	21
4.4.2	<i>Metodologia</i>	22
4.4.3	<i>Inquadramento geologico e geomorfologico</i>	22
4.4.4	<i>Idrostratigrafia dell'area di studio</i>	23
4.4.5	<i>Dominio fisico del modello numerico</i>	23
4.4.6	<i>Layer del modello numerico</i>	24
4.4.7	<i>La banca dati</i>	24
4.4.8	<i>Impianti di scambio termico presenti nell'area urbana di Parma</i>	24
4.4.9	<i>Utilizzo di una cartografia della sostenibilità "geotermica"</i>	27

5	la banca dati degli impianti geotermici (<i>open loop</i> e <i>closed loop</i>) in Emilia-Romagna	28
5.1	Sintesi ed analisi degli impianti esistenti in Emilia-Romagna	28
5.2	Descrizione di BDSGRER	28
5.3	Stato dell'arte degli impianti installati in Emilia-Romagna	30
6	Stato della normativa nazionale e regionale	34
6.1	Normativa Nazionale	34
6.2	Normativa Regionale	35
6.2.1	<i>Sistema open loop</i>	35
6.2.2	<i>Sistema closed loop</i>	35
6.2.3	<i>Sintesi conclusiva</i>	36
6.3	Forme di incentivazione (<i>open loop</i> e <i>closed loop</i>)	36
6.3.1	<i>Incentivi esistenti</i>	36
7	Indicazioni per studi idrogeologici e per una corretta progettazione di impianti di scambio geotermico associati a pompe di calore	37
7.1	Indicazioni per la relazione idrogeologica	37
7.2	Dichiarazione di fattibilità delle perforazioni geotermiche	38
7.3	Indicazioni per la progettazione	38
7.4	Verifiche e collaudi	39
7.5	Sostenibilità a lungo termine dei sistemi a pompa di calore accoppiata al terreno in Emilia-Romagna: prime considerazioni	39
	Riferimenti bibliografici	43
	Riferimenti normativi	43
	Per approfondimenti	44

1 Geotermia e competitività: un binomio per la crescita

Il progetto GEO.POWER

Marco Meggiolaro

1.1 Il contesto

La geotermia, ovvero il calore della Terra, è una delle risorse energetiche più abbondanti, diffuse ed efficienti dal punto di vista delle applicazioni e dei costi-benefici. Possiede inoltre un enorme potenziale di mitigazione del riscaldamento globale, se applicata su grande scala al posto dei combustibili fossili. I recenti progressi tecnologici, l'aumento dei costi e le difficoltà di approvvigionamento di gas e petrolio, provenienti da paesi stranieri da cui dipendiamo, rendono l'utilizzo dell'energia geotermica, e nello specifico l'uso diretto del calore geotermico a bassa entalpia, ovvero a bassa temperatura, tramite l'utilizzo di pompe di calore, un'alternativa conveniente e praticabile sia per il riscaldamento e la refrigerazione residenziale, sia per ridurre il consumo energetico delle industrie e delle piccole e medie imprese, con notevoli vantaggi economici ed ambientali.

Tuttavia, una ancora limitata diffusione delle pompe di calore e dei vantaggi associati a tale tecnologia, nonché un quadro normativo tuttora incerto (legato sostanzialmente al rilascio dei permessi) rappresentano un freno per gli investimenti, ovvero il principale ostacolo per lo sviluppo della geotermia a bassa temperatura.

Sulla base di tali premesse, undici regioni d'Europa, rappresentate nel partenariato di GEO.POWER e consapevoli delle potenzialità non pienamente sfruttate della geotermia a bassa temperatura, nel quadro delle fonti energetiche rinnovabili, hanno sviluppato un progetto di trasferimento di *know-how* e di definizione di modelli di incentivazione economica per supportarne il suo sviluppo, al fine di contribuire attivamente al raggiungimento degli obiettivi europei contenuti nel pacchetto clima ed energia 20-20-20 (riduzione del 20% delle emissioni di gas serra, l'aumento dell'efficienza energetica del 20% e il raggiungimento della quota del 20% di fonti rinnovabili di energia entro il 2020), nonché degli obiettivi previsti dagli Accordi di Kyoto e Copenaghen.

1.2 Gli obiettivi

L'obiettivo generale del progetto GEO.POWER è lo scambio di esperienze e politiche energetiche, sviluppate a livello regionale e locale, per lo sviluppo e l'utilizzo della geotermia a bassa temperatura, con la finalità di promuovere le tecnologie legate a questo tipo di approvvigionamento energetico e migliorarne le applicazioni nell'ambito dell'edilizia pubblica e residenziale e presso il settore industriale. GEO.POWER mira all'individuazione di nuovi modelli di governance e di meccanismi di incentivo economico e fiscale – coerenti agli strumenti di programmazione regionale vigenti e futuri – in grado di favorire il moltiplicarsi di investimenti basati sulle pompe di calore negli edifici pubblici e privati, in linea con le finalità della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili e della Direttiva 2010/31/CE sul miglioramento delle prestazioni energetiche nell'edilizia.

1.3 Le attività

Le attività principali di GEO.POWER prevedono:

- l'analisi di alcune tra le migliori pratiche esistenti a livello europeo nel settore della geotermia a bassa temperatura, al fine di approfondirne le potenzialità di trasferimento in ciascuna regione coinvolta nel progetto, tramite una metodologia comune adottata da tutti i partner;
- l'elaborazione di strategie locali e piani energetici specifici, basati sulle migliori tecnologie e conoscenze oggi disponibili in Europa, allo scopo di fornire utili indirizzi agli strumenti programmatori regionali presenti e futuri;
- la promozione delle soluzioni tecnologiche legate alla bassa temperatura presso le amministrazioni regionali, provinciali e comunali e presso gli operatori del settore, ivi inclusa la predisposizione di manuali tecnici per promuovere la diffusione sul territorio di impianti a bassa temperatura
- Un supporto nella gestione delle pratiche amministrative necessarie per ottenere le autorizzazioni.

1.4 I risultati

A partire da una strategia generale definita a livello di progetto, il risultato principale del progetto GEO.POWER consiste nella definizione di piani d'azione locali per lo sviluppo dell'energia geotermica a bassa temperatura che tenga in considerazione un set di linee guida relative alle migliori tecnologie disponibili e alle migliori applicazioni in edilizia residenziale ed industriale, alle condizioni geologiche ottimali legate alla resa degli acquiferi e dei terreni, all'analisi dei costi

e dei benefici per sostenere e incentivare l'utilizzo diretto del calore da fonti geotermiche.

In questo progetto risulta fondamentale il coinvolgimento delle Autorità di Gestione dei Programmi Operativi Regionali, ovvero le amministrazioni regionali, le quali condividono ed indirizzano lo sviluppo del progetto al fine di integrare i risultati tecnici di GEO.POWER all'interno del quadro programmatico regionale e di promuovere – attraverso il ruolo di regia che tradizionalmente rivestono - effetti moltiplicatori su tutto il loro territorio.



2 La geotermia a bassa entalpia, ovvero a bassa temperatura

Francesco Tinti

L'energia geotermica è l'energia immagazzinata sotto forma di calore nel sottosuolo (Direttiva 2009/28/CE). Questa energia è facilmente **ACCESSIBILE, DISPONIBILE OVUNQUE**, in **MANIERA CONTINUA** ed è **RINNOVABILE** perché alimentata dal flusso di calore geotermico che proviene dagli strati profondi della crosta terrestre e dalle intrusioni magmatiche risalenti dal mantello. Il gradiente di temperatura entro il primo chilometro è molto variabile, da valori di pochi gradi °C per chilometro nelle zone fredde, fino a oltre 100 °C/km nelle zone attive; il valore medio è di circa 30 °C/km. Grazie alle conoscenze oggi disponibili è possibile un utilizzo sostenibile di questa risorsa termica, praticamente ovunque, mediante sistemi geotermici a circuito aperto, cioè con prelievo di fluidi (*open loop*), o a circuito chiuso, cioè con solo scambio di calore (*closed loop*).

In base alla temperatura, i sistemi geotermici vengono in genere distinti in sistemi ad alta entalpia, $T > 150^{\circ}\text{C}$, a media entalpia, T compresa tra 90 e 150°C , e a bassa entalpia, $T < 90^{\circ}\text{C}$ (D. Lgs. 22/2010).

In particolare, con il termine geotermia a bassa entalpia si individua l'utilizzo del calore del sottosuolo o delle falde acquifere a fini termici, in particolare per la climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) degli ambienti. I recenti progressi tecnologici nel campo della produzione di energia da fonti geotermiche hanno reso sempre più interessante e conveniente l'utilizzo delle fonti geotermiche a bassa temperatura. E' oggi possibile produrre energia elettrica anche con fluidi a temperatura inferiore a 100°C , attraverso impianti a ciclo binario, e ottenere energia termica sfruttando la sola differenza di calore tra il sottosuolo e la superficie, grazie all'utilizzo dei cosiddetti sistemi di geoscambio (sonde geotermiche a circuito chiuso, o a circuito aperto, accoppiate a pompe di calore). In caso di estrazione di fluidi a temperature di $80-100^{\circ}\text{C}$, questi possono essere utilizzati direttamente a fini termici, per esempio, per alimentare una rete di teleriscaldamento tramite scambiatori di calore.

La disponibilità di acque di falda a profondità accessibili ed economicamente convenienti dipende dal contesto idrogeologico dell'area, mentre la loro temperatura dipende dalla profondità, dal gradiente

geotermico e dalla velocità di ricarica. Gradienti geotermici elevati si hanno nelle aree vulcaniche attive, caratterizzate da particolari condizioni geologiche ed idrogeologiche, dove è possibile incontrare temperature superiori a 100°C entro il primo chilometro di sottosuolo (ad es. in Toscana, Lazio, Campania, Isole Eolie). In una buona parte del resto d'Italia la temperatura a 1 km di profondità raggiunge valori dell'ordine di $40-50^{\circ}\text{C}$ (aree marginali rispetto a quelle attive, alti strutturali sepolti, zone di faglia), mentre nelle aree meno fortunate tali valori sono di circa 30°C .

Il grande vantaggio della geotermia è la stabilità termica della sorgente: a partire da 20 metri di profondità la temperatura del terreno non risente dei cambiamenti della temperatura esterna (variazioni diurne e stagionali) e rimane costante, con valori analoghi a quelli della temperatura media annua del sito (circa $12-15^{\circ}\text{C}$ per l'Italia). Questa risorsa a bassa temperatura e a limitata profondità è disponibile praticamente ovunque, e può essere usata con soluzioni impiantistiche a circuito chiuso, o a circuito aperto, in funzione della disponibilità dell'acqua di falda e degli eventuali vincoli normativi per il loro utilizzo.

Pertanto sono oggi zone d'interesse "geotermico" anche quelle regioni finora considerate "fredde", cioè quelle regioni non interessate da attività vulcanica, in cui il sottosuolo è caratterizzato da un gradiente geotermico in genere non superiore a circa $2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

In Emilia-Romagna a 100 m di profondità la temperatura è compresa tra 12 e 14°C , variando a seconda della temperatura media annua del luogo, del gradiente geotermico e della presenza di circolazione idrogeologica nel sottosuolo. Al di sotto dei 100 m, la temperatura aumenta in media $2 - 2,5^{\circ}\text{C}$ ogni 100 m, salvo alcuni siti specifici dove esistono anomalie termiche rilevanti. Le temperature nei primi 100 - 200 m del sottosuolo emiliano-romagnolo non sono quindi sufficienti per un loro uso diretto a fini termici, ma, grazie all'utilizzo delle pompe di calore, accoppiate ad opportuni scambiatori di calore, come per esempio le sonde geotermiche verticali (figura 1, sistemi *closed loop*), oppure alimentate direttamente da acqua di falda (sistemi *open loop*), è possibile utilizzare il sot-

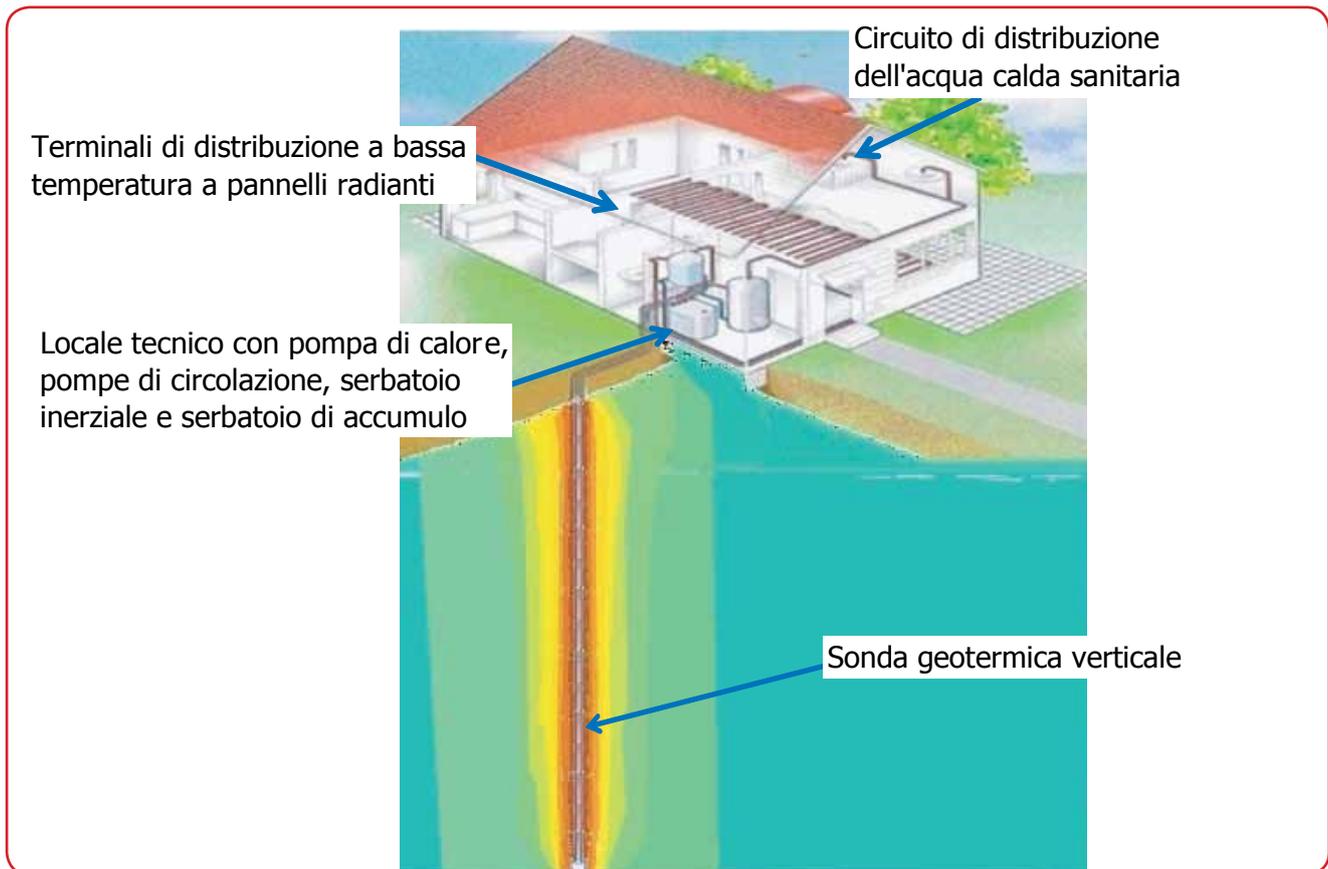


Figura 1: sistema geotermico per climatizzazione e acqua calda sanitaria con sonda verticale a circuito chiuso e pompa di calore elettrica.

tosuolo come serbatoio termico (*heat storage*), da cui si estrae il calore d'inverno e nel quale si rimette il calore in eccesso durante l'estate, garantendo un significativo risparmio energetico e un sostanziale equilibrio tra prelievo e reiniezione di calore, al fine di evitare il depauperamento della risorsa e variazioni

significative di temperatura del sottosuolo sul medio – lungo periodo. In condizioni standard, l'economicità di tale utilizzo risulta maggiore o minore, a seconda del tipo di impianto (aperto o chiuso), delle proprietà termiche dei terreni e degli acquiferi, della dimensione e della modalità di utilizzo degli impianti.

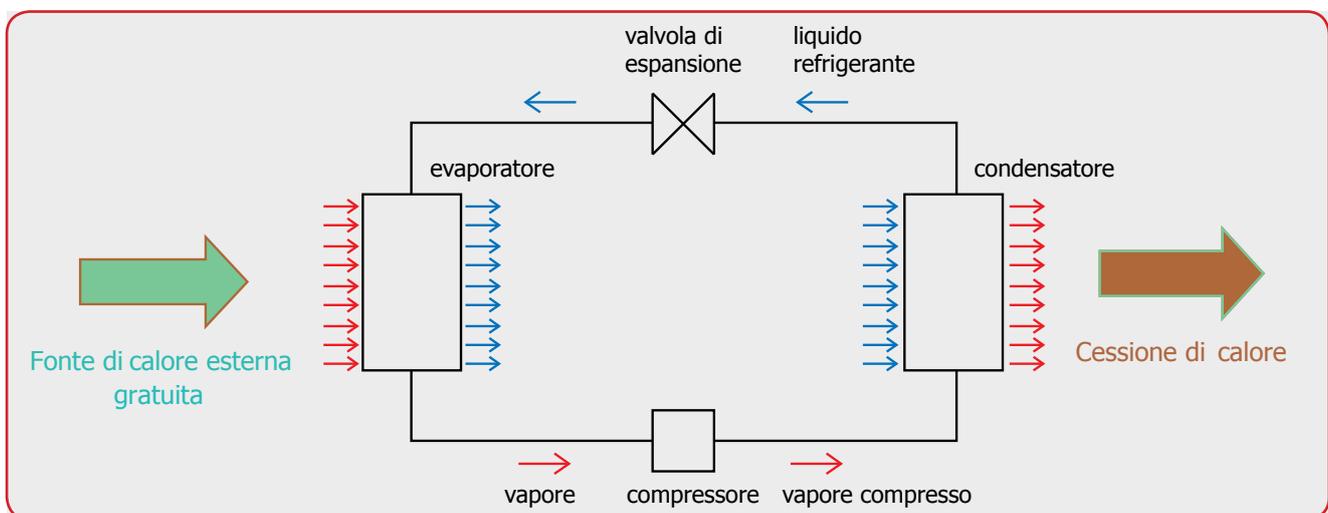


Figura 2: Funzionamento della pompa di calore in fase di riscaldamento.

2.1 La pompa di calore e campi di applicazione

Le pompe di calore rappresentano una tecnologia ormai consolidata nella climatizzazione, anche se la loro diffusione è molto diversificata, a seconda delle aree geografiche e delle caratteristiche climatiche. Questa macchina termica, come si può intuire dal nome, trasferisce il calore da un sistema a una certa temperatura a un altro sistema a temperatura superiore, cioè in direzione opposta a quella verso cui tenderebbe a dirigersi naturalmente. Come ogni macchina termica, opera secondo un ciclo termodinamico che nel caso in questione è il ciclo di Carnot inverso rappresentato nella figura 2. Sinteticamente, il fluido refrigerante subisce diverse trasformazioni di fase passando attraverso:

- un compressore (il vapore umido si trasforma in vapore secco);
- un condensatore (il fluido cede calore al sistema esterno fino a condensare completamente);
- una valvola di espansione (il fluido si espande e riduce la temperatura del sistema);
- un evaporatore (il fluido assorbe calore dal sistema esterno e si trasforma in vapore).

In questo modo la pompa di calore assorbe calore dall'ambiente esterno (aria, acqua, terreno) e lo cede all'edificio. Grazie all'inversione del ciclo è possibile utilizzare la pompa di calore sia in fase di riscaldamento che in condizionamento estivo, rendendo tale dispositivo ancor più fruibile rispetto agli impianti tradizionali. Si possono distinguere diversi tipi di pompe di calore in base al tipo di alimentazione utilizzata e ai fluidi termo vettori impiegati. Esistono le pompe di calore elettriche e quelle ad assorbimento (alimentate a gas), caratterizzate da un sistema di compressione differente. Anche se hanno diverse caratteristiche e diversa alimentazione, tali dispositivi svolgono sostanzialmente la stessa funzione e la scelta di utilizzare uno strumento rispetto ad un altro deve essere valutata da un tecnico, caso per caso. In generale si è osservato che i piccoli dispositivi ad assorbimento hanno prestazioni energetiche in raffreddamento peggiori rispetto ai dispositivi elettrici. Diversamente, riguardo alle temperature di esercizio, le pompe di calore ad assorbimento hanno prestazioni più stabili anche ad alte temperature (45 - 50°C) rispetto ai di-

spositivi elettrici che hanno una resa maggiore a temperature più basse. Per questi motivi la scelta del tipo di macchina deve essere valutata in base alle esigenze dell'edificio ed ai costi dell'energia del paese considerato. In base alle scelte progettuali, le pompe di calore possono scambiare calore con diversi ambienti esterni, per tale motivo esistono diversi dispositivi:

- acqua-aria (scambio con l'aria esterna);
- acqua-acqua (scambio con acqua di lago, rete idrica superficiale o falda acquifera sotterranea);
- acqua-terra (scambio con il terreno, figura 3).

La scelta del tipo di ambiente di scambio termico dipende da numerosi fattori e deve essere analizzata con molta cura; è però stato chiaramente dimostrato come il rendimento delle pompe di calore vari in base al tipo di ambiente. Considerando le pompe di calore elettriche, il COP (*Coefficient Of Performance*) ovvero il coefficiente che valuta il rapporto fra l'energia utile e l'energia consumata, è strettamente correlato alle temperature, sia della sorgente geotermica che del serbatoio termico. In particolare, considerando come mezzo di scambio l'aria esterna, è intuitivo comprendere come il COP della macchina possa variare con l'escursione termica giornaliera e stagionale. Diversamente, l'utilizzo di un ambiente che risente in maniera inferiore o trascurabile rispetto alle variazioni termiche climatiche determina un COP elevato e costante nel tempo. Per tali motivi gli impianti acqua-acqua e quelli acqua-terreno hanno caratteristiche più performanti rispetto a quelli acqua-aria.

