

Energia dal terreno

MICHELE DE CARLI¹, NICOLA RONCATO¹, ANGELO ZARRELLA¹, ROBERTO ZECCHIN^{1,2}

¹ *Dipartimento di Fisica Tecnica, Università degli Studi di Padova*

² *TiFS Ingegneria, Padova*

RIASSUNTO

Oggi si rende sempre più necessario migliorare l'efficienza energetica dei sistemi e allo stesso tempo diversificare il più possibile le fonti energetiche. In tale quadro si inserisce molto bene la “sorgente geotermica”.

In questo lavoro vengono analizzate le tipologie e le problematiche dell'impiego dell'energia geotermica con particolare riferimento alle applicazioni per la climatizzazione. Dapprima vengono trattati gli aspetti tecnici inerenti le diverse tipologie: sonde geotermiche, acqua di falda, acqua di superficie, etc. Vengono altresì analizzati gli aspetti legislativi e normativi inerenti l'installazione degli impianti che utilizzano la “Terra” come sorgente termica.

1. INTRODUZIONE

Con il termine “energia geotermica” si intende generalmente il calore disponibile a temperatura maggiore di quella ambientale, che può, o potrebbe, essere estratto dal sottosuolo e sfruttato dall'uomo.

Pur non esistendo ancora una terminologia codificata adottata in campo internazionale si possono dare delle definizioni e classificazioni correntemente usate nel settore delle risorse geotermiche.

Quando si parla genericamente di risorse geotermiche, di solito ci si riferisce a quelle che più precisamente dovrebbero essere chiamate risorse di base accessibili, intendendo con questo termine tutta l'energia termica contenuta tra la superficie terrestre ed una determinata profondità, in un'area definita, e misurata partendo dalla temperatura media annua locale.

Il più comune criterio di classificazione delle risorse geotermiche si basa sull'entalpia dei fluidi termovettori, che trasferiscono il calore dalle masse calde profonde alla superficie. L'entalpia, che è correlata alla temperatura e alla pressione dei fluidi stessi è usata per

esprimere il loro contenuto energetico in rapporto sia al calore che al lavoro meccanico che se ne può trarre, e dà un'idea approssimativa del loro "valore". Le risorse geotermiche possono essere suddivise pertanto in risorse a bassa, media ed alta entalpia (o temperatura), secondo diversi criteri. La Tab. I riporta alcune classificazioni proposte in letteratura [1]: se ne evince che quando si parla di fluidi geotermici è opportuno, comunque, indicare la loro temperatura, o almeno un intervallo di temperatura, perché i termini "bassa", "media" o "alta" possono avere significati diversi e generare errori di interpretazione.

Tab. I: Classificazione delle risorse geotermiche in base alla temperatura (°C) [1]

	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Risorse a bassa entalpia	< 90	<125	<100	≤150	≤190
Risorse a media entalpia	90-150	125-225	100-200	-	-
Risorse ad alta entalpia	>150	>125	>200	>150	>190

L'energia geotermica, come finora descritta, può essere utilizzata per alimentare impianti operanti secondo cicli termodinamici (ciclo Rankine) al fine di produrre energia elettrica, oppure essere utilizzata sotto forma di calore, e si parla allora di "usi diretti" dell'energia geotermica. E' di questa seconda categoria che ci si occupa in questo lavoro.

E' opportuno, a questo punto, fare alcune precisazioni sul concetto stesso di energia geotermica. In primo luogo l'uso del sottosuolo, o dei fluidi da questo estratti, come "sorgente termica" non implica necessariamente che la temperatura di questa sorgente sia superiore a quella ambientale, sia media annuale che istantanea: basti pensare alle pompe di calore geotermiche, che possono funzionare con fluido all'evaporatore a temperature prossime a 0°C o addirittura inferiori; si osservi che l'uso del sottosuolo come "sorgente termica" di un ciclo termodinamico rende questa applicazione concettualmente simile a quella relativa ai cicli diretti, sopra menzionati, ma le pompe di calore vengono considerate tuttavia usi diretti in quanto, del processo termodinamico, è l'effetto termico che viene utilizzato. In alcuni casi il sottosuolo viene utilizzato come "serbatoio termico" nel quale riversare il calore di condensazione di macchine frigorifere o direttamente il calore sottratto dagli ambienti (cosidetto "free-cooling") quando le temperature del sottosuolo o dell'acqua (di falda o di superficie) lo consentano. Anche in questi casi, ancorché non vi sia un prelievo di calore, si può parlare di energia geotermica, in senso lato, in quanto a queste fattispecie corrispondono maggiori efficienze degli impianti.

Attualmente si hanno usi non elettrici (o diretti) dell'energia geotermica in settantuno Paesi nel mondo, mentre nel 2000 il loro numero era limitato a cinquantotto e a ventotto nel 1995 [7].

La potenza totale installata, riferita alla fine del 2004 è pari a 27'825 MW_t, pressoché raddoppiata rispetto al 2000, con un tasso di crescita annuo pari al 12,9 %.

L'energia utilizzata complessivamente è pari a 261'418 TJ annui (corrispondenti a 72'622 GWh), con un aumento quasi del 40 % rispetto al 2000, e un tasso di crescita annuo pari al 6,5%.

Energia dal terreno

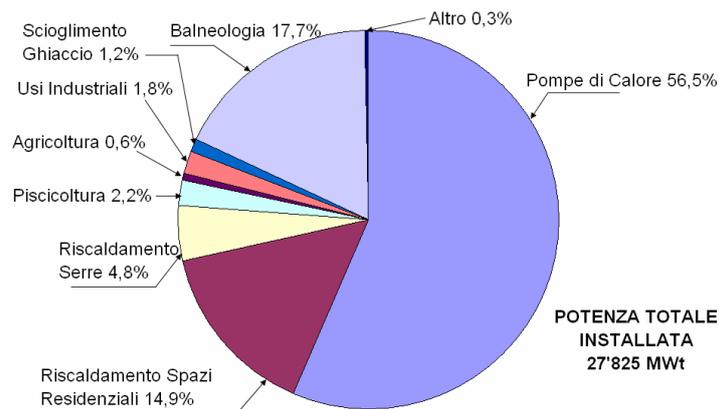


Fig. 1 – Potenza installata nel mondo, al 2005, per usi diretti del calore geotermico [7]

L'uso non elettrico più diffuso nel mondo (come potenza installata), come si vede in Fig. 1, è rappresentato dalle pompe di calore (56,5%), seguito da balneologia (17,7%), riscaldamento di ambienti (14,9%), serre (4,8%), acquacoltura (2,2%), impieghi industriali diversi (1,8%).

Il condizionamento di ambienti (riscaldamento e raffreddamento) con l'energia geotermica si è diffuso notevolmente a partire dagli anni '80, a seguito dell'introduzione nel mercato e della diffusione delle pompe di calore. I diversi sistemi a pompa di calore disponibili permettono di estrarre ed utilizzare economicamente il calore contenuto in corpi a bassa temperatura, come terreno, acquiferi poco profondi, masse d'acqua superficiali, etc.

Sistemi con pompe di calore accoppiate al terreno o a masse d'acqua sono attualmente presenti in almeno trentadue Paesi e, nel 2005, la potenza termica totale installata era stimata in 15'723 MW_t (56,5 %), con un uso annuo di energia pari a 86'673 TJ realizzando un Fattore di Carico¹ medio complessivo pari a 0.17 (in regime di riscaldamento). Gran parte delle installazioni si trovano in Nord America ed in Europa. La potenza media installata è pari a 12 kW_t, valore tipico per abitazioni statunitensi e dell'Europa Nord-occidentale. Tuttavia, le dimensioni di unità singole sono comprese tra 5,5 kW_t per uso residenziale e 150 kW_t e oltre per installazioni nel terziario. Si stima che sia 1,3 milioni il numero di unità installate, valore più che raddoppiato se confrontato con il dato relativo al 2000. Negli Stati Uniti molte unità sono dimensionate per il carico massimo in raffrescamento (peak cooling) e risultano sovradimensionate per il riscaldamento (eccetto nel nord del Paese) e questo comporta mediamente solo un migliaio di ore annue di funzionamento a pieno carico, con un fattore di carico pari a 0,11. In Europa, molte unità sono dimensionate per coprire il carico invernale base, lasciando a sistemi a combustibile fossile la copertura dei picchi di potenza. Ciò comporta che queste unità operino a pieno carico da 2000 a 6000 ore di funzionamento annue, con un fattore di carico da 0,23 a 0,68 [7].

¹ **Fattore di Carico (F.C.):** indice che esprime quanto l'impianto viene usato nell'arco di un anno. Ad esempio un F.C. pari a 1 indica che l'impianto è sempre attivo tutto l'anno cioè per $365 \times 24 = 8760$ ore a piena potenza; un F.C. pari a 0.5 indica che l'impianto funziona, nell'arco di un anno, per 4380 ore a piena potenza, oppure un numero anche maggiore con potenza anche ridotta.

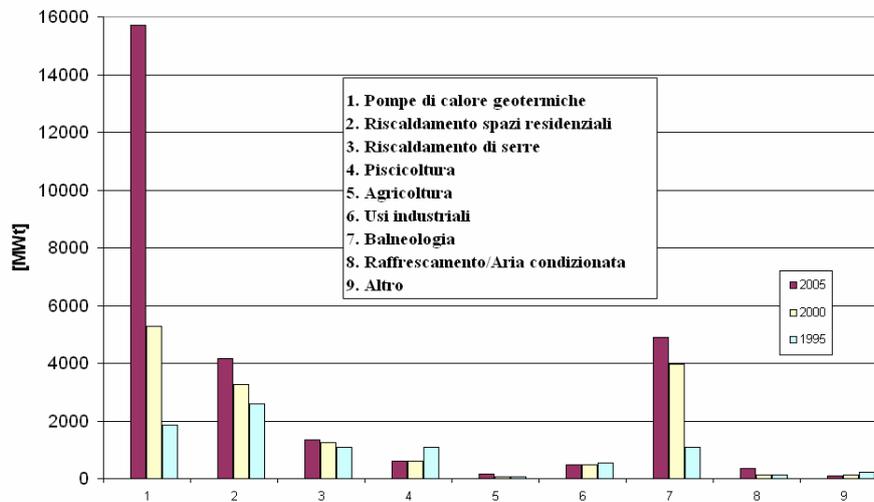


Fig. 2 – Sviluppo nel tempo della potenza termica impiegata per usi diretti [7]

La situazione italiana può essere descritta come “quasi stagnante”, nonostante l’ampia disponibilità di risorse geotermiche.

In Italia, sistemi di utilizzazione non elettrica dell’energia geotermica sono diffusi in diverse regioni, tra cui Emilia Romagna, Lazio, Toscana e Veneto. La potenza totale installata ammonta (2004) a 606,51 MW_t e l’energia utilizzata annua a 7554 TJ, (vedi Tab. II) valori che sono, peraltro, piuttosto bassi, se si considera l’elevata potenzialità geotermica del nostro Paese. Il calore geotermico è sfruttato nel riscaldamento di spazi residenziali e di singole abitazioni (132 MW_t), nel riscaldamento di serre (94 MW_t), in acquacoltura (92 MW_t), in processi termici industriali (10 MW_t), per il funzionamento di pompe di calore (120 MW_t) ed in balneologia (159 MW_t).

Lo sviluppo degli usi diretti dell’energia geotermica in Italia, a meno di quelli direttamente collegati ad applicazioni particolari (riscaldamento negli hotel di Abano ed Ischia, riscaldamento domestico nella città di Ferrara e nella zona di Larderello, zona legata alla produzione di energia elettrica da fonte geotermica), riscosse un modesto interesse verso la fine degli anni ’70 e durante gli anni ’80, in seguito alla crisi petrolifera che era in atto all’epoca. Per quanto riguarda il prossimo futuro, sono previsti pochi nuovi importanti sviluppi. Lo sviluppo di nuove zone geotermiche in Italia è condizionato da un elevato numero di fattori, tra i quali si possono citare: il prezzo finora relativamente basso del petrolio, i rischi conseguenti alle attività estrattive, la scarsa conoscenza delle risorse disponibili, alti costi di investimento rispetto ai sistemi tradizionali, difficoltà burocratiche e legali, preferenza di forme di riscaldamento individuale piuttosto che collettivo, presenza di serre di ridotte dimensioni, etc.

Poiché la crescente attenzione verso i problemi ambientali (obiettivi di Kyoto), favorisce un uso più intensivo delle forme di energia rinnovabile, si ritiene tuttavia che l’uso dell’energia geotermica possa assumere nel nostro Paese un ruolo importante [8].

