

Titolo II

Dispositivo di Piano: linee di indirizzo, pianificazione e programmazione

Capitolo II.1

Analisi relativa alla produzione

Paragrafo II.1.3.

Impianti alimentati da fonti rinnovabili

II.1.3.6.

Impianti geotermici

Prof. Ing. Maurizio Sasso
DING - Università degli studi del Sannio
P.zzo Dell'Aquila Bosco Lucarelli
P.zza Roma, 82100, Benevento
Tel. 0824305816, fax 0824305840
Email sasso@unisannio.it

INDICE

1. Generalità

2. Le risorse geotermiche della Regione Campania

2.1. Inventario delle risorse geotermiche

2.2 La Banca Nazionale Dati Geotermici

2.3 Altre fonti

3. Sistemi per lo sfruttamento della risorsa geotermica

3.1 Usi elettrici

3.2 Usi termici

3.2.1. Scambiatori di calore “Downhole”

3.2.2 Geotermoconvettore

3.2.3 Pompe di calore geotermiche

4. Utilizzo dei fluidi geotermici

4.1 Generalità uso diretto fonte geotermica

4.2 Applicazioni in Campania: usi termici

4.3 Applicazioni in Campania: usi elettrici e misti

5. Analisi energetica, economica e di impatto ambientale

Bibliografia

1. Generalità

La geotermia è la disciplina che si occupa dello studio, della ricerca e dello sfruttamento dell'energia termica della Terra per utilizzi civili, agricoli ed industriali.

In relazione al suo utilizzo si è soliti dividere la geotermia in tre settori:

- alta entalpia o temperatura (fluido geotermico con temperatura > 150 °C) per la produzione di energia elettrica e per usi industriali;
- bassa entalpia o temperatura (fluido geotermico con temperatura < 100 °C) per usi diretti: agricoli, civili ed industriali
- termale per utilizzazioni terapeutiche e ricreative.

Si definisce, inoltre, geotermia a media entalpia o temperatura quella caratterizzata da fluidi con temperatura compresa tra 100 e 150 °C.

Una parte del calore terrestre arriva in superficie con un'intensità il cui valore medio terrestre è pari a 63 mW/m². Un altro parametro di sicuro interesse è il gradiente geotermico della temperatura che in media è pari a 0,03 °C per metro di profondità.

In relazione al grado di sfruttamento sul territorio nazionale appaiono soddisfacenti le condizioni dell'alta entalpia e quella delle attività termali. Decisamente esigue gli utilizzi accertati di fonti a bassa entalpia per usi diretti: infatti esistono solo consistenti realizzazioni in Italia centrale e settentrionale. Occorre evidenziare che in altre nazioni, quali la Francia, in condizioni di disponibilità della fonte sicuramente sfavorevole rispetto all'Italia, il contributo dell'energia geotermica a bassa temperatura appare considerevole [1].

2. Le risorse geotermiche della regione Campania

Dal 1988 circa 1200 pozzi geotermici sono stati realizzati in Italia con profondità estremamente variabili da pochi metri fino a valori massimi di circa 5000 m (profondità media 1400 m), [2]. Questa intensa attività ha permesso di caratterizzare dal punto di vista geotermico l'intera nazione che presenta una situazione geologica estremamente complessa e una differente quantità e qualità di dati regionali disponibili. Allo scopo di definire dei parametri di prima approssimazione per la definizione di aree geografiche di interesse geotermico, rimandando ad un'analisi specifica su scala regionale, la valutazione tecnico economica delle potenzialità di sfruttamento locali, in [2] sono state definite per l'Italia le mappe tematiche geoidrologica, quella relativa al flusso di energia termica, le carte delle temperature a 1000, 2000 e 3000 m. Da queste elaborazioni è stato possibile ricavare una carta di sintesi, figura 1, che divide l'Italia in 4 categorie di diverso interesse geotermico:

- *Categoria A: zone di interesse geotermico da alto a molto alto* dove dovrebbe esistere almeno un acquifero a temperatura superiore a 150 °C a profondità inferiore a 3 km. Un'ulteriore suddivisione prevede nella categoria A1 i luoghi di maggior interesse per le ricerche per finalità elettriche e nella categoria A2 un minor uso geoelettrico ed un elevata potenzialità per usi diretti ad elevata e media temperatura. Quest'area si estende in direzione NW-SE da Genova alle Isole Eolie.

- *Categoria B: zone di interesse geotermico medio* dove dovrebbe esistere almeno un acquifero a temperatura compresa tra 90 e 150 °C a profondità inferiore a 3 km. Un'ulteriore suddivisione prevede nella categoria B1 luoghi deputati ad usi prevalentemente ad usi diretti ad alta e media temperatura e nella categoria B2 per esclusivo uso diretto. Quest'area si estende prevalentemente a ridosso dell'area A o in isolate manifestazioni.

- *Categoria C: zone di interesse geotermico basso o nullo* dove dovrebbe esistere almeno un acquifero a temperatura compresa tra 30 e 90 °C a profondità inferiore a 3 km. Un'ulteriore suddivisione prevede nella categoria C1 luoghi dove è possibile un esclusivo uso diretto e nella categoria C2 le aree che tranne casi sporadici non possano essere considerati adatte a sfruttamento geotermico. Quest'area si estende prevalentemente nell'area Alpina ed Appenninica.

- *Categoria D: zone di interesse geotermico bassissimo o nullo* dove non dovrebbero esistere acquiferi di interesse geotermico a profondità inferiore a 3 km.

In conclusione si desume per la Campania un prevalente utilizzo diretto dell'energia geotermica nelle Aree di Roccamonfina (B2), nei Campi Flegrei ed a Ischia (A) ed infine ad Est di Napoli, tra Campobasso e Potenza (B1-B2).

- Da un'analisi più dettagliata della Campania, caratterizzata dalla presenza di vulcani recenti e attivi e da numerose manifestazioni termali, si evince che insieme alla Toscana ed al Lazio, è una delle regioni italiani più importanti dal punto di vista geotermico. La ricerca geotermica in Campania inizia negli anni 1940-60 nei Campi Flegrei (NA) e nell'Isola d'Ischia (NA), negli anni successivi l'AGIP e l'ENEL svolgono ricerche prevalentemente indirizzate all'utilizzo elettrico in Campania individuando l'area di Mofete (NA) ad alta entalpia, [1].

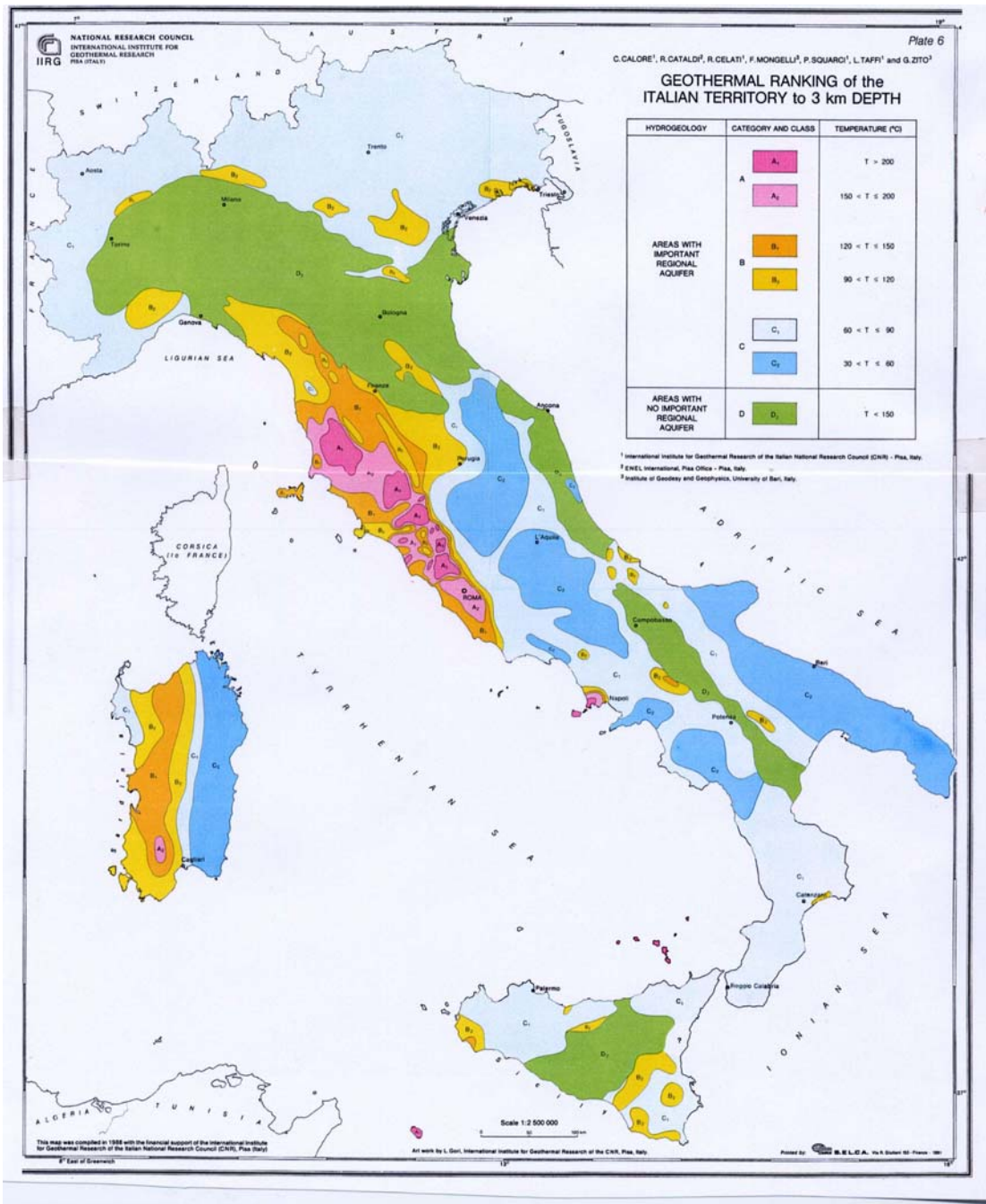


Figura 1: Caratterizzazione geotermica dell'Italia, [2]

Il territorio campano dal punto di vista idrogeologico può essere suddiviso per grandi linee in tre fasce, [2]:

- la fascia costiera rappresentata dai distretti vulcanici e dalle grandi pianure. La permeabilità dei materiali ivi presenti risulta molto variabile e gli acquiferi sono interessati da più falde sovrapposte;
- la fascia intermedia con materiali ad alta permeabilità con circolazione idrica che interessa essenzialmente la parte basale degli acquiferi;
- la fascia interna con depositi argillosi-marmosi-arenacei poco permeabili.