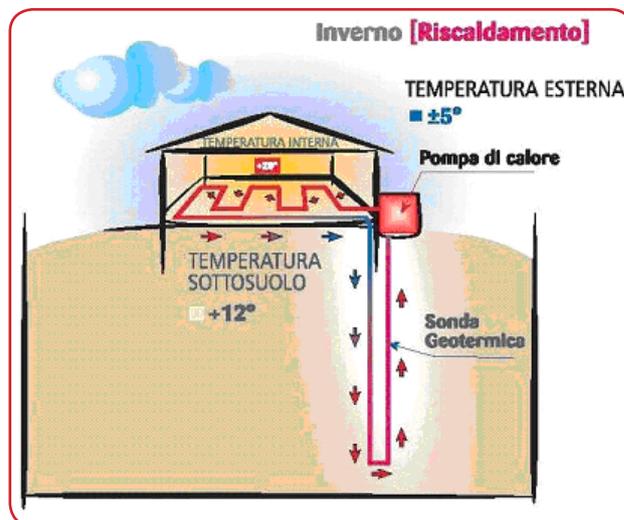


Figura 3: Impianto acqua-terreno con sonde geotermiche verticali.

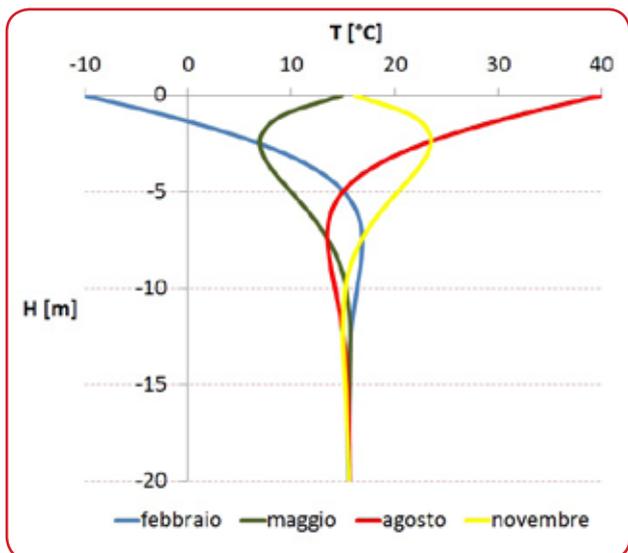


Figura 4: Esempio di profilo della temperatura nel terreno per i primi 20 m.

Le migliori prestazioni delle pompe di calore accoppiate a sonde geotermiche nel terreno sono da attribuirsi alle caratteristiche dell'ambiente stesso. Come si può osservare nella figura 4, la temperatura del terreno risulta influenzata dalle variazioni atmosferiche e stagionali nelle porzioni superiori a contatto con la superficie topografica. Il terreno superficiale è inoltre influenzato da numerosi altri fattori quali: l'irraggiamento solare, le precipitazioni, la vegetazio-

ne. Scendendo in profondità, da 8-10 m fino a 20 m, la temperatura può essere definita quasi "costante", dipendente dalla temperatura media atmosferica annuale, ma non risentendo significativamente delle variazioni stagionali.

Fino a questa profondità il terreno può essere definito come termicamente "attivo". Oltre i 15 - 20 m di profondità, in funzione delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche, la temperatura rimane praticamente costante nel tempo con valori variabili sulla profondità determinati dal gradiente geotermico locale. Questo livello profondo viene definito omeotermico. La temperatura costante del terreno oltre i 15 - 20 m di profondità è il fattore principale che determina un migliore rendimento delle pompe di calore accoppiate al terreno, rispetto ai sistemi acqua-aria, sia in fase di riscaldamento invernale che in condizioni di raffreddamento estivo.

La presenza nel sottosuolo di una falda acquifera ha generalmente l'effetto di smorzare più rapidamente le variazioni di temperatura con la profondità e quindi stabilizza termicamente la "sorgente geotermica sottosuolo". Il flusso idrico sotterraneo rinnova continuamente la condizione termica al contorno delle sonde geotermiche, apportando calore e simulando una conducibilità termica estremamente elevata.

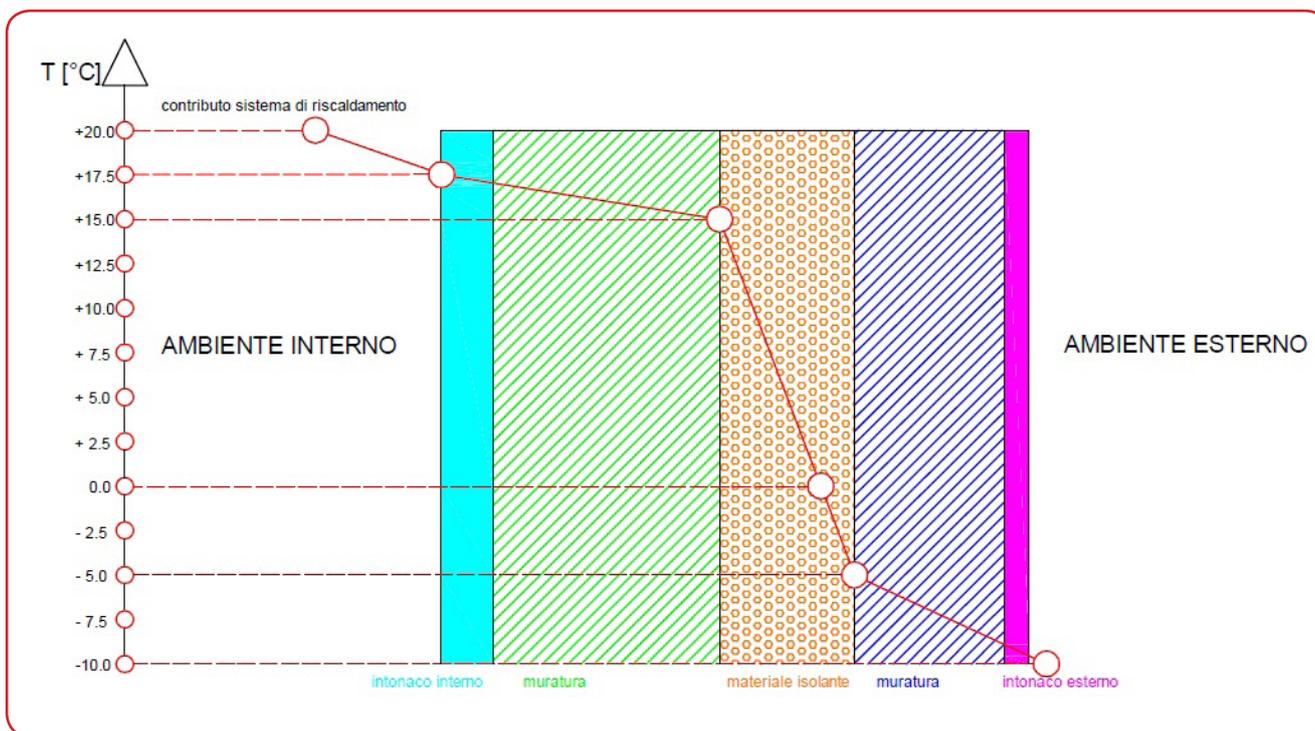


Figura 5: Schema di soluzione per la coibentazione di un edificio.

Anche in Emilia-Romagna, i campi di applicazione di questa tecnologia sono i più variegati: dalla piccola utenza, come ad esempio una singola abitazione con una potenza installata di 5 - 6 kW_t, a complessi residenziali di decine di appartamenti con potenze di impianto dell'ordine delle centinaia di kW_t, fino ad impianti con pompe di calore accoppiate a scambiatori nel terreno con una potenza di installazione di oltre 1 MW_t, come ad esempio gli impianti degli stabilimenti IKEA di Parma e Rimini. I limiti che si affrontano nell'utilizzo di questa tecnologia sono legati prevalentemente alle caratteristiche termiche e alla tipologia di distribuzione del calore negli edifici. Le caratteristiche dell'involucro termico (figura 5) sono un aspetto fondamentale da considerare; l'elevata coibentazione, che determina basse dispersioni, colloca l'edificio in una classe energetica elevata. Tali fattori sono importanti per ottenere una performance elevata della pompa di calore in termini di rapporto energia termica prodotta/energia elettrica consumata.

Edifici di bassa classe energetica determinano un basso COP della macchina, portando a consumi non vantaggiosi per il tipo di tecnologia utilizzata. Per queste ragioni è opportuno effettuare degli interventi di miglioramento dell'isolamento termico dell'edificio, prima di procedere con l'installazione delle pompe di calore. L'altro limite riguarda l'impianto di distribuzione del calore nell'edificio; in particolare, le pompe di calore elettriche operano a livelli maggiormente performanti con le basse temperature (30 - 40°C),



Figura 6: Sistema a pannelli radianti.

quindi i sistemi diffusi, quali i pannelli radianti (figura 6) o i sistemi concentrati come i ventilconvettori a bassa temperatura, sono preferibili rispetto ai sistemi concentrati come radiatori, che necessitano di temperature più elevate.

Va altresì considerato molto attentamente il comportamento del sistema accoppiato edificio-impianto, in funzione dei periodi di riscaldamento e raffreddamento, degli isolamenti degli edifici e del bilancio energetico estate-inverno. L'impianto ideale è quello che produce il massimo risparmio energetico, con tempi brevi di ritorno economico dell'investimento e con invarianza nel tempo della temperatura alla sorgente (il calore estratto d'inverno è circa equivalente al calore reimpresso durante l'estate). Quest'ultimo aspetto garantisce la sostenibilità dell'utilizzo del calore geotermico.

2.2 Aspetti economici e ambientali

Il confronto con tipologie alternative di impianto permette considerazioni sugli aspetti economici ed ambientali delle pompe di calore. Considerando per il medesimo edificio l'installazione di un impianto tradizionale con caldaia a condensazione alimentata a gas e refrigeratore ad aria, rispetto ad un impianto con pompa di calore elettrica, accoppiata a scambiatori nel terreno, il costo iniziale dell'impianto tradizionale risulta più basso rispetto a quello a pompa di calore. Considerando però i costi di esercizio sia in fase di riscaldamento che di raffreddamento, con l'impianto a pompa di calore si può arrivare ad ottenere un risparmio annuo di circa il 50% rispetto a quello tradizionale, con tempi di ritorno dei sovracosti iniziali variabili dai 6 ai 10 anni. Tali valutazioni ovviamente cambiano in base ai costi dei vettori energetici (gas, energia elettrica).

Dal punto di vista ambientale, i sistemi geotermici a pompa di calore riducono fortemente la produzione di emissioni di sostanze clima-alteranti in atmosfera, azzerandole in loco per il caso delle pompe di calore elettriche, rispetto agli impianti a bruciatore. Inoltre, se si fornisce alle pompe di calore elettriche un'alimentazione di energia proveniente da pannelli fotovoltaici, allora le emissioni globali risulterebbero pari a zero, con un risparmio di circa 3 t CO₂ /anno per un edificio monofamiliare, a confronto con un edificio con impianto tradizionale.

3 Inquadramento sulle potenzialità geotermiche in Emilia-Romagna

Luca Martelli, Fabio Carlo Molinari

3.1 Aree d'interesse geotermico in Emilia-Romagna

Le risorse geotermiche ad alta entalpia, ovvero ad alta temperatura, sono generalmente concentrate nelle aree vulcaniche attive, dove i processi geodinamici hanno permesso la risalita verso la superficie di materiale caldo dal mantello; è noto infatti che le zone geotermiche italiane di particolare interesse sono la Toscana meridionale, la zona dei vulcani laziali, i Campi Flegrei, le isole Eolie, la Sicilia orientale, l'isola di Pantelleria e la valle del Campidano, in Sardegna. In Emilia-Romagna non sono presenti, fino a profondità economicamente convenienti (< 3 km), fonti geotermiche con temperature maggiori ai 100 °C. Tuttavia, nell'Appennino emiliano-romagnolo e nella pianura sono presenti sorgenti termali e pozzi con temperature di rilevante interesse anche a basse profondità. A Ferrara, ad esempio, da molti anni è in esercizio un impianto di teleriscaldamento geotermico che utilizza acque calde (T di circa 95°-100 °C) a profondità comprese tra 1100 e 1900 m, e il calore prodotto dal termovalorizzatore, mentre i bagni termali di Bagno di Romagna e Porretta Terme sono noti fin dall'antichità.

Per una valutazione delle risorse energetiche in Emilia-Romagna, l'Amministrazione Regionale ha promosso uno studio sul potenziale geotermico del territorio regionale già nei primi anni '80, avvalendosi della collaborazione dell'Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università degli Studi di Bologna e del CNR, Istituto per le Risorse Geotermiche di Pisa (RER & CNR, 1982).

Una delle principali conclusioni di questo studio è che, data l'assenza di intrusioni magmatiche, le cause delle anomalie termiche positive dell'Appennino emiliano-romagnolo e della pianura a sud del Po sono da ricercare nella struttura tettonica. Non dimentichiamo, infatti, che il vero fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico collina - pianura, ma è localizzato in corrispondenza dell'attuale corso del Po e nel mare Adriatico, dove sono presenti vere e proprie dorsali rocciose, sepolte dai recenti depositi alluvionali e marini incoerenti (figura 7).

In particolare, grazie agli studi disponibili (Pieri & Groppi, 1981, Boccaletti et al., 2004), alla notevole mole di dati di sottosuolo resi disponibili da ENI (in parte reperibili presso l'UNMIG, vedere [\[sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp\]\(http://sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp\)\) e ai dati del Servizio geologico regionale \(vedere <http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/geotermia>\), è stato possibile verificare come le condizioni geologiche presenti nel sottosuolo di Ferrara e delle principali aree termali dell'Appennino emiliano-romagnolo siano presenti anche in altre aree del territorio regionale. Confrontando la distribuzione delle anomalie termiche positive con le principali strutture tettoniche \(figura 8\) è emerso chiaramente che tali anomalie sono localizzate nelle zone di recente sollevamento, in corrispondenza dei cosiddetti "alti strutturali".](http://unmig.</p></div><div data-bbox=)

Gli studi di approfondimento realizzati in alcune aree chiave hanno confermato questo quadro interpretativo e hanno permesso di definire un modello geologico utile anche per indirizzare future ricerche di potenziali serbatoi geotermici.

In Appennino le zone con i maggiori gradienti geotermici (> 3°C/100 m) sono localizzate al tetto di un'importante struttura tettonica che ha causato il sollevamento e in parte il raddoppio del basamento metamorfico che si trova a 7-9 km di profondità al di sotto della catena appenninica (figure 8 e 9), avvicinando quindi alla superficie un orizzonte della crosta terrestre ad elevata temperatura, con probabile circolazione di fluidi profondi che hanno determinato un aumento anomalo del gradiente geotermico tale da rendere economicamente interessante l'utilizzo di questo calore anche a profondità minori ai 3 km. Il sollevamento ha favorito anche l'erosione delle rocce più superficiali e l'affioramento delle rocce profonde, più "calde". Da notare che questo fenomeno è avvenuto in tempi geologici recenti, nel Pliocene e nel Quaternario, quindi a partire da 6 - 5.5 milioni di anni fa; le osservazioni geodetiche, la frequente attività sismica e i dati strumentali dei terremoti indicano che l'Appennino emiliano-romagnolo è tuttora in sollevamento.

In pianura le zone con i maggiori gradienti geotermici (> 4°C/100 m, fino a 7°C/100 m) sono sempre localizzate al di sopra delle principali dorsali sepolte, causate anch'esse dalla compressione orogenetica della catena (figure 8 e 10). In particolare è stato osservato che l'anomalia termica è direttamente correlata con la presenza e l'età della dislocazione; si osserva infatti un aumento dell'anomalia geotermica dalle Pieghe Emiliane (4°-5°C/100 m), la cui età di attivazione è Messiniano - Pliocene inferiore, circa 6 milioni

di anni fa, al fronte esterno delle Pieghe Ferraresi ($7^{\circ} - 8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) la cui deformazione è iniziata nel Pliocene superiore-Pleistocene inferiore, circa 3 milioni di anni fa. Ciò può essere dovuto al fatto che le zone di maggiore attività tettonica sono probabilmente anche sede di importanti sistemi di circolazione di fluidi profondi (come quelli della dorsale Ferrarese), i quali favoriscono il trasferimento verticale di calore dagli strati profondi fino al tetto dei sistemi permeabili. Analizzando, infatti, i dati in maggior dettaglio è stato osservato che le principali anomalie termiche positive, nelle aree studiate, si sviluppano nei primi 1000 - 1500 m di profondità, soprattutto nelle rocce che costituiscono la copertura della successione carbonatica giurassica, e in unità tettoniche superiori di recente messa in posto o riattivazione (figure 9 e 10). Nelle rocce carbonatiche, e nelle unità tettoniche inferiori, i gradienti geotermici sono in linea con quelli tipici della Pianura Padana e della catena appenninica ($\leq 2 - 2,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Questa diminuzione del gra-

diente termico con la profondità può essere spiegata, oltre che con la posizione strutturale, anche dal fatto che nella successione carbonatica, causa l'intensa fratturazione, si sono instaurati moti convettivi, mentre nelle rocce soprastanti la trasmissione del calore avviene per conduzione.

Da questa analisi consegue che sono potenzialmente interessanti tutte le zone di recente attività tettonica e si prospettano quindi interessanti possibilità di ricerca e sviluppo di sistemi geotermici a bassa ($< 90^{\circ}\text{C}$ entro 2 km di profondità) e media temperatura ($90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ entro 4-5 km) in tutte quelle aree di recente sollevamento, come il versante padano-adriatico della catena appenninica, il margine sud-alpino e alcuni settori della pianura padano-veneta, zone finora ritenute poco interessanti per la ricerca di risorse geotermiche.

Naturalmente, oltre ad una temperatura superiore alla media entro profondità accessibili è necessaria anche una sufficiente disponibilità e permeabilità idraulica.

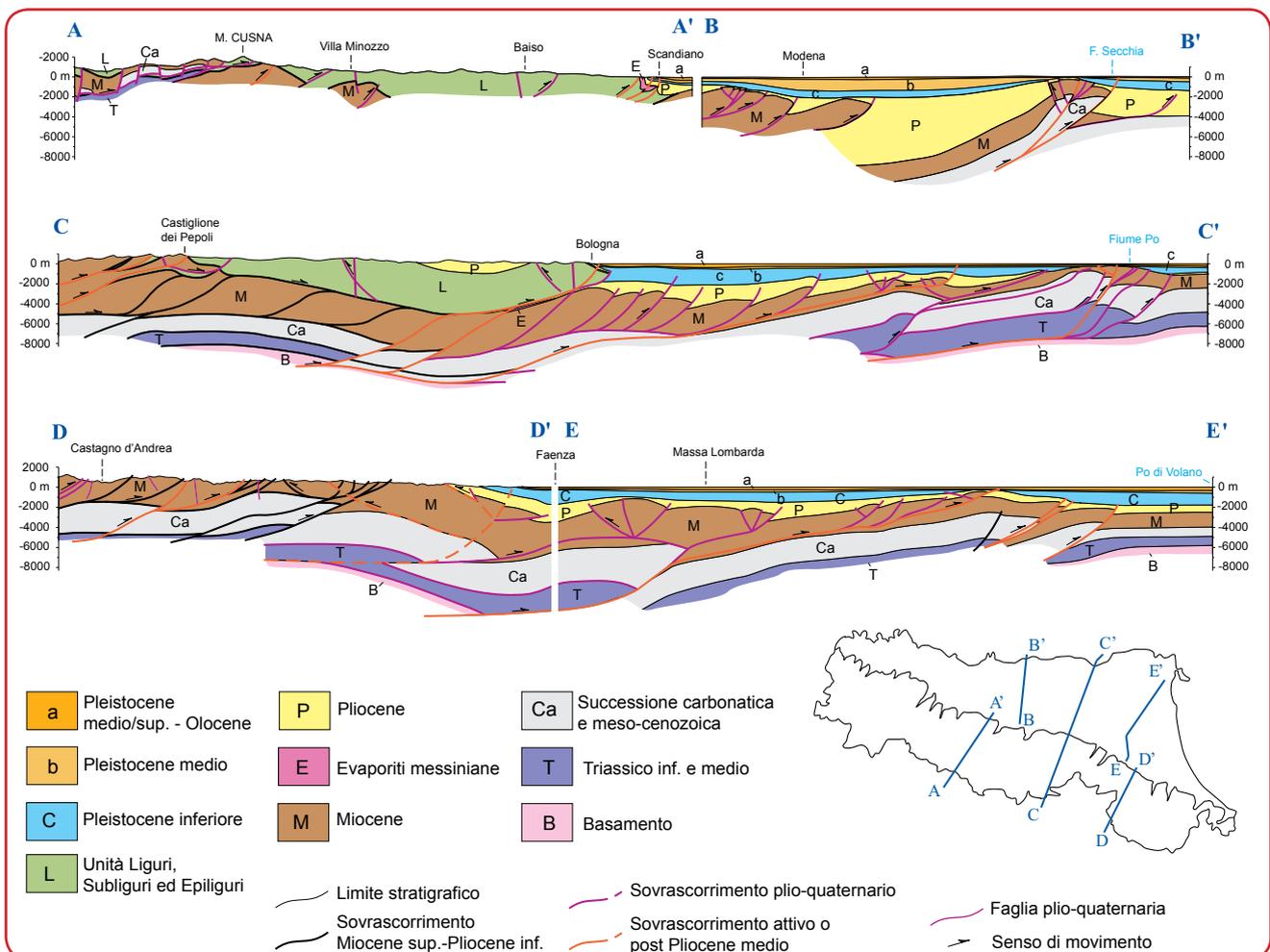


Figura 7: sezioni geologiche dal crinale appenninico al Po. A-A': Appennino reggiano; B-B' pianura modenese; C-C': Appennino bolognese e pianura bolognese e ferrarese occidentale; D-D': Appennino forlivese e faentino; E-E': pianura ravennate e ferrarese orientale.