Energia dal terreno

Tab. II: Usi diretti del calore geotermico al 31 Dicembre 2004 [8]

Località	Tipologia ¹	Massima Utilizzazione					Potenza (MW _t)	Su Base Annua		
		Portata (kg/s)	Temp. (°C)		Entalpia (kJ/kg)			Portata (kg/s)	Energia (TJ/anno)	Fattore di Carico
			In	Out	In	Out				
Bagno di Romagna	D	19,4	40	20			1,62	2,1	5,5	0,11
Brindisi Ittica Sud	F	500	25	15			20,93	250	329,8	0,5
Castelnuovo V.C.										
Comune	D	5,3	120	80	2600	360	11,87	1,3	90,7	0,24
Isolver	D	0	117	70	2600	300	0,07	0	0,6	0,29
Gruppo Italia	F	0,5	105	70	2580	300	1,14	0,3	22,9	0,64
La Boracifera	G	1,1	120	80	2600	360	2,46	0,4	26,1	0,34
Civitavecchia (Pantani)-Albani	G	305,6	52	25			34,54	69,8	248,4	0,23
Euganei										
Abano Terme		409,5	*78	35			73,73	273		0,67
	B							1006,4		
	H							541		
Baone	G	8,2	52	35			0,59	5,5	12,3	0,67
Battaglia Terme		19,7	70	35			2,88	13,1		0,67
	B							39,3		
	H							21,2		
Galzignano		69,8	70	35			10,23	46,5		0,67
	B							139,6		
	H							75,2		
EUGANEA FLORICOLTURA	G	33,3	63	35			3,9	22,2	82	0,67
FLORIDA	G	16,3	63	35			1,91	10,8	40	0,67
Montegrotto		236	*72	35			36,56	157,3		0,67
	B							499,1		
	H							268,8		
Ferrara	D	111,1	95	60			16,8	60,4	278,8	0,54
Isola di Ischia		500	*65	35			62,8	171,2		0,34
	B							575,9		
	H							101,6		
Monterotondo Marittimo										
COMUNE	D	5,8	95	70	1000	300	4,06	1,4	31,1	0,24
LA BORACIFERA	G	0,08	125	80	2600	360	1,79	0,3	18,3	0,32
Orbetello	F	1550	21	15			38,94	775	613,3	0,5
Piancastagnario FLORAMIATA	G	17,5	97	50	2200	200	35	8,4	529,6	0,48
Pomarance										
COMUNE	D	10,7	160	80	2640	360	24,37	1,1	76,3	0,1
Larderello Villaggi	D	1,4	160	80	2640	360	3,19	0,3	23,6	0,23
Larderello Industriale	D	5,6	160	80	2640	360	12,77	1,3	96,3	0,24
ENEL Larderello imp. Sport.	B	0,3	200	80	2720	360	0,71	0,1	4,2	0,19
SCL Larderello	I	4,3	200	80	2720	360	10,15	0,6	46,7	0,15
Radicondoli PARVUS FLOS	G	0,6	120	80	2580	360	1,33	0,2	13,4	0,32
Rodigo SETTEFRATI	G	18,2	60	38			1,68	10	29	0,55
	F	18,2	38	15			1,75	18,2	55,3	1
	B	4	60	25			0,59	3	13,9	0,75
Sannicandro AGRITICOLA LESINA	F	100	25	16			3,77	50	59,4	0,5
Torre Canne PANITICA PUGLIESE	F	900	19	15			15,07	450	237,4	0,5
ALTRI USI							50		800	
POMPE DI CALORE							120		500	
TOTALE							606,51		7554	

¹ D = Riscaldamento quartieri residenziali
G = Riscaldamento di serre
H = Riscaldamento abitazioni

F = Piscicoltura
B = Balneologia
H = Processi industriali

2. IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE GEOTERMICI

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

- pompa di calore, generalmente installata all'interno dell'edificio, o scambiatore di calore tra fluido derivante dal sottosuolo e sistema di distribuzione del calore;
- sistema di accoppiamento con il terreno oppure con l'acqua di falda o di superficie;
- sistema di distribuzione ed erogazione del calore, comprendente i terminali di impianto.

Vengono di seguito descritti gli usuali schemi impiantistici di sistemi di climatizzazione geotermica.

2.1. Riscaldamento

Lo schema di base è costituito dal circuito idraulico che riceve calore dal condensatore della pompa di calore e lo cede agli ambienti da riscaldare (vedi Fig. 3). Nei sistemi più complessi si ha un'eventuale suddivisione in zone, ciascuna servita da un proprio circuito "secondario" che fa capo a collettori di mandata e ritorno. Il circuito "primario" è in questo caso quello compreso tra condensatore e collettori. L'adottabilità delle pompe di calore è essenzialmente funzione della temperatura dell'acqua calda richiesta dall'utenza, come qui di seguito descritto.

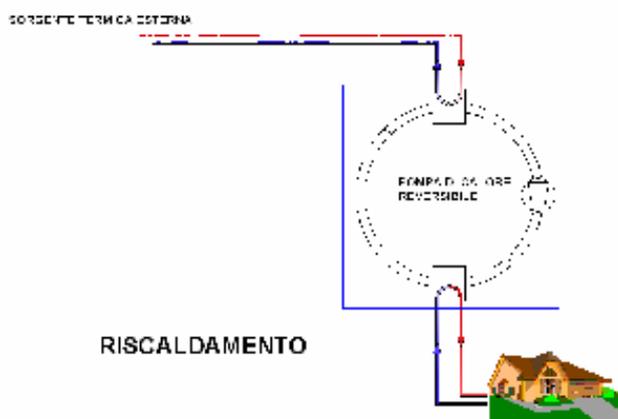


Fig. 3 – Schema di principio di una pompa di calore in regime di riscaldamento

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

Le tipologie di impianti di riscaldamento più diffuse appartenenti a questa categoria sono impianti a pannelli radianti, impianti a ventilconvettori, impianti a tutta aria e travi attive. Questi impianti sono ottimali dal punto di vista dell'impiego di pompe di calore poiché richiedono temperature dell'acqua calda anche inferiori a 35°C ed occasionalmente valori pari a circa 50°C (per la produzione dell'acqua calda sanitaria), con apprezzabili valori di COP (vedi Fig. 4). I citati terminali di impianto possono essere inoltre utilizzati nel raffrescamento, estendendo il tempo di utilizzo della pompa di calore (in questo caso

reversibile) anche alla stagione estiva. In questo caso il tempo di ritorno dell'investimento è basso, visto l'utilizzo continuo della macchina durante l'anno.

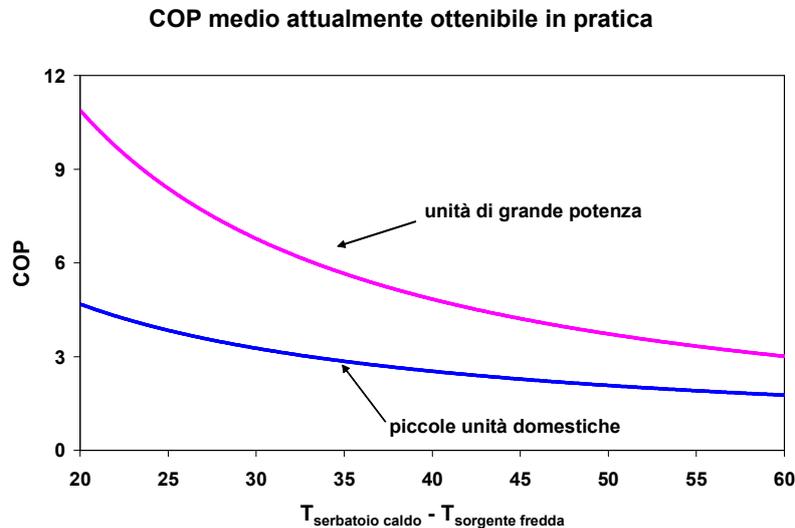


Fig. 4 – Andamento del COP in funzione della differenza tra le temperature dell'utenza calda e della sorgente fredda [9]

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

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

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

Nel caso di impianti esistenti occorre verificare la fattibilità sia tecnica che economica. I casi di più immediato interesse che si prospettano in relazione a questa tipologia di intervento sono quelli di edifici o di quartieri costruiti negli anni '60 e '70 che hanno la necessità di ristrutturare la centrale termica. Si noti peraltro come l'utilizzo di pompe di calore di elevata potenza (vedi Fig. 4) permette di ottenere comunque elevati COP, seppure con temperature di mandata, ai terminali di impianto, piuttosto elevate. Inoltre, se la sostituzione della centrale termica è accompagnata da interventi di riqualificazione dell'involucro, come per esempio la sostituzione di serramenti, le temperature di funzionamento dei corpi scaldanti diminuiscono, con evidente beneficio sull'efficienza.

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

Per quanto detto in precedenza la pompa di calore potrebbe ancora essere adeguata per servire utenze quando la temperatura dell'acqua calda richiesta eccede i 65°C, solo per impianti di elevata potenza e comunque in presenza di acqua superficiale fluente ad una temperatura non inferiore a 5°C. E' quanto accade nei grandi impianti di

teleriscaldamento scandinavi, dove si possono trovare installazioni di alcune decine di megawatt termici, eventualmente accoppiate ad impianti di cogenerazione [9].

Trasferimento di calore mediante anello d'acqua

Gli impianti ad anello d'acqua costituiscono un'interessante soluzione tecnica per quegli edifici ove vi sia contemporanea richiesta di riscaldamento e di raffrescamento. Quest'ultimo può essere necessario anche nella stagione invernale quando vi è elevata produzione di calore da fonti interne, come tipicamente accade negli edifici del terziario.

Il concetto di base è quello di avere un certo numero di pompe di calore reversibili ciascuna dedicata ad un ambiente o ad una zona dell'edificio oppure ad una funzione particolare (ad es. raffreddamento di locali contenenti computer o server). Esse si interfacciano da un lato con l'ambiente da riscaldare (o raffrescare) e dall'altro con un circuito di acqua ad anello che viene mantenuto ad una temperatura cosiddetta "neutrale", intorno a 20-25°C.

Le unità funzionanti in raffrescamento estraggono calore dall'ambiente (lato evaporatore) e riversano nell'anello il calore da dissipare (lato condensatore), mentre le unità funzionanti in riscaldamento usano l'anello come fonte di calore a bassa temperatura (lato evaporatore) e riversano in ambiente il calore necessario (lato condensatore). Il cambio di configurazione avviene automaticamente secondo le esigenze dei diversi ambienti.

Naturalmente è difficile che i carichi termici e frigoriferi si bilancino tra loro, pertanto sarà comunque necessaria un'interfaccia esterna all'anello d'acqua per riversare il calore in eccesso, quando, nella stagione estiva, la maggior parte delle pompe di calore funziona in raffrescamento, ricorrendo ad una torre evaporativa, oppure ad acqua di pozzo. Nella stagione invernale può accadere di attingere il calore necessario a mantenere la temperatura nell'anello d'acqua, quando le pompe di calore funzionano prevalentemente in riscaldamento. Ciò è ottenibile interponendo una pompa di calore tra l'acqua di falda e l'anello d'acqua. Questa soluzione comporta vantaggi e svantaggi:

- dal punto di vista dell'investimento si hanno due effetti contrapposti: da un lato un maggiore costo rispetto al caso di impianto centralizzato poiché invece di un'unica macchina o al più di poche unità, vi sono diverse unità di piccola taglia dislocate nell'edificio. Per contro la potenza complessivamente installata è minore per effetto della funzione di trasferimento di calore;
- i costi di manutenzione sono maggiori rispetto ad un impianto centralizzato, mentre i costi di esercizio sono ridotti per il fatto che si opera il trasferimento di calore;
- l'impianto è più flessibile, soprattutto nelle mezze stagioni, cosa che comporta maggior comfort all'interno degli ambienti;
- dal punto di vista termodinamico si tratta di una soluzione con due pompe di calore in serie (una operante tra la falda e l'anello, e l'altra tra l'anello e l'utenza) il cui effetto cumulato è sostanzialmente identico al caso in cui si abbia una sola macchina che opera tra falda e utenza.

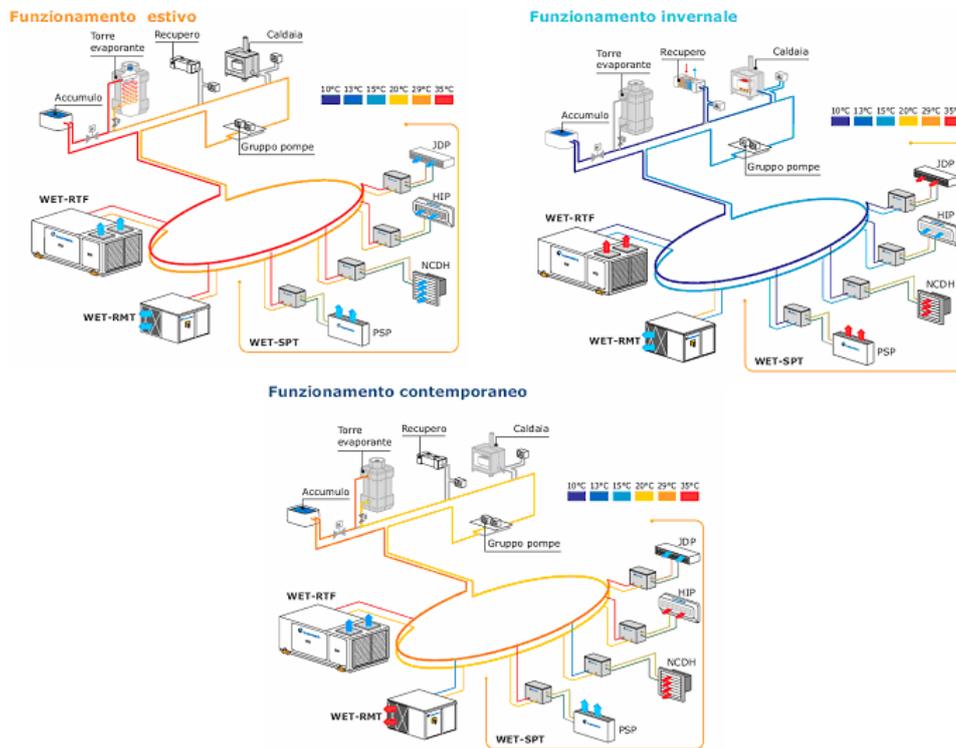


Fig. 5 – Schema di impianto ad anello d'acqua [29]

2.2. Raffrescamento

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

Pompa di calore reversibile

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

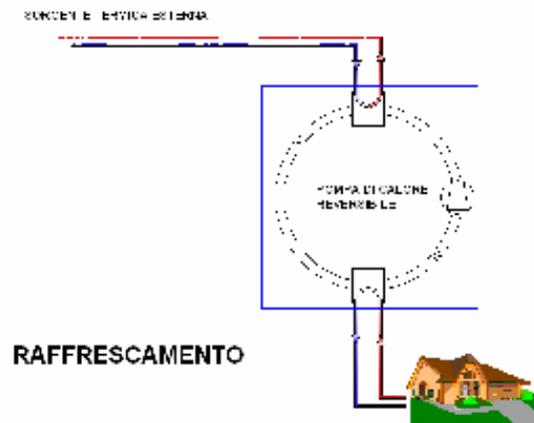


Fig. 6 – Schema di principio di una pompa di calore in regime di raffreddamento

Raffreddamento gratuito (Free cooling)

Il free cooling è ottimale nelle stagioni intermedie, poiché permette il raffreddamento degli ambienti senza avviare il gruppo frigorifero, quando il carico frigorifero delle utenze non è ancora elevato ed è generalmente limitato ad alcune di esse. Questa modalità di funzionamento può ottenersi mediante uno scambiatore di calore tra il circuito esterno e il circuito interno di utenza (vedi Fig. 7). Tale scambiatore di calore sarà installato in parallelo all'evaporatore della pompa di calore [10]. Nelle località appartenenti alla zona climatica F (con riferimento alla legislazione italiana), nel caso di applicazione residenziale, la limitata richiesta in regime di raffreddamento può essere ottenuta mediante l'operazione di free cooling.