Occorre evidenziare che la fascia costiera, compresa tra il Vesuvio a Sud e Roccamonfina a Nord, a causa dell'intensa attività magmatica e vulcanica, ancora attiva, è sede di un importante e diffusa anomalia geotermica che si manifesta con i suoi massimo valore nella zona dei Campi Flegrei e dell'Isola d'Ischia.

2.1. L'Inventario delle Risorse Geotermiche

Allo scopo di rendere disponibile le informazioni necessarie a promuovere e sviluppare la ricerca geotermica, in attuazione della Legge 25/12/1986, è stato preparato dall'ENEL, dal CNR Istituto Internazionale Ricerche Geotermiche, dall'ENI e dall'ENEA un Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali, [3].

Gli elaborati presenti nell'Inventario hanno lo scopo di fornire indicazioni utili alla formulazione di programmi di ricerca e di utilizzazione di risorse geotermiche, con particolare riferimento a quelle a medio ed a bassa temperatura. Le carte tematiche elaborate sono:

- carta geoidrologica;
- sezioni geologiche regionali;
- carta delle ubicazioni delle sorgenti e delle manifestazioni;
- carta delle ubicazioni dei pozzi;
- carta del tetto del potenziale serbatoio di interesse geotermico;
- carta delle temperature a 1000, figura 2, 2000 e 3000 metri di profondità dal piano di campagna.

Va evidenziato che risultavano notevoli le informazioni relative ad alcune locazioni e molto poche in riferimento ad alcune aree del territorio non interessate a specifiche ricerche geotermiche e/o petrolifere. In particolare i dati termici disponibili sono essenzialmente concentrati nella fascia costiera compresa tra il Lago di Patria e Pozzuoli, risultano sporadici nelle aree di Roccamonfina, del Vesuvio e di Ischia, mentre mancavano dati nelle altre zone. Ciò nonostante gli esecutori del progetto hanno ricostruito carte termiche per l'intera Regione raccogliendo i dati di maggiore interesse attingendo a fonti diverse e molto eterogenee quali: AGIP, ENEL, SAFEN, MONTECATINI, Università. Un altro elemento di difficoltà di elaborazione derivava dalla natura dei pozzi inventariata, in prevalenza per ricerche di idrocarburi, e quindi alla conseguente carenza di informazioni termiche.

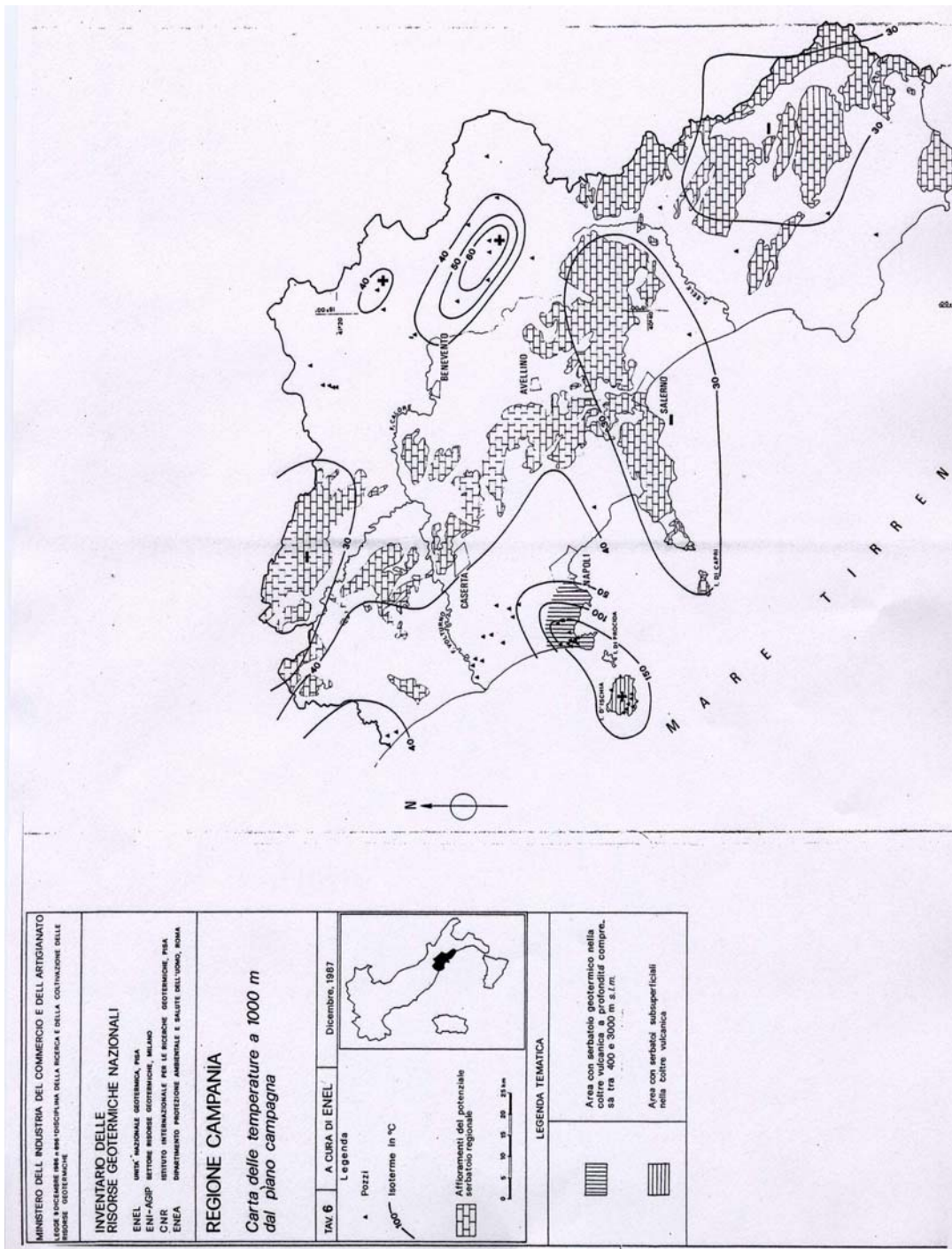


Figura 2: Carta delle temperature a 1000 m in Campania, [3]

Le tipologie dei punti acqua presi in considerazione sono: sorgenti, manifestazioni di acqua termali e gas, solo di gas, fumarole e pozzetti domestici (di piccola profondità generalmente di 10-20 m o inferiore a 100 m). Le sorgenti considerate risultano di interesse o perché realizzino $T > 18^{\circ}\text{C}$ o perché ubicati in luoghi con favorevoli fattori ambientali per lo sfruttamento (altitudine, fattori climatici) o per le elevate portate che offrono.

Le manifestazioni censite sono così distribuite nel territorio campano:

Sorgenti e manifestazioni

- le sorgenti termali e le fumarole prevalentemente nei distretti vulcanici attivi dei Campi Flegrei e di Ischia;
- le manifestazioni a temperature comprese tra 20 e 50°C nella zona di Mondragone, intorno all'apparato vulcanico di Roccamonfina;
- le altre manifestazioni sono in zone non vulcaniche;
- in Irpinia in località Villamaina le sorgenti di San Teodoro si distinguono per le caratteristiche chimico fisiche e per il livello di temperatura, intorno a 27°C ;
- nella Valle del Sele esistono in località Contursi interessanti sorgenti.

Pozzi

- i pozzi della fascia costiera-vulcanica tra il Golfo di Napoli ed il Volturno sono stati realizzati con finalità geotermiche;
- nell'Area Flegrea sono stati eseguiti 13 pozzi profondi dei quali il più profondo (S. Vito) ha raggiunto i 3.046 m con temperature superiori a 400°C . Elevate temperature, superiori a 300°C già a 2.000 m, sono state rilevate anche a Mofete (NA);
- l'Isola d'Ischia è stata sede di numerose perforazioni poco profonde con finalità geotermiche ;
- nella area nord orientale i numerosi pozzi per ricerche petrolifere hanno evidenziato a sud-est di Benevento, M. Forcuto, una lieve anomalia termica.