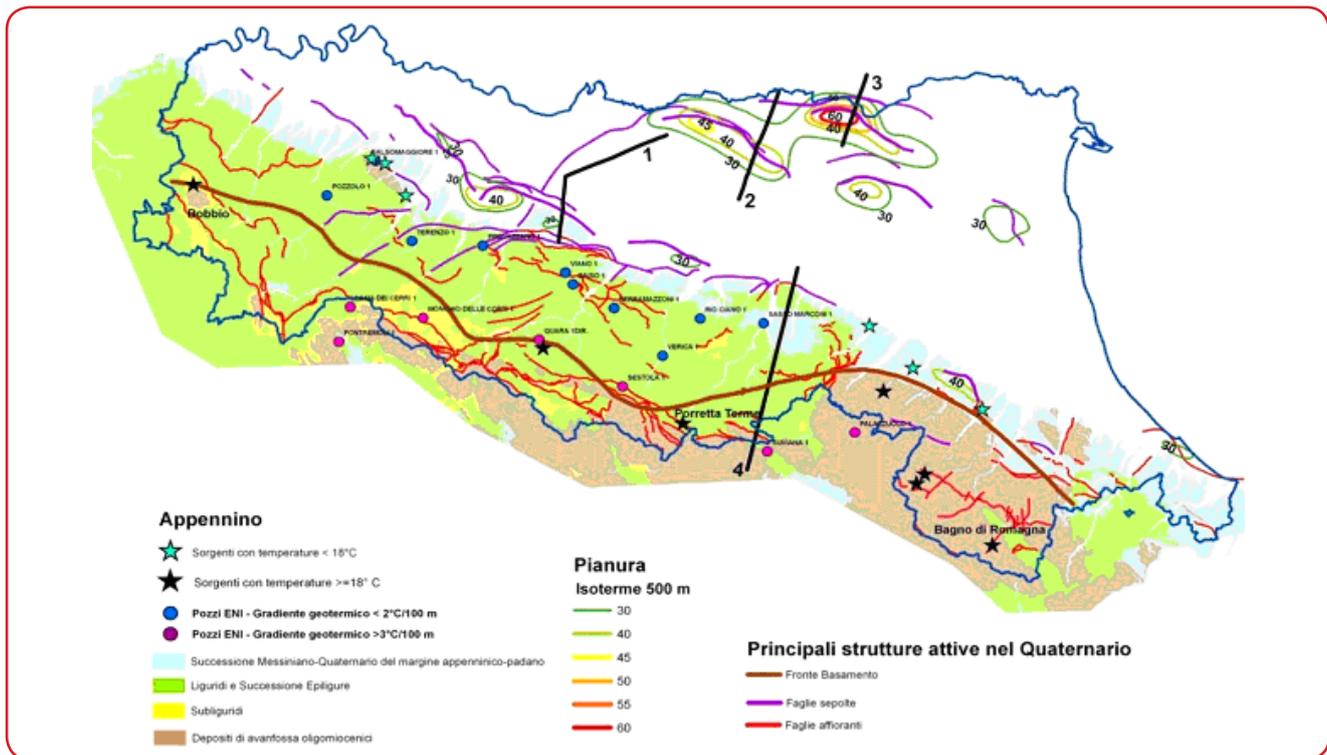


Figura 8: principali aree d'interesse per la ricerca di risorse geotermiche in Emilia-Romagna.

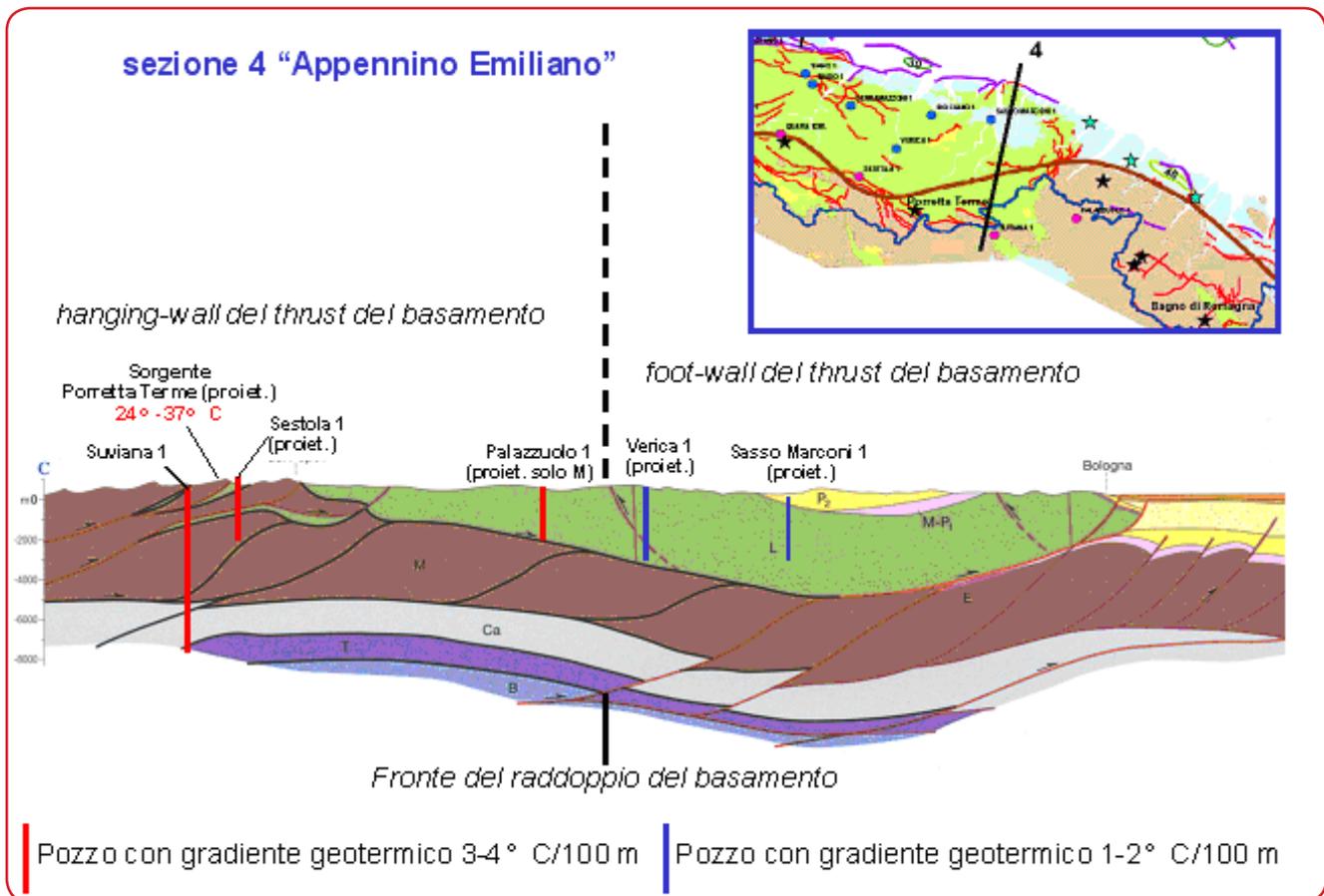
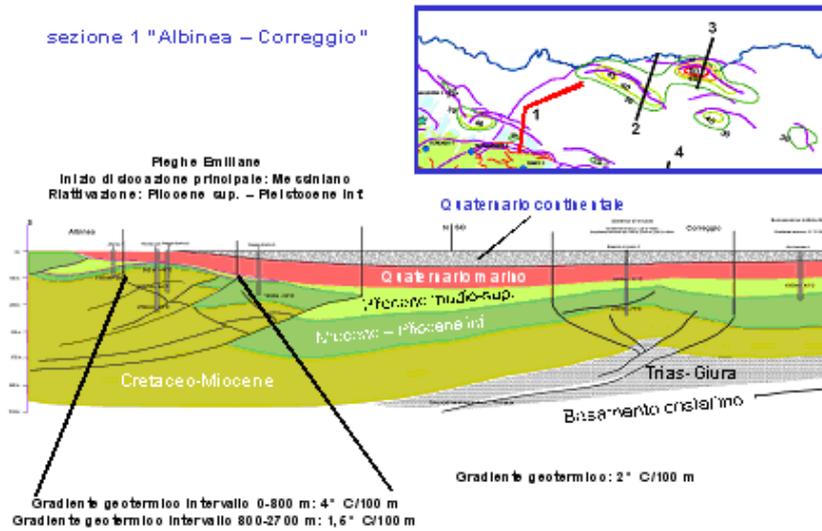
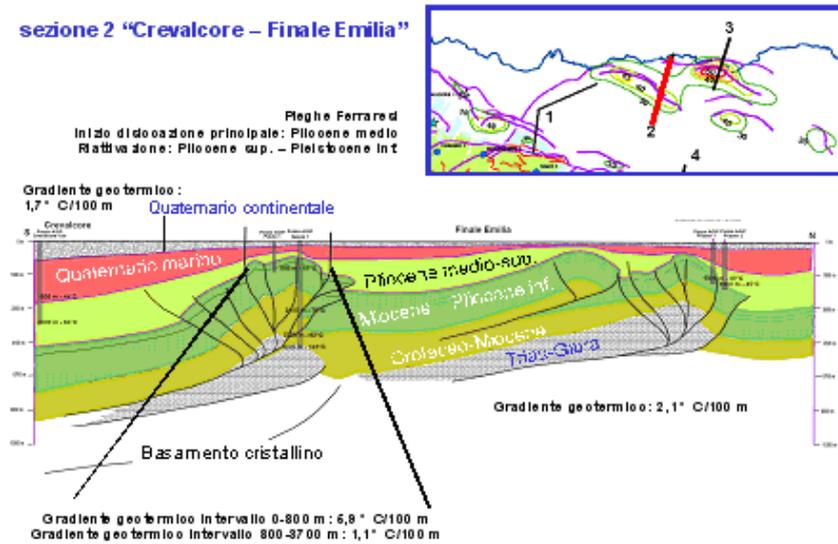


Figura 9: sezione geologica attraverso l'Appennino bolognese; i gradienti termici anomali sono localizzati solo al di sopra del raddoppio del basamento.

sezione 1 "Albinea – Correggio"



sezione 2 "Crevalcore – Finale Emilia"



sezione 3 "Vigarano M. – Occhiobello"

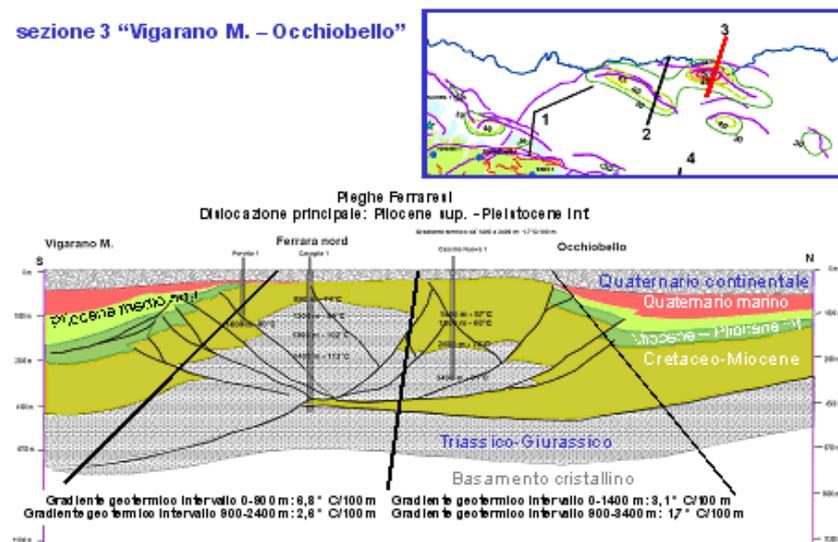


Figura 10: sezioni geologiche attraverso la Pianura Padana; notare che le principali anomalie termiche sono sempre localizzate al di sopra de gli alti strutturali e che il gradiente geotermico è maggiore in corrispondenza delle aree di maggiore e recente sollevamento.

3.2 Sistemi geotermici di geoscambio e pompe di calore in Emilia-Romagna

Come spiegato nel capitolo 2, grazie a pompe di calore associate a sistemi che permettono di sfruttare la differenza di temperatura tra il sottosuolo e la superficie (sistemi di geoscambio) è possibile produrre energia termica anche da sorgenti a basse temperature ($T < 18-20^{\circ}\text{C}$), facilmente reperibili in superficie, o a basse profondità ($< 300\text{ m}$).

Nella maggior parte delle aree urbane dell'Emilia-Romagna sono presenti nel sottosuolo risorse geotermiche a bassa temperatura ($13^{\circ}-18^{\circ}\text{C}$) che si estendono da pochi metri fino a circa 200 metri di profondità.

Questo tipo di applicazione è quindi potenzialmente realizzabile in tutto il territorio; tuttavia, anche la di-

sponibilità di tale risorsa non è infinita e presenta dei limiti imposti dalla fisica e dal rispetto di vincoli ambientali. È necessario infatti non superare la soglia di rinnovabilità della risorsa geotermica, estraendo calore più velocemente di quanto non se ne ricostituisca naturalmente mediante il flusso di calore geotermico. Questa precauzione garantisce sia la protezione e sostenibilità della risorsa che l'efficienza degli impianti stessi.

In ogni caso, la geotermia a bassa temperatura è di estremo interesse poiché, pur con le limitazioni sopra indicate, consente la produzione di energia termica per il riscaldamento e il raffrescamento praticamente ovunque, contribuendo in maniera sostanziale alla riduzione di emissioni di CO_2 . Nel bilancio finale del rapporto costi/benefici occorre infatti considerare anche i vantaggi, sia economici che ambientali, in termini di riduzione di emissioni di CO_2 .

4 Potenzialità e criticità in area urbana

Gabriele Cesari, Luca Martelli, Fabio Carlo Molinari, Mattia Quarantini

Le proprietà termo-fisiche dei terreni e il flusso idrico negli acquiferi condizionano fortemente l'efficienza dello scambio di calore degli impianti geotermici sia di tipo *open loop* (pozzi) che *closed loop* (sonde).

L'efficienza di scambio del calore può essere ottimizzata, e i costi di installazione degli impianti geotermici ridotti, analizzando attentamente le condizioni geologiche e idrogeologiche locali.

Per favorire una corretta progettazione degli impianti la Regione sta promuovendo studi pilota finalizzati a fornire a tutti gli operatori interessati cartografie tematiche basate sulle informazioni geologiche ed idrogeologiche disponibili e su eventuali vincoli di sfruttamento.

4.1 Potenzialità

Le potenzialità di scambio termico con il sottosuolo sono notevoli, in quanto un risorsa geotermica, dal punto di vista termodinamico, può essere considerata una sorgente con capacità termica infinita, in quanto essa possiede la capacità di scambiare energia termica, direttamente o attraverso lo sfruttamento dei fluidi in esso contenuti, mantenendo globalmente invariata la sua temperatura. Nella pratica è indispensabile un'attenta analisi e progettazione al fine di dimensionare correttamente gli impianti per non alterare le caratteristiche della sorgente con perdita inevitabile di efficienza.

Le condizioni meteo-climatiche presenti in Emilia-Romagna favoriscono l'impiego delle pompe di calore durante gran parte dell'anno, a causa degli inverni freddi e delle estati calde e umide.

Le risorse geotermiche a bassa temperatura sono quindi una fonte rinnovabile molto interessante sia per le caratteristiche di disponibilità sul territorio, praticità ed economicità di utilizzazione, sia per gli indubbi benefici a livello ambientale.

In area urbana un impianto geotermico a pompa di calore può essere utilizzato sia su nuovi edifici, costruiti con i criteri di efficienza e risparmio energetico, sia nelle ristrutturazioni dei vecchi edifici, volte alla riqualificazione energetica degli stessi.

4.2 Criticità e rischi ambientali

La climatizzazione tramite pompe di calore che sfruttano la geotermia a bassa temperatura è certamente una soluzione sostenibile dal punto di vista ambientale ed efficiente da un punto di vista energetico, come dichiarato dall'Ente di Protezione Ambientale U.S. nel 1993. Tuttavia, non possono essere trascurati i potenziali rischi legati ad errori progettuali o realizzativi, potenziali cause di danni ambientali rilevanti. In particolare, tali rischi sono principalmente connessi all'esecuzione di opere profonde nel sottosuolo (sonde e pozzi) in specifici contesti geologici (come ad esempio falde in pressione ed acquiferi multistrato, presenza di rocce anidre, cavità carsiche, presenza di gas ed idrocarburi) o ambientali (es. siti contaminati). Non si può trascurare anche l'interazione della parte interrata degli impianti con altre opere nel sottosuolo (sottoservizi, opere di captazione, tunnel e altre strutture interrate).

Al fine di prevenire qualsiasi tipo di incidente o danno connessi alle perforazioni geotermiche è necessario un adeguato approfondimento in fase progettuale ed un'opportuna azione di verifica in fase realizzativa, come meglio specificato nei paragrafi successivi.

Negli ultimi anni gli impianti geotermici di scambio di calore sia di tipo *open loop* che *closed loop* sono sensibilmente aumentati.

L'impatto ambientale e l'efficienza degli impianti di scambio termico dipendono anche dalla densità degli impianti stessi sul territorio soprattutto quando si opera in settori ad alta densità abitativa, come nelle aree urbane.

Questo comporta, sia da parte dei progettisti che da parte delle autorità competenti preposte al rilascio dei permessi, un'accurata valutazione dei potenziali impatti sia a livello ambientale che progettuale.

Un'importante criticità durante l'utilizzo di un impianto di scambio termico a circuito aperto è la cortocircuitazione termo-idraulica che si verifica quando il pozzo di derivazione richiama direttamente parte dell'acqua restituita nel pozzo di reimmissione. Evitare questo fenomeno è di fondamentale importanza per la sostenibilità nel tempo dell'impianto stesso.

Nelle figure 11a e 11b viene mostrato l'andamento del *plume* termico in impianti di tipo *open loop* (pozzi).

Un altro aspetto da considerare, nel solo caso degli impianti di tipo *open loop*, è che le acque prelevate siano reimmesse nello stesso acquifero di provenienza per prevenire scompensi nel bilancio del sistema idrico sotterraneo a tutela dell'acquifero stesso.

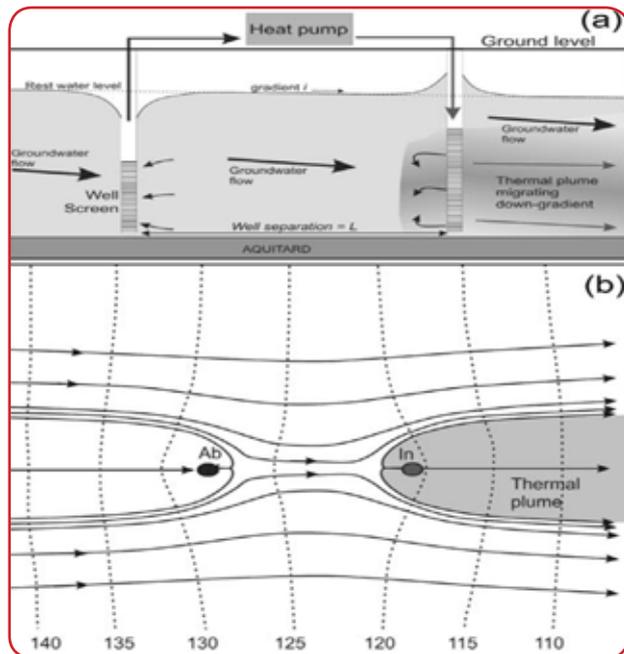


Figura 11a: Sezione verticale e in pianta dello schema di un doppietto pozzi geotermico senza interferenza termica (tratto da Banks, 2009).

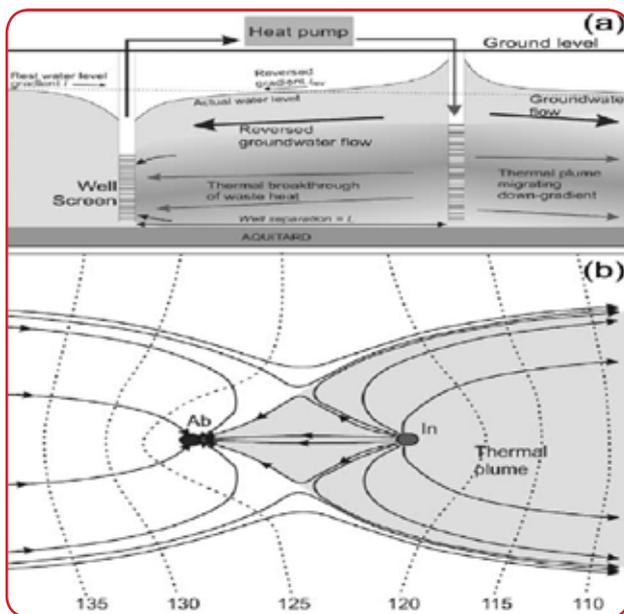


Figura 11b: Sezione verticale e in pianta dello schema di un doppietto pozzi geotermico con potenziale interferenza termica (tratto da Banks, 2009).

4.3 Aspetti geologici ed idrogeologici negli impianti *closed-loop*

La definizione degli assetti geologici ed idrogeologici risulta fondamentale per il dimensionamento di impianti a circuito aperto ma è altrettanto importante per quelli a circuito chiuso (*closed loop*), quindi caratterizzati da sonde verticali senza prelievo di acqua di falda.

Innanzitutto il dimensionamento degli impianti a sonde geotermiche verticali dipende dalle caratteristiche termiche del terreno che possono variare anche in maniera rilevante in base alla litologia e al grado di saturazione in acqua. Per una corretta valutazione preliminare della resa termica dell'impianto da realizzare è necessario determinare la stratigrafia del terreno attraversato, ovvero le litologie presenti e lo spessore corrispondente. In questa prima fase di progettazione, il Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna offre un utile servizio mettendo a disposizione il database regionale relativo ai dati geologici ed idrogeologici. Consultando il portale "Ambiente" della Regione Emilia-Romagna è possibile acquisire dati per redigere una stratigrafia di massima ed effettuare una ricerca riguardante le condizioni idrogeologiche del sito da analizzare.

La presenza di acqua nel terreno, anche in condizioni stagnanti, determina un aumento della conducibilità termica del mezzo che in alcuni casi può anche raddoppiare rispetto al mezzo secco. Consideriamo un terreno secco composto prevalentemente da ghiaia quindi con una elevata porosità, l'aria contenuta nei pori funge da isolante termico diminuendo la conducibilità dello strato. Ipotizzando lo stesso tipo di terreno però in condizioni sature, l'aria viene espulsa dai grani e completamente sostituita dall'acqua che ha caratteristiche termiche di per sé basse, ma superiori all'aria di almeno un ordine di grandezza. Anche le fluttuazioni stagionali del livello della falda acquifera superficiale o profonda causano significative variazioni nella resa termica del terreno, a parità di altre condizioni.

Altro fattore determinante è il flusso dell'acqua in movimento e la conseguente valutazione dei diversi meccanismi di scambio di calore nel terreno. In particolare è stato osservato come gli impianti installati in contesti idrogeologici dove risultano presenti flussi di falda attivi, ottengano prestazione superiori grazie all'apporto di calore tramite il flusso in falda. Nel caso di un'errata valutazione delle caratteristiche

idrogeologiche degli acquiferi intercettati, in particolare la presenza e direzione del flusso di falda, si può ottenere una diminuzione del rendimento del campo sonde a causa dell'interferenza termica tra di esse.

Di seguito vengono sintetizzati due casi pratici dove è stata osservata l'interferenza termica tra le sonde dovuta alla dispersione del calore tramite flusso di falda.

Il primo caso riguarda un campo sonde realizzato nel comune di Bertinoro (FC) in un contesto di depositi alluvionali di pianura caratterizzati prevalentemente

da materiale fine (argilla e limo sabbioso) e con un evidente acquifero presente in un banco di ghiaia posto a circa 60 metri di profondità. Nella figura 12 si può osservare l'ubicazione delle sonde geotermiche rispetto all'andamento presunto del flusso di falda attivo soggiacente ad una profondità di circa 60 metri.