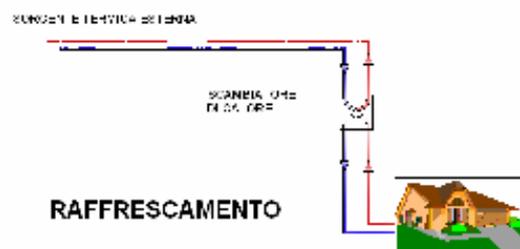


Fig. 7 – Schema di funzionamento in regime di “free cooling”

3. GLI IMPIANTI GEOTERMICI A CIRCUITO CHIUSO

Gli impianti accoppiati direttamente con il terreno attraverso un sistema di tubazioni a circuito chiuso al cui interno scorre il fluido termovettore, rappresentano il sistema più versatile di impiego dell'energia geotermica [11]. Le tubazioni interrato che costituiscono un siffatto sistema sono usualmente denominate "sonde geotermiche".

Le pompe di calore accoppiate a sonde geotermiche utilizzano l'acqua come fluido termovettore per il circuito di utenza dell'edificio e anche per gli scambiatori di calore a terreno, in questo caso eventualmente additivata con liquidi anticongelanti. Se nell'utilizzo della macchina prevale nettamente il funzionamento nella stagione invernale (o estiva) può verificarsi un progressivo raffreddamento (o riscaldamento) del sottosuolo, che può causare un decadimento delle prestazioni nel corso degli anni; è necessario in tal caso un sovradimensionamento iniziale dell'impianto (che in genere può essere dell'ordine di 10%), con possibile aumento del tempo di ritorno dell'investimento. L'equilibrio tra funzionamento estivo ed invernale limita o addirittura elimina le variazioni termiche del terreno nel corso degli anni, e diminuisce i tempi di recupero dell'investimento iniziale. Se l'utilizzo è prevalentemente invernale, esiste la possibilità di realizzare il "free cooling" in estate, qualora sia sufficiente un blando raffrescamento, attraverso uno scambiatore (tra circuito lato terreno e circuito lato edificio) in alternativa alla macchina frigorifera, quando le condizioni climatiche (del terreno e dell'ambiente esterno) lo consentono. Un'altra possibilità è quella di rigenerare il terreno (ossia riscaldarlo durante l'estate) accumulando calore mediante collettori solari [12].

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

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

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

I tubi in polietilene sono standardizzati come materia prima dalle norme UNI EN 12201 del 2004, e a quanto previsto dal D.M. n. 174 del 06/04/2004 (sostituisce Circ. Min. Sanità n. 102 del 02/12/1978); devono essere contrassegnati dal marchio IIP dell'Istituto Italiano dei

Plastici o equivalente marchio europeo, secondo quanto previsto dal “Regolamento di attuazione della legge quadro in materia di lavori pubblici 11 Febbraio 1994, n. 109, e successive modifiche”.

Si possono distinguere due tipologie adottabili nel settore delle sonde geotermiche: il polietilene reticolato ad alta pressione (PE-Xa) ed il polietilene non reticolato (PE 100). I vantaggi principali del polietilene reticolato possono riassumersi nei seguenti aspetti [14]:

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

In Tab. III sono riportati alcuni dati di confronto tra PE e PE-Xa.

Tab. III: Vita media prevista e relative pressioni massime di esercizio continuo per tubazioni di polietilene, in funzione della temperatura [14]

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

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

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

Se ne illustrano qui di seguito le principali caratteristiche.

3.1. Sonde geotermiche verticali

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

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

- a. singolo tubo ad U: all'interno della perforazione vengono inseriti un tubo di mandata e uno di ritorno collegati sul fondo, quindi si esegue il getto di riempimento (Fig. 8.a);
- b. doppio tubo ad U: come il precedente, con la differenza che nella perforazione si inseriscono quattro tubi collegati a due a due sul fondo (Fig. 8.b); le due "U" possono essere collegate tra loro in serie o in parallelo;
- c. tubi coassiali: il tubo di ritorno è interno a quello di mandata, che occupa tutta la sezione della perforazione, e quindi, se il diametro del tubo esterno è uguale o di poco più piccolo di quello della perforazione, non è necessario il getto di riempimento (Fig. 8.c).

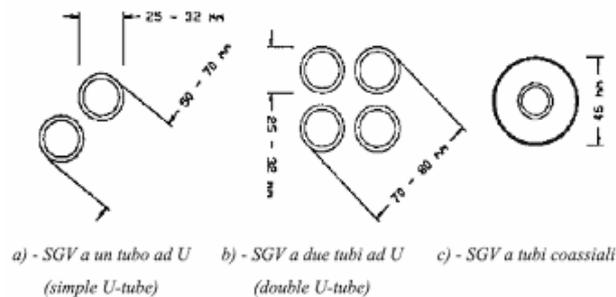


Fig. 8 – Sezione trasversale dei diversi tipi di sonde geotermiche verticali [11]

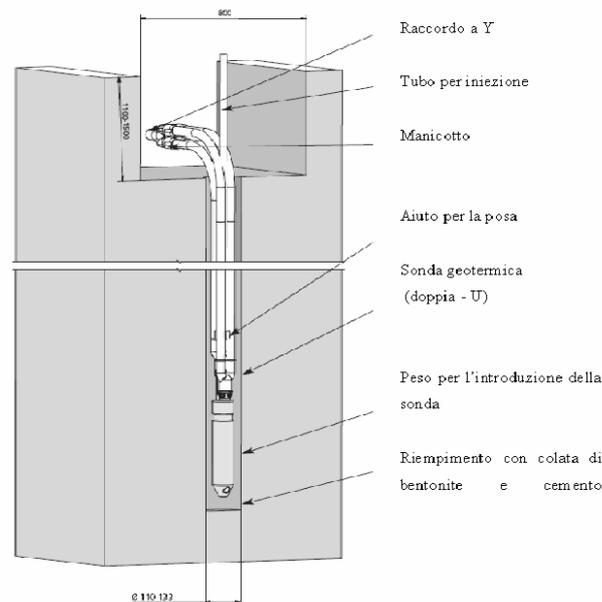


Fig. 9 – Sonda geotermica verticale del tipo a "doppia-U" [13]

La maggior parte degli impianti SGV presenta la sonda a doppia U, miscela di acqua e glicole etilenico (al 20% circa) come fluido termovettore e la possibilità di realizzare il "free cooling" in estate.

3.2. Sonde geotermiche orizzontali

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

Il campo di sonde a sviluppo orizzontale può presentarsi in diverse configurazioni, differenti fra loro secondo le diverse disposizioni delle tubazioni, del numero di tubi impiegati e della connessione fra i rami come illustrato in Fig. 10.

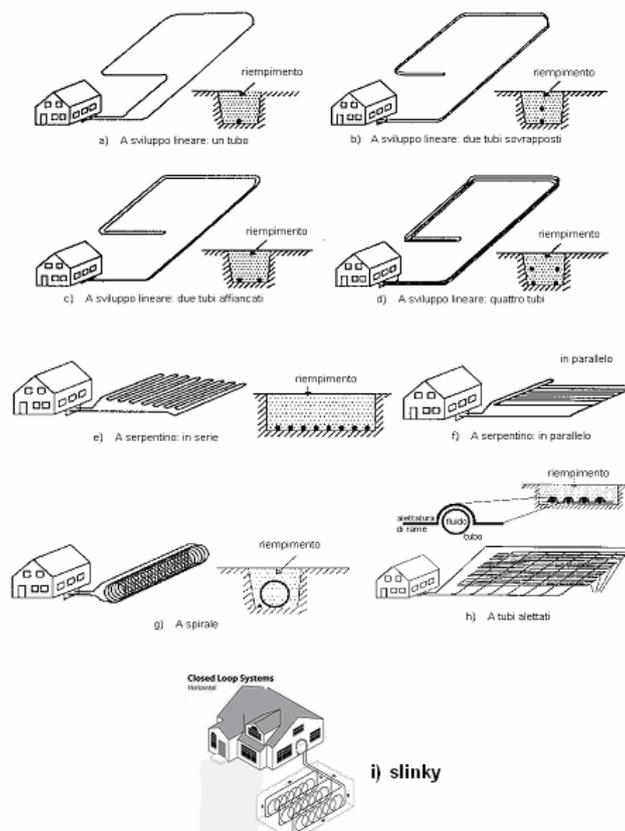


Fig. 10 – Configurazioni di posa per le sonde geotermiche a sviluppo orizzontale [15]

E' evidente che ad un maggiore fabbisogno termico dell'edificio corrisponde una maggiore estensione della superficie del terreno dedicato alla posa del campo di sonde. I parametri principali che influenzano il flusso termico scambiato fra la sonda e il sottosuolo sono sostanzialmente la lunghezza della tubazione, la profondità di installazione ed il passo tra i tubi; pertanto occorre valutare con attenzione la disponibilità di superficie di terreno da parte dell'utente qualora si scelga di adottare un impianto a sonde geotermiche a sviluppo orizzontale [15].

Le sonde orizzontali richiedono comunque superfici del terreno sensibilmente maggiori rispetto a quelle verticali, risentendo inoltre, in certa misura, dell'escursione annuale di temperatura dell'aria esterna. Quest'ultimo aspetto peraltro può giocare a favore di questa tecnologia, soprattutto in ambito residenziale, dove il rapporto tra carichi invernali ed estivi è

compreso tra 2 e 3. Risulta pertanto interessante l'utilizzo delle sonde orizzontali, visto che la rigenerazione del terreno in estate può essere fatta a spese della temperatura e dell'irradiazione esterna, e quindi in modo gratuito.

4. GLI IMPIANTI GEOTERMICI A CIRCUITO APERTO

Qualora come sorgente termica da abbinare alla pompa di calore venga scelta l'acqua si può utilizzare un sistema a circuito aperto o chiuso. Esempi di circuito aperto e chiuso sono evidenziati nella Fig. 11.

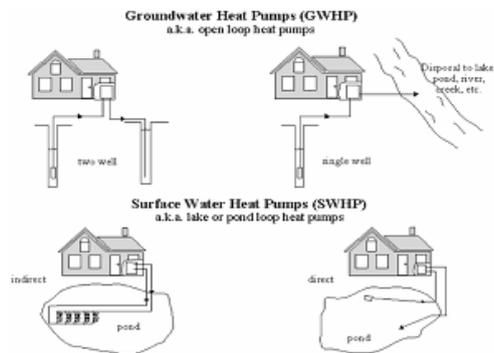


Fig. 11 – Sistemi a ciclo aperto e chiuso utilizzando l'acqua come sorgente termica [16]

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

L'uso delle acque superficiali è favorevole in Italia rispetto all'Europa settentrionale perché raramente i nostri corsi d'acqua o i laghi ghiacciano anche a fronte di prolungate temperature esterne sotto zero. Per contro, un ostacolo è costituito dalla variazione stagionale di portata d'acqua che può essere rilevante, con cospicue riduzioni nel periodo estivo, quando l'acqua è utile nel funzionamento della macchina come refrigeratore.

