

L'ENERGIA GEOTERMICA di Ruggero Bertani

Con questo articolo verranno trattati i problemi attuali delle attività geotermiche nel mondo, con particolare enfasi sulla situazione europea ed italiana. Una introduzione generale discuterà dei principi generali di utilizzazione della risorsa geotermica, sia per la produzione di elettricità che per l'utilizzazione diretta del calore. Dopo una breve analisi della situazione mondiale attuale e delle prospettive future, viene discusso in dettaglio lo stato della geotermia in Europa ed in Italia.

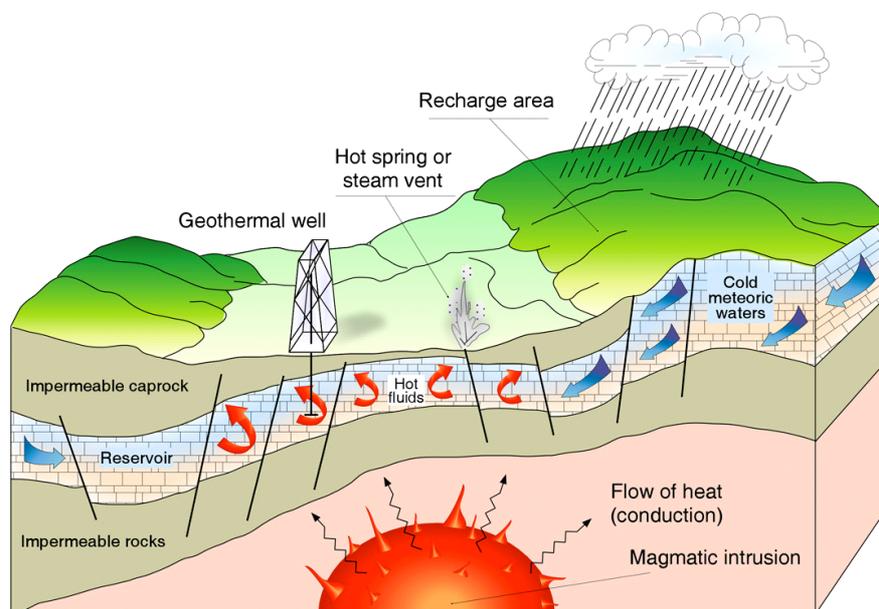
LA FONTE ENERGETICA

Il termine "Geotermia" deriva dal greco e significa "Calore della Terra": l'energia geotermica è quella prodotta sfruttando tale calore, in parte originatosi durante la formazione del pianeta e in parte prodotto dal decadimento di isotopi radioattivi, presenti all'interno delle rocce che compongono le parti più profonde del globo terrestre. Questo calore viene costantemente trasferito dall'interno della Terra verso la sua superficie: a causa di questo flusso termico, la temperatura delle rocce aumenta di circa 30°C per ogni km di profondità (gradiente geotermico).

L'acqua piovana, infiltrandosi in profondità, circola nel sottosuolo attraverso

rocce porose, fratturate e permeabili, e viene riscaldata, a volte fino a temperature elevate: in certe condizioni diventa addirittura vapore. L'acqua calda (o il vapore), risalendo attraverso faglie e fratture, può raggiungere la superficie e formare sorgenti calde, soffioni, fumarole e *geyser*; la maggior parte rimane invece nel sottosuolo, intrappolata in fratture e strati porosi di roccia, compresi tra superfici impermeabili: in questi casi si può avere la formazione di un serbatoio geotermico. La perforazione di pozzi mette in comunicazione diretta la risorsa geotermica con la superficie, per un successivo uso energetico del calore contenuto nel fluido (vedi figura 1).

Figura 1: schema di un sistema geotermico



Il fluido geotermico (acqua o vapore), trasferito in superficie tramite pozzi, viene avviato agli impianti di produzione di elettricità (Centrali Geotermiche) o impiegato per usi non elettrici, risparmiando energia

che sarebbe altrimenti prodotta con metodi convenzionali.