Nella sonda nominata SGV3 è stato realizzato un test di risposta termica del terreno (*Ground Response Test, GRT*) per verificare le effettive caratteristiche termiche delle sonde e del terreno attraversato.

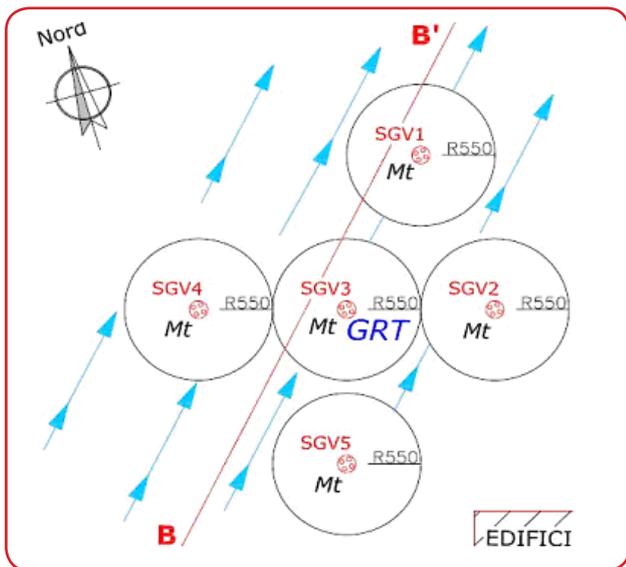


Figura 12: Ubicazione delle sonde geotermiche rispetto al flusso di falda profondo. Caso di Bertinoro.

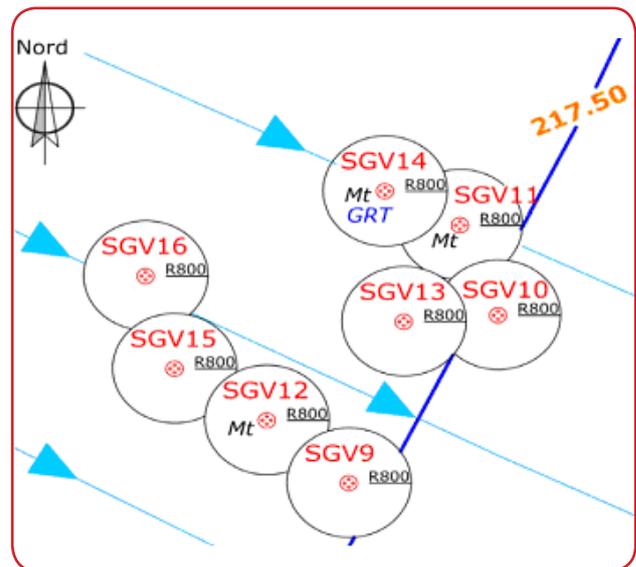


Figura 14: Ubicazione delle sonde geotermiche rispetto al flusso di falda superficiale. Caso di Settimo Torinese.

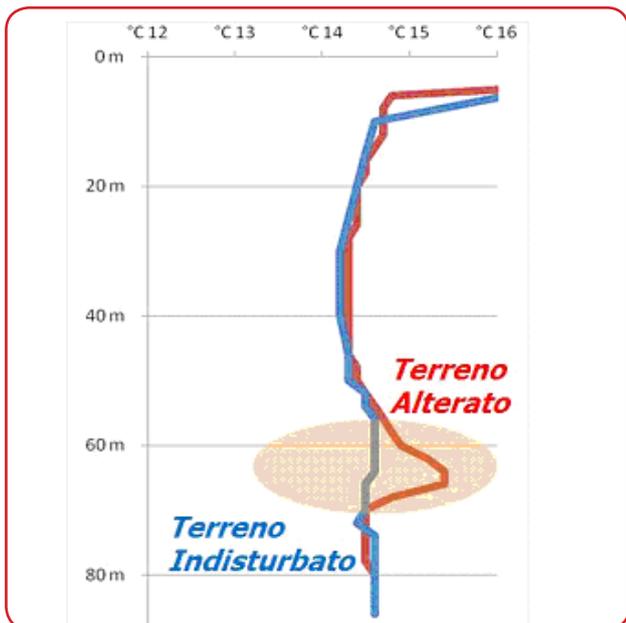


Figura 13: Log termico del terreno attraversato. Caso di Bertinoro.

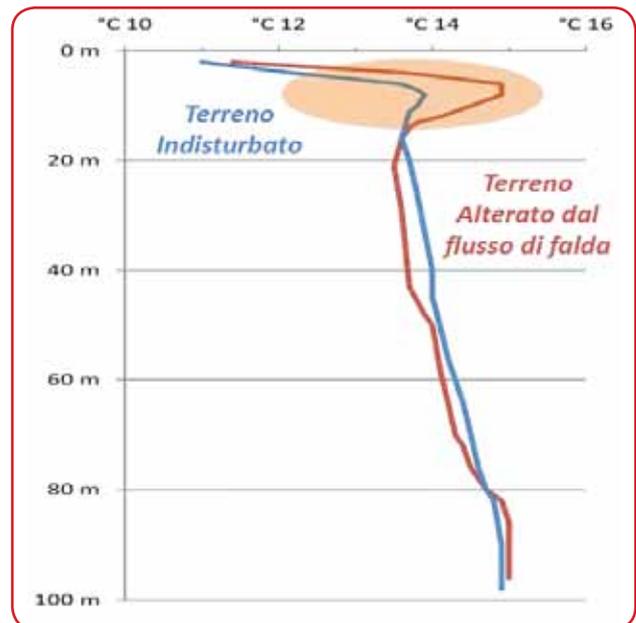


Figura 15: Log termico del terreno attraversato. Caso di Settimo Torinese.

Durante l'esecuzione del GRT per cui avviene l'immissione di un impulso di calore in sonda, è stato riscontrato nella sonda disposta a valle del flusso (SGV1) un'alterazione del campo termico presente nell'intervallo corrispondente al flusso di falda attivo (figura 13).

Tale osservazione ha dimostrato la propagazione del calore tramite il flusso di falda in ghiaia indicando l'eventuale interferenza tra le sonde in tale porzione di terreno. Un'analoga situazione è stata riscontrata in un campo sonde realizzato nel comune di Settimo Torinese (TO), dove in questo caso lo studio geologico ed idrogeologico evidenzia un potente banco di ghiaia nei primi 10 metri di terreno con un flusso di falda attivo direttamente alimentato dalla superficie. Anche in questo caso come si osserva dalla figura 14, la sonda SGV11 disposta a valle rispetto al flusso proveniente dalla sonda GRT (SGV14) subisce una alterazione del campo termico in corrispondenza della falda superficiale (figura 15).

Da questi due casi risulta evidente l'importanza della valutazione degli aspetti geologici ed idrogeologici per il dimensionamento e la progettazione dei sistemi

geotermici a circuito chiuso. In particolare tali valutazioni sono fondamentali nei campi sonde realizzati nelle aree urbane dove le dimensioni del campo sono limitate ed inevitabilmente le sonde sono disposte a distanze minime.

Per poter ovviare ad errori talvolta grossolani è necessario potenziare le indagini relative agli aspetti geologici ed idrogeologici, effettuando studi preliminari di inquadramento del sito in oggetto, definendo l'assetto litostratigrafico del terreno attraversato, con particolare attenzione ai depositi grossolani dove possono manifestarsi flussi di falda attivi.

Risultano quindi importanti:

- una specifica caratterizzazione degli acquiferi con monitoraggio dell'andamento del flusso di falda (figura 16);
- una valutazione della velocità del flusso di falda per simulare la propagazione del calore tramite i campi di moti (advection);
- una campagna di indagini per la valutazione delle caratteristiche termiche del terreno e dei principali meccanismi di scambio termico presenti.

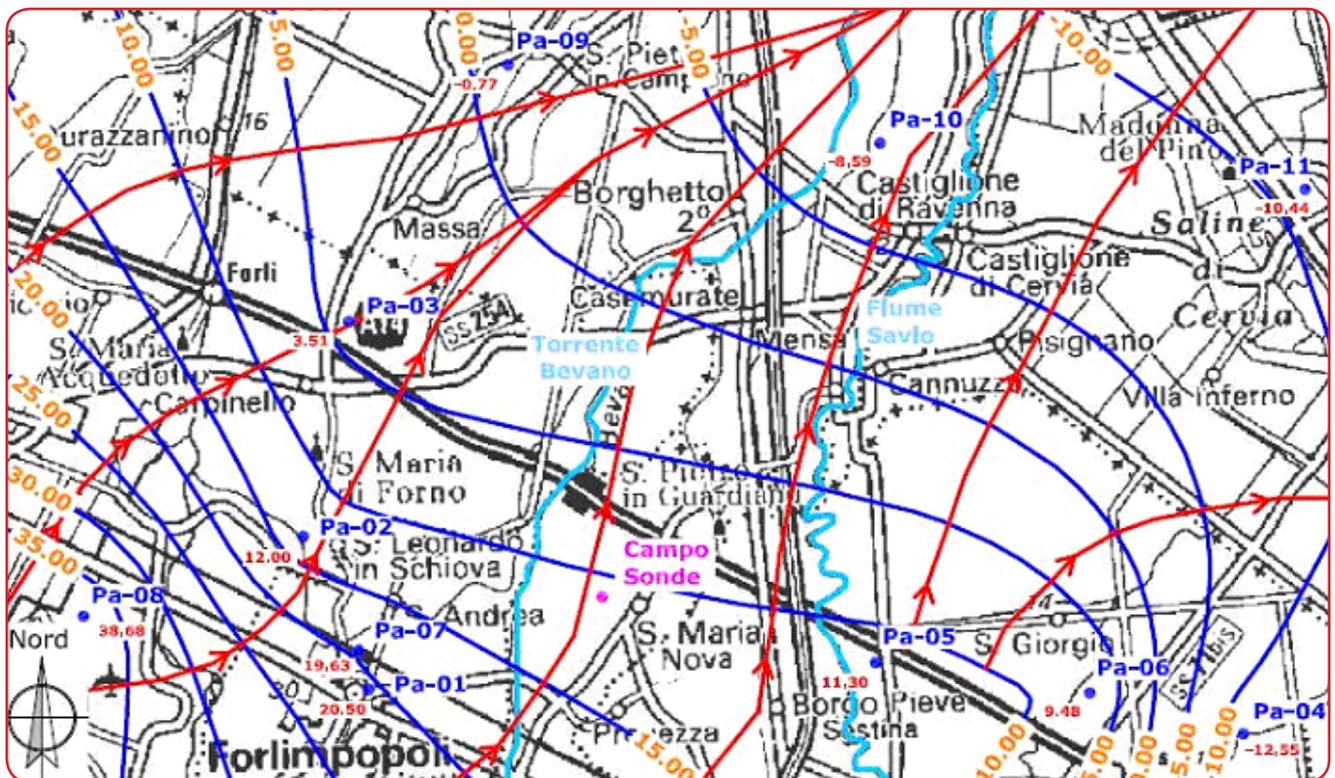


Figura 16: Esempio di andamento del flusso di falda.

4.4 Esempio di cartografia geotermica del sottosuolo

Tra le attività della Regione per favorire lo sviluppo sostenibile della geotermia a bassa temperatura, particolare rilievo riveste la definizione di criteri per una cartografia dei principali elementi utili per una corretta progettazione dei sistemi di geoscambio. E' stato così avviato un progetto di cartografia in un'area ritenuta particolarmente significativa.

Come area test è stata scelta la città di Parma, ritenuta significativa in quanto area urbana estesa ed ubicata nella pianura alluvionale ai piedi della catena appenninica (Figura 17). Parma ha una popolazione di circa 180.000 abitanti ed è la seconda città della regione per popolazione. Negli ultimi anni in quest'area urbana sono stati autorizzati e realizzati diversi impianti di scambio termico, sia *open loop* che *closed loop*.

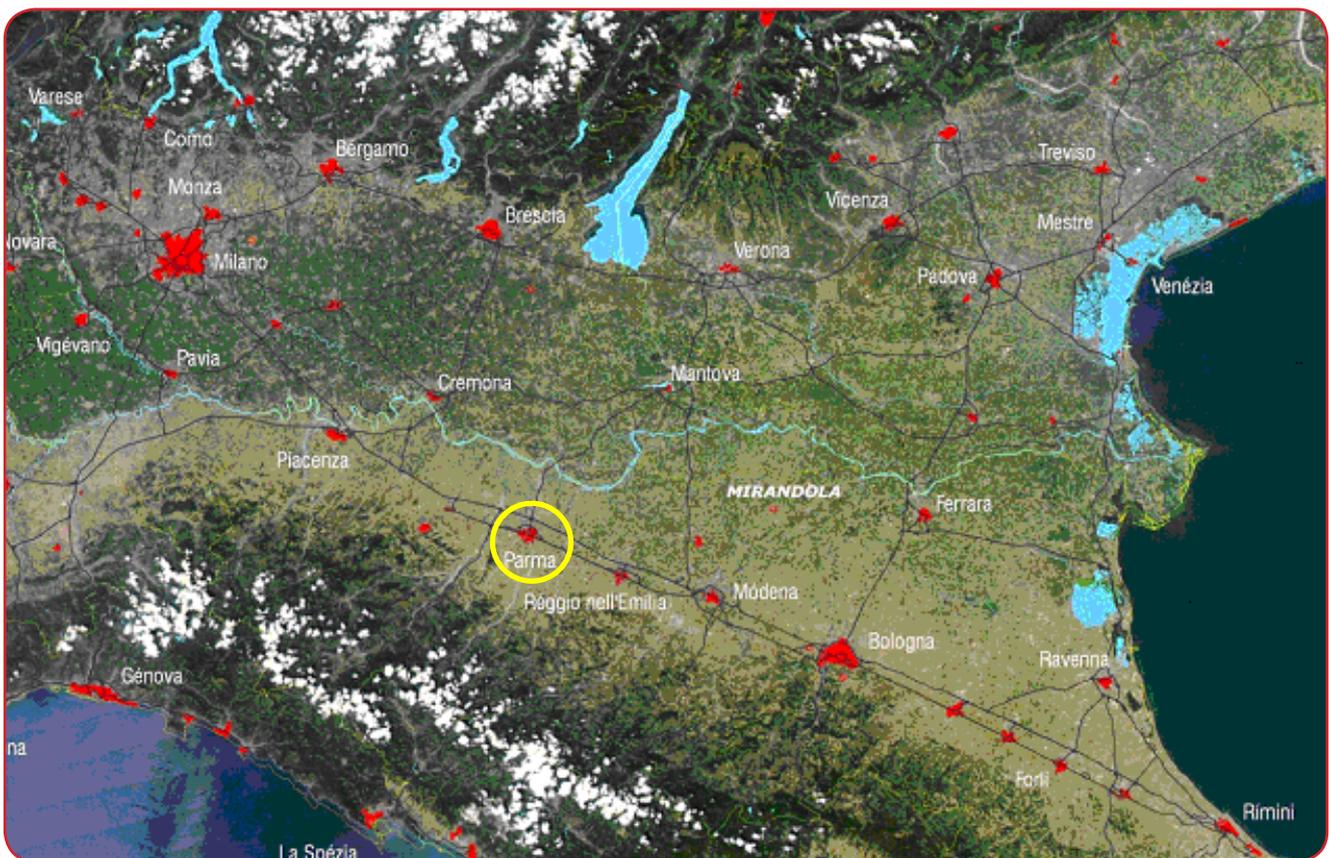


Figura 17: Inquadramento geografico della città di Parma.

4.4.1 Finalità dello studio

L'obiettivo principale di questo studio è la definizione di criteri per mappe tematiche finalizzate alla caratterizzazione idrogeologica e geotermica del territorio al fine di fornire i parametri fondamentali per una corretta progettazione di impianti di scambio termico con il sottosuolo. Tali elaborati cartografici costituiranno strumenti operativi per gli operatori del settore, sia pubblici che privati.

Per il raggiungimento di questo obiettivo risulta necessario:

- raccogliere, analizzare e integrare i dati litostratigrafici, geochimici ed idrogeologici del sottosuolo,
- realizzare un primo modello concettuale dei processi termici ed idraulici,
- realizzare un modello numerico di flusso e di trasporto di calore in 3D¹, calibrare il modello ed eseguire analisi di sensitività.

¹ Per elaborare il modello di flusso e di trasporto di calore sarà utilizzato il codice di calcolo agli elementi finiti denominato "FEFLOW 6" (WASY).

4.4.2 Metodologia

La metodologia di lavoro si basa su un'accurata ricostruzione del modello idrostratigrafico di sottosuolo 3D al fine di simulare le diverse condizioni di esercizio, di impianti sia *open loop* che *closed loop*, su ogni sistema acquifero individuato nell'area di studio.

Prima di effettuare le simulazioni saranno stabiliti i vincoli di accettabilità idrogeologica di cui i principali sono:

- la variazione massima di temperatura tra estrazione e reimmissione (previsti dalla normativa);
- la distanza massima, rispetto ai punti di perturbazione, entro la quale si ritiene accettabile una determinata variazione termica (estensione massima del pennacchio termico).

Il modello matematico simulerà lo sviluppo del *plume* termico nelle acque sotterranee e nei terreni, per effetto dell'utilizzo degli impianti geotermici a pompa di calore, sia di tipo *open loop* che *closed loop*.

Le taglie di potenza degli impianti presenti nell'area urbana di Parma possono essere raggruppate in tre classi: di piccola taglia (con potenza nominale da 5 kW_t a 50 kW_t), di media taglia (da 50 kW_t a 200 kW_t) e di grande potenza (>200 kW_t).

4.4.3 Inquadramento geologico e geomorfologico

La città di Parma è attraversata dal torrente Parma e del torrente Baganza e si estende dal settore di alta a quello di media pianura. Le quote maggiori si raggiungono nel settore meridionale con circa 75 m s.l.m., mentre verso nord la superficie topografica degrada

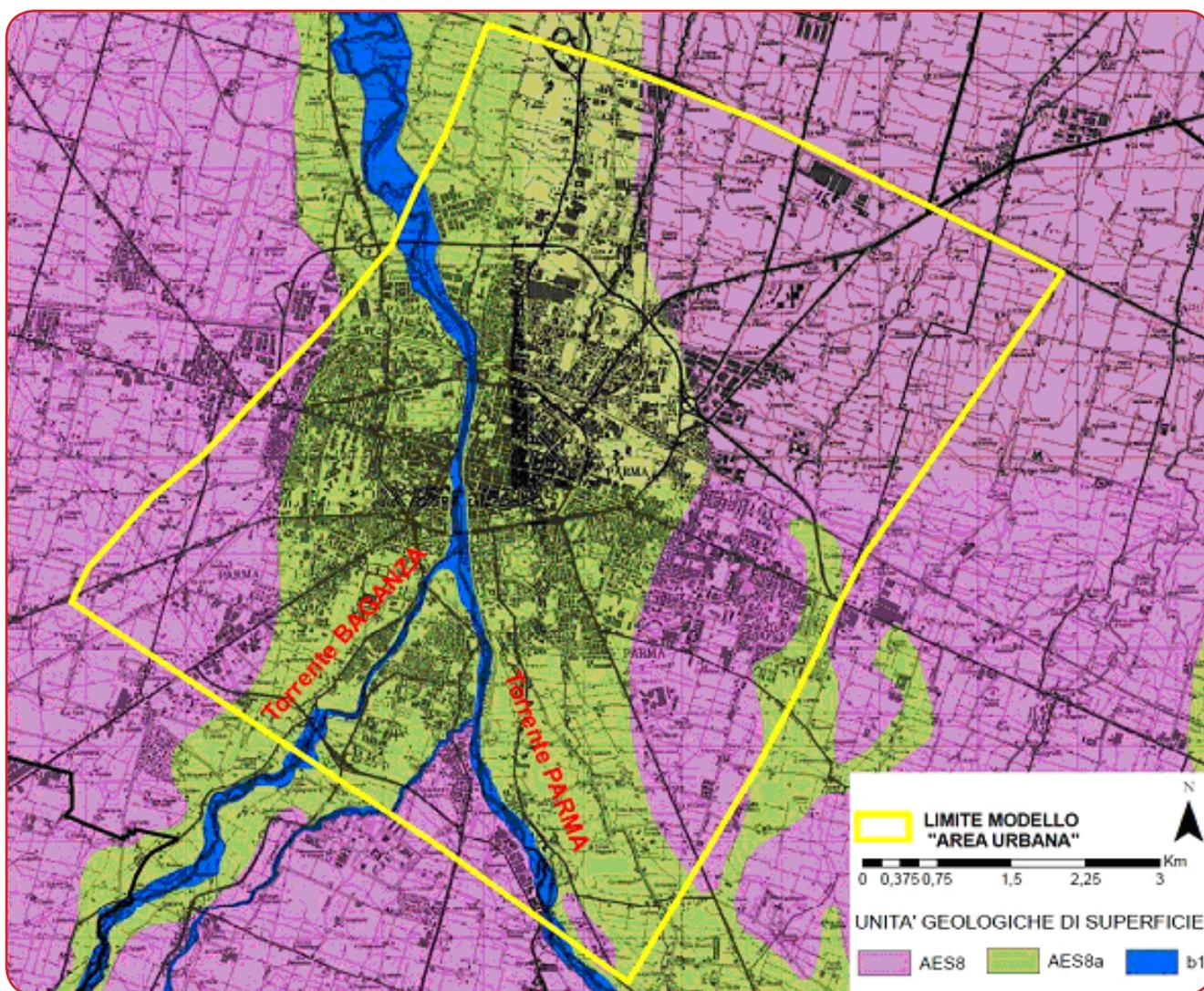


Figura 18: Inquadramento geologico dei terreni nella città di Parma.

fino a quote di circa 40 m s.l.m. Le unità geologiche che costituiscono la parte di superficie di questo settore di pianura appartengono al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) del Pleistocene medio-superiore. Le sottunità affioranti sono il subsintema di Ravenna (AES8), di età olocenica (<12.000 anni) e i depositi ancora più recenti dell'unità di Modena (AES8a) (figura 18).

Queste unità geologiche sono caratterizzate da depositi alluvionali di conoide e di canale fluviale prevalentemente grossolani (ghiaie e sabbie).

4.4.4 Idrostratigrafia dell'area di studio

Le ricerche condotte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna in collaborazione con ENI (RER & ENI-AGIP, 1998) nel territorio regionale, assieme a studi applicati e all'implementazione della banca dati geognostici di sottosuolo alla scala locale, hanno permesso la definizione dell'architettura dei depositi alluvionali, consentendone la suddivisione in unità geologiche e idrostratigrafiche definite, con precisi significati anche in termini idrodinamici (figura 19).