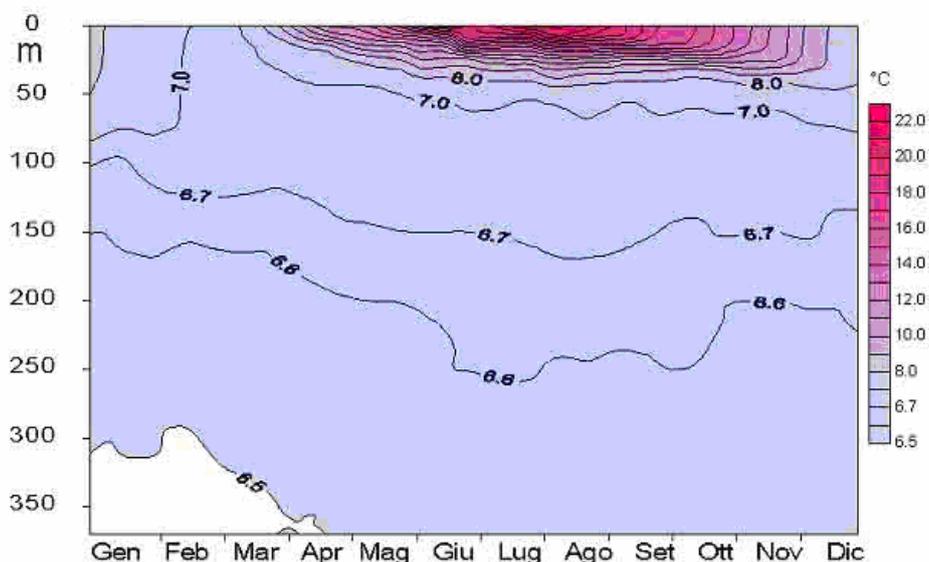


Fig. 12 – Andamento delle isoterme nel Lago Maggiore in funzione della profondità, (anno 1996) [17]

In Fig. 12 si può osservare, a titolo di esempio, l'andamento delle temperature del Lago Maggiore in funzione della profondità nell'arco di un anno. Si può osservare che, in un caso del genere, l'acqua consente anche il free-cooling, cioè il suo impiego diretto (tramite uno scambiatore di calore) nell'impianto di condizionamento, per il raffreddamento o il pre-raffreddamento dell'aria. L'ostacolo più rilevante per l'utilizzo dell'acqua è purtroppo quello burocratico-amministrativo, sia per le indispensabili autorizzazioni sia per le normative nazionali e regionali che condizionano il prelievo e lo scarico, come più oltre riportato.

Altrettanto dicasi per l'uso dell'acqua di mare o di falda salmastra in prossimità della costa, che in Italia offre condizioni molto favorevoli con temperature invernali difficilmente sotto 10°C ed estive mai superiori a 25°C nelle acque costiere. Sono valori adatti sia per la sorgente fredda della pompa di calore sia come serbatoio termico per il refrigeratore. L'aspetto negativo per l'acqua di mare è dovuto all'indispensabile ricorso a scambiatori intermedi realizzati in materiale pregiato e costoso, come il titanio, per resistere all'aggressività dell'acqua marina.

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

Anche in Italia l'acqua sotterranea (generalmente acqua di pozzo), è tuttora largamente utilizzata nei raffreddamenti in ambito industriale, con limitazioni sempre più severe nei confronti sia dello scarico in rete fognaria, sia del prelievo. Quest'ultimo è spesso condizionato dal progressivo abbassamento della falda. Per quanto riguarda lo smaltimento a valle dell'uso, è anche possibile, e talvolta obbligatoria, la reiniezione dell'acqua in falda, sia per evitarne l'impoverimento, sia con funzioni di accumulo stagionale. Purtroppo tanto la trivellazione dei pozzi e il prelievo dell'acqua, quanto la reiniezione in falda, in Italia sono ancora temi controversi e l'iter burocratico risulta estremamente complicato [18].

4.1. La tecnologia ATES

La tecnologia ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) è un particolare tipo di accumulo termico che sfrutta l'acqua del sottosuolo come serbatoio prelevandola da due diversi pozzi sufficientemente distanti. Durante la stagione estiva, l'acqua di falda viene estratta dal "pozzo freddo" ed è utilizzata per il raffreddamento del condensatore del refrigeratore e successivamente immessa nel sottosuolo nel "pozzo caldo". Durante il periodo invernale il prelievo avviene dal "pozzo caldo" e, dopo essere stata utilizzata nell'evaporatore della pompa di calore, viene immessa nel pozzo freddo, predisponendolo alla stagione estiva successiva (Fig. 13). Questa tecnologia può essere proficuamente adottata in presenza di bassa velocità nella falda freatica [11].

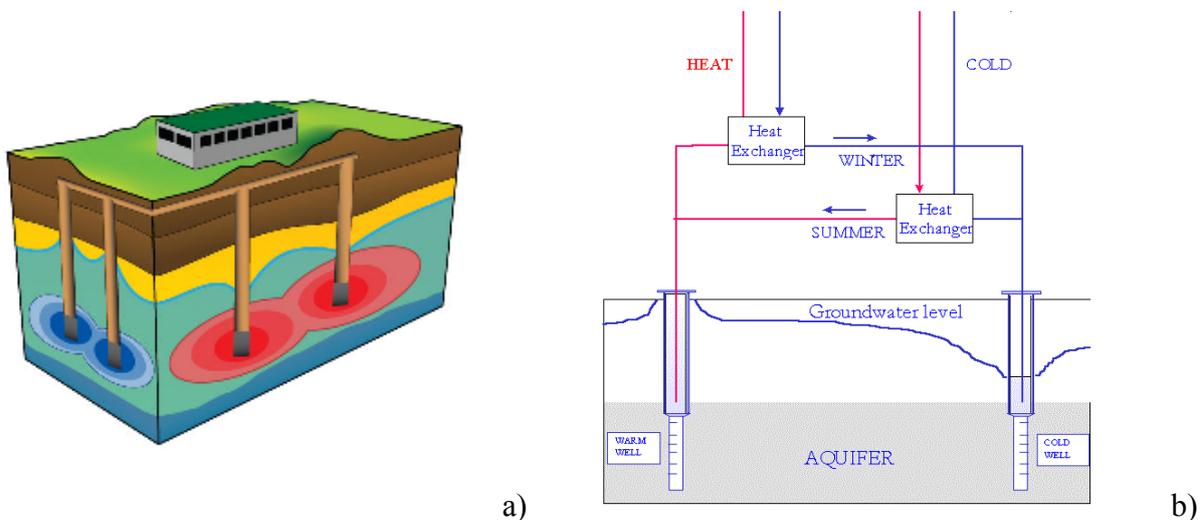


Fig. 13 – Principio di funzionamento della tecnologia A.T.E.S. a): [30]; b): [31]

Con il termine "acqua di falda" ci si riferisce all'acqua che scorre sotto la superficie terrestre all'interno di materiali non consolidati come sabbie e ghiaie; uno strato acquifero si manifesta dove le formazioni geologiche sono sufficientemente permeabili e adatte ad immagazzinare grandi quantità d'acqua.

4.2. L'acqua di pozzo o di falda

La temperatura delle acque sotterranee ha valori prossimi a quelli della temperatura del terreno; di conseguenza, nelle zone dove è disponibile l'acqua di falda, esiste una fonte di energia geotermica a bassa temperatura direttamente utilizzabile.

I sistemi geotermici a ciclo aperto utilizzano questa risorsa estraendo l'acqua dalla falda mediante pozzi e inviandola ad uno scambiatore di calore che permette di trasferire l'energia termica dell'acquifero ad un impianto utilizzante, per esempio, una pompa di calore. La maggior parte dei sistemi a circuito aperto successivamente scarica l'acqua utilizzata in un acquifero superficiale oppure la reintroduce in uno strato acquifero eventualmente diverso da quello di prelievo. Questo tipo di sistemi è relativamente semplice da realizzare e per applicazioni residenziali, commerciali e istituzionali è in grado di offrire una quantità di energia anche notevolmente superiore a quella ottenibile da sistemi a circuito chiuso con il vantaggio di un minor costo dell'impianto. Tuttavia questi sistemi possono potenzialmente

causare la degradazione ambientale dell'acquifero dovuta al riscaldamento o raffreddamento prolungato dello stesso; questo è particolarmente vero nei casi in cui l'iniezione (o la sottrazione) di calore non è ricambiata dalla rimozione (o dall'immissione) di una pari quantità di calore, causando così lo scompenso termico dell'acquifero.

La disponibilità di un prelievo di acqua di falda, utilizzata congiuntamente ad una pompa di calore del tipo acqua-acqua, permette la realizzazione di diverse soluzioni impiantistiche. Si descrivono di seguito alcune tipologie di soluzioni adottabili.

Utilizzo diretto

Secondo questo schema le acque del sottosuolo emunte vanno direttamente alla pompa di calore e successivamente vengono restituite in ambiente (corso d'acqua superficiale). Questa soluzione è quella preferibile dal punto di vista tecnico economico, poiché è la più semplice e meno costosa e permette di utilizzare l'intero salto termico disponibile.

Nel caso in cui le acque sotterranee contengano sostanze corrosive (acque sulfuree, ecc.), corpi solidi in sospensione o elementi comunque dannosi all'ambiente o alle superfici di scambio dell'evaporatore o del condensatore, occorre prevedere l'impiego di configurazioni e/o materiali speciali (scambiatori di calore a piastre, superfici di scambio in acciaio inox o in titanio), come più oltre illustrato.

Loop intermedio

Questo schema impiantistico è caratterizzato da un circuito intermedio che separa la pompa di calore dalla sorgente termica a bassa temperatura. Esso evita la presenza di una superficie di scambio che crea contiguità tra acqua di falda, da una parte, e fluido refrigerante dall'altra; l'evaporatore risulta così protetto dalla eventuale presenza di sostanze dannose presenti nell'acqua. Si distinguono i seguenti circuiti idraulici in sequenza:

- circuito dell'acqua di falda, costituito dal pozzo di emungimento (con filtri e pompa sommersa), scambiatore di calore e tubazione di scarico in corso superficiale;
- circuito intermedio, che riceve il calore dallo scambiatore sopra menzionato e lo trasferisce all'evaporatore/condensatore della macchina frigorifera;
- circuito del fluido di lavoro (refrigerante) della macchina;
- circuito dell'utenza alimentato dal condensatore/evaporatore della macchina.

Lo svantaggio di questa soluzione è che il circuito intermedio riduce di almeno 3-5°C il salto termico disponibile dell'acqua di falda. Questa soluzione è preferibile qualora si volesse reimmettere l'acqua in falda dopo il passaggio nell'impianto.

Vasca polmone

In questa soluzione impiantistica il circuito idraulico dell'acqua della falda è aperto e alimenta una vasca di accumulo.

Si ha la seguente sequenza:

- emungimento dell'acqua dal sottosuolo ed invio alla vasca;
- prelievo dell'acqua dalla vasca, invio alla macchina e, da qui, allo scarico.

In caso di rotture o malfunzionamenti dell'evaporatore/condensatore il refrigerante e l'olio eventualmente trasportato andrebbero a raccogliersi nelle vasche, evitando così di

contaminare il pozzo di emungimento o la linea di restituzione.. Per contro il sistema è reso più ingombrante e costoso [21].

4.3. Il trattamento dell'acqua di falda

Le problematiche che generalmente si incontrano nell'utilizzo delle acque di pozzo nei circuiti di riscaldamento e raffreddamento non sono facili da sintetizzare, poiché comprendono sia aspetti tecnici specifici, da un lato (relativamente a riscaldamento e raffreddamento), che aspetti quanto mai diversificati dall'altro (caratteristiche e utilizzo dell'acqua di pozzo): è necessario basarsi fundamentalmente su esperienze maturate nel settore.

Per affrontare i problemi specifici occorre fare riferimento a tre tipologie principali di acque utilizzabili:

- 1) acqua di falda fredda con caratteristiche rispondenti ai requisiti delle acque potabili (D.L. n. 31 del 2 febbraio 2001);
- 2) acqua di falda fredda con le peggiori caratteristiche presenti nel Triveneto;
- 3) acqua di falda a medio-alta temperatura (30 ÷ 80 °C).

Nonostante la specificità geografica, si ritiene che la trattazione sia comunque utile nell'ottica di un utilizzo diffuso dell'acqua di falda, in quanto la casistica qui riportata risulta molto simile a quella di diverse altre zone del territorio nazionale.

Caso 1: acqua di falda fredda potabile

I problemi connessi con l'utilizzo di quest'acqua sono la presenza di incrostazioni, legate al calo della solubilità dei sali di calcio e magnesio (durezza) per effetto della temperatura, e proliferazioni algali, batteriche etc., naturalmente derivanti da una loro presenza nell'acqua di pozzo, con formazione di biofilm, che influisce negativamente sullo scambio termico.

Nel caso considerato occorre procedere alle seguenti verifiche:

- 1) analisi chimica dell'acqua;
- 2) verifica degli indici di Langelier e di Ryznar (buoni indicatori sul comportamento incrostante o aggressivo dell'acqua);
- 3) verifica delle temperature di funzionamento (quanto più elevato è il salto termico tanto più elevata sarà la precipitazione salina o meglio della durezza temporanea, accompagnata anche dalla proliferazione batterica e algale); peraltro occorre sottolineare che il livello delle temperature, nei casi in esame, è sempre inferiore a 100°C.