-

Alla definizione delle formazioni geologiche in grado di ospitare fluidi economicamente ed industrialmente sfruttabili per la produzione di energia elettrica e/o termica concorrono essenzialmente le informazioni desumibili dalla tavola 5 e da quelle termiche, tavole 6, 7 ed 8. In particolare emerge la possibilità di suddividere il territorio campano in tre zone distinte, più o meno parallelamente disposte in senso NW-SE:

- una zona costiera compresa tra il Volturno e la penisola sorrentina: il potenziale serbatoio appare molto profondo ed in parte coperto da vulcanite. Pur tuttavia nella coltre vulcanica vi sono diversi acquiferi di interesse geotermico. Le zone termicamente più interessanti sono quelle dei campi Flegrei e dell'Isola di Ischia

- una fascia centrale compresa tra Caserta e Benevento nella parte settentrionale, e tra il mare ed il confine regionale in quella centro-meridionale: il serbatoio carbonatico pur costituendo un ottimo acquifero non appare di interesse geotermico in quanto notevolmente perturbato da infiltrazioni di acque meteoriche. Questa zona, dal punto di vista termico, appare “fredda” con gradienti termici normali (30 °C/km) senza anomalie evidenti;

- una fascia esterna ad Est di Benevento: il serbatoio si trova a profondità notevoli, 4.000 m e più, salvo nella parte più occidentale corrispondente all’alta valle del fiume Calore. Dal punto di vista termico sono segnalate temperature di qualche interesse.

In conclusione in termini operativi le situazioni di maggior interesse (coesistenza di serbatoi a profondità economicamente accessibile con temperature sufficientemente elevate), in particolare per sfruttamenti a medio-bassa entalpia, sono le seguenti:

- Area Flegrea ed a Ischia dove a profondità modeste, alcune centinaia di metri, esistono fluidi caldi con temperature elevate;
- A sud-est di Benevento fluidi a temperature abbastanza elevate si trovano a profondità di circa 1.200-1.400 m.

2.2. La Banca Nazionale Dati Geotermici

Sempre in attuazione della succitata Legge 9/12/1986, n. 896, l’IIRG del CNR, oggi accorpato nell’Istituto di Geoscienze e Georisorse [4], ha realizzato una Banca Dati su supporto informatico dei pozzi e delle sorgenti presenti sul territorio nazionale al fine di caratterizzazione il territorio nazionale ai fini geotermici.

Questa Banca Dati, aggiornata a tutt’oggi, riporta per la regione Campania 98 pozzi e 56 sorgenti.

In provincia di Avellino i 9 pozzi censiti, prevalentemente ad elevata quota ed elevate profondità, sono stati realizzati dall’AGIP per ricerche di idrocarburi e dimostrano valori del gradiente geotermico della temperatura in accordo alla media (0,03 °C/m). Nella stessa provincia si contano 8 tra sorgenti termali e manifestazioni di acqua e gas con temperature media intorno ai 23°C.

Anche dalle ricerche petrolifere svolte in provincia di Benevento derivano i dati relativi agli 8 pozzi censiti, anch’essi ad elevata quota e profondità, che non presentano anomalie del gradiente geotermico. In località Telese è presente una sorgente termale con manifestazioni di gas ed acqua.

I 5 pozzi monitorati in provincia di Caserta derivano da ricerche petrolifere e geotermiche: in media il valore geotermico della temperatura appare in linea con il valore medio, fa eccezione il pozzo realizzato nell’apparato vulcanico di Rocca Monfina (Sessa Aurunca) che presenta temperature al suolo anche intorno ai 50 C. Sono inoltre censite 5 sorgenti con temperatura media intorno ai 30 °C.

I dati relativi ai 7 pozzi della provincia di Salerno ancora una volta dimostrano una connotazione “fredda” dell’area ad eccezione della Valle del Sele, località Contursi Terme, con temperature al suolo intorno ai 40°C. Sono censite 8 manifestazioni di acqua e gas con temperature media di 25 °C.

Un discorso a parte merita la provincia di Napoli sede dell’Isola d’Ischia e dell’area dei Campi Flegrei: i numerosi pozzi censiti, 69, dimostrano una consistente anomalia geotermica con valori medi del gradiente geotermico della temperatura di circa 0,3 °C/m. Occorre inoltre sottolineare il consistente abbassamento della profondità media dei pozzi analizzati, nonché la notevole presenza di temperature elevate, da 30 fino a 90°C, anche in superficie. In maggior dettaglio nella sola Isola d’Ischia dei 26 pozzi, anche domestici, la maggior parte presenta elevate temperature in superficie o a profondità modeste. Più articolata risulta la situazione che si evince dai 33 pozzi dell’Area Flegrea: sono stati realizzati pozzi profondi da cui è stimabile un valore gradiente geotermico di circa 0,17 °C/m e nel contempo esistono molti pozzi di modeste profondità con temperature in superficie tra 30 e i 70 °C. In questa provincia sono presenti numerose sorgenti, fumarole e manifestazioni di acqua e gas, alcune delle quali in mare, con temperature estremamente variabili, valore medio 58°C, con punte massime registrate alla Solfatara di Pozzuoli di 147°C.

2.3. Altre fonti

In [5] viene realizzata un’analisi dettagliata ed aggiornata dell’anomalia geotermica dei Campi Flegrei: nel 1995 sono stati analizzati 30 pozzi, con profondità fino a 140 m misurando la temperatura a varie profondità e quindi definite le mappe del flusso di energia termica. In particolare viene evidenziato un valore medio di circa 149 mW/m² superiore sia a quello medio terrestre di 63 mW/m², che al valore assegnato alla fascia calda tirrenica, 85 mW/m². Dall’analisi si ricava un gradiente geotermico della temperatura nell’intervallo 0,06-0,168 °C/m, con un valore medio dell’area pari a 0,064 °C/m assumendo una temperatura superficiale di 18°C. In figura 3 è riportata la mappa del gradiente geotermico termico dell’area Flegrea.

E’ stato inoltre ricavato il campo del flusso termico geotermico, figura 4. I valori più elevati sono riscontrabili alle Mofete, 160 mW/m², al Monte Nuovo, 80 mW/m², ed ad Agnano, 120 mW/m².

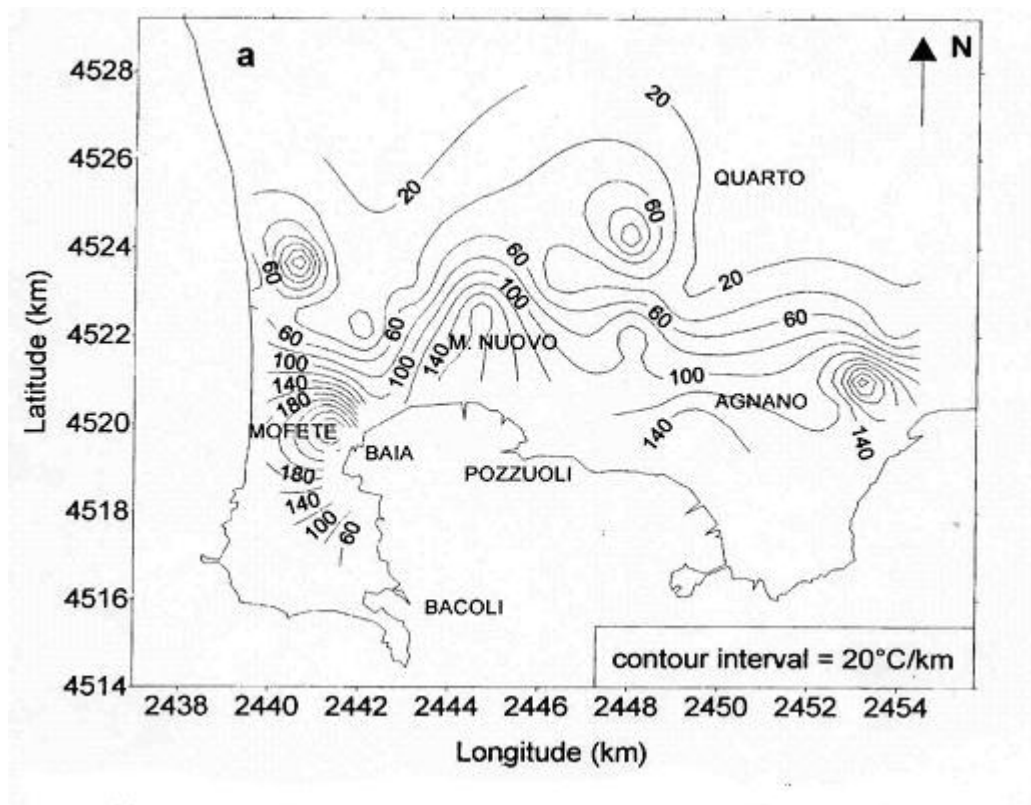


Figura 3: Gradiente geotermico termico dell'area Flegrea, [5].