4.4.5 Dominio fisico del modello numerico

Il dominio fisico del modello comprenderà lo studio dei complessi acquiferi A0, A1 e A2 appartenenti al gruppo acquifero A (figura 19). Il limite inferiore del modello coinciderà con la base del complesso acquifero A2, confinato da un'unità sottostante a bassa permeabilità idraulica.

La scelta dei limiti del dominio fisico del modello matematico è dovuta al fatto che nel settore urbano della città di Parma i maggiori acquiferi sfruttati, soprattutto a scopo acquedottistico, sono appunto i complessi acquiferi A1 e A2. Nel settore di studio, rappresentato in figura 18, la base del complesso acquifero A2 varia da una profondità di circa 90 metri fino a raggiungere la profondità di circa 140 metri.

La maggior parte degli impianti geotermici già autorizzati e realizzati, così come illustrato nei paragrafi successivi, ha profondità medie di circa 100 metri per gli impianti *closed loop* e di circa 35 metri per gli impianti *open loop*. Si prevede quindi che gli impianti che saranno realizzati anche in futuro in area urbana difficilmente supereranno profondità dell'ordine dei 150 metri.

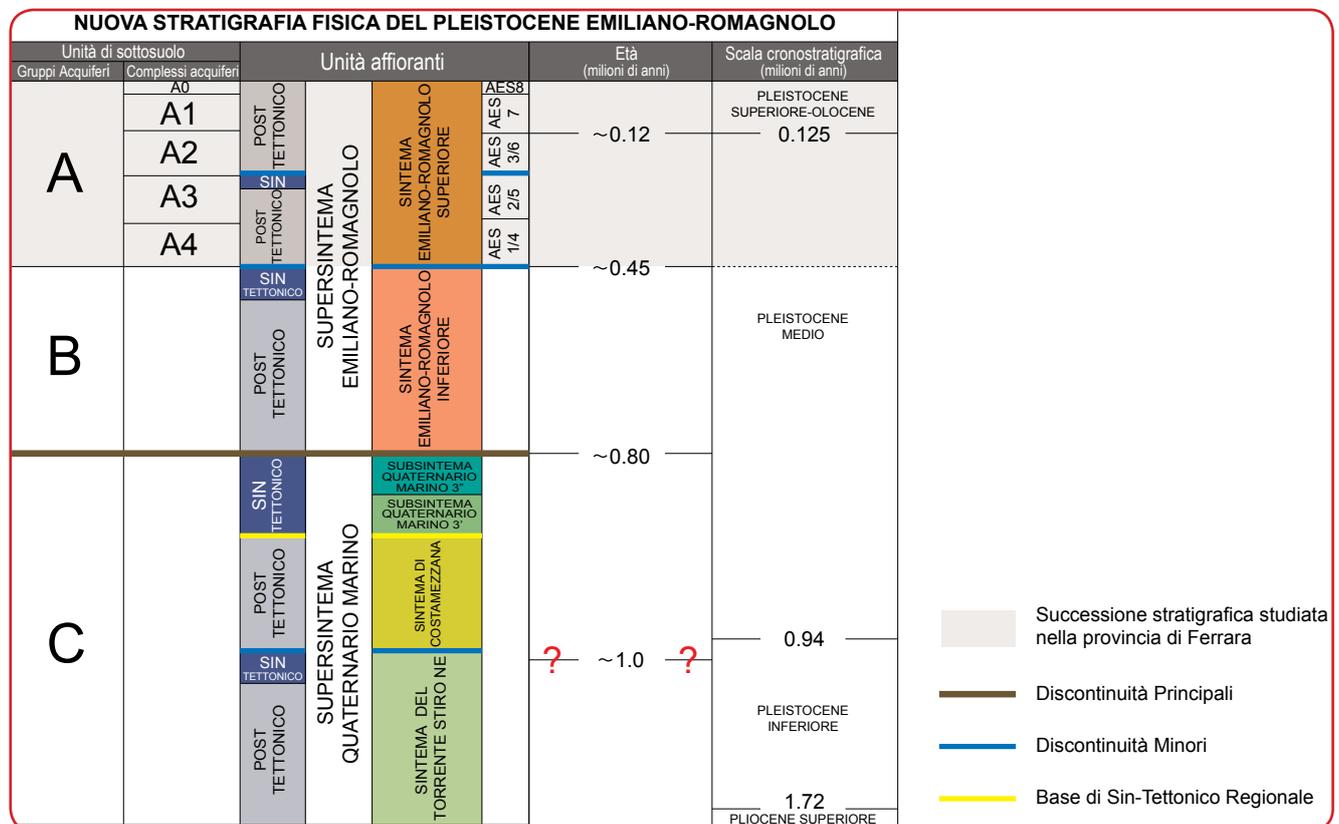


Figura 19: Schema delle Unità Idrostratigrafiche presenti alla scala locale e regionale.

4.4.6 Layer del modello numerico

Il sistema idrogeologico del modello è stato suddiviso nelle seguenti superfici idrostratigrafiche:

P1 = Base Complesso Acquifero A0,

P1r = Attivazione del Complesso Acquifero A1 superiore,

P2 = Base del Complesso Acquifero A1 superiore,

P2r = Attivazione del Complesso Acquifero A1 inferiore,

P3 = Base del Complesso Acquifero A1 inferiore,

P4 = Base del Complesso Acquifero A2.

Per attivazione del complesso acquifero si intende la superficie legata alla ciclicità climatica, che identifica la base dei depositi grossolani (ghiaie e sabbie) nel settore di studio e che coincide con l'attivazione dei sistemi fluvio-deltizi. La ricostruzione dettagliata delle geometrie dei corpi grossolani, vedi ad esempio la figura 21, evidenzia quanto riportato precedentemente.

Le superfici idrostratigrafiche hanno permesso di individuare e delimitare le principali unità idrostratigrafiche del modello e di definirne i rapporti.

Per ogni unità idrostratigrafica presente nel modello è stato creato un "layer".

La creazione dei *layer* ha la funzione di discretizzare, all'interno del dominio fisico di sottosuolo del modello 3D, i depositi con caratteristiche geologiche e idrogeologiche simili.

La scelta dei *layer* è quindi stata fatta in base alle caratteristiche del sistema idrogeologico presente nel settore di studio.

I *layer* rappresentati nel modello saranno in tutto 6; in particolare il complesso acquifero A0 sarà rappresentato da un *layer* mentre il complesso acquifero A1 sarà suddiviso in 4 *layer* ed il complesso Acquifero A2 sarà rappresentato da un *layer*. Ad ogni *layer* del modello saranno attribuite le proprietà fisiche relative ai sedimenti presenti mediante metodi geostatistici.

4.4.7 La banca dati

Per ottenere tutti i dati richiesti dalla simulazione numerica verranno analizzati i dati relativi ai pozzi per acqua presenti nel settore di studio (figura 20) e verranno realizzate delle sezioni idrostratigrafiche di dettaglio (figure 20 e 21).

Come livello idraulico di riferimento per la taratura del modello numerico in regime stazionario verrà utilizzata la piezometria tratta dalla cartografia presente nel Piano Strutturale Comunale (PSC) di Parma raffigurante le isopieze nei mesi maggio/giugno dell'anno 2000 (figura 22). Le quote piezometriche variano da circa 65 m s.l.m. nel settore meridionale fino a circa 40 m s.l.m. nel settore settentrionale. Il gradiente idraulico nel settore meridionale è pari a circa 0,005 (alta pianura), mentre nel settore settentrionale diminuisce fino a circa 0,002 (media/bassa pianura).

4.4.8 Impianti di scambio termico presenti nell'area urbana di Parma

Negli ultimi anni sono stati autorizzati e installati nel territorio urbano diversi impianti di scambio termico. Ad oggi all'interno del settore di studio sono presenti 5 impianti di tipo *open loop* che raggiungono la potenza complessiva di circa 750 kWt ed hanno una profondità media dei pozzi di circa 30 - 35 metri. I complessi acquiferi utilizzati per l'approvvigionamento di questi impianti sono il complesso A0 (*layer* 1) ed il complesso A1 (*layer* 2 e *layer* 3). La portata complessiva richiesta per 750 kWt, prendendo come riferimento un delta di temperatura allo scambiatore della pompa di calore di 4°C, è di circa 45 litri/secondo.

Gli impianti presenti del tipo *closed loop* sono 6 e la profondità media delle sonde geotermiche è di circa 120-130 metri; la potenza complessiva installata è di circa 3500 kWt. Il numero complessivo di sonde richieste con una profondità di circa 120-130 metri per avere una potenza complessiva di circa 3500 kWt è di circa 600.

La tipologia di impianti presenti prevede sia l'utilizzo in riscaldamento che in raffrescamento. Per quanto riguarda le taglie di potenza medio-piccole che vanno da circa 10 kWt fino a circa 200 kWt, gli impianti servono sia singole abitazioni sia edifici condominiali; d'altro canto, le taglie di grande potenza (> 200 kWt) sono realizzate soprattutto ad uso commerciale (alberghi; centri commerciali, ecc...). Ad oggi non sono presenti impianti geotermici realizzati per edifici pubblici.

Come si nota in figura 23 alcuni impianti di tipo *closed loop* ricadono all'interno delle zone di tutela delle risorse idriche sotterranee individuate nel Piano di Tutela della Acque della Provincia di Parma. Questo

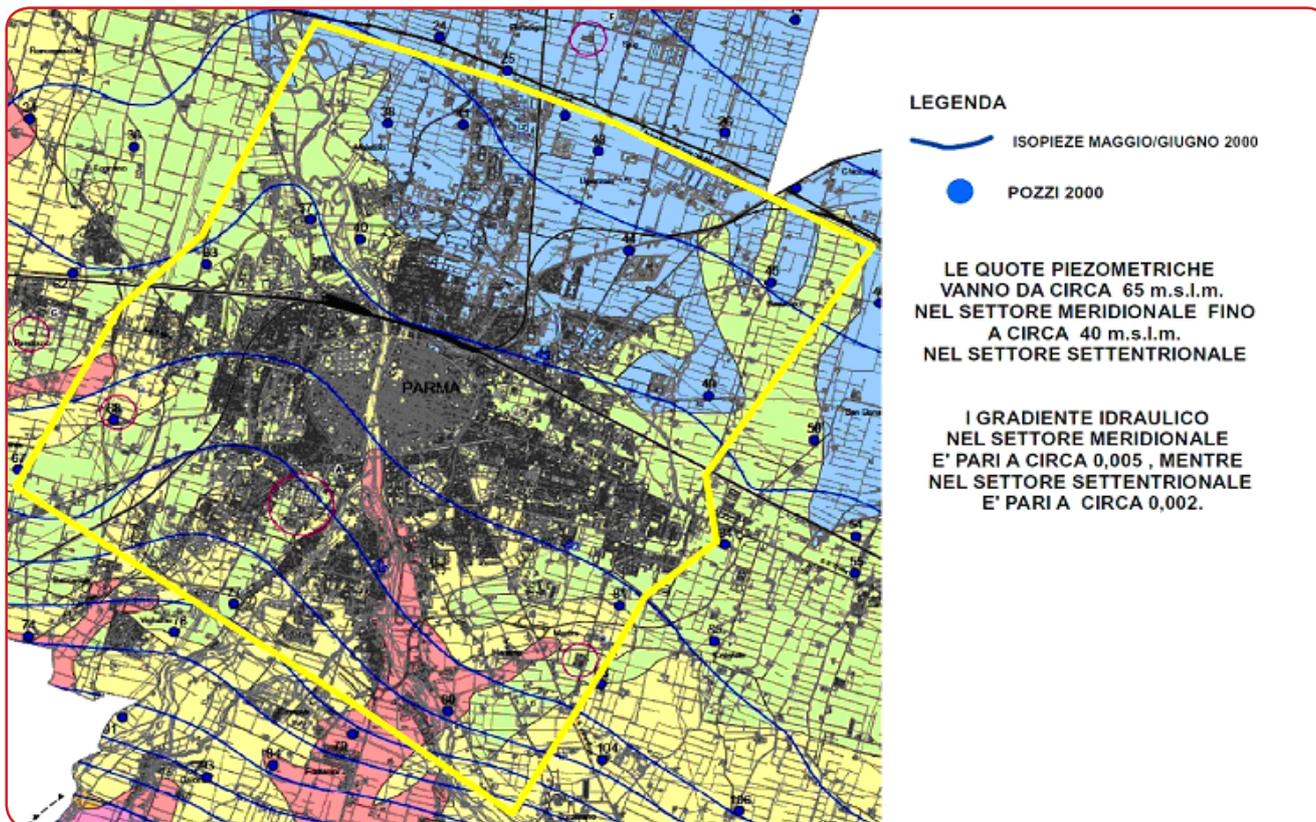


Figura 22: Stralcio della carta delle isopieze tratta dal PSC del comune di Parma nel settore di studio.

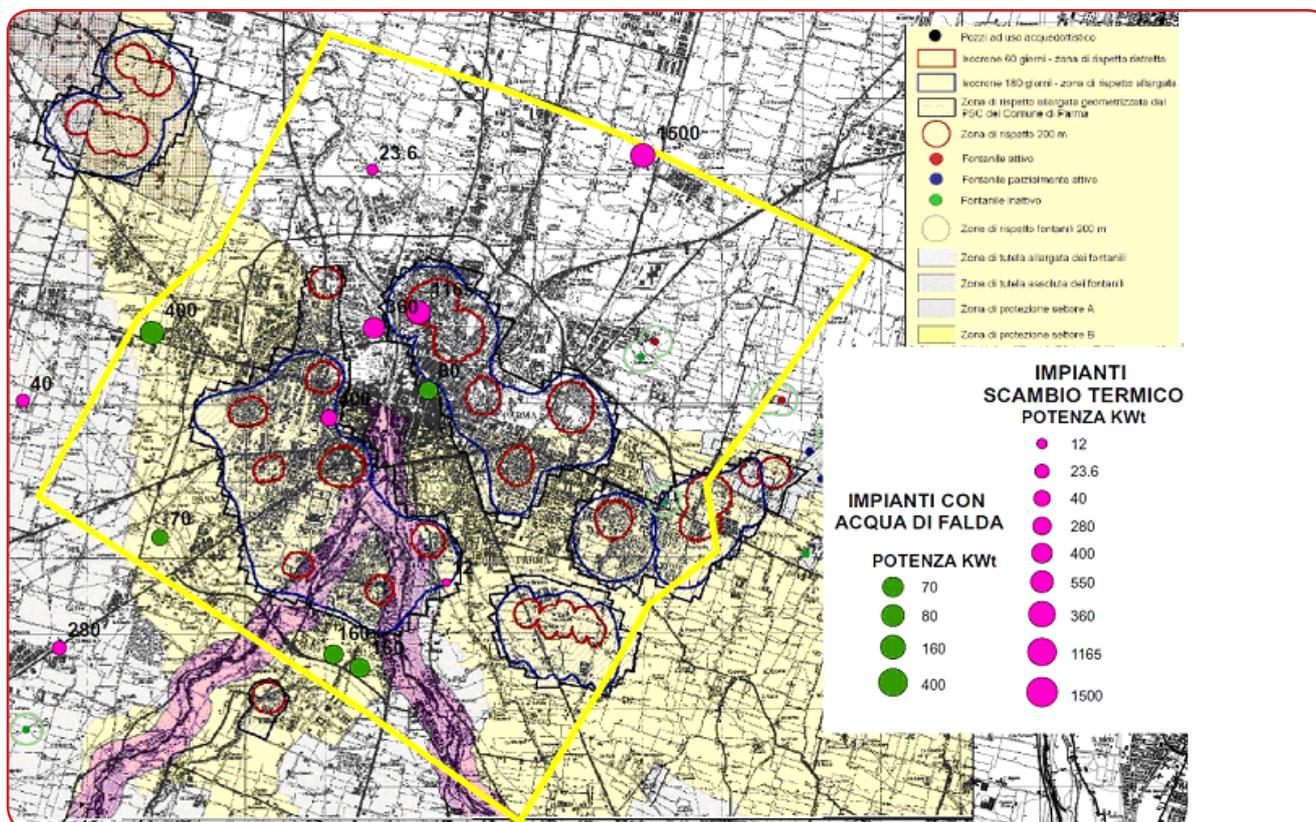


Figura 23: Impianti di scambio termico open e closed loop presenti nel settore di studio e stralcio della cartografia delle zone di tutela delle risorse idriche sotterranee tratta dalla tavola 15 del PTCP della Provincia di Parma.

succede in quanto ad oggi manca una regolamentazione specifica sull'uso della risorsa geotermica per la tipologia di impianti *closed loop* che non prevede il rilascio di una autorizzazione da parte dell'Amministrazione regionale, contrariamente a quanto previsto per gli impianti di tipo *open loop*.

4.4.9 Utilizzo di una cartografia della sostenibilità "geotermica"

In previsione di un incremento dell'utilizzo di acque sotterranee in aree ristrette questo studio permetterà una maggiore conoscenza sull'utilizzo di impianti con scambio termico con il sottosuolo di tipo quantitativo e soprattutto qualitativo.

Infatti un modello numerico alla scala locale dell'area urbana, come quello concepito in questo studio, che simula i cambiamenti nelle temperature di sottosuolo durante diversi scenari di utilizzo degli impianti di scambio termico in lunghi intervalli di tempo, permetterà di cartografare, monitorare e pianificare l'utilizzo degli acquiferi che meglio si prestano localmente allo scopo; questo specialmente in aree già sottoposte a sfruttamento ad uso potabile ed industriale, al fine di

gestire la risorsa ed evitarne i rischi di deterioramento.

Le mappe elaborate con l'ausilio delle simulazioni effettuate serviranno alla caratterizzazione dell'area urbana in base alla sostenibilità degli impianti di scambio termico con il sottosuolo, di tipo sia *open loop* che *closed loop*.

Gli elaborati cartografici costituiranno strumenti operativi per gli operatori del settore, sia pubblici che privati, sia per la progettazione degli impianti sia per le attività di controllo e gestione del territorio.

Per quanto riguarda i progettisti (ingegneri, geologi, termotecnici) le mappe serviranno ad ottimizzare l'installazione e il funzionamento dell'impianto di scambio termico in base alle condizioni idro- e termo-dinamiche presenti nel settore di intervento, anche al fine di evitare possibili corto-circuitazioni idrauliche e termiche.

Per quanto riguarda il settore pubblico, infine, le cartografie prodotte serviranno soprattutto per approfondire potenziali impatti ambientali nel sottosuolo che avrebbero gli impianti durante la fase di esercizio, sia nel breve che nel lungo termine, soprattutto per quanto riguarda gli aspetti qualitativi (*plume* termico).

5 La banca dati degli impianti geotermici (*open loop e closed loop*) in Emilia-Romagna

Alfia Pasquini, Tommaso Colonna

5.1 Sintesi ed analisi degli impianti esistenti in Emilia-Romagna

Per una valutazione più attenta dello sviluppo sostenibile della geotermia a bassa temperatura, la Regione Emilia-Romagna ha promosso un censimento degli impianti esistenti e l'archiviazione delle informazioni disponibili in una banca dati dedicata (BDSGRER). Quest'attività è orientata alla realizzazione di banche dati geotermiche al fine di coordinare la gestione di una cospicua mole di dati. Obiettivo finale è la realizzazione di un database che possa fornire in maniera semplice l'accesso e la consultazione a tutti i dati geotermici.

Elemento centrale della banca dati geografica è il progetto sorgente, inteso come uno strumento di sintesi delle indagini eseguite nell'ambito di differenti attività ed interventi sul territorio. Non essendo ancora definita una procedura autorizzativa degli impianti di geoscambio a circuito chiuso, il reperimento dei dati ha presentato difficoltà rilevanti; per questo motivo, la realizzazione ed implementazione della banca dati ha richiesto un notevole lavoro di ricerca. A tal fine sono state contattate tutte le Province, i Servizi Tecnici di Bacino, i Comuni e le aziende private che operano nel territorio emiliano.

In questo caso il progetto sorgente non può essere rappresentato da una documentazione standard, ma piuttosto da una serie di informazioni, in alcuni casi complete, in altri molto frammentarie, che hanno comunque permesso di localizzare buona parte degli impianti installati in Emilia-Romagna. A ciascuna documentazione riferibile ad un singolo impianto è stato associato un identificativo univoco "ID_REG".

Le ubicazioni degli impianti sono individuate con un identificativo e rappresentate da elementi geometrici puntuali, quindi relazionate con cardinalità "1..1" (uno a uno) ai parametri specifici di ciascun impianto. Ad ogni impianto corrisponde una richiesta relazionata con cardinalità "1..1". A ciascuna richiesta corrisponderanno più soggetti (istante, progettista e geologo) ed in questo caso, la richiesta ed i soggetti, sono relazionati con cardinalità "1..M" (uno a molti).

A ciascun impianto inoltre, è legata una fonte con cardinalità "M..N" (molti a molti), che rappresenta l'ente o l'azienda privata che ha fornito i documenti. Dove disponibile, è stata inserita la stratigrafia relazionata con impianti con una cardinalità "1..M" (uno a molti) ed i dati di monitoraggio "M..N" (molti a molti). Infine, ad ogni impianto corrisponderanno uno o più allegati in formato *pdf* relazionati con cardinalità "1..M" (uno a molti). Le relazioni sopra descritte fra le varie entità costituenti la banca dati sono riassunte nello schema Entità-Relazioni riportato in figura 24.

In figura 25 è riportata una visualizzazione della struttura della BDSGRER secondo il modello dati "personal geodatabase ESRI™", che prevede come proprio formato fisico l'*mdb* (Microsoft© Data Base) di Access.

5.2 Descrizione di BDSGRER

La cartella di lavoro è "Prodotto_5" contenente:

- "BDSGRER", all'interno della quale sono presenti i files relativi alla banca dati;
- "BDSGRER.doc", è il file contenente la descrizione della banca dati stessa.

All'interno di questa cartella "BDSGRER" sono presenti:

- "Allegati", contenente le scansioni di tutte le relazioni degli impianti installati in Emilia-Romagna;
- "Province", contenente i file *shp* (Shapefile) del limite regionale e dei limiti comunali della Regione stessa.
- "BDSGRER.mdb", è il file di access che rappresenta la banca dati dell'installazione degli impianti nella Regione Emilia-Romagna;
- "DB_SGRER.mxd", è il progetto di *ArcMap* con la rappresentazione spaziale degli impianti suddivisi per tipologia.
- Il file "BDSGRER.mdb" è costituito da:
- *feature dataset*, contenente la *feature class* geometrica "Impianti";
- 8 tabelle ("Richiesta"; "Soggetti"; "Fonte"; "Parametri"; "Monitoraggio"; "Sonda"; "Stratigrafie" e "Allegati").