Generalmente, in relazione al limitato salto termico cui si è vincolati e ai grandi volumi di acqua erogati, è sufficiente un dosaggio proporzionale di prodotti chimici. La loro scelta sarà orientata dall'analisi chimica dell'acqua e dalla verifica degli indici sopraccitati. Se a prevalere è la componente incrostante o quella aggressiva si sceglie fra i componenti sottoelencati, che sono quelli più comunemente usati e dei quali si riporta la componente prevalente:

- polifosfati, la cui azione prevalente è antincrostante;
- polifosfati e silicati che associano gli effetti anticorrosivo e antincrostante;
- fosfonati, la cui azione prevalente è antincrostante;
- polialchilammine, che associano gli effetti anticorrosivo e antincrostante;

- poliammide, che associa gli effetti anticorrosivo e antincrostante;
- polialchilammine miscelate con sali quaternari d'ammonio, che associano gli effetti: anticorrosivo, antincrostante e antialghe.

Secondo le valutazioni sulla presenza algale, il dosaggio di un antincrostante o anticorrosivo è completato da un dosaggio di prodotto antialghe. Le molecole più usate per contenere la proliferazione algale sono principalmente:

- ipoclorito di sodio;
- sali quaternari di ammonio;
- biossido di cloro;
- acqua ossigenata e ioni d'argento;
- composti organici di zolfo-azoto.

Caso 2: acqua di falda fredda con le peggiori caratteristiche presenti nel Triveneto

Diversi sono i problemi connessi all'utilizzo di questo tipo di acqua:

- a) Presenza di ferro e manganese, il cui effetto è la formazione di depositi con ostruzioni delle tubazioni, la crescita di fenomeni corrosivi sotto deposito, le corrosioni per ferrobatteri (Gallionella).
- b) Presenza di metano, la cui presenza, a parte i rischi di esplosione o incendio, implica con molta probabilità un'acqua contaminata da batteri e sostanze organiche da cui possono derivare depositi organici, fenomeni di corrosione e formazioni di biofilm; questo elemento è particolarmente presente nelle zone centrali della pianura padana a cavallo del Po.
- c) Presenza di nitrati, ammoniaca, nitriti o batteri nitrificanti (Nitrosomonas e Nitrobacter possono trovare le condizioni ambientali per trasformare in acido nitrico l'ammoniaca); i nitrati danno luogo a fenomeni di corrosione localizzata.
- d) Batteri solfato riduttori (acido solfidrico, segnalato dal caratteristico odore di uova marce); in presenza di solfati il Desulfovibrio porta alla formazione di FeS e quindi a una corrosione autostimolante.
- e) Presenza di incrostazioni, dovuta al calo della solubilità dei sali di calcio e magnesio (durezza) per effetto della temperatura.
- f) Proliferazioni algali, batteriche ecc., derivanti naturalmente da una loro presenza nell'acqua di pozzo, con formazione di biofilm che influenza in maniera fortemente negativa lo scambio termico.

In questo caso occorre procedere alle stesse verifiche a cui si ricorre nel caso di acqua potabile (Caso 1).

La tecnica di intervento deve rimuovere questi elementi pericolosi oppure contrastare con prodotti chimici la loro deleteria presenza.

Il ferro e il manganese sono rimossi con la classica tecnica dell'ossidazione e della filtrazione multistrato con letto catalitico, che unisce le esperienze americane e tedesche nel campo della filtrazione. In questo caso si consiglia l'immissione di ipoclorito perché potrebbe essere eseguita in linea e consentirebbe lo sfruttamento quasi integrale del salto termico di progetto dell'acqua. L'ossigenazione o l'aerazione richiederebbe tempi prolungati di contatto, e conseguentemente vasche di notevoli dimensioni, e inoltre si disporrebbe di acqua a una temperatura poco adatta allo scopo. Il ricorso ad ozono e biossido di cloro è da escludere poiché, oltre al mancato sfruttamento del ciclo termico

per il primo, si aggiungerebbero dei costi di gestione troppo onerosi per entrambi. Queste considerazioni valgono anche per la risoluzione dei problemi di presenza di incrostazioni e proliferazioni algali, batteriche ecc.

Il metano, una volta estratto dall'acqua, non crea problemi, purché si verifichino gli aspetti termici della fase di estrazione.

Nel caso di presenza di nitrati, ammoniaca, nitriti o batteri nitrificanti, occorre principalmente distinguere tra nitrati e ammoniaca. I primi sono molto legati alle lavorazioni agricole e quindi a fattori di stagionalità. La loro rimozione è molto costosa e quindi è preferibile trasferire la loro "neutralizzazione" nella scelta dei materiali che compongono l'impianto, con conseguenti costi sicuramente inferiori. L'ammoniaca ha la necessità di un'ossidazione e fra le varie tecniche si sceglie la più semplice per gestire il break-point (dosaggio di ipoclorito di sodio fino a un potenziale redox di 750 mV). Questa soluzione, oltre a richiedere un tempo di contatto elevato e dimensioni notevoli delle vasche, riduce il salto termico disponibile e quindi la potenziale efficienza di un sistema ad acqua. Come per i nitrati è meglio scegliere in modo opportuno i materiali, evitando assolutamente il rame e i composti cuproammoniacali.

I batteri solfato riduttori o acido solfidrico richiedono una rimozione molto semplice ed efficace, che consiste nell'insufflazione di aria o aerazione che però penalizza l'aspetto termodinamico, come già visto in precedenza.

La tecnica di rimozione degli elementi appena visti deve essere integrata dal dosaggio proporzionale dei prodotti chimici già citati per il Caso 1 sopra descritto, e la loro scelta sarà orientata dall'analisi chimica dell'acqua e dalla verifica degli indici sopraccitati.

Anche in questo caso, per contrastare la presenza algale il dosaggio di un antincrostante o anticorrosivo sarà associato ad un dosaggio di prodotti antialghe come precedentemente descritto.

Caso 3: acqua di falda a medio-alta temperatura (30 ÷ 80 °C)

I problemi connessi all'utilizzo di queste acque sono relativi alla temperatura. L'acqua a circa 30°C, con profondità di prelievo media di circa 400 ÷ 500 m, viene utilizzata direttamente nel riscaldamento a pavimento (aree costiere del Veneto e del Friuli) e ha dimostrato problemi quali ostruzioni della rete derivanti da precipitazioni saline in genere, corpi estranei e proliferazioni algali. L'acqua a 60 ÷ 80 °C con derivazione di origine vulcanica (zona Abano e limitrofe) presenta problemi di corrosione molto elevati. L'analisi chimica dell'acqua è in questi casi indispensabile. Generalmente le soluzioni non coinvolgono il trattamento dell'acqua ma solo ed esclusivamente la parte impiantistica nella scelta dei materiali. Naturalmente tutte le problematiche viste non prendono in considerazione i circuiti secondari ai quali si applicano le norme UNI-CTI 8065 e 8884.

5. GLI ASPETTI NORMATIVI E LEGISLATIVI

Nei primi anni del secolo scorso in Italia vigevano leggi diverse da Regione a Regione, derivanti dagli Stati esistenti prima dell'unità d'Italia. In alcune Regioni vigeva ancora il sistema fondiario per cui il proprietario del suolo era anche il proprietario di tutto ciò che era ricavabile dal sottosuolo. Inoltre l'estrema frammentazione della proprietà rendeva difficile la nascita e lo sviluppo di imprese minerarie per la ridotta capacità tecnico-economica dei titolari dei diritti di superficie.

5.1. La legge mineraria del 29 luglio 1927 n° 1443

Il Governo dell'epoca ritenne opportuno disciplinare in un'unica raccolta organica di leggi l'attività mineraria su tutto il territorio nazionale assumendo il principio che "... I diritti del proprietario debbono armonizzarsi con le esigenze della consociazione civile...". Pertanto, "la disponibilità del sottosuolo doveva essere svincolata da quella della superficie".

Per perseguire lo sviluppo delle imprese minerarie con il Regio Decreto 1443 del 1927, furono omogeneizzate le legislazioni in materia mineraria allora vigenti; venne altresì stabilito che il minerale costituiva "Patrimonio Indisponibile dello Stato" (ex Art. 826 c.c.).

Le risorse minerarie vennero suddivise in due categorie, I e II, a seconda dell'importanza economica e strategica del minerale; per ciascuna categoria vennero definite norme specifiche. Il permesso di ricerca e coltivazione mineraria era dato in concessione a quei soggetti fisici e giuridici che dimostravano di avere le capacità tecniche ed economiche idonee a svolgere il programma dei lavori approvato con il Decreto. L'unico interlocutore del Ricercatore e/o Concessionario per l'autorizzazione allo svolgimento delle attività minerarie era il Ministero dell'Economia Nazionale – Direzione Generale delle Miniere. La gestione ed il controllo sul territorio erano attuati dal Ministero attraverso il Corpo delle Miniere, con i Distretti minerari. I proprietari dei fondi compresi nel perimetro del Permesso di ricerca e/o Concessione mineraria non potevano opporsi ai lavori, pur avendo il diritto al risarcimento dei danni. Le attività di esplorazione e coltivazione erano considerate opere di utilità comune, urgenti ed indifferibili e quindi seguivano un iter amministrativo privilegiato.

Tale legislazione, seppure aggiornata in molti aspetti (riguardanti soprattutto la sicurezza, ed integrata in tempi recenti con leggi di settore del 1986 riguardanti gli Idrocarburi e la Geotermia, trasferendo le competenze dal Corpo delle Miniere all'Ufficio Nazionale Minerario Idrocarburi e Geotermia, e perciò dai Distretti Minerari alle Sezioni dell'UNMIG) è rimasta valida fino all'avvento del D.L. n° 112 del 31 Marzo 1998, Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali in attuazione della legge n° 59 (capo IV) del 15 Marzo 1997.

5.2. La "legge geotermica" per il rilancio del settore

Agli inizi degli anni '70 il Regio Decreto del 1927 prima menzionato, mostrava le prime limitazioni di fronte agli sviluppi tecnologici degli impianti di perforazione. Inoltre, erano maturate altre esigenze, di carattere ambientale, relative ai rapporti con il territorio nei quali si svolgevano le attività di esplorazione, di sicurezza per il personale. Ciò indusse il Parlamento ad adottare una legge specifica per la geotermia, e cioè la Legge n° 896 del 9 Dicembre 1986, e successivamente il suo Regolamento di attuazione con il DPR n° 395 del 9 Dicembre 1991.

Questa legge fu la prima del corpo legislativo italiano ad adottare una regolamentazione assimilabile alle successive normative di Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA). Questa valutazione venne affidata congiuntamente al neonato Ministero dell'Ambiente, al Ministero dei Beni e delle Attività Culturali, al Ministero dell'Agricoltura, e a quello della Sanità, nonché alle Regioni ed ai Comuni interessati, con il coordinamento del Ministero dell'Industria che svolgeva anche le funzioni di Autorità proponente.

Nello stesso periodo furono emesse anche varie norme inerenti sia la "gestione" del fluido termovettore (Legge n° 319 del 10 Maggio 1976) che le emissioni in atmosfera (DPR n° 203 del 24 Maggio 1988).

La Legge n° 319/76 (meglio nota come "Legge Merli") e le sue successive modifiche ed integrazioni, prevedeva che le condense dei fluidi geotermici non potevano essere scaricate in superficie se non dopo essere adeguatamente trattate; il trattamento risultava in alcuni casi estremamente oneroso. Di conseguenza, per cercare di risolvere in altro modo il problema della gestione dei reflui geotermici, furono accelerati fortemente gli studi e le sperimentazioni sulla reiniezione dei reflui negli stessi serbatoi di provenienza dei fluidi estratti.

Le norme sulle emissioni in atmosfera dei reflui gassosi hanno fatto avviare una serie di studi ed esperienze volti a minimizzare l'impatto sulle popolazioni residenti. Essi sono sfociati in un brevetto dell'Enel di abbattimento praticamente totale dell'idrogeno solforato e del mercurio nei gas di scarico delle centrali, cui è stato dato nome AMIS (Abbattimento di Mercurio ed Idrogeno Solforato).

5.3. Il regolamento di attuazione della "legge geotermica"

Alla legge geotermica del 1986 ha fatto seguito, seppure con ritardo, il regolamento di attuazione adottato con il DPR 395/91 che ha dettato norme specifiche per la gestione del titolo minerario. L'energia per unità di massa degli idrocarburi è di almeno un ordine di grandezza superiore a quella dei fluidi geotermici, quindi i rischi minerari derivanti dalla possibilità di perforare pozzi sterili, e i costi di perforazione in generale, possono essere compensati, nel caso dell'industria petrolifera, dal molto più alto valore dell'energia prodotta. Inoltre, nei pozzi geotermici sono inferiori anche i rischi connessi con la deflagranza dei gas contenuti nei fluidi geotermici.

5.4. Piano energetico nazionale (Leggi N. 9 e 10 del Gennaio 1991)

A seguito del referendum che impose la chiusura delle centrali nucleari, il Governo decise di predisporre un Piano Energetico Nazionale (PEN) in modo da far fronte alle crescenti richieste di energia elettrica, ed alla necessità quindi di sviluppare forme "alternative-integrative" di energia. Nella legislazione furono così introdotti molteplici riferimenti allo sviluppo ed incremento dell'impiego delle Fonti di Energia Rinnovabile (FER); vennero altresì stabilite norme su alcuni aspetti particolari del settore dell'energia, ma senza definire una vera e propria strategia energetica nazionale, sia per quanto riguarda la tipologia di impianti da utilizzare, sia per quanto concerne il "mix" energetico (gas, carbone, olio combustibile, FER, etc.).

La Legge 9/91 (Norme per l'attuazione del nuovo Piano energetico nazionale: aspetti istituzionali, centrali idroelettriche ed elettrodotti, idrocarburi e geotermia, autoproduzione e disposizioni fiscali), regola il rilascio delle concessioni idroelettriche, la costruzione degli elettrodotti, e la pianificazione della costruzione degli impianti di produzione elettrica.