L'energia geotermica è una risorsa preziosa, disponibile a livello locale e facilmente utilizzabile; è "amica dell'ambiente", perché non produce sostanze

inquinanti né aumenta le emissioni di anidride carbonica o altri gas rispetto a quelle già presenti allo stato naturale nell'area interessata da manifestazioni geotermiche. Le emissioni reflue vengono reiniettate nel sottosuolo, e quindi non hanno alcun impatto ambientale. L'impatto paesaggistico degli impianti geotermici può essere opportunamente minimizzato, progettando l'inserimento ottimale sul territorio degli impianti di produzione, dei vapordotti e degli acquedotti.

CLASSIFICAZIONE DEI SISTEMI GEOTERMICI

I sistemi idrotermali possono creare serbatoi contenenti acqua sia in fase liquida che di vapore, a seconda delle condizioni di temperatura e pressione: i primi sono detti "ad acqua dominante", i secondi "a vapore dominante".

Serbatoi ad acqua dominante

Questi sistemi geotermici producono acqua in fase liquida o miscele acqua-vapore. I campi di questo tipo sono i più diffusi nel mondo. Quelli "ad acqua calda" contengono acqua in fase liquida che, quando estratta, ha alla superficie temperature variabili tra 30 e 100°C. Generalmente il serbatoio non ha una copertura di rocce impermeabili, ed è situato a bassa profondità; in superficie questi sistemi sono spesso associati a manifestazioni termali, a temperature moderate.

Quando invece il campo geotermico è racchiuso da una copertura impermeabile, l'acqua è in grado di raggiungere temperature maggiori di 100°C, pur restando ancora in fase liquida, come avviene in una pentola a pressione. Quando un pozzo raggiunge un serbatoio di questo tipo, l'acqua pressurizzata risale rapidamente verso la superficie, e comincia a bollire, a causa della rapida diminuzione della pressione (fenomeno noto come "*boiling for depth*"), producendo una miscela di acqua e vapore. Per la produzione di energia elettrica viene utilizzato solamente il vapore, mentre l'acqua viene allontanata con appositi separatori e reimessa nel sottosuolo. Manifestazione superficiali caratteristiche di questo tipo di campi sono sorgenti bollenti e, talvolta, *geyser* o soffioni. Si ritiene che il 90% dei serbatoi idrotermali al mondo sia di questo tipo.

Serbatoi a vapore dominante

In alcuni serbatoi geotermici, geologicamente simili ai precedenti, la temperatura è così elevata che il fluido geotermico è presente sotto forma di vapore secco, ad alto valore energetico: questo può essere inviato direttamente alla turbina dell'impianto. Il più grande serbatoio di questo tipo, sfruttato fin dagli anni '60, è "*The Geysers*", situato in California (USA). Il primo campo utilizzato al mondo è stato invece quello di Larderello in Toscana, dove nel 1904 l'imprenditore fiorentino Pietro Ginori Conti per primo produsse energia elettrica mediante una dinamo trascinata da un motore azionato dal vapore endogeno; con il calore geotermico negli anni '40, in Italia, venivano già prodotti 132 MWe. Altri campi di questo tipo si trovano in Giappone ed in Indonesia.

UTILIZZO DEL CALORE GEOTERMICO PER PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

Nelle centrali il vapore fornisce la forza necessaria a muovere le turbine che producono elettricità.

Tale vapore viene direttamente dal pozzo (campi a vapore dominante), o da un separatore in pressione (campi ad acqua dominante). Il vapore, dopo l'espansione in turbina, viene generalmente condensato, ed il liquido così ottenuto, insieme all'eventuale acqua proveniente dal separatore, viene poi reimesso in profondità nel serbatoio, attraverso appositi pozzi, mantenendo così la pressione del serbatoio ed evitando l'inquinamento di falde o corsi d'acqua in superficie. L'acqua reiniettata sarà di nuovo scaldata dalla Terra, contribuendo così al rinnovamento della risorsa energetica (vedi figura 2).