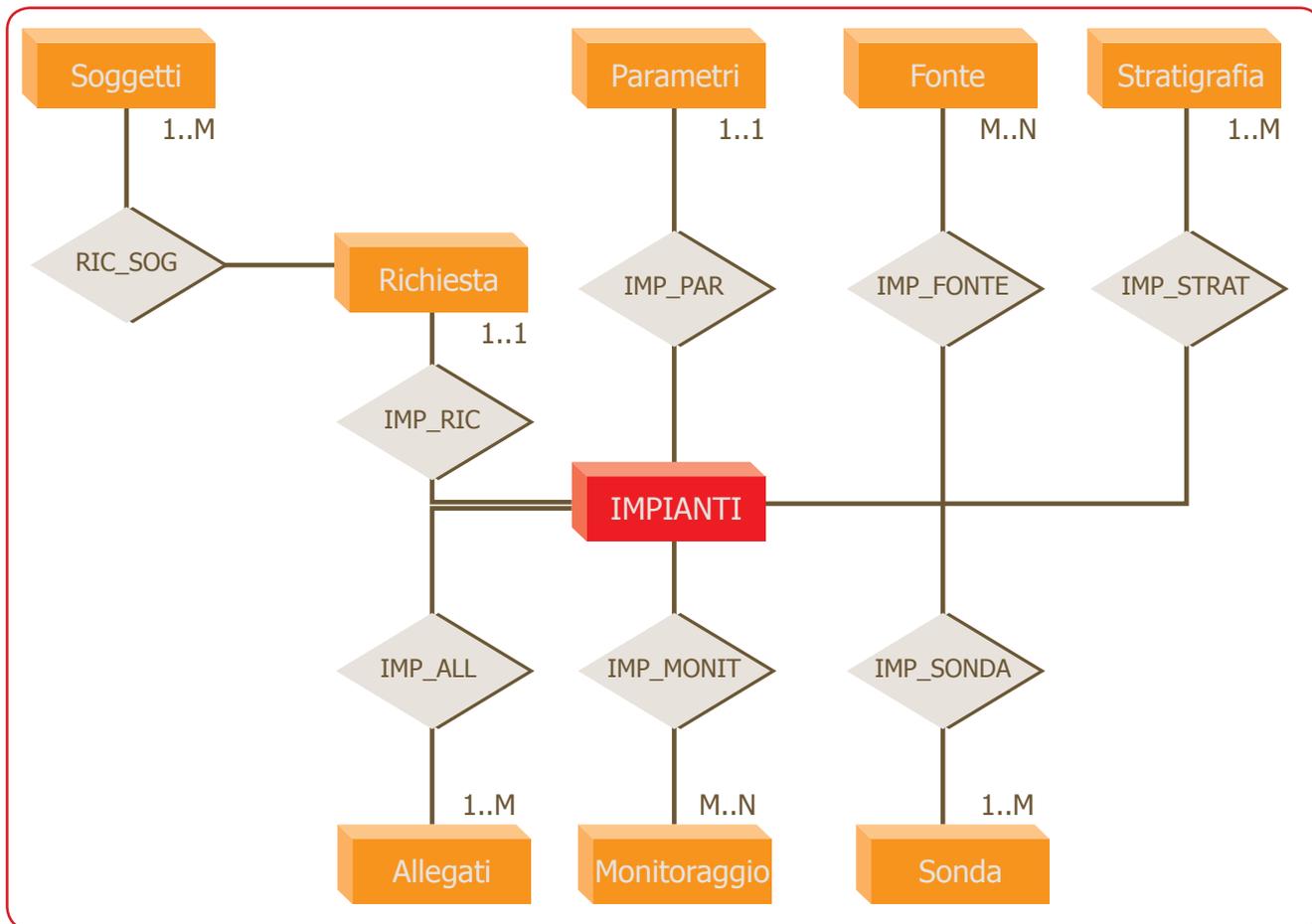


Figura 24: visualizzazione dello schema Entità-Relazioni semplificato della BDSGRER.

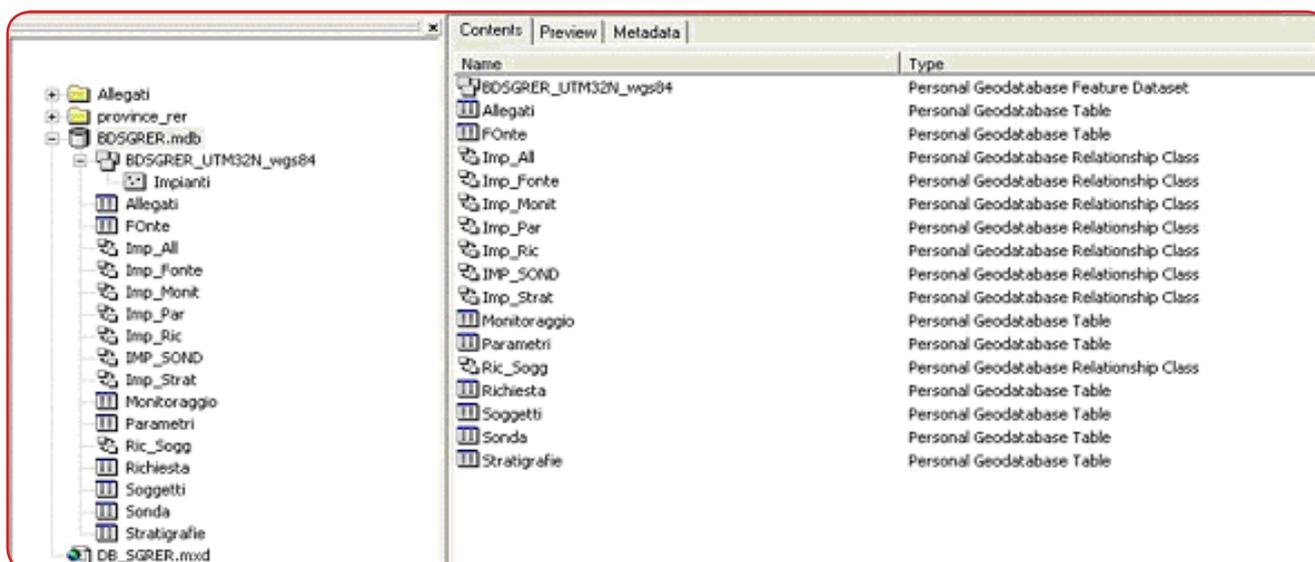


Figura 25: visualizzazione della struttura del geodatabase della BDSGRER.

In particolare, la *feature class* spaziale "Impianti" è costituita da una serie di colonne ognuna delle quali individua i seguenti attributi:

COLONNA/Attributo	DESCRIZIONE
Num_rel	Identificativo numerico della relazione di ciascun impianto
ID_REG	Identificativo univoco del progetto sorgente
ID_IMP	Identificativo numerico associato a ciascun impianto
Tipo_sonda	Tipologia di sonda che verrà installata
Latitudine	Coordinate geografiche
Longitudine	Coordinate geografiche
N	Coordinate piane (km)
E	Coordinate piane (km)
Fornitore	Casa produttrice di pompa di calore
Liq_term_pompa	Tipologia di liquido refrigerante della pompa di calore
Potenza_riscald	Potenza di riscaldamento (kW _e)
T_riscald_max	Temperatura (°C) massima di riscaldamento
T_riscald_min	Temperatura (°C) minima di riscaldamento
Pot_raffr	Potenza di raffreddamento (kW _e)
T_raffr_max	Temperatura (°C) massima di raffreddamento
T_raffr_min	Temperatura (°C) minima di raffreddamento
Resa_inverno	Rendimento dell'impianto di geoscambio in funzionamento invernale
Resa_estate	Rendimento dell'impianto di geoscambio in funzionamento estivo
Consumi_annuali	Fabbisogno idrico totale annuo (m ³ /anno)
COP	Coefficient of Performance
EER	Energy Efficiency Ratio

Questo *feature dataset* è poi relazionato alle 8 tabelle relative ("Richiesta"; "Soggetti"; "Fonte"; "Parametri"; "Monitoraggio"; "Sonda"; "Stratigrafie" e "Allegati") permettendo così in qualsiasi momento il collegamento fra le varie informazioni riferite ai singoli impianti.

5.3 Stato dell'arte degli impianti installati in Emilia-Romagna

Dal censimento e dall'immagazzinamento di tutte le informazioni recepite dai diversi enti risulta che i sistemi di geoscambio installati e censiti al momento del presente documento (giugno 2012) in Emilia-Romagna sono 105, di cui:

- 84 impianti *closed loop* a sonde verticali;
- 3 impianti *closed loop* a sonde orizzontali;
- 18 impianti *open loop*.

Bisogna sottolineare che gli impianti *open loop* sono stati realizzati solamente nelle province di Ferrara, Parma, Piacenza e Ravenna. Le province che hanno

il maggior numero di sistemi di geoscambio installati sul proprio territorio sono quelle di Bologna, Parma e Reggio-Emilia.

Come si può osservare in figura 26, nella provincia di Ferrara risulterebbe installato e correttamente registrato dall'ente pubblico provinciale solamente un sistema di geoscambio, di tipo *open loop*.

Nella realtà, il numero di impianti geotermici di tipo *closed loop* installati nella sola provincia di Ferrara è sicuramente superiore alla decina di unità. Trattandosi di circuiti chiusi, senza prelievo di acqua di falda, la loro installazione è passata inosservata agli occhi dell'ente pubblico locale, non essendo previste procedure condivise. Questo fatto evidenzia l'importanza della realizzazione della suddetta banca dati degli impianti geotermici e del contributo degli enti pubblici locali e regionali al reperimento di informazioni, al fine di scongiurare l'installazione di nuovi impianti senza necessari controlli e garanzie, nonché di ritrovare e censire gli impianti ad oggi ancora non ufficialmente noti.

Le potenze che vengono riportate nelle schede tecniche degli impianti si riferiscono alle potenze di riscaldamento e raffrescamento. In funzione ai valori di questi dati, nella figura 27 gli impianti sono stati suddivisi in tre categorie:

- impianti con potenze inferiori a 20 kW_t;
- impianti con potenze comprese tra 20 e 40 kW_t;
- impianti con potenze superiori a 40 kW_t.

Dal grafico soprastante si osserva che la maggior parte degli impianti noti installati risulta avere potenze di

riscaldamento e raffrescamento inferiori a 20 kW_t. Gli impianti che invece rientrano nel range di potenza che va da 20 a 40 kW_t per riscaldamento e raffrescamento sono complessivamente 5 e 2.

Gli impianti con potenze superiori a 50 kW_t sono invece quantificabili in 14 per potenze di riscaldamento ed in 7 per il raffrescamento.

Analizzando nel dettaglio le potenze degli impianti riportate nelle schede tecniche, emerge che le potenze di riscaldamento variano da 5.4 a 2200 kW_t, mentre quelle di raffrescamento da 2.6 a 1600 kW_t.

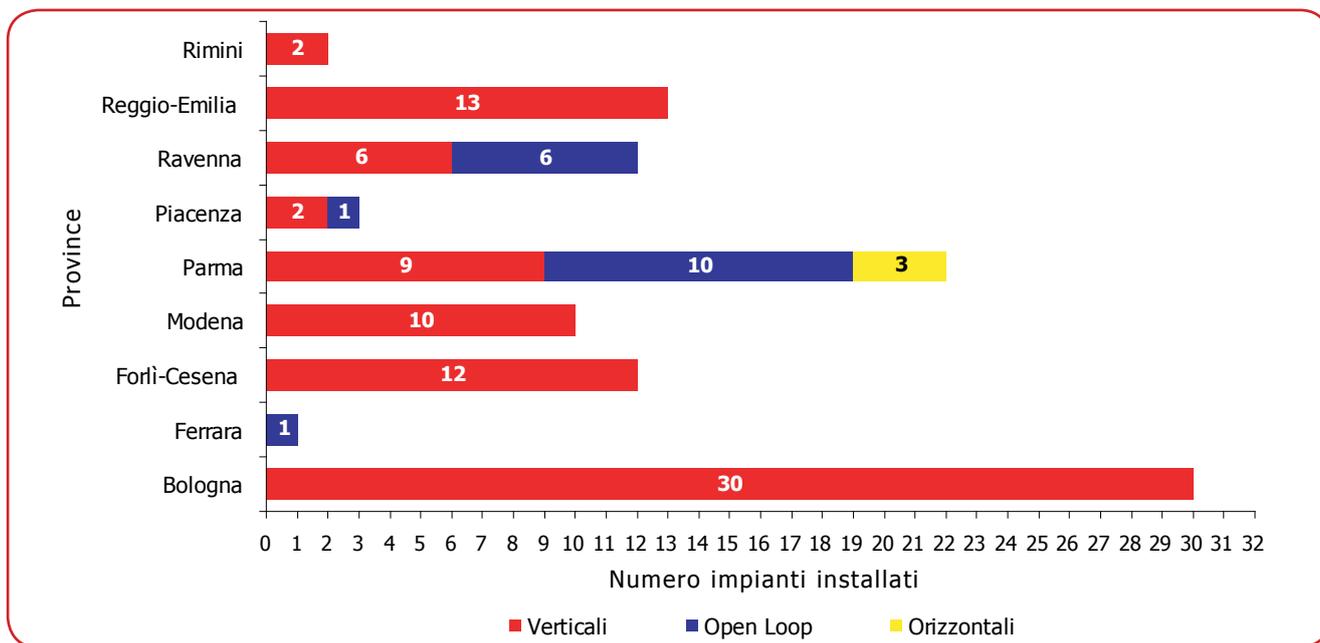


Figura 26: tipologia degli impianti installati in regione Emilia-Romagna.

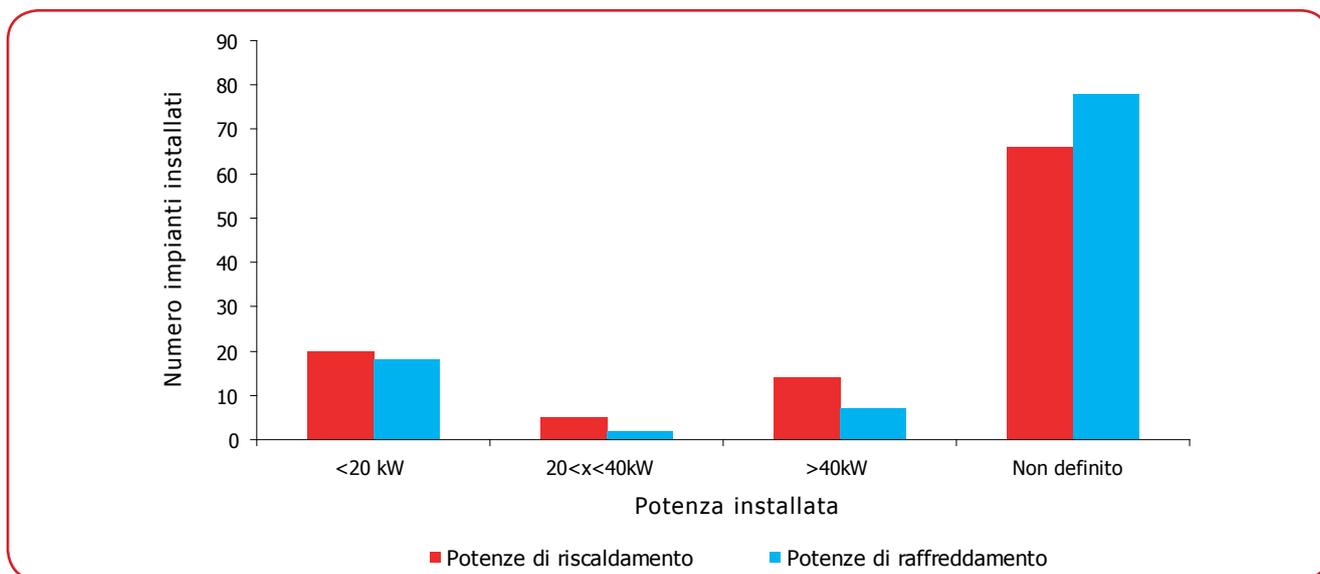


Figura 27: suddivisione degli impianti in funzione della potenzialità installata [kW_t].

Nella figura 28 sono riportati i valori di potenza di riscaldamento e di raffreddamento degli impianti a circuito chiuso a sonde verticali. In questo grafico non sono stati riportati i 47 impianti a sonde verticali dei quali non si conosce né la potenza di riscaldamento né quella di raffreddamento.

Dei 18 impianti *open loop* invece, le potenze di riscaldamento e di raffreddamento non sono note, fatta

eccezione per l'impianto classificato con il numero 11 per il quale sono note entrambe, e per gli impianti numero 19 e 43 per i quali è nota solamente la potenza di riscaldamento (figura 29).

Sia per gli impianti *closed loop* che per quelli *open loop* nella maggior parte dei casi non è specificato il liquido refrigerante che viene utilizzato nella pompa di calore (figura 30).

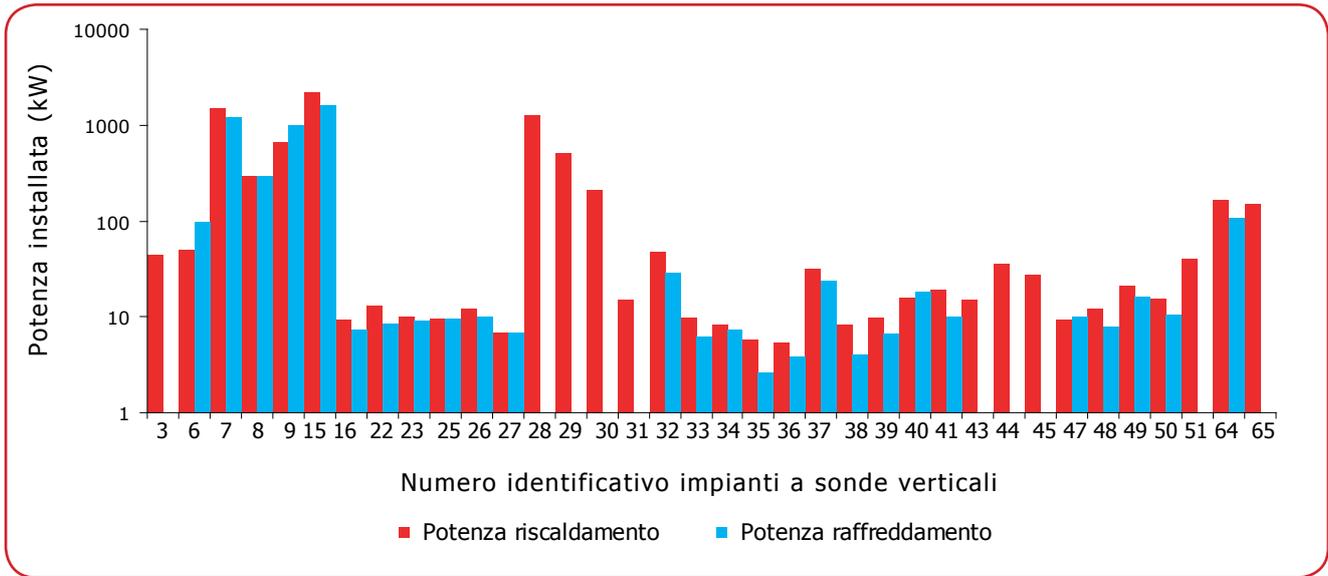


Figura 28: potenze di riscaldamento e raffreddamento [kWt] relative ad impianti a sonde geotermiche verticali della regione Emilia-Romagna.

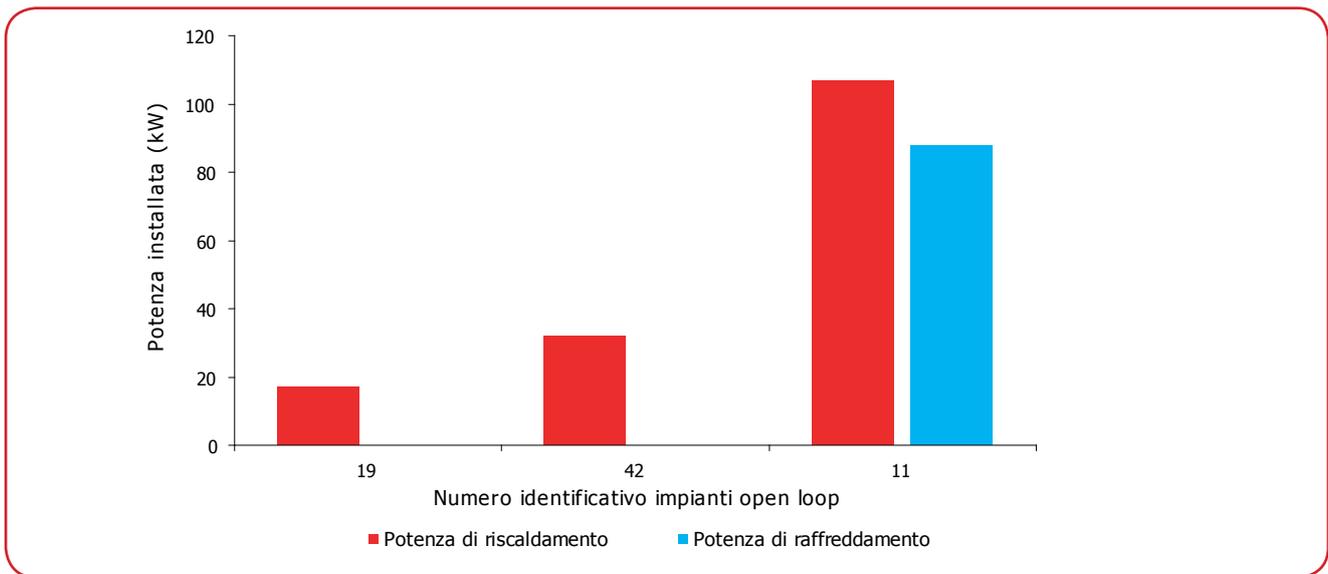


Figura 29: potenze di riscaldamento e raffreddamento [kWt] relative ad impianti open loop della regione Emilia-Romagna.

In figura 31 si riportano le diverse tipologie di fluido termovettore che circola all'interno delle sonde geotermiche.

L'installazione di un sistema di geoscambio risulta essere più frequente negli edifici di nuova costruzione (39 impianti) che negli edifici in ristrutturazione (19 impianti) (figura 32).