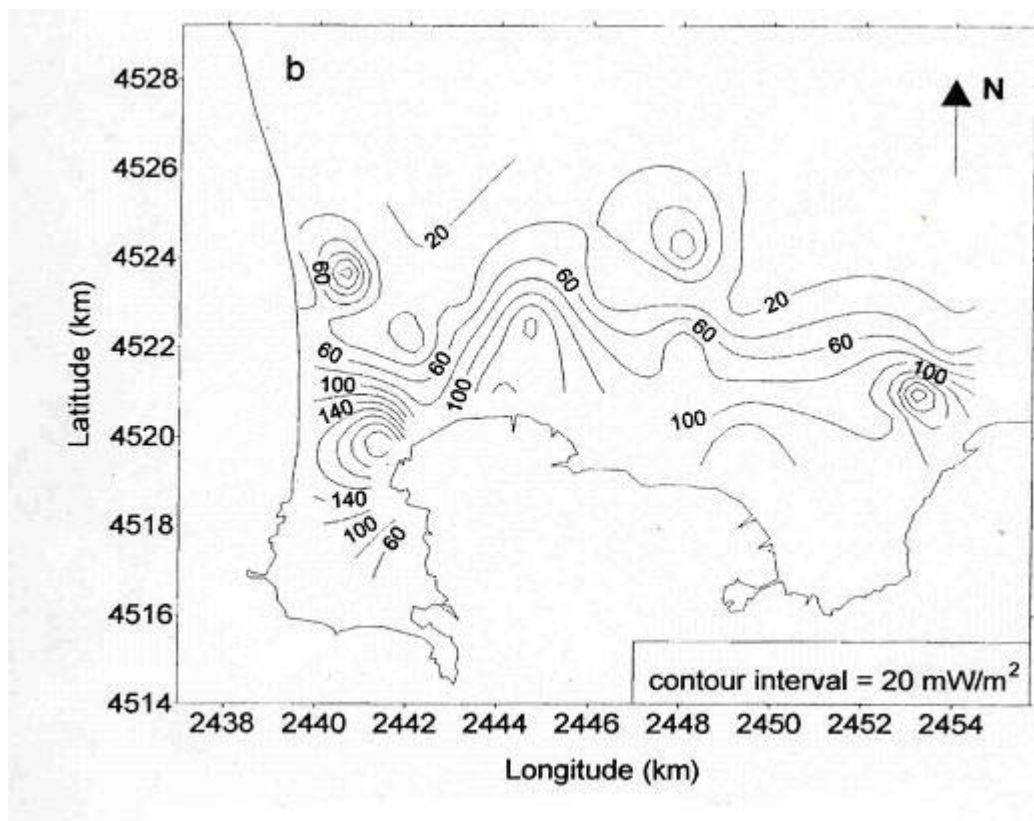


Figura 4: Flusso di energia termica dell'area Flegrea, [5].

Un'ulteriore fonte molto dettagliata deriva dal "Progetto Geotermia Area Flegrea" realizzato in Campania nel 1989, [6]. Dai dati ancora reperibili si evince che sono stati eseguiti 15 studi di fattibilità sull'utilizzazione dell'energia geotermica nell'Area Flegrea e nell'Isola d'Ischia analizzando circa 146 pozzi nelle vicinanze delle utenze succitate: gli studi ricavano una disponibilità di idonee fonti geotermiche a profondità modeste, tra 50 e 250 m, e con temperature comprese tra 38 e 100 °C e con portate fino a 60 t/h. In particolare le valutazioni sulla disponibilità quali-quantitativa della fonte endogena sono state eseguite tenendo conto delle risultanze statistiche delle caratteristiche geologiche e geotermiche dei pozzi esistenti limitrofi, di solito nel raggio di 1 km.

Sono stati quindi considerati i dati dei pozzi autorizzati ed in corso di istruttoria ottenuti dal *Settore ricerca e valorizzazione di Cave, torbiere, acque minerali e termali (Servizio acque calde sotterranee)* della Regione Campania. Risultano censiti 105 pozzi tutti nella provincia di Napoli con profondità media di 85 m e temperatura media di 59 °C. Di questi la quasi totalità, 103, risulta ubicata nell'Isola d'Ischia e solo 2 a Pozzuoli. Nell'ambito dei comuni ischitani a Barano si trovano il 5% dei pozzi, a Casamicciola il 18%, a Forio il 40 %, ad Ischia il 18%, a Lacco Ameno il 5 % ed in fine a Serrara Fontana il rimanente 14% dei pozzi. Con riferimento all'Isola d'Ischia risultano mappe con ubicazione di 132 pozzi e 15 sorgenti.

Dallo stesso settore (*Servizio acque minerali e terme*) sono state reperite le informazioni relative alle concessioni termali nella Regione. Nelle 5 province risultano 163 concessioni (AV=1, BN=3, CE=7, NA=145, SA=7) di cui ben 132 nei comuni dell'Isola d'Ischia. Va sottolineato che quest'informazione contempla anche lo sfruttamento di acque fredde, per esempio per imbottigliamento di acque minerali particolarmente diffuso nella provincia di CE, di nessun interesse da un punto di vista energetico.

3. Sistemi per lo sfruttamento della risorsa geotermica

3.1. Usi elettrici

Nel panorama dell'utilizzo dell'energia proveniente da fonte rinnovabile, l'energia geotermica, nel nostro paese, ha rivestito sempre un ruolo fondamentale attraverso lo sfruttamento di pozzi geotermici per la produzione di energia elettrica. In Italia esistono un elevato numero di centrali geotermoelettriche, tra queste si ricorda la centrale del Larderello che, con i suoi 550 MW di potenza è ancor oggi la centrale più grande al mondo.

La potenza complessivamente installata risulta al 2002 pari a 650 MW con una potenzialità di sostituzione di combustibile fossile di 1,05 Mtep. Le previsioni al 2008-2012 sono di circa 800 MW installati con un consumo evitato di combustibili fossili quantizzato in 1,29 Mtep, [7].

Le centrali geotermoelettriche possono essere di diversi tipi ed in particolare:

- centrale a scarico libero (contropressione);
- centrale a condensazione;
- centrale a flash singolo;
- centrale a doppio flash;
- centrale a ciclo Rankine;
- centrale a flusso totale;
- minicentrale a condensazione

3.2. Usi termici

L'utilizzo della fonte geotermica per scopi energetici non è solo quella relativa alla produzione di energia elettrica, infatti la possibilità di sfruttare il potenziale energetico di sorgenti a bassa-media entalpia per finalità termiche, è la forma più antica e diffusa di uso dell'energia geotermica. Esiste in Italia ed in Campania un gran numero di manifestazioni geotermiche con caratteristiche e potenzialità compatibili con gli attuali impianti di sfruttamento della risorse che hanno raggiunto una maturità tecnica ed un'affidabilità molto elevata. Purtroppo il diffondersi di tali tecnologie è ancora ostacolata prevalentemente da problemi economici. In particolare si evidenzia

l'influenza dell'aggressività del fluido geotermico utilizzabile: infatti generalmente esso presenta sostanze associate variamente incrostanti e corrosive vincolando un utilizzo diretto. In tal caso il fluido geotermico prelevato in falda cede energia termica, attraverso scambiatori di calore, ad un fluido termovettore secondario. I reflui inquinanti estratti andranno opportunamente reiniettati nel sistema geotermico anche per rialimentarlo. E' evidente quindi che la possibilità di disporre di fluidi non aggressivi influenza non solo la vita media dell'impianto, ma soprattutto i costi di impianto, fortemente dipendenti dai costi di perforazione, duplicati in presenza di pozzi di reiniezione (doublet). Va inoltre evidenziato che qualora le temperature dei fluidi disponibili siano inferiori rispetto a quelle richieste dalle utenze occorre prevedere l'introduzione di caldaie ausiliarie o di pompe di calore. Con riferimento a quest'ultima tecnologia, GEHP, occorre precisare che, oltre all'ottimizzazione dello sfruttamento dell'energia termica disponibile a basse temperature, esse presentano il vantaggio di un possibile utilizzo in raffrescamento estivo ampliando il campo di applicazione della risorsa geotermica. Inoltre in presenza di risorse a temperature elevate (85 – 200°C) possono essere utilizzate pompe di calore ad assorbimento, AHP. Le GHEP stanno riscuotendo grosso interesse per i numerosi vantaggi che esse presentano: elevati coefficiente di prestazione in presenza di fluidi a temperatura elevata e poco fluttuante con le condizioni atmosferiche esterne quale è l'acqua di falda, grande semplicità e maturità costruttiva, un costo d'impianto non elevato in rapporto alla capacità termica. A questo va aggiunto le potenzialità offerte dalla geotermia superficiale cioè l'utilizzo di fluidi reperibili a modeste profondità, minori di 100 m, ed a bassissima temperatura, geopotermia (7-10 °C), interagenti con l'evaporatore di pompe di calore ad azionamento elettrico e/o termico.

I sistemi in uso attualmente possono essere suddivisi in due categorie: impianti che prelevano il fluido geotermico dalla falda ed impianti senza emungimento.

Gli impianti con funzionamento ad emungimento prelevano dalla falda geotermica portando in superficie il fluido di lavoro, che come precedentemente detto, andrà eventualmente opportunamente reiniettati nel sistema geotermico anche per rialimentarlo. Il fluido caldo cede energia termica ad un fluido secondario grazie ad uno scambiatore di calore. Il contenuto salino può arrecare danni (corrosione, incrostazione ed inquinamento) ai materiali degli scambiatori che vanno accuratamente selezionati: al momento si ottengono buoni risultati con il titanio e sono allo studio materiali plastici. Un altro elemento critico dell'impianto è la pompa per il trasporto dell'acqua geotermica in superficie soggetta ad elevata usura per l'aggressività, chimica e termica, del fluido geotermico.

Nel tentativo di ovviare ai succitati problemi sono stati messi a punto impianti che funzionano senza emungimento prelevando energia termica direttamente in falda. Questi scambiatori in pozzo, non toccando le riserve d'acqua, hanno il vantaggio di non inquinare, di non depauperare la falda, di non provocare subsidenza e evitare gli investimenti per di eventuali pozzi di reiniezione. Questi scambiatori, largamente utilizzati in USA, Nuova Zelanda, sono stati sperimentati ad Agnano ed ad Ischia (geotermoconvettore). Tali impianti hanno, però, dei bassi rendimenti e spesso risultano di scarso interesse ai fini del recupero energetico.

Nel seguito verranno sinteticamente descritte alcune delle più promettenti tecnologie utilizzabili per lo sfruttamento diretto dell'energia geotermica.