La Legge 10/91 (Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia) detta norme sul risparmio energetico, sul miglioramento della compatibilità ambientale e sull'uso razionale dell'energia. Inoltre, fu inserito nella legislazione italiana il concetto che l'utilizzazione delle FER deve essere considerata di interesse ed utilità pubblica, e che le relative opere vanno equiparate a quelle dichiarate indifferibili ed urgenti ai fini dell'applicazione delle leggi sulle opere pubbliche; concetto per altro già vigente per la geotermia in quanto risorsa mineraria.

Successivamente, la Delibera CIPE n.137 del 1998 (Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra), ha riconosciuto alla produzione di energia da FER un ruolo estremamente rilevante ai fini della riduzione delle emissioni dei gas serra, paragonabile ai contributi richiesti ad altre importanti attività per la riduzione di tali emissioni. Inoltre, con atti successivi, per ciascuna delle fonti rinnovabili, sono stati definiti gli obiettivi da conseguire per ottenere le riduzioni di emissioni di gas serra, che la delibera CIPE attribuiva alle fonti rinnovabili, e sono state altresì indicati le strategie e gli strumenti necessari allo scopo. Così infatti recita la disposizione: "...Il Governo italiano attribuisce alle fonti rinnovabili una rilevanza strategica. Pertanto, nell'ambito di una coerente ed incisiva politica di supporto dell'Unione Europea, si è inteso sostenere la progressiva integrazione di tali fonti nel mercato energetico e sviluppare la collaborazione con i Paesi dell'area mediterranea...". In particolare, le enunciate motivazioni per lo sviluppo delle fonti rinnovabili sostengono che esse "...possono fornire un rilevante contributo allo sviluppo di un sistema energetico più sostenibile, incrementare il livello di consapevolezza e partecipazione dei cittadini, contribuire alla tutela del territorio e dell'ambiente, e fornire opportunità di crescita economica....".

Il decentramento amministrativo realizzato con la suddetta Legge n. 59 del 15 Marzo 1997 ha delegato alle Regioni la competenza amministrativa sulle risorse geotermiche conservando allo Stato il potere legislativo e di indirizzo. Inoltre, la Legge n. 59/97 sopra citata ha previsto la possibilità per le Regioni di dotarsi di un proprio piano energetico detto PER (Piano Energetico Regionale) che, tenendo anche conto dei fattori ambientali locali, deve costituire uno strumento di programmazione regionale di fondamentale importanza per la definizione di politiche di sviluppo del relativo territorio.

5.5. Recepimento della Direttiva Europea sulla "VIA"

In linea generale, la procedura di Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA) è regolata dall'articolo 40 della Legge n° 146 del 22 Febbraio 1994: "Disposizioni per l'adempimento di obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia alle Comunità Europee - Legge comunitaria 1993". Tale legge non fa alcun riferimento alle attività geotermiche; pertanto, le norme di tutela ambientale sono quelle disposte dalla Legge n. 896/86 e dal DPR 395/91, con una procedura di approvazione dello "Studio delle Modifiche Ambientali" sostanzialmente diversa dalla VIA della Legge 146/94. Successivamente, con il DPR del 12 Aprile 1996 "Atto di indirizzo e coordinamento per l'attuazione dell'Art. 40, comma 1, della Legge n° 146 del 22 Febbraio 1994, concernente disposizioni in materia di valutazione di impatto ambientale", e soprattutto con il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 3 Settembre 1999, sono state aggiunte agli allegati A e B, voci specifiche che riguardano le attività geotermiche. In base alle leggi e norme sopra richiamate, tutte le procedure per il rilascio di titoli minerari nel

settore geotermico (procedure minerarie vere e proprie, e procedure urbanistiche, edilizie, ambientali e coattive) sono ora di competenza regionale.

Attualmente il D. Lgs 152 del 2006 (Parte Seconda: Procedure per la valutazione ambientale strategica (VAS), per la valutazione d'impatto ambientale (VIA) e per l'autorizzazione ambientale integrata (IPPC)) costituisce la normativa di riferimento sull'argomento.

5.6. Conferimento alle regioni della delega amministrativa

Il Decreto Legislativo n° 112 del 31 Marzo 1998, "Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli Enti locali, in attuazione del capo I della legge n° 59 del 15 Marzo 1997", capo VI, Art. 34, stabilisce che "Le funzioni degli uffici centrali e periferici dello Stato relative ai permessi di ricerca ed alle concessioni di coltivazioni di minerali solidi e risorse geotermiche sulla terraferma sono delegate alle Regioni, che le esercitano nell'osservanza degli indirizzi della politica nazionale nel settore minerario e dei programmi nazionali di ricerca".

5.7. Utilizzo diretto del calore geotermico

L'utilizzo di acque geotermiche non idonee alla produzione elettrica può essere distinto in due grossi filoni: uno destinato all'uso balneo-terapico e l'altro destinato all'uso energetico. Quest'ultimo utilizzo è regolamentato da tutte le normative minerarie, nel caso in cui le acque termali provengono da sistemi idrogeologici definiti di interesse locale dalla Legge 896/86 ("...sono risorse di interesse locale quelle economicamente utilizzabili per la realizzazione di un progetto geotermico di potenza inferiore a 20 MW_t ottenibili dal solo fluido geotermico alla temperatura convenzionale di 25 °C..."). Acque calde reperibili a profondità inferiore a 400 m, con potenza termica non superiore a 2 MW_t sono considerate invece piccole utilizzazioni locali. La ricerca e l'uso delle acque termali a scopo terapeutico sono regolamentate dalla legislazione sanitaria, che era già di competenza regionale, pur essendo anch'essa regolata da un regime concessorio [22].

5.8. Normativa nazionale sulle acque pubbliche

Accanto alla normativa inerente allo sfruttamento geotermico del terreno si riportano ora le leggi che disciplinano l'utilizzo delle acque.

La normativa sulle acque ha subito nel corso degli anni numerosi interventi e modifiche creando un sistema complesso di norme. Per tracciare uno schema delle principali disposizioni, competenze e adempimenti relativamente alle acque pubbliche è necessario pertanto prendere in considerazione un notevole numero di leggi e decreti (statali e regionali) che si sono susseguiti a partire dal T.U. n. 1775 del 1933.

Il Testo Unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici (R.D. 11 Dicembre 1933, n. 1775), che contiene norme generali sulle derivazioni e sulle utilizzazioni di acque pubbliche, costituisce ancora oggi la principale norma di riferimento in materia di uso delle acque. E' da notare che, in base al T.U. 1775/1933, erano pubbliche "tutte le acque sorgenti, fluviali o lacuali le quali abbiano o acquistino attitudine ad usi di pubblico generale interesse", inoltre le acque pubbliche dovevano essere iscritte a cura del Ministero dei Lavori Pubblici, in pubblici elenchi redatti per Province.

Il DPR 24 Luglio 1977 n. 616 ha delegato in via generale alle Regioni numerose funzioni amministrative prima riservate allo Stato. Le funzioni delegate devono essere esercitate nel rispetto delle direttive statali sia generali sia di settore per la disciplina dell'economia idrica. In concreto, per quanto riguarda le derivazioni di acque pubbliche disciplinate dal T.U. n. 1775/1933, il DPR n. 616/1977 ha lasciato allo Stato (Ministero dei Lavori Pubblici) la competenza a rilasciare le concessioni per le grandi derivazioni (con portata d'acqua superiore a 100 litri/secondo), mentre per le piccole derivazioni (con portata fino a 100 litri/secondo) la competenza è stata trasferita alle Regioni.

La legge Galli (Legge 5 gennaio 1994, n. 36) ha radicalmente innovato la materia stabilendo all'articolo 1 che tutte le acque superficiali e sotterranee, ancorché non estratte dal suolo, sono pubbliche e costituiscono una risorsa che è salvaguardata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà. L'articolo 1 stabilisce inoltre che gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse, per non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici. In base all'articolo 2 l'uso dell'acqua per il consumo umano è prioritario rispetto agli altri usi del medesimo corpo idrico superficiale o sotterraneo e gli altri usi sono ammessi quando la risorsa è sufficiente e a condizione che non ledano la qualità dell'acqua per il consumo umano. La Legge Galli introduce, alla lettera f dell'articolo 4, il concetto di servizio idrico integrato: l'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue. In base all'articolo 8, i servizi idrici integrati sono organizzati in Ambiti Territoriali Ottimali (ATO), delimitati dalle Regioni secondo i seguenti criteri: rispetto dell'unità del bacino idrografico o del sub-bacino o dei bacini idrografici contigui, superamento della frammentazione delle gestioni e conseguimento di adeguate dimensioni gestionali. All'interno di ogni ATO, le diverse fasi della captazione, adduzione e distribuzione delle acque potabili, di fognatura e depurazione devono essere quindi considerati, pianificati e gestiti unitariamente.

In questo ambito grande importanza è rivestita dall'Autorità di Bacino che ha il compito di assicurare l'equilibrio del bilancio idrico. A tale proposito, l'Autorità di Bacino, ai sensi dell'articolo 3, definisce ed aggiorna periodicamente il bilancio idrico diretto ad assicurare l'equilibrio fra la disponibilità delle risorse reperibili o attivabili nell'area di riferimento e i fabbisogni per i diversi usi. Il risparmio idrico, invece, secondo l'articolo 5, deve essere conseguito mediante il risanamento e il graduale ripristino delle reti esistenti che evidenzino rilevanti perdite, l'installazione di reti duali nei nuovi insediamenti abitativi, commerciali e produttivi di rilevanti dimensioni, l'installazione di contatori in ogni singola unità abitativa nonché di contatori differenziati per le attività produttive e del settore terziario esercitate nel contesto urbano e la diffusione di metodi e apparecchiature per il risparmio idrico domestico e nei settori industriale, terziario ed agricolo.

Il D. Lgs. 31 Marzo 1998, n. 112 ha completato e razionalizzato il trasferimento di molte competenze amministrative dallo Stato alle Regioni già precedentemente avviato con il DPR 616/1977. La nuova normativa tra l'altro ha riordinato la ripartizione delle competenze in materia di gestione dei beni del demanio idrico. In particolare l'articolo 89 conferisce alle Regioni e agli Enti locali tutte le funzioni non espressamente riservate allo Stato dall'articolo 88. In particolare sono trasferite alle Regioni "le funzioni relative alla gestione del demanio idrico, ivi comprese tutte le funzioni amministrative relative alle derivazioni di acqua pubblica, alla ricerca, estrazione e utilizzazione delle acque sotterranee, alla tutela del sistema

idrico sotterraneo nonché alla determinazione dei canoni di concessione e all'introito dei relativi proventi" fatto salvo quanto disposto dall'articolo 29, comma 3, che prevede la perdurante competenza dello Stato per le grandi derivazioni di acque pubbliche per uso idroelettrico.

Alla luce delle modifiche introdotte dal D.Lgs. 112/1998 sembra pertanto che il rilascio delle concessioni per tutte le derivazioni, sia grandi che piccole, di acque pubbliche sia di competenza delle Regioni, con la sola eccezione delle grandi derivazioni di acque pubbliche per uso idroelettrico.

Il D. Lgs. 11 Maggio 1999 n. 152 modificava alcune norme del T.U. 1775/1933 al fine di un miglior coordinamento tra le varie normative in materia di acque.

Da ultimo, il D. Lgs 152 del 2006 (Parte Terza: Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche) costituisce la nuova normativa quadro per le risorse idriche.

Si segnala inoltre come la Legge Finanziaria 2007 per interventi di riqualificazione energetica di edifici esistenti che conseguono risparmi pari ad almeno il 20 per cento per la climatizzazione invernale, riconosce una detrazione fiscale ai fini IRPEF per una quota pari al 55% delle spese; quindi, anche se non espressamente menzionata nel testo di legge, la soluzione geotermica può anch'essa beneficiare di questa forma di incentivo fiscale [21].

5.9. La Regione Veneto

Per quanto riguarda la Regione Veneto la normativa vigente è, nel dettaglio, la seguente.

Legge Regionale 1 Giugno 2006, n. 6 (BUR n. 51/2006): Interventi regionali per la promozione del Protocollo di Kyoto e della Direttiva 2003/87/CE

La Regione del Veneto, in armonia con i principi e le finalità espressi dal Protocollo di Kyoto, ratificato con legge il 1 Giugno 2002, n. 120 e dalla Direttiva 2003/87/CE del 13 Ottobre 2003, come modificata dalla Direttiva 2004/101/CE del 27 Ottobre 2004, che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni dei gas serra nella Comunità, promuove iniziative che concorrono alla compensazione delle emissioni di gas ad effetto serra in atmosfera;

Legge Regionale 25 Febbraio 2005, N. 7 (Bur N. 23/2005): disposizioni di riordino e semplificazione normativa - collegato alla legge finanziaria 2004 in materia di miniere, acque minerali e termali, lavoro, artigianato, commercio e Veneti nel mondo.

Le disposizioni in materia di acque minerali e termali riguardano la modifica alla Legge regionale 10 Ottobre 1989, n. 40 "Disciplina della ricerca, coltivazione e utilizzo delle acque minerali e termali" e successive modificazioni.