Analizzando singolarmente le tipologie di impianti si

può notare come i sistemi di geoscambio *open loop* vengano installati in modo analogo sia in edifici in ristrutturazione che in quelli di nuova costruzione. Per i sistemi chiusi a sonde geotermiche verticali invece, 32 sono stati installati in edifici di nuova costruzione e 14 in edifici in ristrutturazione (figura 33). Per i sistemi a sonde geotermiche orizzontali invece, solo in un caso viene specificato il tipo di edifici, in nuova costruzione.

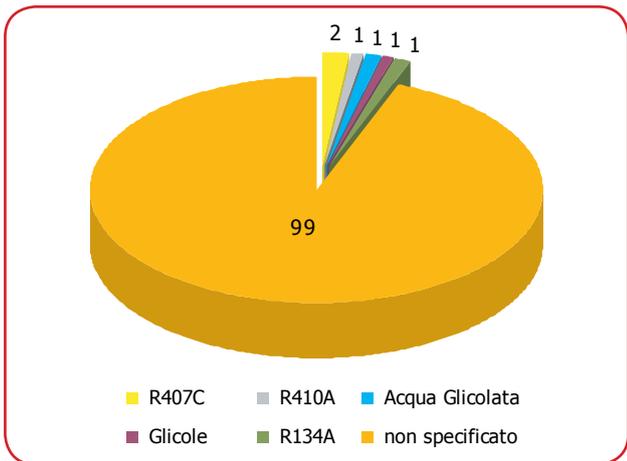


Figura 30: tipologia di fluido termico utilizzato nella pompa di calore in relazione al numero di impianti installati.

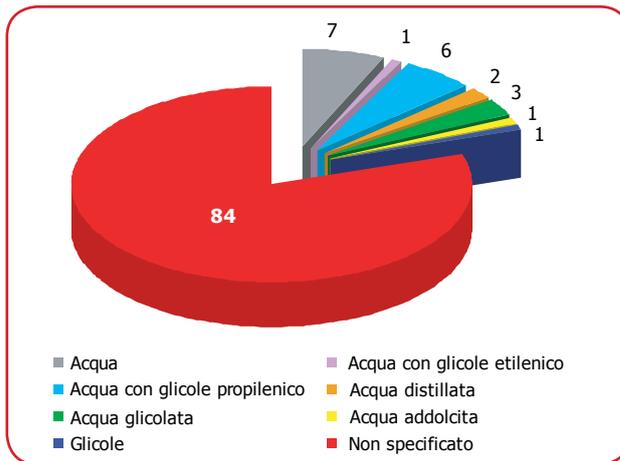


Figura 31: tipologia di fluido termico nelle sonde in relazione al numero di impianti installati.

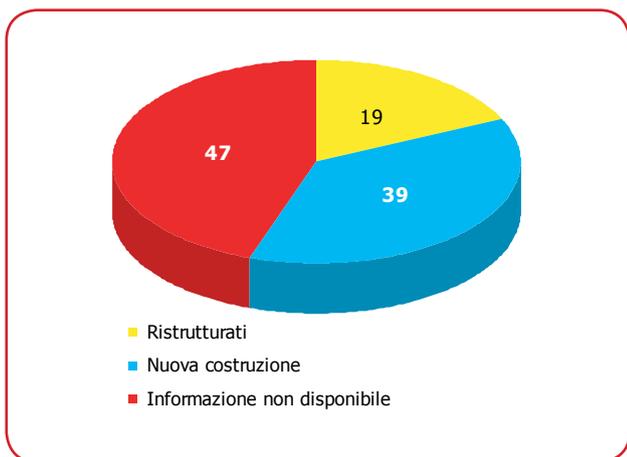


Figura 32: numero di sistemi di geoscambio installati per le diverse tipologie di edifici.

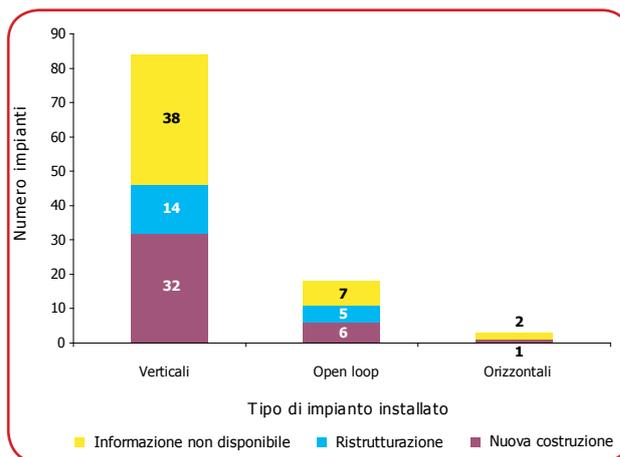


Figura 33: tipologia di sistema di geoscambio in relazione al tipo di costruzione.

6 Stato della normativa nazionale e regionale

Fabio Carlo Molinari, Francesco Tinti

In questo capitolo sono sintetizzati i principali aspetti normativi che regolano l'uso delle acque sotterranee e del sottosuolo per gli impianti di scambio di calore.

6.1 Normativa Nazionale

Il 10/02/10 il Consiglio dei Ministri ha approvato il D.lgs. n. 22 che modifica il quadro normativo sulle risorse geotermiche ad alta, media e bassa temperatura. Il Decreto, previsto dal comma 28 dell' art.27 della Legge 99/2009, abroga in toto la preesistente Legge 896/1986 sulla "Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche". Nel Decreto vengono classificate le tre tipologie di geotermia, a seconda della temperatura dei fluidi:

- Risorse geotermiche ad alta entalpia, "caratterizzate da una temperatura del fluido reperito superiore a 150 °C";
- Risorse geotermiche a media entalpia, "caratterizzate da una temperatura del fluido reperito compresa tra 90 °C e 150 °C";
- Risorse geotermiche a bassa entalpia, "caratterizzate da una temperatura del fluido reperito inferiore a 90 °C".

A seconda della temperatura del fluido e della taglia dell'impianto, viene stabilito che le risorse geotermiche possono essere di interesse nazionale, locale e di piccola utilizzazione locale. In particolare si specifica che:

- sono "d'interesse nazionale" le risorse geotermiche ad alta entalpia che possono "assicurare una potenza erogabile complessiva di almeno 20 MW termici", nonché tutte quelle "rinvenute in aree marine";
- sono "d'interesse locale" le risorse geotermiche a media e bassa entalpia "di potenza inferiore a 20 MW termici" ;
- sono "piccole utilizzazioni locali" quelle che consentono la realizzazione di impianti di potenza inferiore a 2 MW termici, ottenibili dal fluido geotermico alla temperatura convenzionale dei reflui di 15°C, ovvero ottenute me-

diante l'esecuzione di pozzi di profondità fino a 400 metri per ricerca, estrazione ed utilizzazione di fluidi geotermici o acque calde (...), anche per eventuale produzione di energia elettrica con impianti a ciclo binario ad emissione nulla".

- "Sono altresì piccole utilizzazioni locali di calore geotermico quelle effettuate tramite l'installazione di sonde geotermiche che scambiano calore con il sottosuolo senza effettuare il prelievo e la reimmissione nel sottosuolo di acque calde o fluidi geotermici."

L'Art. 10 del Decreto n.22 specifica anche che:

- le autorità competenti per le funzioni amministrative, comprese le funzioni di vigilanza, riguardanti le piccole utilizzazioni locali di calore geotermico sono le Regioni o enti da esse delegate;
- le piccole utilizzazioni locali con la realizzazione di pozzi (impianti *open loop*), sono concesse dalla Regione territorialmente competente con le modalità previste dal testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici, di cui al Regio Decreto 11 dicembre 1933, n. 1775;
- le piccole utilizzazioni locali con la realizzazione di sonde (impianti *closed loop*) sono sottoposte al rispetto della specifica disciplina emanata dalla regione competente, con previsione di adozione di procedure semplificate.

La normativa nazionale recante la disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche è indirizzata quindi alla ricerca e alla coltivazione delle risorse geotermiche definite come l'energia termica derivante dal calore terrestre estraibile mediante fluidi geotermici, vale a dire i fluidi derivanti da processi naturali di accumulo e riscaldamento che vengono estratti dal sottosuolo sotto forma di vapore, acqua calda, salamoia e gas caldi.

E' chiaro, quindi, che la normativa nazionale in materia di risorse geotermiche non si applica allo sfruttamento di serbatoi geotermici a bassissima entalpia con pompe di calore.

Per quanto riguarda le procedure autorizzative per la posa delle sonde geotermiche, la competenza per la realizzazione di linee guida è nazionale, in quanto il D.Lgs 28/2011, art. 7, dispone che il Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e con il Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, predisponga "(.) le prescrizioni per la posa in opera degli impianti di produzione di calore da risorsa geotermica, ovvero sonde geotermiche, destinate al riscaldamento e alla climatizzazione di edifici, e siano individuati i casi in cui si applica la procedura abilitativa semplificata di cui all'articolo 6.

Al momento del presente documento, le Regioni e gli operatori del settore sono ancora in attesa di tali prescrizioni nazionali.

6.2 Normativa Regionale

La Legge Regionale 26/2004 disciplina gli atti di programmazione e gli interventi operativi della Regione e degli enti locali in materia di energia, con particolare riguardo alle fonti rinnovabili quali l'energia solare, eolica, geotermica, ecc. ... Essa definisce anche gli strumenti di pianificazione locale che riguardano le attività di realizzazione e utilizzo di impianti, sistemi e componenti a basso consumo di energia e ridotto impatto ambientale, che utilizzino fonti rinnovabili o assimilate.

Tuttavia la disciplina di politica energetica regionale non fornisce gli strumenti e le procedure amministrative necessari per emanare un atto di autorizzazione.

In assenza di indicazioni specifiche a livello nazionale la Regione Emilia-Romagna ha ritenuto di regolamentare l'uso delle acque sotterranee e del sottosuolo per impianti di climatizzazione e scambio di calore sulla base del Regolamento Regionale n. 41 del 2001, redatto in ottemperanza agli indirizzi nazionali e regionali in materia di tutela delle risorse idriche sotterranee. In particolare ai fini di chiarire il quadro normativo vigente è opportuno considerare separatamente le 2 tipologie di utilizzo dei serbatoi geotermici a bassa entalpia:

- sistema con prelievo d'acqua: tipo *open loop*;
- sistema senza prelievo d'acqua: tipo *closed loop*

6.2.1 Sistema open loop

Per quanto riguarda l'acqua di falda estratta mediante pozzi, utilizzata direttamente come sorgente termodinamica oppure inviata alla pompa di calore in superficie, il prelievo:

- è disciplinato dal Regolamento Regionale 41/2001 alla stessa stregua di tutti gli altri utilizzi extradomestici di acque pubbliche;
- è da rilasciarsi in concessione;
- la LR 3/99 art 152 non ha previsto per questo uso l'applicazione di un canone specifico, per cui a seconda dei casi esso è stato ricondotto all'uso industriale (art. 1 lett. c) o igienico ed assimilati (art. 1 lett. f).

Per quanto riguarda la reimmissione dell'acqua esausta nello stesso acquifero attraverso un secondo sistema di pozzi (a garanzia della tutela del bilancio idrico) oppure scaricata in superficie si può attivare una conferenza dei servizi con la Provincia (le autorizzazioni allo scarico diretto nel sottosuolo, ai sensi Dlgs. 152/06 art. 104, sono state delegate dalla Regione alle Province).

6.2.2 Sistema closed loop

Il sistema *closed loop* è un sistema di tubazioni ad anello chiuso cementato nel terreno (sonda geotermica); il fluido vettore termico circola nella sonda scambiando calore col terreno e con la pompa di calore; non vi è estrazione d'acqua di falda. In questo caso manca una regolamentazione specifica sull'uso del serbatoio geotermico, per cui la Regione sta sperimentando differenti approcci, tra i quali distinguiamo:

- il sistema a sonde geotermiche si ritiene disciplinato dall'art. 17 del RR 41/2001 a tutela qualitativa degli acquiferi. Non è necessaria una concessione, ma il Servizio Tecnico di Bacino competente territorialmente rilascia un'autorizzazione contenente specifiche prescrizioni a tutela della risorsa idrica;
- il sistema a sonde geotermiche si ritiene ricompreso nelle opere in sottosuolo, disciplinate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008, il cui progetto deve

essere corredato di studio geologico. La valutazione del progetto e delle relazioni a corredo, comprensive delle necessarie prescrizioni anche a tutela della risorsa idrica, è di competenza comunale. Il Comune, ove necessario, può richiedere una Valutazione Ambientale Strategica ovvero un parere o nulla osta al Servizio Tecnico di Bacino regionale. Non è necessaria una concessione.

6.2.3 Sintesi conclusiva

Nel caso di sistemi tipo *open loop* la norma di riferimento è quindi il RR 41/2001 e le competenze sono dei Servizi Tecnici di Bacino (STB) della Regione Emilia-Romagna. I prelievi d'acqua pubblica per alimentazione di impianti di climatizzazione tipo *open loop* sono quindi assoggettati alla disciplina di concessione (art. 6 del regolamento 41/2001) e istruiti in sede di Conferenza di Servizi con la Provincia, nel caso di reimmissione dell'acqua in falda.

Nel caso di sistemi tipo *closed loop* le norme di riferimento applicabili sono costituite dall'art. 17 del RR 41/2001 e dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14 gennaio 2008 che mettono la competenza amministrativa del progetto rispettivamente in capo all'STB competente e al Comune. Le sonde geotermiche non necessitano quindi di concessione, ma vengono autorizzate (dalla Regione, dal Comune o

da entrambi) con specifiche prescrizioni a tutela della risorsa idrica.

6.3 Forme di incentivazione (*open loop* e *closed loop*)

6.3.1 Incentivi esistenti

Al momento della stesura del presente documento, i sistemi geotermici a bassa temperatura, come impianti riconosciuti ad elevato utilizzo di fonte energetica rinnovabile e risparmio in termini di emissioni climalteranti, vengono incentivati dallo stato italiano nei tre seguenti modi:

- *detrazione fiscale del 55% spalmata in 10 anni per interventi di riqualificazione energetica. D.M. 19 febbraio 2007 (Legge Finanziaria 2008). Prorogato al 2012 con Decreto Legge 6/12/11 n° 201 (Manovra Salva Italia);*
- *tariffa agevolata per pompe di calore elettriche. Delibera 348.07 dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas. Allegato B, e successiva modifica contenuta in Delibera 19 aprile 2010;*
- *fondo Rotativo per il finanziamento delle misure finalizzate all'attuazione del Protocollo di Kyoto. Circolare attuativa 16 febbraio 2012, ex articolo 2, comma 1, lettera s), del Decreto del 25 novembre 2008.*

7 Indicazioni per studi idrogeologici e per una corretta progettazione di impianti di scambio geotermico associati a pompe di calore

Gabriele Cesari, Luca Martelli, Fabio Carlo Molinari, Enzo Zanchini

Come indicato nei precedenti capitoli, per una corretta progettazione è fondamentale la conoscenza delle condizioni stratigrafiche e idrogeologiche locali. Pertanto è di estrema importanza la completezza delle informazioni e la restituzione dei dati, dei risultati delle analisi e degli elaborati.

Di seguito sono riportate indicazioni sulla documentazione minima a supporto della dichiarazione di inizio attività o di autorizzazione per la realizzazione di sonde geotermiche associate a pompe di calore:

- dati e riferimenti del committente, del progettista, dell'autore dello studio idrogeologico, della ditta esecutrice la perforazione, della ditta installatrice, del direttore dei lavori, del responsabile di cantiere, del collaudatore, ...;
- planimetria, a scala adeguata (almeno 1:2000 e/o Foglio mappale), con ubicazione dell'impianto e delle sonde;
- stato di fatto, in relazione all'eventuale presenza di altri impianti e a possibili interferenze, distanza dai limiti di proprietà;
- strumenti urbanistici di riferimento ed eventuale segnalazione di interferenze con aree soggette a vincoli o di rispetto;
- studio idrogeologico;
- progetto esecutivo del geoscambiatore, comprendente la tabella mensile dei carichi termici scambiati con il sottosuolo.

7.1 Indicazioni per la relazione idrogeologica

Contenuto minimo della relazione idrogeologica a supporto della progettazione di sonde geotermiche associate a pompe di calore:

- dati e riferimenti per la reperibilità dell'autore;
- planimetria, a scala adeguata, con esatta ubicazione delle sonde;
- inquadramento geologico dell'area, con particolare riferimento alle caratteristiche idrogeologiche; l'analisi deve essere estesa fino a comprendere tutta l'area di evoluzione o di

risentimento di eventuali fenomeni di pericolosità idrogeologica in atto o potenziali che potrebbero interessare il sito;

- indagini utilizzate (precedenti e di nuova realizzazione): localizzazione, descrizione delle procedure di esecuzione, dei dati e dei risultati;
- eventuale presenza di elementi di pericolosità geologica e/o idrogeologica;
- definizione del modello geologico del sottosuolo: ricostruzione delle caratteristiche litostratigrafiche (litologia, geometria, spessore e posizione dei principali litotipi) e qualsiasi altro elemento utile a definire correttamente il modello;
- definizione dell'assetto idrogeologico: disponibilità di acqua/umidità dei terreni, identificazione degli acquiferi (granulometria, composizione), circuito (con particolare riferimento al gradiente piezometrico), aree di alimentazione, aree di tutela (pozzi, sorgenti, captazioni, concessioni minerarie, ecc.); presenza di falde sovrapposte in pressione con l'indicazione di quella o quelle effettivamente interessate dall'intervento e delle misure prese per evitare interferenze tra le varie falde;
- descrizione delle caratteristiche termiche del sottosuolo (dati di temperatura, gradiente geotermico, eventuali anomalie geotermiche, conducibilità termica, ecc.);
- descrizione della tipologia, numero e lunghezza delle sonde, distanza interasse, ...;
- descrizione delle tecniche e dei materiali di perforazione, installazione e cementazione/riempimento da adottare al fine di garantire la qualità dell'impianto e la tutela degli acquiferi.

Per impianti di potenza superiore a 50 kWt occorre inoltre:

- effettuare uno studio sull'impatto ambientale derivato dal rapporto tra le caratteristiche idrogeologiche e la tipologia/dimensionamento dell'impianto, comprendente anche valutazioni delle modifiche termiche al sottosuolo;

- un'analisi preventiva degli effetti dell'impianto sul corpo idrico interessato dallo scambio termico per verificare le eventuali modifiche delle caratteristiche chimico-fisiche (es. temperatura, pH, contenuto microbiologico, ecc.) e idrauliche (per impianti *open loop*), con scenari di simulazione a 5, 10, 20 e 40 anni;
- un programma di monitoraggio che preveda almeno un sondaggio di prova con test di risposta termica del terreno;

Ai fini dell'implementazione della banca dati degli impianti geotermici in Emilia-Romagna (vedi capitolo 5) i risultati e gli elaborati devono essere forniti su supporto cartaceo e su supporto digitale.

7.2 Dichiarazione di fattibilità delle perforazioni geotermiche

La definizione del modello geologico ed idrogeologico risulta fondamentale anche ai fini dell'individuazione dei rischi e delle criticità legate alle perforazioni. In quasi tutti gli impianti geotermici infatti la realizzazione degli scambiatori con il suolo prevede l'esecuzione di perforazioni speciali nel sottosuolo a profondità significative (minimo 80-100 m nel caso di circuito chiuso).

Pertanto, è necessario che in fase di progettazione e richiesta di permesso dell'impianto vengano evidenziati tutti i fattori di rischio che sono perlopiù legati appunto alla realizzazione di opere nel sottosuolo (intercettazione di falde sovrapposte, attraversamento di formazioni geologiche particolari, ad esempio rocce carsiche o anidriti, presenza di falde in pressione, vicinanza di altre opere nel sottosuolo, quali pozzi, condotte interrato, infrastrutture viarie, cunicoli, dreni, ecc. ..., presenza di sacche di gas o livelli metaniferi, ...).

Solo la corretta ricostruzione di un modello geologico di dettaglio e con grado di approfondimento adeguato all'opera da eseguire consente di evidenziare i rischi geoambientali connessi alle perforazioni e di definire le necessarie precauzioni da rispettare in fase esecutiva.

Risulta quindi indispensabile che tale ricostruzione geologica in fase progettuale contenga un giudizio di fattibilità delle perforazioni geotermiche, le prescrizioni operative finalizzate alla riduzione del rischio ambientale e alla maggior tutela del sottosuolo.

7.3 Indicazioni per la progettazione

La corretta progettazione di un sistema geotermico a bassa temperatura deve tenere in conto dell'integrazione delle diverse parti del sistema. In particolare il progettista incaricato deve effettuare:

- l'analisi dello stato di fatto e la diagnosi energetica dell'edificio (in caso di ristrutturazione);
- la progettazione termotecnica del sistema di distribuzione interno all'edificio e della pompa di calore, sulla base del fabbisogno termico, annuale e mensile, calcolato;
- la progettazione termica ed idraulica del sistema di geoscambio, tenendo debitamente in conto dei risultati della relazione idrogeologica e dei test di risposta termica, se effettuati;
- il calcolo dell'efficienza media stagionale (SPF) del sistema, garantita al committente, e la previsione della variazione di performance sul breve, medio e lungo periodo;
- la progettazione del sistema di monitoraggio dei flussi, delle temperature e dei consumi elettrici per la verifica annuale dell'efficienza stagionale.

A seconda della taglia e della complessità del progetto, ci si può avvalere nell'ordine, di:

monogrammi e tabelle;

- soluzioni analitiche per il comportamento dell'edificio e del campo sonde in stato stazionario;
- soluzioni numeriche per il comportamento dinamico dell'edificio e del campo sonde.

Al momento del presente documento non esistono ancora norme tecniche univoche a livello nazionale e internazionale per la progettazione dei sistemi geotermici, ad eccezione di alcuni richiami all'interno della Norma UNI EN 15450 "Progettazione degli impianti di riscaldamento a pompa di calore", nonché di una parte dedicata nella Norma UNI TS 11300 Parte 4 "Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria".

Nel panorama italiano, è attualmente in inchiesta pubblica una norma specifica per la progettazione dei sistemi geotermici, promossa dal Comitato Termotecnico Italiano.

7.4 Verifiche e collaudi

Le verifiche ed i test finali sono fondamentali per garantire che gli impianti geotermici raggiungano elevati standard qualitativi in termini di efficienza e funzionalità, durabilità nel tempo e tutela ambientale.

Su ogni singola sonda verticale è indispensabile che vengano eseguite le verifiche di tenuta (test di pressione) e di flussaggio (verifica delle perdite di carico). Inoltre, in fase di esecuzione la direzione dei lavori è tenuta a verificare la corretta cementazione delle sonde in termini qualitativi e quantitativi, mentre deve essere svolta assistenza geologica alle perforazioni finalizzata sia alle verifiche delle adeguate tecnologie di perforazione atte a garantire un'adeguata tutela del sottosuolo, sia alla compilazione del rapporto stratigrafico di ogni singola sonda.