3.2.1 Scambiatori di calore "Downhole"

Il sistema Down-hole, figura 5 [8], è uno scambiatore immerso in falda costituito da un tubo o da una serie di tubi di acciaio al cui interno scorre il fluido freddo, per mezzo di una pompa di circolazione, che preleva energia termica dell'acqua presente nel pozzo, Il fluido termovettore riscaldato può essere direttamente utilizzato in superficie, acqua calda sanitaria, o può riscaldare varie utenze termiche. Il sistema prevede una profondità massima di utilizzo non superiore ai 150 metri con casi eccezionali che possono arrivare ad oltre 400 metri di perforazione. Il pozzo va accoppiato con un armatura coassiale e forata (casing) realizzata in modo da indurre congrui moti convettivi del fluido geotermico che lambisce lo scambiatore in falda necessari per asportare significative potenze termiche. Dalle oltre 600 applicazioni realizzate negli USA è possibile risalire all'influenza che alcune variabili operative hanno sull'efficienza energetica del dispositivo quali il diametro del pozzo, il diametro dell'armatura, la lunghezza dello scambiatore, il numero di spire. Tale sistema ha dei vantaggi in termini economici e di semplicità costruttiva, ma esistono problemi dovuti alla variazione del gradiente termico verticale dei pozzi in cui è inserito il circuito.

3.2.2 Geotermoconvettore

Nonostante a rigore possa ricondursi nella categoria precedentemente descritta, particolare interesse riveste il tubo di calore a gravità (termosifone bifase), GTC, riportato in figura 6, un altro sistema utilizzabile per poter ovviare al prelievo della fonte geotermica dal sottosuolo e che consente il trasferimento di calore dalle acque sotterranee al circuito in superficie, [9]. Il funzionamento è abbastanza semplice: il GTC è costituito da un tubo chiuso in cui evolve un opportuno fluido di lavoro, all'estremità inferiore il GTC termina con un fascio tubiero (evaporatore) immerso nella falda acquifera calda in cui avviene l'evaporazione del fluido di lavoro. La risalita del fluido vaporizzato avviene per differenza di densità, ed all'estremità superiore, in superficie, vi è un secondo scambiatore (condensatore) dove il fluido di lavoro cede, attraverso il passaggio di fase, energia termica ad un fluido di raffreddamento che costituisce il fluido termovettore esterno dell'utenza termica. Il fluido di lavoro condensato torna verso il basso per gravità (circolazione naturale). I limiti di tale impianto sono ovviamente la non elevata profondità che possono avere i pozzi utilizzati come fonte, ma la grande semplicità costruttiva ed affidabilità, provata da intense campagne di

prova ad Agnano e sull'Isola d'Ischia, prefigurano un elevato potenziale di utilizzo di questa tecnologia. Occorre infine sottolineare come questo dispositivo, e tutti quelli di prelievo in falda, siano fortemente condizionati dalle caratteristiche dell'acquifero con cui interagisce termicamente lo scambiatore, in questo caso l'evaporatore, e pertanto sia necessario per un corretto dimensionamento e posizionamento definire modelli dei serbatoi geotermici in presenza dell'elemento di perturbazione, [10].

3.2.3 Pompe di calore geotermiche

In forte espansione appaiono le pompe di calore che interagiscono con la fonte geotermica, sia per finalità di riscaldamento ambientale e di produzione di acqua calda sanitaria, sia per il raffrescamento estivo. Una pompa di calore geotermica, GEHP, è schematicamente rappresentata da tre sottosistemi: una pompa di calore per trasferire il calore dal fluido termoconvettore all'ambiente da riscaldare o viceversa, un sistema per trasferire energia tra il fluido geotermico e il fluido termovettore della pompa e un sistema di distribuzione del calore all'interno dell'edificio. Nel funzionamento invernale o per riscaldamento dell'acqua sanitaria il sistema estrae l'energia termica dal fluido per trasferirlo all'ambiente da riscaldare.

Varie sono le tecnologie di pompe di calore utilizzabile riconducibili a due grosse categorie: le pompe di calore attivabili meccanicamente e termicamente. Alla prima categoria appartengono le macchine più diffuse azionate da motori elettrici che possono interagire termicamente, all'evaporatore, con il fluido caldo geotermico, EHP. Alla seconda categoria appartengono le meno diffuse pompe di calore azionate da motore endotermico che possono interagire anch'esse con la fonte geotermica e beneficiare di una maggiore pressione e temperatura di evaporazione, GHP. Le GHP permettono di fornire all'utenza calda oltre che l'energia resa dal condensatore della macchina frigorifera, anche i recuperi del motore endotermico. Un'ulteriore pompa di calore appartenente alla seconda categoria, anche se non a compressione di vapore, è quella ad assorbimento, AHP: in questo caso in alimentazione indiretta la fonte geotermica può essere utilizzata come spesa energetica termica, [11]. Senza dilungarci sulla descrizione di questa consolidata tecnologia appare necessario sottolineare l'interesse che deriva dall'interazione della macchina con il fluido geotermico in alternativa ai tradizionali fluidi termovettori esterni, acqua, aria. Infatti una sorgente ideale dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- temperatura elevata e poco fluttuante durante la stagione di riscaldamento;
- ampia disponibilità;
- non corrosiva;
- non inquinante;
- favorevoli proprietà termofisiche;
- bassi costi di utilizzazione e di impianto

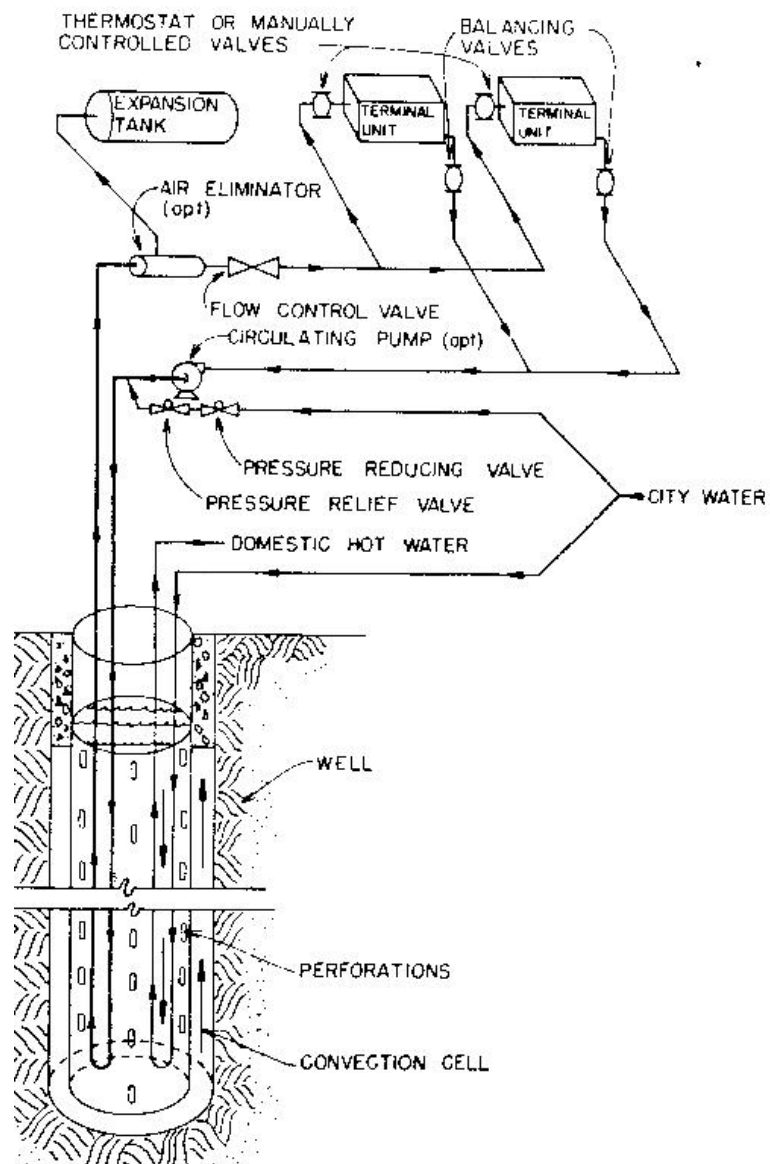


Figura 5: Scambiatore di calore "Downhole", [8]

E' evidente che la fonte geotermica rispetta alcuni dei requisiti precedentemente elencati. E' importante valutare l'influenza che sul coefficiente di prestazione delle pompe di calore ad attivazione meccanica a compressione di vapore ha la temperatura della sorgente fredda in fase di riscaldamento e quindi l'importanza di poter interagire termicamente con fluidi geotermici caldi. Ritenendo vincolati i livelli termici dei fluidi termovettori interni, da considerazioni relative all'instaurarsi di condizioni di benessere termoigrometriche per gli occupanti degli ambienti, durante il funzionamento in riscaldamento risulta particolarmente critica la diminuzione di temperatura della

sorgente fredda; infatti tutte le sorgenti naturali seguono con legge diversa le fluttuazioni della temperatura dell'aria esterna, la cui diminuzione da un lato determina una maggiore dispersione termica dal locale riscaldato verso l'esterno, ed una conseguente maggiore richiesta di energia termica da fornire, dall'altro determina una riduzione del Coefficiente di Prestazione, COP, della macchina dovuto alla più bassa temperatura di evaporazione del refrigerante.