Piano di tutela delle acque. Norme tecniche di attuazione, Dicembre 2004

Il Piano di Tutela delle Acque comprende i seguenti tre documenti:

- a) Stato di fatto: riassume la base conoscitiva e comprende l'analisi delle criticità per le acque superficiali e sotterranee, per bacino idrografico e idrogeologico.
- b) Proposte di piano: contiene l'individuazione degli obiettivi di qualità, le misure generali e specifiche e le azioni previste per raggiungerli; la designazione delle aree

sensibili, delle zone vulnerabili da nitrati e da prodotti fitosanitari, delle zone soggette a degrado del suolo e desertificazione.

- c) Norme tecniche di attuazione: contengono la disciplina degli scarichi, la disciplina delle aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento e di risanamento, la disciplina per la tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche.

Il Piano definisce gli interventi di protezione e risanamento dei corpi idrici superficiali e sotterranei e l'uso sostenibile dell'acqua, individuando le misure integrate di tutela quantitativa e qualitativa della risorsa idrica.

Art. 31 [...] E' vietato lo scarico diretto nelle acque sotterranee e nel sottosuolo, in deroga al presente divieto; l'Autorità competente, dopo indagine preventiva, può autorizzare gli scarichi nella stessa falda delle acque utilizzate per scopi geotermici,..., ivi comprese quelle degli impianti di scambio termico purchè siano restituite in condizioni di qualità non peggiori rispetto al prelievo.

Art. 39 [...] Nei territori dei comuni ricadenti nelle aree di primaria tutela quantitativa degli acquiferi,..., e nelle restanti porzioni di territorio regionale, sono sospese le istruttorie relative a ricerca o a nuove concessioni di derivazione di acque ad eccezione delle istanze,..., per scopi geotermici o di scambio termico per i quali si attui la reimmissione nella medesima falda, così come previsto dall'Art. 30 del D.Lgs. 152/1999.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua la variazione massima fra temperature medie di qualsiasi sezione del corso d'acqua a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3 °C. Su almeno metà di qualsiasi sezione a valle, tale variazione non deve superare 1°C. Per i laghi, la temperatura dello scarico non deve superare i 30 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve superare in nessun caso i 3 °C oltre 50 metri di distanza dal punto di immissione. Per i canali artificiali, il massimo valore medio della temperatura dell'acqua di qualsiasi sezione non deve superare i 35 °C. La condizione suddetta è subordinata all'assenso del soggetto che gestisce il canale. Per il mare e per le zone di foce dei corsi d'acqua non significativi, la temperatura dello scarico non deve superare i 35 °C e l'incremento di temperatura del corpo recipiente non deve superare in nessun caso i 3 °C oltre 1000 metri di distanza dal punto di immissione. Deve inoltre essere assicurata la compatibilità ambientale dello scarico con il corpo recipiente ed evitata la formazione di barriere termiche alla foce dei fiumi.

Legge Regionale 26 Marzo 1999, N. 10 (Bur N. 29/1999): disciplina dei contenuti e delle procedure di valutazione d'impatto ambientale.

La Regione Veneto, in attuazione della direttiva 85/337/CEE e del decreto del Presidente della Repubblica 12 aprile 1996, disciplina con la presente legge le procedure di valutazione d'impatto ambientale (in seguito denominata VIA), ai fini di assicurare che, nei processi di formazione delle decisioni relative a progetti di impianti, opere o interventi individuati, si perseguano gli obiettivi di tutela della salute e di miglioramento della qualità della vita umana, di conservazione della varietà della specie, dell'equilibrio dell'ecosistema e della sua capacità di riproduzione, in quanto risorse essenziali di vita, di garanzia della pluralità dell'uso delle risorse e della biodiversità.

Entrando più nel merito si definiscono:

- Progetti assoggettati alla procedura di VIA in tutto il territorio regionale: attività di coltivazione delle risorse geotermiche sulla terraferma.

- Progetti assoggettati alla procedura di VIA qualora ricadano, anche parzialmente, all'interno di aree naturali protette, riguardano:
 - a) Impianti termici per la produzione di vapore e acqua calda con potenza termica complessiva superiore a 25 MW.
 - b) Attività di ricerca di minerali solidi e di risorse geotermiche incluse le relative attività minerarie.
 - c) Impianti industriali non termici per la produzione di energia, vapore ed acqua calda.
 - d) Impianti industriali per il trasporto del gas, vapore e dell'acqua calda che alimentano condotte con una lunghezza complessiva superiore a 10 km.
- Progetti assoggettati alla procedura di VIA qualora ricadano, anche parzialmente, all'interno di aree sensibili come individuate e classificate nell'allegato D.
 - a) Impianti termici per la produzione di vapore e acqua calda con potenza termica complessiva superiore a 50 MW (aree A, D, E).
 - b) Attività di ricerca di risorse geotermiche incluse le relative attività minerarie (aree D, E).
 - c) Impianti industriali non termici per la produzione di energia, vapore ed acqua calda (aree D, E).
 - d) Impianti industriali per il trasporto del gas, vapore e dell'acqua calda che alimentano condotte con una lunghezza complessiva superiore a 20 km (aree D, E).
 - e) Derivazioni di acqua superficiali ed opere connesse che prevedano derivazioni superiori a 200 l/minuto secondo o di acque sotterranee, ivi comprese acque minerali e termali, che prevedano derivazioni superiori a 50 l/minuto secondo (aree B, C3, D, E).
- Progetti assoggettati alla procedura di verifica di cui all'articolo 7 qualora non sottoposti obbligatoriamente alle procedure di VIA:
 - a) Impianti termici per la produzione di vapore e acqua calda con potenza termica complessiva superiore a 65 MW.
 - b) Impianti industriali non termici per la produzione di energia, vapore ed acqua calda.
 - c) Impianti industriali per il trasporto del gas, vapore e dell'acqua calda che alimentano condotte con una lunghezza complessiva superiore a 26 km.

Nell'Allegato D vengono classificate e individuate le aree sensibili:

A- aree densamente abitate: centri abitati delimitati dai comuni ai sensi dell'articolo 4 del Decreto Legislativo 30 Aprile 1992 e successive modificazioni o, in mancanza, centri edificati delimitati dai comuni ai sensi dell'articolo 18 della legge 22 Ottobre 1971, n. 865.

B- ambiente idrico superficiale: specchi acquei, marini o lacustri e fiumi, torrenti e corsi d'acqua iscritti negli elenchi di cui al testo unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici approvato con regio decreto 11 Dicembre 1933, n. 1775.

C- suolo e sottosuolo:

C1 - zone sottoposte a vincolo idrogeologico ai sensi del regio decreto-legge 30 Dicembre 1923, n. 3267, riportate nelle tavole n. 1 e n. 10 del Piano Territoriale Regionale di Coordinamento (PTRC);

C2 - zone a rischio sismico di cui alla legge 2 Febbraio 1974, n. 64, riportate nella tavola n. 1 del PTRC;

C3 - fascia di ricarica degli acquiferi di cui all'articolo 12 delle norme di attuazione del PTRC, individuata nella tavola n. 1 del PTRC.

C4 - aree carsiche di cui alla legge regionale 8 Maggio 1980, n. 54.

D-ecosistemi:

D1 - ambiti naturalistici di livello regionale di cui all'articolo 19 delle norme di attuazione del PTRC, individuati nelle tavole n. 2 e n. 10 del PTRC;

D2 - siti individuati con proprio procedimento dalla Regione ai sensi dell'articolo 3, comma 1, del decreto del Presidente della Repubblica 8 Settembre 1997, n. 357, per la costituzione della rete ecologica europea denominata "Natura 2000";

D3 - zone umide di cui all'articolo 21 delle norme di attuazione del PTRC, individuate nelle tavole n. 2 e n. 10 del PTRC.

E- paesaggio:

E1 - località ed ambiti soggetti a vincolo ex legge 29 giugno 1939, n. 1497 e 8 Agosto 1985, n. 431, riportati nelle tavole n. 2, n. 4 e n. 10 del PTRC;

E2 - ambiti per l'istituzione di parchi e riserve naturali regionali e aree di tutela paesaggistica di interesse regionale, di cui agli articoli 33, 34 e 35 delle norme di attuazione del PTRC, individuati nelle tavole n. 5 e n. 9 del PTRC.

F- ambiti speciali:

F1 - zone individuate con gli specifici provvedimenti regionali di cui all'articolo 2, comma 1, lettera e) e motivate in ordine a particolari situazioni geoclimatiche, epidemiologiche, di sicurezza idraulica e geofisica [23].

5.10. Applicazioni geotermiche

Allo stato attuale, per quanto riguarda le applicazioni geotermiche a bassa temperatura, la normativa in merito è quasi assente. Per l'esecuzione di una perforazione nel terreno gli adempimenti si rifanno alla *Legge 4 Agosto 1984, n. 464* (Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio geologico della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale).

Con la *Legge del 4 Agosto 1984 n. 464*, è fatto obbligo di comunicare al Servizio Geologico d'Italia – Dipartimento Difesa del Suolo (APAT) le informazioni relative a studi o indagini nel sottosuolo nazionale, per scopi di ricerca idrica o per opere di ingegneria civile. Tali informazioni riguardano in particolare le indagini per mezzo di perforazioni e rilievi geofisici spinti a profondità uguali o maggiori di 30 m dal piano campagna e, nel caso delle gallerie, uguali o maggiori di 200 metri di lunghezza.

Ai sensi della suddetta *Legge* (Art. 2) il Servizio Geologico ha la facoltà di "eseguire gli opportuni sopralluoghi per avere diretta cognizione dei fenomeni naturali osservabili nel corso dell'esecuzione degli studi e delle indagini", per questo motivo si devono preventivamente comunicare le indagini o gli studi da eseguire (indicando la loro ubicazione su carta) e dopo (entro 30 giorni dalla fine dell'indagine) la conclusione delle indagini stesse, riportando altresì i "risultati geologici e geofisici acquisiti".

La legge è stata istituita principalmente al fine di raccogliere e conservare elementi di conoscenza sulla struttura geologica, idrogeologica e geofisica del sottosuolo nazionale.

Per quanto riguarda l'invio delle comunicazioni, il mittente è tenuto a inviare le informazioni mediante la compilazione dei "Moduli *Legge 464-84*".

Qualora si intenda utilizzare l'acqua di falda come fluido termovettore l'iter autorizzativo comprende una prima comunicazione per la realizzazione del pozzo al Genio Civile il quale rilascerà un certificato per l'approvvigionamento idrico da fonte diversa dall'acquedotto, il certificato dovrà poi venire inoltrato all'agenzia territoriale che gestisce la risorsa idrica; quest'ultima rilascerà l'autorizzazione a procedere e tramite sopraluogo stabilirà la portata estraibile. La legge a cui fare riferimento è il *Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n.152*.

Per quanto riguarda la Regione Veneto, si segnala un imminente Disegno di Legge allo scopo di regolamentare l'iter autorizzativo per il rilascio della concessione necessaria all'esecuzione della perforazione per l'installazione delle sonde geotermiche.

6. LA GEOTERMIA NELLE ZONE TERMALI

L'utilizzo della geotermia si presenta particolarmente interessante nelle zone termali, laddove cioè il terreno presenta temperature superiori alla norma. In Italia esistono diverse zone dove viene sfruttata questa risorsa.

Nell'ambito del termalismo si registra da un lato una crescita del settore dedicato ai centri benessere mentre dall'altro, il settore prettamente curativo-medico, risulta essere in una situazione di stagnazione. Le industrie legate al termalismo in Italia coinvolgono 70'000 persone circa, con un fatturato di oltre 300 milioni di Euro. Le due aree più importanti in Italia, come intensità di sfruttamento della risorsa geotermica sono il Bacino Termale Euganeo e l'isola di Ischia [24].

Il termine "Bacino Termale Euganeo" nei suoi ampi significati, sottende l'espressione più completa di "Bacino Idrominerario Omogeneo dei Colli Euganei (B.I.O.C.E.)". L'estensione del B.I.O.C.E., stimabile in 23 km² all'interno dell'estesa zona collinare, comprende, in un ambito generale di salvaguardia dell'assetto ambientale ed idrogeologico, il territorio dei comuni di Abano Terme, Arquà Petrarca, Baone, Battaglia Terme, Due Carrare, Galzignano Terme, Monselice, Montegrotto Terme, Teolo e Torreglia.

L'areale del B.I.O.C.E. è suddiviso in 137 concessioni minerarie ripartite tra Abano Terme (72), Montegrotto Terme (43), Battaglia Terme (9), Galzignano Terme (7) ed altre 6 situate nei comuni limitrofi.

Le potenzialità ricettive del territorio si fondano sull'esistenza di 138 stabilimenti termali, la presenza di 220 piscine termali e capacità ricettive dell'ordine di 18'500 posti letto. Attorno a tale realtà curativo-economica e sociale gravitano oltre 5'000 dipendenti diretti. Le presenze italiane e straniere per l'anno 2005 hanno raggiunto la cifra di 3.142.465 persone.

Il quantitativo totale di fluido termale emunto nell'anno 2005, in base ai dati pervenuti alla Gestione Unica, è stato calcolato in 16,37 milioni di m³. I fluidi geotermici con temperature comprese tra 65 °C e 87 °C, oltre che per le cure termali, vengono impiegati anche nel riscaldamento degli alberghi [25].

L'isola di Ischia invece, può contare su 80 stabilimenti termali con temperature delle acque tra 58 °C e 73 °C, con una portata di fluido emunto pari a 900 m³/h. La stagione turistica va dal mese di Marzo ad Ottobre ma molti hotel rimangono aperti tutto l'anno.