Al termine dell'esecuzione dell'intero campo sonde (comprensivo di collegamenti e collettore) l'intera sezione geotermica va sottoposta alla prova di tenuta.

Il certificato finale di collaudo, redatto da professionista abilitato, deve essere trasmesso agli Enti competenti e deve contenere l'assunzione di responsabilità da parte del professionista incaricato che quanto eseguito risulta conforme al progetto e alle normative vigenti e che sono state rispettate le prescrizioni impartite in fase di progetto ai fini della tutela ambientale del sottosuolo interessato dalle perforazioni.

7.5 Sostenibilità a lungo termine dei sistemi a pompa di calore accoppiata al terreno in Emilia-Romagna: prime considerazioni

Uno dei problemi principali da considerare per una corretta progettazione di campi di scambiatori di calore verticali a circuito chiuso per pompe di calore accoppiate al terreno, comunemente detti sonde geotermiche, è quello della sostenibilità a lungo termine del campo di scambiatori. Il problema si pone quando l'energia sottratta al terreno durante il funzionamento invernale, in valore assoluto, è maggiore dell'energia versata al terreno per eseguire il condizionamento estivo, o viceversa.

Nel clima dell'Emilia-Romagna, per gli edifici residenziali il carico termico complessivo invernale risulta (in valore assoluto) maggiore di quello estivo. Talvolta, il

raffrescamento estivo non viene eseguito affatto, con ulteriore sbilanciamento dei carichi stagionali. Viceversa, nel settore commerciale e industriale, capita sovente che il carico termico estivo sia maggiore di quello invernale.

Negli ultimi anni, le ricerche sui campi di sonde geotermiche si sono focalizzate principalmente sul tema della sostenibilità a lungo termine di campi di scambiatori con carichi termici non bilanciati.

Un primo importante risultato ottenuto è il seguente. Per una sola sonda geotermica il problema della sostenibilità a lungo termine non esiste, anche se i carichi termici stagionali sono completamente non bilanciati e non c'è movimento dell'acqua di falda. Questa circostanza è stata verificata sia con simulazioni numeriche, sia con rilievi sperimentali della temperatura del terreno intorno ad una sonda coassiale, presso Zurigo, che opera in solo funzionamento invernale (Rybach & Eugster, 2010). Viceversa, nel caso di grandi campi di sonde geotermiche, specialmente se il campo ha una forma compatta (campo quadrato), in assenza di movimento dell'acqua di falda il problema della sostenibilità nel lungo termine può risultare critico. Un lavoro sviluppato mediante simulazioni numeriche agli elementi finiti per un periodo di 50 anni (Lazzari et al, 2010), ha mostrato che, se non c'è movimento dell'acqua di falda, vasti campi di sonde disposte in linea singola, doppia linea o campo quadrato, con carico termico dominante invernale, possono determinare un progressivo raffreddamento del terreno circostante, fino a richiedere, dopo alcuni decenni, lo spegnimento dell'impianto. La situazione diviene progressivamente più grave se si passa da una linea singola ad una doppia, o ad un campo quadrato.

Negli ultimi anni, alcuni studiosi hanno iniziato a valutare gli effetti del movimento dell'acqua di falda sulla sostenibilità a lungo termine di campi di sonde geotermiche con carichi stagionali non bilanciati. In particolare, in un lavoro molto recente Zanchini, Lazzari e Priarone (2012) hanno mostrato che anche un movimento dell'acqua di falda con velocità molto bassa può essere sufficiente per assicurare la sostenibilità nel lungo periodo di vasti campi di sonde geotermiche. Il lavoro è sviluppato in forma adimensionale e si compone di due parti. Nella prima parte viene studiato l'effetto di lungo termine di un carico

termico regolare con compensazione nulla o parziale dei carichi termici stagionali; nella seconda parte, qui non considerata, viene studiato l'effetto dei carichi orari di picco. Nella prima parte del lavoro, gli autori studiano l'evoluzione nel tempo della temperatura adimensionale all'interfaccia fra la sonda più critica ed il terreno, T_s^* , per varie geometrie di campo (linea singola, linea doppia e linea quadrupla), con riferimento a due tipi di carico termico adimensionale (non compensato, con compensazione del 50%), per vari valori del numero di Fourier, Fo , che rappresenta la conducibilità termica del terreno, e del numero di Peclet, Pe , che rappresenta la velocità dell'acqua di falda. Un esempio dei risultati ottenuti, per carico termico stagionale completamente sbilanciato (funzionamento solo invernale o solo estivo) è illustrato in figura 34. La figura si riferisce ad una linea singola di infinite sonde, con un valore intermedio della conducibilità termica del terreno, e riporta il valore massimo annuo della temperatura adimensionale T_s^* in funzione del rapporto τ^*/Fo (numero di anni trascorsi), per vari valori del numero di Peclet. La figura mostra che, per $Pe = 0$ (assenza di movimento dell'acqua di falda), i massimi della temperatura adimensionale T_s^* aumentano continuamente. Il primo valore del numero di Peclet diverso da zero riportato in figura, $Pe = 0.02$, corrisponde, per sonde di dia-

metro 15 cm in un terreno con conducibilità intermedia, ad una velocità dell'acqua di falda di circa 2 m/anno. Il diagramma mostra che anche una velocità così bassa è sufficiente a stabilizzare, dopo circa 20 anni, i valori massimi della temperatura adimensionale T_s^* . Il tempo richiesto per la stabilizzazione di T_s^* ed il valore massimo assoluto di T_s^* diminuiscono se il numero di Peclet aumenta. Risultati analoghi, qui non riportati, sono stati ottenuti per campi di sonde a linea doppia e quadrupla (Zanchini et al, 2012).

Si può quindi concludere che una velocità anche modesta dell'acqua di falda è sufficiente a garantire la sostenibilità a lungo termine di campi di sonde geotermiche.

Nel caso di carichi termici stagionali non bilanciati, la progettazione di campi di scambiatori di calore verticali con il terreno richiederebbe la conoscenza della velocità dell'acqua di falda, nei vari strati attraversati dalle sonde, e la disponibilità di un metodo di progetto che tenga conto del movimento dell'acqua di falda. Al momento, mappe affidabili della velocità dell'acqua di falda non sono disponibili, e l'unico metodo di progetto disponibile che tenga conto del movimento dell'acqua di falda è quello presentato, che si riferisce a linee singole, doppie o quadruple infinitamente lunghe e ad una distanza di 40 diametri fra due sonde attigue (circa 6 m). Dovranno essere quindi compiuti

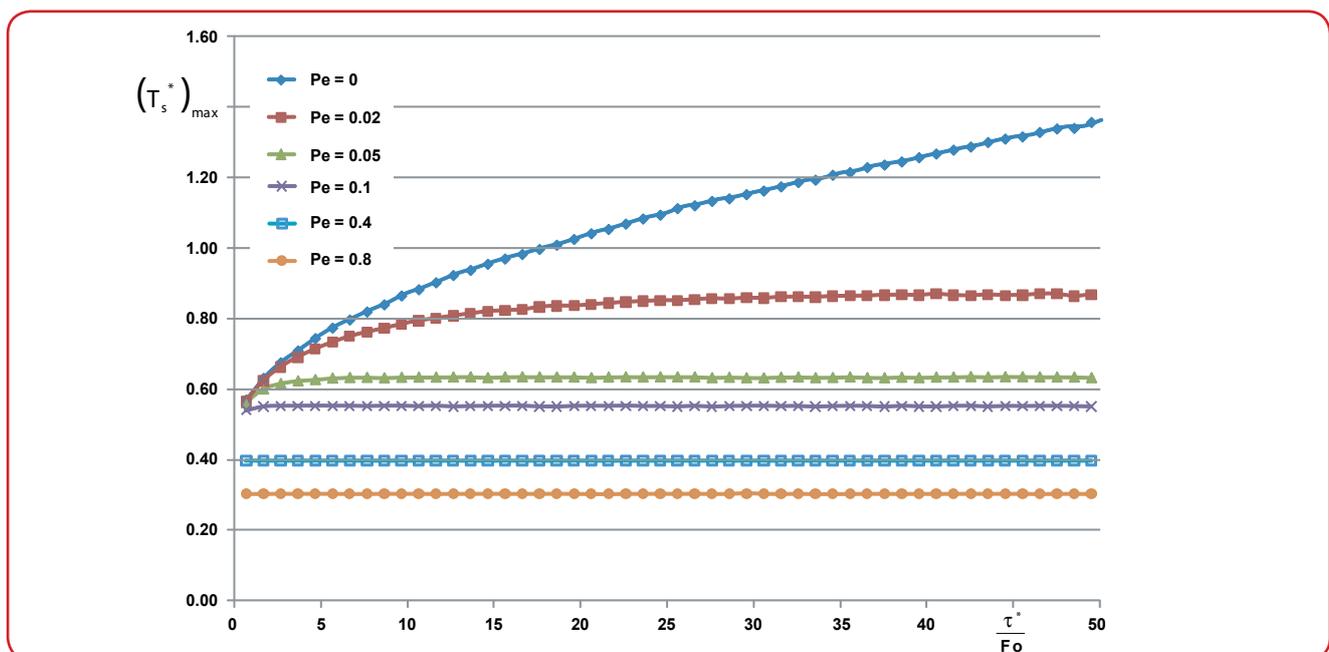


Figura 34: Valori massimi annui della temperatura adimensionale all'interfaccia sonda-terreno, per $Fo = 550$ e vari valori del numero di Peclet, per una linea di infinite sonde (Zanchini et al, 2012).

sforzi sia per la determinazione di dati affidabili sul movimento dell'acqua di falda, per le singole regioni, sia per la generalizzazione del metodo di progetto proposto.

In attesa di questi sviluppi, sembra consigliabile adottare, per la progettazione di campi di sonde geotermiche con carichi termici stagionali non bilanciati, criteri prudenziali.

In caso di terreni argillosi o limosi, in cui l'acqua di falda, anche se presente, è praticamente immobile, conviene utilizzare per la progettazione codici di simulazione affidabili (ad esempio, EED) e simulazioni del campo di sonde per almeno 50 anni. La geometria dei campi di sonde deve essere quella in linea singola, retta o a perimetro intorno all'edificio, con distanze ragguardevoli fra le sonde (8 – 10 m).

In caso di rilevante presenza percentuale di strati di sabbia grossa o ghiaia, il problema della sostenibilità a lungo termine diventa meno rilevante. Si può fare riferimento ad una simulazione, con codici di calcolo che non considerano il movimento dell'acqua di falda, per 20 anni, supponendo che tale periodo sia sufficiente per raggiungere un comportamento asintotico. Si possono adottare anche campi di sonde con geometria un po' più compatta, come, ad esempio, una doppia linea, e distanze più basse fra sonde adiacenti (6 – 8 m). Si può anche fare riferimento al metodo di progetto proposto da Zanchini et al. (2012), considerando, per la velocità dell'acqua di falda, un opportu-

no valore medio pesato fra quelli presumibili per i vari strati di terreno.

Gli strati di terreno che hanno interesse per la progettazione di sistemi a pompa di calore accoppiata al terreno sono quelli che vanno dalla superficie fino ad una profondità di 100 – 150 m. In Emilia-Romagna, la struttura idrogeologica di questa porzione di terreno è fortemente variabile.

Il territorio della regione può essere suddiviso nel contesto appenninico e in quello di pianura, ciascuno dei quali è contraddistinto da differenti caratteristiche geologiche/idrogeologiche. A grandi linee la zona di pianura si estende dalla fascia appenninica pedecollinare in direzione NE verso l'alveo del fiume Po e la costa del mar Adriatico. Tale zona comprende i principali centri urbani collocati lungo l'asse della Via Emilia, come Piacenza, Parma, Reggio-Emilia, Modena, Bologna, Forlì, Cesena, Rimini.

Contenendo i principali centri urbani della regione, il contesto di pianura è quello maggiormente interessato allo sviluppo degli impianti a pompa di calore accoppiata al terreno, per la maggiore densità di popolazione.

In Emilia-Romagna vengono riconosciuti tre gruppi acquiferi (denominati dall'alto al basso A, B e C), separati tra loro dall'interposizione di importanti acquitardi (figura 35) (RER & Eni-Agip, 1998, vedi anche 4.4).

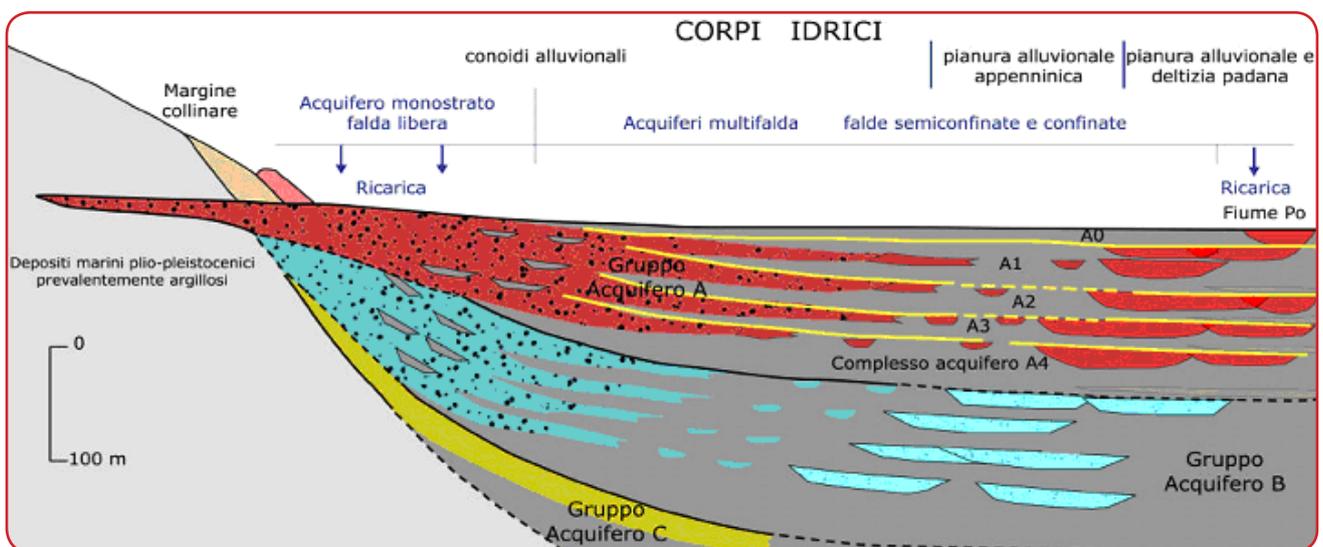


Figura 35: Distribuzione schematica dei corpi idrici, e delle unità idrostratigrafiche, nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola

Nella zona pedecollinare, l'acquifero A si sviluppa come un acquifero monostrato costituito da ghiaia che, dalla superficie, continuano nel sottosuolo per decine e decine di metri senza soluzione di continuità. Questa struttura idrogeologica è ideale per l'applicazione di sistemi a pompa di calore accoppiata al terreno. Infatti, questi strati continui in ghiaia, che spesso ospitano un flusso attivo di falda, oltre ad avere un'alta conducibilità termica hanno in genere una velocità dell'acqua di diverse decine o centinaia di metri per anno, e garantiscono una buona efficienza di lungo termine dei campi di sonde anche in presenza di carichi termici stagionali non bilanciati.

Proseguendo verso il centro della pianura, l'acquifero A diventa un acquifero multistrato, in cui i corpi di ghiaia e sabbia sono separati gli uni dagli altri dalla presenza di intercalazioni di terreni poco permeabili (argille o limi). In questa zona, gli strati di ghiaia e sabbia che si incontrano nei primi 100 metri di profondità hanno uno spessore complessivo minore, e il problema della sostenibilità a lungo termine di campi di scambiatori di calore verticali con il terreno aventi carichi termici stagionali non bilanciati non è critico, ma deve essere esaminato.

Prevalentemente, nel contesto costiero e di bassa pianura, gli acquiferi a maggiore conducibilità idraulica

sono caratterizzati da strati prevalentemente sabbiosi o limosi. In mancanza di analisi idrogeologiche specifiche molto approfondite, i campi di scambiatori di calore verticali con il terreno vanno dimensionati in questa zona assumendo che non ci sia apprezzabile movimento dell'acqua di falda.

Per finire, nella zona appenninica i terreni sono costituiti prevalentemente da litotipi di natura rocciosa e presentano una grande variabilità sia dal punto di vista geologico strutturale che idrogeologico. In particolare, il grado di fratturazione della massa rocciosa può favorire la presenza e movimento dell'acqua di falda. A causa dell'elevata discontinuità delle fratture, non sempre interconnesse, sono consigliabili indagini specifiche approfondite per la progettazione di vasti campi di sonde geotermiche.

In alternativa, i campi vanno progettati assumendo che non ci sia movimento dell'acqua di falda ed eseguendo Test di Risposta Termica accurati. Per gli impianti composti da pochissime sonde, il problema della sostenibilità a lungo termine è assai meno rilevante o inesistente (sonda singola), e si può dimensionare l'impianto considerando le proprietà del terreno disponibili in letteratura e utilizzando un opportuno sovradimensionamento degli scambiatori.

Riferimenti bibliografici

- Banks, D.** An introduction to thermogeology. Blackwell publishing. 2009. pp 339
- Boccaletti, M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P. & Vannucci G.** – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna, SGSS – CNR-IGG, sezione di Firenze. S.EL.CA, 2004, Firenze.
- Lazzari S, Priarone A, Zanchini E.** Long-term performance of BHE (borehole heat exchanger) fields with negligible groundwater movement. *Energy* 2010, 35, 4966-74.
- Pieri M, Groppi G.** Subsurface geological structure of the Po Plain. *C.N.R., Prog. Fin. Geod.*, 1981, n. 414, 1-13.
- RER & CNR.** Caratteri geoidrologici e geotermici dell'Emilia-Romagna. Programmi e prospettive per lo sfruttamento delle risorse geotermiche regionali. Regione Emilia-Romagna e Consiglio Nazionale delle Ricerche. Collana di orientamenti geomorfologici ed agronomico-forestali. Pitagora Editrice, Bologna, 1982, pp 177.
- RER & Eni-Agip.** Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. 1998
- Rybach L, Eugster WJ.** Sustainability aspects of geothermal heat pump operation, with experience from Switzerland. *Geothermics* 2010, 39, 365-69.
- Zanchini E, Lazzari S, Priarone A.** Long-term performance of large borehole heat exchanger fields with unbalanced seasonal loads and groundwater flow. *Energy* 2012, 38, 66-77.

Riferimenti normativi

- Decreto Ministeriale 19 febbraio 2007 – Legge Finanziaria**
- Decreto Legge 6 dicembre 2011, n°201 – Decreto Salva Italia**
- Delibera 348.07 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas – Applicazione della tariffa agevolata per pompe di calore**
- Delibera 19 aprile 2010 dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas – Abolizione del limite di 3,3 kW alla tariffazione agevolata**
- Circolare attuativa 16 febbraio 2012 del Decreto Ministeriale 25 novembre 2008 – Fondo Rotativo Kyoto**
- Legge 23 luglio 2009, n°99 – Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia**
- Decreto legislativo 11 febbraio 2010, n°22 – Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche**
- Decreto legislativo 3 marzo 2011, n°28 – Attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonte rinnovabili.**
- Legge regionale 26/2004 – Disciplina della programmazione energetica territoriale ed altre disposizioni in materia di energia**
- Regolamento regionale 41/2001 – Regolamento per la disciplina del procedimento di concessione di acqua pubblica**
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n° 152 – Norme in materia ambientale**
- Decreto ministeriale 14 gennaio 2008 – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni**
- UNI EN 15450 – Progettazione degli impianti di riscaldamento a pompa di calore**
- UNI TS 11300 Parte 4 – Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria**

Per approfondimenti

<http://www.geopower-i4c.eu>

Regione Emilia Romagna

<http://www.regione.emilia-romagna.it/temi/ambiente/energia/vedi-anche/geotermia>

Unione Geotermica Italiana

<http://www.unionegeotermica.it/>

European Geothermal Energy Council - EGEC

<http://www.egec.org/>

Geotermia News - Distretto delle Energie Rinnovabili

<http://www.distrettoenergieinnovabili.it/der/geonews>

Progetto Vigor

<http://www.vigor.geotermia.it/>

Geothermal Energy Association - GEA

<http://www.geo-energy.org/>

Geothermal Energy Association - IGA

<http://www.geothermal-energy.org/>

GROUND-REACH Project

<http://www.groundreach.fiz-karlsruhe.de/>

GROUND-MED Project

<http://www.groundmed.eu/>

SAPEMO-Build Project

<http://www.sepemo.eu/>

ProHeatPump Project

<http://www.proheatpump.eu/>

ThermoMap Project

<http://www.thermomap-project.eu/>

<http://www.geohp.it/>

<http://www.rhc-platform.org>

Partners



PROVINCIA DI FERRARA,
ITALIA, CAPOFILA



KANE | CENTRE FOR RENEWABLE
CRES | ENERGY SOURCES AND SAVING

CRES - CENTRO PER LE ENERGIE RINNOVABILI
E PER IL RISPARMIO ENERGETICO, GRECIA



MINISTERO PER LO SVILUPPO REGIONALE
E PER I LAVORI PUBBLICI, BULGARIA



ENREA
AGENZIA REGIONALE
PER L'ENERGIA DI DEBRECEN, UNGHERIA



COMUNE DI READING REGNO UNITO



SP
ISTITUTO DI RICERCA TECNICA
SVEZIA



CENTRO NAZIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTALE
E L'ENERGIA DI BUDAPEST, UNGHERIA



KTH
ISTITUTO REALE DI TECNOLOGIA
SVEZIA



ITALIA



ISTITUTO DI GEOLOGIA
DELL'UNIVERSITA' DI TALLIN
ESTONIA



VITO - ISTITUTO FIAMMINGO
PER LA RICERCA TECNOLOGICA, BELGIO



ISTITUTO GEOLOGICO NAZIONALE
SLOVENIA

CON LA COLLABORAZIONE DI



UNIVERSITA' DI FERRARA
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA



EURIS S.R.L.
UNITA' DI COORDINAMENTO DEL PROGETTO

Stampa
Dicembre 2012
Centro Stampa della
Regione Emilia-Romagna



Il Programma di Cooperazione territoriale INTERREG IVC ha l'obiettivo di migliorare l'efficacia delle politiche di sviluppo regionale in aree quali l'innovazione, l'economia della conoscenza, l'ambiente e l'energia, la prevenzione dei rischi, e di contribuire alla modernizzazione e alla competitività dell'Europa attraverso lo scambio e la condivisione di buone prassi maturate dalle autorità locali e regionali europee.