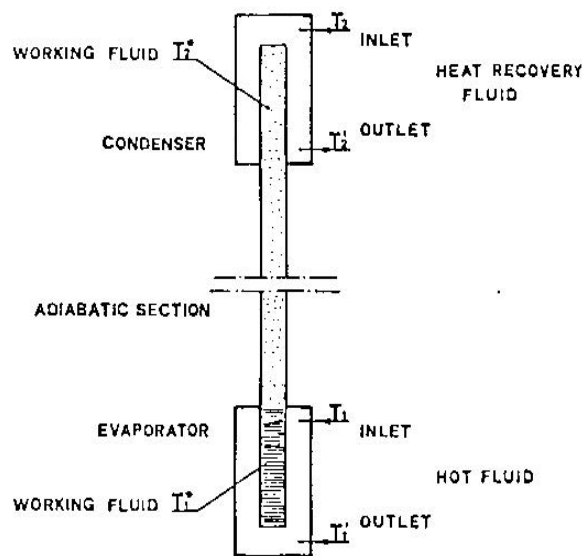


Figura 6: Il geotermoconvettore, [9].

4. Utilizzo dei fluidi geotermici

4.1. Generalità uso diretto fonte geotermica

L'utilizzo dell'energia geotermica per uso diretto è di largo uso in molti paesi in cui tale fonte è presente. Nell'Italia del Nord e del Centro esistono molteplici applicazioni sia in cascata da impianti geotermoelettrici sia in grossi impianti di teleriscaldamento. In relazione agli utilizzi non elettrici dell'energia geotermica nel 1999 in Italia dei 240 ktep/a quantizzati, [12], circa il 52 % è relativo alla balneologia e gli ulteriori contributi significativi risultano:

- Teleriscaldamento: 40 ktep/a, 121 MW (Abano (PD), Ferrara, Vicenza, Acqui T. (AL), Bagno di Romagna (FO), altre in Toscana);
- Serre: 21 ktep/a, 134 MW, 52 ha (Amiata (GR), Pantani (RM), Galzignano (PD), Rodigo (PD), altri)
- Acqua coltura: 39 ktep, 132 MW (Orbetello (GR), Sannicandro, Brindisi, Rodigo (PD)).

Purtroppo nella regione Campania pur esistendo aree di rilevante interesse, in particolare nella provincia di Napoli, la risorsa appare sottoutilizzata rispetto alle potenzialità evidenziate nei precedenti capitoli. Infatti lo sfruttamento della risorsa geotermica in Campania è stato diffusamente analizzato in passato evidenziando cospicui contributi sia in campo geotermoelettrico sia in relazione al potenziale diretto, analizzando anche sistemi innovativi quali in geotermoconvettore precedentemente descritto. Purtroppo questa fervente attività di analisi, che ha prodotto progetti maturi e suscettibili di realizzazione pratica successivamente descritti, non ha portato ad alcuna realizzazione di rilievo. Di contro le aree di maggior potenzialità, in particolar modo l'Isola d'Ischia, sono sede di un diffuso ed incontrollato fenomeno di "abusivismo geotermico", già denunciato nel 1984 in [13], con conseguente pericolo di inquinamento degli acquiferi interessati (interferenze termiche, inquinamento chimico). A tal proposito si segnala l'iniziativa di monitoraggio intrapresa dalla Regione in collaborazione con il Dipartimento di Scienza della Terra dell'Università di Napoli Federico II. I progetti di uso civile di grande taglia previsti, basati su impianti in teleriscaldamento, sono stati spesso sostituiti da progetti individuali per il riscaldamento di alcune unità abitative in presenza di una fonte geotermica dispersa sul territorio. In questo contesto appare complessa la valutazione del potenziale sfruttato anche se appare essenzialmente rivolto agli aspetti balneo-turistici ed ad una scarsa utilizzazione per riscaldamento civile. Evidentemente esistono grossi margini di sviluppo sia in relazione all'ottimizzazione degli impianti già esistenti, prevedendo la possibilità di fare uso della fonte geotermica per la produzione di acque calde sanitarie e per il raffrescamento (pompe di calore), sia in relazione alla realizzazione di nuove realtà produttive, in particolar modo nei settori dell'agrozootecnica ed industrie associate. In particolare nel settore agricolo o dell'industria alimentare la fonte geotermica può essere utilizzata per il riscaldamento di serra (in particolare per piante ornamentali), mentre l'acqua coltura è un'ulteriore applicazione del settore agro-alimentare, con possibilità di utilizzare i fluidi a bassa entalpia per portare le temperature dell'acqua utilizzata in intervalli compresi tra i 14° ed i 35° C. Altri settori d'interesse sono quello minerario e gli usi termali, abbondantemente presenti sul nostro territorio.3. Nella tabella 1 riportiamo, in funzione del settore, i campi di applicazione con i relativi intervalli di temperatura di riferimento, [1].

4.2. Applicazioni in Campania usi termici

In Campania nel 1989 fu realizzato il "Progetto Geotermia Area Flegrea", [6], e dai dati ancora reperibili si evince che sono stati eseguiti 15 studi di fattibilità sull'utilizzazione dell'energia geotermica nell'Area Flegrea e nell'Isola d'Ischia. Di questi studi la maggioranza, 12, considerano utenze reali dei diversi settori riportati in tabella 1 per le quali si è provveduto ad una dettagliata analisi di fattibilità tecnica individuando i principali indicatori energetici ed economici. In ogni studio di fattibilità sono state individuate, con analisi "in situ", le caratteristiche della domanda dell'energia e dell'offerta di energia geotermica pervenendo allo schema dei lay-out della o delle

centrali termiche e degli impianti sia nella configurazione esistente che in quella proposta con l'impianto geotermico. Nello stesso studio sono state realizzate analisi parametriche relative all'utilizzo di dispositivi innovativi quali pompe di calore ad attivazione termica ed elettrica e dispositivi di prelievo diretto di energia in falda quali il geotermoconvettore, tabella 2.

Nelle analisi di fattibilità gli obiettivi progettuali perseguiti sono consistiti nella massimizzazione della percentuale di copertura dei fabbisogni termici dell'utenza con la geotermia, nell'ottimizzazione dell'impiego della fonte endogena (minimizzando la temperatura allo scarico), e nella minimizzazione complessiva degli interventi richiesti soprattutto nei circuiti di distribuzione dell'energia termica esistenti per le singole utenze. Sono state inoltre valutate la sensibilità dei principali indici economici ad alcune variabili operative.

Tabella 1: Usi diretti della geotermia [1]

Settore	Tipo d'intervento	Principali Applicazioni	Temperature utili indicative [°C]
Civile	Singolo o distrettuale	Riscaldamento, condizionamento, acque calde sanitarie	40-100
Agrozootecnica e industrie associate	Produzione	Incremento delle colture (vegetali ed animali): serre, acquicoltura	14-60
	Lavorazione	Lavorazione e trasformazione dei prodotti vegetali ed animali	25-100
	Conservazione	Lavaggio, cottura, pastorizzazione, asciugatura, essiccazione, refrigerazione	60-100
	Servizi	Servizi in zootecnia, biodegradazione dei rifiuti, sterilizzazione suoli agrari	25-80
Industrie non alimentari	Energetiche	Recupero secondario di idrocarburi, produzione alcool (metanolo, etanolo), biogas	30-100
	Minerarie	Impiego come fonte di energetica e come fonte mineraria (recupero sostanze associate)	80-100
	Chimiche ed altre	Industria forestale e cartaria, industria tessile, farmaceutica, prodotti per l'edilizia, ecc	60-90
Termale	Medicale	Usi terapeutici (fanghi, bagni, saune)	25-45
	Ricreativo	Piscine termali, laghetti caldi	25-40
Integrato	In parallelo	Usi a temperature simili	25-100
	In serie	Usi a temperature decrescenti (a cascata)	60-100
	Alternato	Usi in tempi complementari (stagionali)	40-60

Tabella 2: Caratteristiche utenze considerate nell'analisi di fattibilità tecnico economica [6]

o	Titolo	Ubicazione	Tipo	Utilizzo energia	Volume [m3]	Potenza termica [kW]	Temperatura max esercizio [°C]
	Complesso di piscine a Bacoli	Bacoli	Piscina	riscaldamento ambientale, riscaldamento acqua piscina, acqua calda sanitaria	32000	2056	70
	Complesso piscine Monte di Procida	Monte di Procida	Piscina	riscaldamento ambientale, riscaldamento acqua piscina, acqua calda sanitaria	19000	2123	70
	Accademia aeronautica	Pozzuoli	riscaldamento	riscaldamento ambientale, riscaldamento piscina, acqua calda sanitaria	273300	2050-2120	60
	Concessionaria automobilistica	Pozzuoli	riscaldamento	riscaldamento ambientale, riscaldamento aria forni verniciatura, acqua calda sanitaria	35000	1000	75
	Centro polifunzionale	Ischia	riscaldamento	riscaldamento ambientale, acqua calda sanitaria	32800	726	60
	Impianto espansione gas naturale	Bacoli	riscaldamento	riscaldamento del gas naturale espanso, 8 Mm3/anno		188	60
	Analisi geotermoconvettore						
	Utenze pubbliche rione Toiano	Pozzuoli	riscaldamento	riscaldamento ambientale, acqua calda sanitaria	62250	1450	75
	Analisi Pompe di calore ad assorbimento						
0	Albergo	Ischia	riscaldamento	riscaldamento ambientale, riscaldamento acqua piscina, acqua calda sanitaria, fanghi	20000	665	60
1	Impianto dissalazione acqua di mare	Ischia	riscaldamento	Evaporazione acqua, 68 t/h		6920	105
2	Ospedale	Ischia	riscaldamento	Riscaldamento ambiente e acqua calda sanitaria	14000	480	60
3	Industria	Bacoli	riscaldamento	Riscaldamento ambientale e acqua calda sanitaria	92000	2400	40
4	Analisi Pompe di calore						
5	Azienda vinicola	Ischia	Riscaldamento	Servizio enologia ed imbottigliamento, riscaldamento ambientale, riscaldamento serre	50000	1500	95

Nella tabella 3 sono riportati per ogni studio i valori della potenza geotermica massima ottenibile ed il valore dei risparmi energetici annui conseguibili in confronto con i sistemi tradizionalmente utilizzati per soddisfare le richieste di energia termica delle utenze considerate. Questi studi hanno dimostrato la fattibilità tecnico economica ed i benefici energetici ed ambientali che l'utilizzo diretto dell'energia geotermica può avere nel territorio campano. Va evidenziato che in tutti i casi considerati il fluido geotermico risultava disponibile in prossimità dell'utilizzo, in quantità congrua ed a profondità più che accettabili.