Tra le altre numerose zone termali del nostro Paese si possono contare:

- Montecatini Terme, dove sono presenti 9 stabilimenti balneri con temperature delle acque comprese tra 23 e 32 °C;

- Chianciano, con 4 stabilimenti utilizzanti acque tra 32 e 36 °C;
- Sirmione, dove 2 stabilimenti termali sfruttano acque con temperature pari a 65 °C.

Ci sono inoltre Bagno di Romagna e Porretta Terme (Emilia Romagna), Acqui Terme (Piemonte), Sciacca (Sicilia) etc. [24].

Si può capire quindi che il fenomeno, sebbene sia locale, assume un'importanza rilevante, dato l'elevato numero di luoghi dove la geotermia può essere sfruttata in modo favorevole, non solo ai fini dell'economia termale, ma anche per il riscaldamento degli edifici. Infatti particolarmente interessante può essere l'applicazione di sonde geotermiche verticali a circuito chiuso anche nelle zone limitrofe, dove le temperature del suolo sono superiori a quelle normali (temperatura dell'aria esterna media annuale).

A titolo di esempio si riporta il risultato di un'analisi effettuata su un edificio residenziale sito in Montegrotto Terme, dove è stata misurata una temperatura indisturbata del terreno pari 20°C nel terreno. Per l'edificio è stata effettuata una simulazione dinamica mediante il codice DIGITHON [28]; è stato ipotizzato un sistema radiante a pavimento a bassa temperatura (temperatura massima di alimentazione di 25°C). L'unità residenziale presenta 260 m² di superficie in pianta, disposta su due piani; le trasmittanze termiche sono pari a 0,30 W/(m²K) per le pareti opache esterne, 0,25 W/(m²K) per il tetto e 1,5 W/(m²K) per le superfici finestrate. La simulazione ha riguardato solo il periodo di riscaldamento senza prendere in considerazione la produzione di acqua calda sanitaria. La pompa di calore utilizzata ha una potenza termica nominale pari a 11,5 kW, e il fabbisogno termico invernale risulta pari a 7,59 MWh. Le sonde sono verticali a doppia U ed in numero di due per una lunghezza totale di 135 m (collegate in parallelo).

Si è voluto analizzare la differenza tra il caso sopra descritto, e la medesima tipologia di sistema edificio-impianto, ipotizzandola ubicata nel comune di Padova, dove la temperatura media del terreno indisturbato è di circa 13°C.

Dal confronto dei grafici (Figure 14 e 15) emerge che si può utilizzare acqua semplice come fluido termovettore per il caso di Montegrotto Terme, mentre per il caso di Padova (a parità di lunghezza delle sonde geotermiche) si renderebbe necessario adottare una miscela acqua-glicole, poiché la simulazione evidenzia lunghi periodi di funzionamento con temperature di ingresso alle sonde al di sotto dei 5 °C con conseguente rischio di formazione di ghiaccio. Inoltre, a causa delle diverse temperature di mandata alle sonde, il COP per il caso di Montegrotto risulta più elevato, con un valor medio pari a 4,30, mentre nel caso di Padova si avrebbe un COP medio pari a 3,80.

E' da notare che il vantaggio derivante da una più elevata temperatura del terreno è associato necessariamente ad una penalizzazione nell'eventuale funzionamento di raffrescamento in regime estivo. Si osservi peraltro come i COP conseguibili in estate in presenza di terreno a più alta temperatura possano considerarsi comunque simili a quelli degli usuali piccoli condizionatori con condensazione ad aria (COP medio pari a 2,8). Inoltre occorre sottolineare come in edifici residenziali il fabbisogno termico di riscaldamento sia maggiore, in valore assoluto, di quello di raffrescamento (in generale in rapporto 2 : 1 nel caso di edifici coibentati secondo le attuali tendenze legislative); quindi la possibilità di ridurre il campo di sonde in inverno rispetto al valore usuale permette comunque dei tempi di ritorno favorevoli dell'investimento, evitando contestualmente l'installazione di una macchina frigorifera con condensazione ad aria. Si può notare, infatti, che con terreno a temperatura media di 20°C l'allocazione di potenza termica installata, riferita alla lunghezza delle sonde è

di circa 80 W/m, contro il valore di 50 W/m, solitamente adottato nelle usuali applicazioni: ciò comporta un risparmio pari al 35% circa nei costi di perforazione.

In zone termali con temperatura maggiore, l'utilizzo delle pompe di calore SGV ai fini del riscaldamento risulta particolarmente interessante, data l'elevata resa del sistema. A titolo di esempio, sulla base di simulazioni svolte, si riscontra che, in un terreno in cui la temperatura passi linearmente da 20°C a 60°C in 100 m di profondità, la potenza termica allocata alle sonde per la stagione invernale può essere stimata in circa 100 W/m. In tal caso stime preliminari hanno portato a scegliere l'installazione di una pompa di calore, scartando l'utilizzo diretto del calore dal terreno, poiché le temperature raggiungibili dall'acqua sono inferiori a 22°C; risulta comunque importante prestare attenzione sia alle temperature elevate, poiché il polietilene ha limiti di utilizzo rispetto alla temperatura, sia alla composizione chimica dell'acqua, poiché una sua aggressività può comportare breve durata delle sonde stesse.

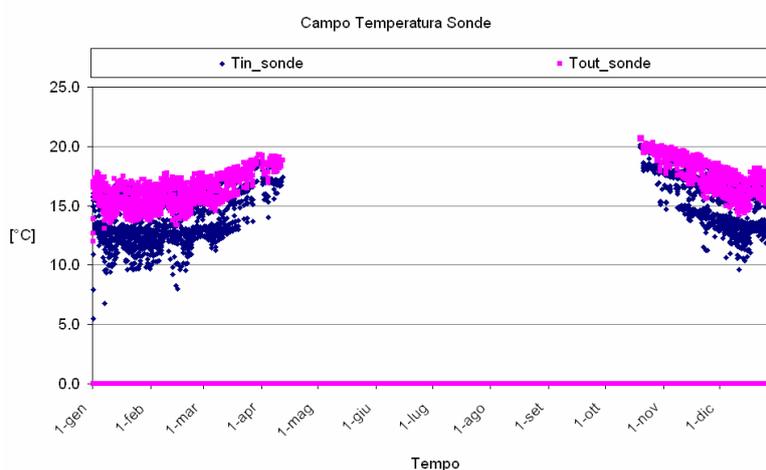


Fig. 14 – Temperature di ingresso e uscita dell'acqua dalle sonde geotermiche a Montegrotto Terme

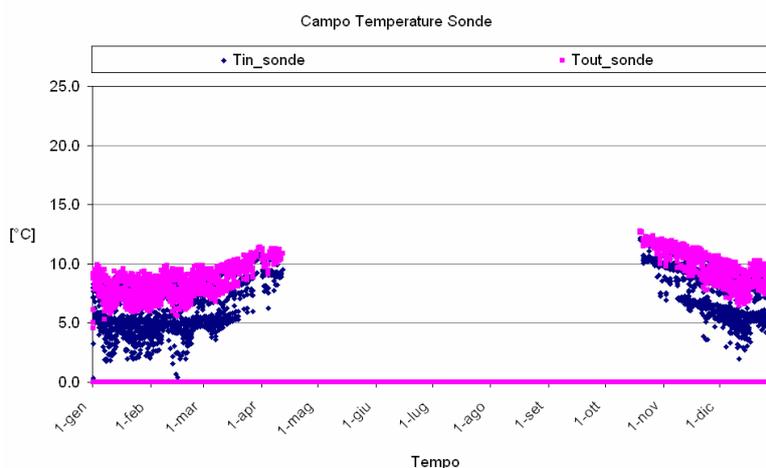


Fig. 15 – Temperature di ingresso e uscita dell'acqua dalle sonde geotermiche a Padova

7. CONCLUSIONI

Le molteplici soluzioni tecnologiche ed impiantistiche che si basano sulla geotermia mettono in evidenza notevoli potenziali di risparmio energetico, peraltro ben noti per quanto riguarda l'impiego diretto dell'acqua di falda. Tuttavia la complessità del comportamento termico in regime variabile del sistema costituito dalla massa del terreno, nel caso degli impianti a circuito chiuso (sonde geotermiche), impone maggiori cure e sensibilità nella progettazione rispetto a quelle richieste dalle tipologie più tradizionali, tenendo conto anche della carenza, su questo tema, in campo normativo. In ogni caso i grandi sviluppi che si sono verificati in Europa, e le crescenti applicazioni che si vedono anche in Italia, danno atto dell'interesse suscitato tra gli operatori del settore. Da ultimo non sono da sottovalutare i recenti progressi verificatisi nella tecnologia delle pompe di calore per uso specifico nelle applicazioni geotermiche.

RINGRAZIAMENTI

Si vuole ringraziare l'azienda GEORICERCHE S.r.l. per aver consentito l'accesso al sito di Montegrotto Terme e l'azienda CILLICHEMIE per la documentazione tecnica fornita.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] M. H. Dickson, M. Fanelli, "Geothermal Energy: utilization and technology", Ed. UNESCO, London, 2005.
- [2] P. Muffler, R. Cataldi, "Methods for regional assessment of geothermal resources", *Geothermics*, 7, 53—89, 1978.
- [3] M.P. Hochstein, "Classification and assessment of geothermal resources", in: M.H. Dickson and M. Fanelli, eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, UNITAR, New York, pp. 31—57, 1990.
- [4] Y. Benderitter, G. Cormy, "Possible approach to geothermal research and relative costs", in: M.H. Dickson and M. Fanelli, eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, UNITAR, New York, pp. 59—69, 1990.
- [5] K. Nicholson, "Geothermal Fluids", Springer Verlag, Berlin, XVIII—264 pp, 1993.
- [6] G. Axelsson, E. Gunnlaugsson, "Background: Geothermal utilization, management and monitoring", in: *Long-term monitoring of high- and low enthalpy fields under exploitation*, WGC 2000 Short Courses, Japan, 3-10, 2000.
- [7] J. W. Lund, D. H. Freeston, T. L. Boyd, "World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2005", *Proc. WGC 2005*, Antalya, 24-29 April, 2005.

- [8] G. Borghetti, G. Cappetti, R. Carrella, C. Sommaruga, "Direct Uses of Geothermal Energy in Italy 2000-2004 Update Report", Proc. WGC 2005, Antalya, 24-29 April, 2005.
- [9] M. De Carli, F. Fellin, R. Zecchin, "Impianti con pompa di calore", Convegno AICARR, Padova, Giugno 2006.
- [10] D. W. Bridger, D. M. Allen, "Designing Aquifer Thermal Energy Storage Systems", Building For The Future-A Supplement To ASHRAE Journal, Settembre 2005.
- [11] M. De Carli, R. Tonon, F. Fellini, M. Manente, M. Tonon, R. Zecchin, "Sviluppi nelle pompe di calore: il terreno come sorgente termica", CDA n. 6 Giugno 2004.
- [12] F. Bisco, M. De Carli, "Ottimizzazione di pompe di calore per applicazioni geotermiche: analisi teorica e sperimentale", CDA n. 10, Novembre 2005.
- [13] www.hakagerodur.ch
- [14] Documentazione ditta REHAU.
- [15] M. De Carli, M. Mantovan, L. Prendin, A. Zarrella, R. Zecchin, A. Zerbetto, "Analisi di pompe di calore geotermiche con sonde orizzontali", CDA n. 3, Marzo 2007.
- [16] K. Rafferty, "An Information Survival Kit For The Prospective Geothermal Heat Pump Owner", Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology.
- [17] www.iii.to.cnr.it/laghi/maggiore.html
- [18] M. Cisternino, F. Ruggero, M. Strada, "Pompe di calore con acqua di falda", Condizionamento dell'aria, n.2 Febbraio 2004.
- [19] A. Driver, Willemsen, "Groundwater as a heat source for the geothermal heat pumps", International Geothermal Days, Germany, 2001.
- [20] D. W. Bridger, D. M. Allen, "Designing Aquifer Thermal Energy Storage Systems", Building For The Future-A Supplement To ASHRAE Journal, Settembre 2005.
- [21] G. Bartesaghi, L. Cassitto, M. Montini, "Recupero energetico da acque di falda", in comune di Milano, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, www.flanet.org.
- [22] www.unionegeotermica.it
- [23] www.regioneveneto.it
- [24] R. Carrella, C. Sommaruga, "Spa and industrial use of geothermal energy in Italy", Proc. WGC 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28- June 10, 2000.
- [25] A. Danese, "Il Bacino Termale Euganeo: Un Secolo Di Storia", pubblicazione reperibile presso la Gestione Unica Del Bacino Idrominerario Omogeneo Dei Colli Euganei, Largo Marconi 8, Abano Terme, Ottobre 2002.
- [26] A. Cavallini, L. Mattarolo, "Termodinamica applicata", Cleup editore, Padova 1988.
- [27] VDI 4640-1, "Thermal use of the underground, Fundamentals, approvals, environmental aspects", Verein Deutscher Ingenieure, D - Düsseldorf, 2000.

[28] P. Brunello, G. Di Gennaro, M. De Carli, R. Zecchin, “Mathematical modelling of radiant heating and cooling with massive thermal slab”, Atti di: Clima 2000, Napoli, 2001.

[29] www.climaveneta.it

[30] www.geoenergy-solutions.com

[31] www.worldenergy.org