Tabella 3: Risultati dell'analisi energetica delle utenze considerate, [6]

N°	1	2	3	4	5	6	8	10	11	12	13	15
Potenza geotermica massima [kW]	931	455	2500	1150	684	139	858	665	6920	400	1725	812
Risparmio energetico [Tep/a]	183	119	277	68,2	81,8	33,5	34	110	6050	70	183	557

Lo studio a carattere parametrico condotto sulla pompa di calore ad assorbimento, AHP, ha analizzato l'influenza dei parametri: portata del fluido geotermico (30-90 t/h), temperatura del fluido geotermico (100-125 °C) e temperatura massima della soluzione del ciclo ad assorbimento (75-100 °C), sulle prestazioni energetiche, in riscaldamento e condizionamento, ed economiche. Sono state considerate possibili variazioni di altri parametri quali la profondità del pozzo e la sua distanza dall'utenza. Nella tabella 4 sono riportate le condizioni di minimo e massimo risparmio energetico annuo conseguibili.

Lo studio parametrico sulle pompe di calore ha considerato azionamenti elettrici, EHP, e con motori a combustione interna, GHP. Sono state analizzate le variabili di influenza: temperatura della fonte geotermica, portata del fluido, temperatura d'impiego da parte dell'utenza. In particolare per le EHP il fluido geotermico interagisce con il fluido frigorifero nell'evaporatore, mentre per le GHP oltre a quest'interazione termica è stato considerato l'ulteriore apporto energetico che la risorsa geotermica può dare all'utenza mediante recupero diretto con scambiatore. Nella tabella 5 sono riportate le condizioni di minimo e massimo risparmio energetico annuo conseguibili.

Tabella 4: Analisi energetica parametrica AHP, [6]

	Minimo	Massimo
Portata fluido geotermico [t/h]	30	90
Temperatura fluido geot. [°C]	100	125
Temperatura ciclo max [°C]	75	75
Potenza frigorifera max [kW]	340	2721
Potenza termica max [kW]	340	4081
Risparmio energetico [tep/a]	69	632

Tabella 5: Analisi energetica parametrica EHP e GHP [6]

<i>EHP</i>	Minimo	Massimo
Portata fluido geotermico [t/h]	20	50
Temperatura fluido geot. [°C]	30	90
Temperatura utenza [°C]	80	60
Risparmio energetico [tep/a]	46	867
<i>GHP</i>		
Portata fluido geotermico [t/h]	20	50
Temperatura fluido geot. [°C]	30	90
Temperatura utenza [°C]	80	60
Risparmio energetico [tep/a]	95	1000

Lo studio n° 7 ha riguardato il possibile utilizzo del GTC nell'ambito della geotermia valutando i limiti di utilizzo e l'influenza di molti parametri sul dimensionamento del GTC quali le di uscita del fluido geotermico, le temperature di ingresso e di uscita del fluido utilizzatore, le superfici di scambio all'evaporatore ed al condensatore ed i relativi coefficienti globali di scambio termico.

4.3. Applicazioni in Campania usi elettrici e misti.

A partire dal 1939-1943, da parte della società SAFEN è iniziata l'analisi delle potenziali utilizzazioni geotermoelettrici dell'area dei Campi Flegrei entro la quale è stata individuato il campo di Mofete, situato sulla collina omonima nel comune di Bacoli (NA), nelle vicinanze del porto di Baia nell'area compresa tra i tre laghi Fusaro, Averno e Lucrino. Dal 1979 l'AGIP in collaborazione con l'ENEL ha ripreso la fase di esplorazione e perforazione dell'area. I dati forniti dall'intensa attività di perforazione, le caratteristiche idrogeologiche dell'area Mofete determinate con la perforazione ed i risultati della sperimentazione condotta hanno indicato la possibilità di utilizzare i fluidi reperiti per la produzione di energia elettrica. Le potenzialità elettriche sono state valutate in riferimento all'installazione di turbogeneratori alimentati dal vapore separato dal fluido geotermico estratto. In relazione alle difficoltà di cui diremo in seguito fu stabilito un limite superiore di 15 MW alla potenza installabile nel campo ed un valore di potenziale sicuro, in base alle caratteristiche di produzione dei pozzi esistenti, di 7 MW sfruttabili anche oltre i 25 anni per i quali fu estesa la simulazione. I maggiori problemi riscontrati più che di natura tecnica, in relazione alle precipitazioni di

carbonati, silice e solfuri presenti nei fluidi reperiti, furono in relazione al reperimento di aree in cui perforare i pozzi. Infatti l'area di interesse, di circa 2 km², fu limitata da considerazioni di natura orografiche ed urbanistiche pur individuando zone attigue, come i Fondi di Baia o l'Area Industriale della SELANIA (attuale ALANIA), di promettente interesse geotermico. Inoltre nella stessa area di Mofete veniva evidenziato un notevole sviluppo dell'attività edilizia a seguito della quale la zona risultava prevalentemente destinata ad uso abitativo invece che agricolo, come previsto dai piani regolatori ed all'inizio dell'attività di ricerca geotermica. La natura abusiva delle costruzioni e l'esistenza di fenomeni naturali tipici dei Campi Flegrei, quali i microterremoti e l'innalzamento dei suoli, resero problematica la pianificazione del possibile sfruttamento del campo geotermico in relazione ai necessari controlli ambientali, alla sicurezza ed all'affidabilità delle installazioni industriali e, soprattutto, la scarsità di aree rimaste disponibili per ulteriori perforazioni e per l'installazione degli impianti di produzione dell'energia elettrica, [14].

Successive analisi, [15], pur evidenziando ancora i problemi derivanti dalla antropizzazione dell'area, individuavano disponibilità accertate elettriche di circa 9 MWe così suddivise tra i pozzi produttori: Mofete 1- 2,95 MWe, Mofete 2-3,05 MWe, Mofete 7d-3,61 MWe (con due pozzi reiniettori: Mofete 3d e Mofete 8d). Inoltre si individuavano una potenzialità del campo di circa 20 MWt per usi termici diretti attraverso il prelievo di energia in cascata alla centrale elettrica, il raffreddamento della frazione di vapore disponibile a monte della centrale elettrica, l'energia prelevabile dai pozzi produttivi non utilizzati per generazione elettrica, nonché le potenzialità di ulteriori pozzi perforabili. Veniva infine evidenziato che l'utilizzo di energia geotermica, elettrica e termica, nell'area considerava annullava uno dei fattori di rischio, quello minerario, limitando drasticamente gli investimenti per il rinvenimento e la valutazione delle risorse, già effettuata dalla joint-venture AGIP-ENEL. Molto interessanti appaiono gli usi agroalimentari, serre ed acquaculture, e quelle termali e ricreative.

5. Analisi energetica, economica e di impatto ambientale

La definizione degli obiettivi di diffusione della risorsa geotermica parte dalle analisi specifiche condotte nel territorio campano, paragrafi II.1.3.6.4.2 e 3, compatibilmente con le previsioni di sviluppo individuate dall'ENEA in relazione alle potenzialità di diffusione delle fonti rinnovabili in Italia sino al 2008-2012, [7]. In particolare, con riferimento al geotermico termico includendo anche gli usi balneologici e balneoterapici, vengono previsti i seguenti valori:

- anno 2002: potenziale produzione di 0,250 Mtep;
- anno 2006: potenziale produzione 0,300 Mtep;
- anno 2008-2012: potenziale produzione 0,4 Mtep.

I valori fanno riferimento al consumo medio evitato di combustibile fossile, principio della sostituzione, considerando un'efficienza media dei dispositivi a fonte fossile sostituiti pari al 90% e considerando la differenza di entalpia del fluido geotermico tra bocca di pozzo e scarico.

Allo scopo di definire l'aliquota dei suddetti contributi attribuibile alla regione Campania sono stati considerati alcuni parametri:

- le potenzialità di risparmio energetico che in alcune aree della Campania erano state individuate sia in relazione a specifici analisi di fattibilità tecnico-economica, sia con previsioni parametriche di penetrazione di alcune specifiche tecnologie, pompe di calore ad attivazione termica e meccanica, paragrafo II.1.3.6.4.2, [6];
- la popolazione della regione rispetto a quella nazionale;
- l'analisi delle carte tematiche che caratterizzano geotermicamente la regione rispetto alle altre aree geografiche di specifico interesse geotermico, prevalentemente Lazio e Toscana;

In base alle succitate informazioni è stato possibile stimare un contributo geotermico diretto minimo computabile alla regione pari a 0,005 Mtep/anno (con potenze installate dell'ordine di 12 MW). In tale scenario si mira anche alla razionalizzazione degli sfruttamenti esistenti prevalentemente rivolti ad un uso parziale della fonte per finalità balneologiche e di limitato riscaldamento invernale.

Una stima più ottimistica, rispetto a quella riportata in [7], della potenziale penetrazione del geotermico diretto sul territorio nazionale deriva dall'analisi dei PER delle regioni Toscana e Lazio che prevedono un contributo annuo rispettivamente di 0,09 Mtep e 0,087 Mtep, nonché dalle stime riportate in [12] che già nel 1999 rileva un valore di 0,240 Mtep in relazione agli utilizzi non elettrici dell'energia geotermica. Va inoltre sottolineato che la nostra regione risulta notevolmente in ritardo rispetto alle altre regioni italiane in relazioni allo sfruttamento per riscaldamento civile e conseguente teleriscaldamento, rispetto al quale le favorevoli condizioni climatiche pongono forti restrizioni, ma soprattutto in relazioni agli utilizzi per riscaldamento di serre, in particolare nella coltivazione di piante ornamentali, e nell'acquaculture. Sono infatti state realizzate numerose applicazioni in cui si prevede un'ottimizzazione dello sfruttamento dell'energia geotermica con impianti in cascata molto spesso a valle di sistemi geotermoelettrici. Non va quindi diminuito il ruolo di sviluppo di nuove attività produttive che lo sfruttamento delle acque calde sotterranee, nelle zone individuate nel capitolo II.1.3.6.1., potrebbe avere e le relative ricadute occupazionali: si calcola che 10 ha di serre determinino l'impiego di circa 100 persone, e 4 ha di piscicoltura può comportare l'occupazione di circa 50 persone, [15].

Vanno infine, considerate le problematiche di ottimizzazione energetica nell'ambito delle aziende termali che sempre più spesso associano attività propriamente terapeutiche ad attività ricreative dove esistono forti potenziali di utilizzo della risorsa geotermica al fine del contenimento del consumo di combustibile fossile.

E' stato quindi considerato uno scenario di massimo sfruttamento della risorsa geotermica campana in cui il valore del potenziale risulta fissato in 0,010 Mtep/anno (con potenze installate dell'ordine di 25 MW). In relazione agli investimenti necessari nei differenti scenari prefigurati occorre evidenziare che, ovviamente, le figure di costo risultano fortemente influenzate da alcuni parametri tipici della risorsa (accessibilità, diametro e profondità del pozzo, caratteristiche chimico fisiche del fluido, temperatura e portata del fluido) e dell'utenza (distanza dalla sorgente, caratteristiche delle richieste termiche), nonché dal tipo di sistema di recupero adottato. Nel succitato Libro Bianco, [7], viene definito un valore orientativo per gli usi termici della geotermia di circa 2789 €/US (pari a 5,4 M€/US dove l'Unità Servita risulta pari a circa 300 m³ con fabbisogno termico pari a circa 1 tep all'anno). Dal confronto con gli investimenti stimati nelle analisi riportate in [6], con quelli desumibili in letteratura [1] e nei PER della regione Toscana e Lazio, si evince che tale dato possa essere applicato nello scenario di minima diffusione. Nell'ipotesi di massimo sfruttamento del potenziale geotermico campano prefigurato e quindi in presenza di impianti centralizzati ed a cascata appare più congruo un valore di circa 7747 €/(tep/a) (15 M€/tep/a). In particolare tale valore risulterebbe ulteriormente incrementato se ai costi propri attribuibili all'utilizzazione della risorsa (perforazione ed impiantistica di sfruttamento) si aggiungessero gli investimenti relativi alla realizzazione degli stabilimenti produttivi, quali serre ed impianti di acquacultura.

In relazione all'impatto ambientale sono state quindi valutate le emissioni evitate di CO₂ equivalente nei due scenari di diffusione prefigurati. In particolare per l'uso termico da fonti rinnovabile, tenuto conto che i combustibili fossili utilizzati in tal ambito sono "leggeri", si assume abitualmente per il calcolo delle emissioni di gas serra un valore di 2,8 t di CO₂ per ogni tep prodotto; nella geotermia il valore viene ridotto a 2,3 t di CO₂ equivalenti per considerare le emissioni dirette di CO₂, [7].

	Energia risparmiata	Investimenti		CO ₂ evitata
	[Mtep/a]	[M€]	[M£]	[Mt di CO ₂ /a]
MIN	0,005	13,9	27	0,0115
MAX	0,01	77,4	150	0,023

Un ulteriore parametro di interesse è il rapporto tra l'investimento richiesto e il beneficio in termini di emissioni evitate di gas serra: questo rapporto ha valori estremi pari a 1200 e 3400 €/t di CO₂/a (2,32 e 6,58 M€/t di CO₂/a).

Come precedentemente evidenziato l'Area Flegrea, campo geotermico di Mofete, è stata sede di un lungo ed accurato studio in relazione alle cospicue potenzialità geotermoelettriche ivi appurate. Le analisi condotte hanno accertato una disponibilità di circa 9 MWe e di circa 20 MWt (paragrafo II.1.3.6.4.3 [15])

quest'ultima relativa prevalentemente ad utilizzi in cascata dei reflui dell'impianto elettrico. Pur riconoscendo l'interesse geotermico dell'area soggetta ad esame, e di quelle limitrofe, il progetto di sfruttamento elettrico e termico si è arenato per problemi essenzialmente legati al notevole sviluppo edilizio, a carattere prevalentemente abusivo, che rendeva problematica l'ubicazione degli impianti di sfruttamento e la loro messa in sicurezza. E' evidente pertanto che a valle di un'analisi territoriale ed urbanistica specifica da condurre nell'area il progetto potrebbe riproporsi pur avendo nel frattempo perso le economie di investimenti derivanti dalla cessata produzione dei relativi pozzi geotermici. Nell'ipotesi di sfruttamento elettrico potrebbero essere risparmiate circa 0,014 Mtep/a con un investimento relativo alla produzione elettrica, assumendo un costo di investimento pari a 2,60 M€/MWe (5,04 MD£/MWe [7]), di 23,4 M€ (45 MD£). In relazione allo sfruttamento diretto, prevalentemente data la natura dei luoghi in serricoltura ed acquacoltura, il risparmio energetico stimabile è di circa 8 ktep/a a fronte di un investimento di 22,3 M€ (43 MD£). Complessivamente il costo specifico sarebbe dell'ordine di 2066 €/(tep/a) (4 M£/(tep/a)). In relazione all'impatto ambientale, assumendo per la geotermia elettrica un valore di 1,36 t di CO₂/tep, si eviterebbero 0,037 Mt di CO₂ equivalente all'anno. Infine il rapporto tra l'investimento richiesto e il beneficio in termini di emissioni evitate di gas serra sarebbe pari a circa 1.188 €/(t di CO₂/a) (2,3 M£/(t di CO₂/a)).

BIBLIOGRAFIA

- [1] Sommaruga C., Verdini G. “Geotermia. Principi, ricerca, produzione”, NIS, 1995
- [2] Castaldi R. et al., “ Geothermal ranking of italian territory”, Geothermics, Vol 24, n. 1, pp 115-129, 1995
- [3] Ministero dell’Industria, del Commercio e dell’Artigianato, “Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali”, Regione Campania, 1987
- [4] Fonte: IIRG; Istituto Internazionale Ricerche Geotermiche,
- [5] Corrado G. et Al, “Surface Heat Flow density at Phelegrean Field Caldera (Southern Italy), Geothermics, Vol. 2, n. 4, pp. 468-484, 1998
- [6] Regione Campania – Techint (MI)-T&T (NA), Progetto Geotermia Area Flegrea, Studi di Fattibilità, 1988-1989
- [7] ENEA, “Libro Bianco per la valorizzazione delle Fonti rinnovabili”, ENEA, 1999
- [8] Culver G.G., Reistad G.M. Evaluation and design of downhole heat exchangers for direct applications, GHC Bull., 1999
- [9] Cannaviello M. et al., “An advanced system for heat transfer from geothermal low and medium enthalpy sources”, Proc. International Conference on geothermal energy, Italia, Firenze, 1982
- [10] M. Cannaviello, A. Carotenuto, F. Fucci, M. Sasso "Simulazione numerica di serbatoi geotermici in presenza di prelievo di energia in falda", *Atti 2° Seminario Informativo sulle attività di ricerca promosse con i progetti esecutivi 1984/86 Progetto Finalizzato Energetica*, pp. 661 - 675, Ferrara, dicembre 1987
- [11] M. Dentice d'Accadia, M. Sasso, S. Sibilio, R. Vanoli, *Applicazioni di energetica - Introduzione all'analisi tecnico-economica di sistemi per il risparmio energetico*", Liguori, Napoli, ISBN 88-207-2897-4, 1999
- [12] Carella R., Sommaruga C., “Geothermal space and agribusiness heating in Italy”, Proc. World Geothermal Congress 2000, pp. 117-121, Giappone, 2000
- [13] Sommaruga C. “Geotermia a bassissima temperatura”, Le Scienze, 1984
- [14] AGIP, “Studio di fattibilità del Progetto Mofete”, 1987
- [15] AQUATER, “ Regione Campania. Possibili utilizzi della risorsa geotermica attualmente disponibile nell’area Flegrea (Pozzi Mofete – S. Vito)”, 1991

Siti internet consultati:

www.geotherm.com, www.geoheat.org, <http://www.area.pi.cnr.it/AREAI/iirg.html>

Riferimenti normativi:

Legge n°896, 9/12/1986, Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche

Delibera della Giunta Regionale n° 2282/1993