Per serbatoi che producono acqua a temperature moderate (tra i 120 e i 180°C), la tecnologia del ciclo binario è la più redditizia. In questi sistemi il fluido geotermico viene utilizzato per vaporizzare, attraverso uno scambiatore di calore, un secondo liquido (ad esempio isopentano), con temperatura di ebollizione più bassa rispetto all'acqua. Il fluido secondario si espande in turbina e viene quindi condensato e riavviato allo scambiatore in un circuito chiuso, senza scambi con l'esterno. Il fluido geotermico, dopo aver attraversato lo scambiatore, torna al pozzo di reiniezione per essere reimesso

nel serbatoio. Questo schema operativo, completamente chiuso, ha impatti ambientali

estremamente limitati, ma è adatto per impianti di piccola taglia.

Figura 2: schema di un funzionamento di una centrale geotermica

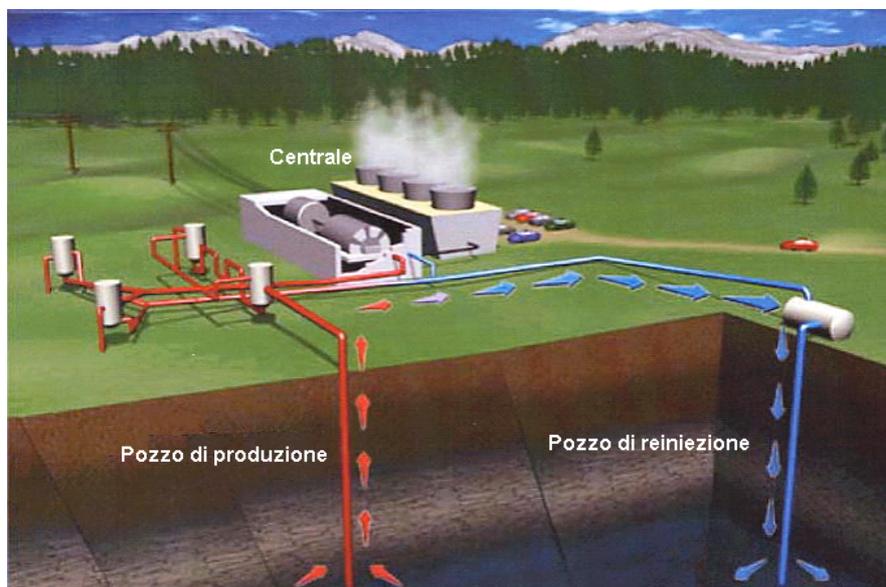


Tabella I: produzione geotermoelettrica mondiale

Country	1995 [MWe]	2000 [MWe]	2005 [MWe]	% Increase
Australia	0,2	0,2	0,2	Stable
Austria	0	0	1	New Entry
China	29	29	28	Stable
Costa Rica	55	143	163	14%
El Salvador	105	161	151	Stable
Ethiopia	0	7	7	Stable
France	4	4	15	275%
Germany	0	0	.2	New Entry
Guatemala	0	33	33	Stable
Iceland	50	170	202	19%
Indonesia	310	590	797	35%
Italy	632	785	790	1%
Japan	414	547	535	Stable
Kenya	45	45	127	182%
Mexico	753	755	953	16%
New Zealand	286	437	435	Stable
Nicaragua	35	70	77	10%
Papua New Guinea	0	0	6	New Entry
Philippines	1 227	1 909	1 931	1%
Portugal	5	16	16	Stable
Russia	11	23	79	244%
Thailand	0,3	0,3	0,3	Stable
Turkey	20	20	20	Stable
USA	2 817	2 228	2 544	3%
TOTAL	6 797	7 974	8 912	12%

scorre in tubazioni che si diramano fino agli edifici da riscaldare. Lo stesso sistema, basato su tubi di acqua calda interrati, può essere usato per mantenere sgombre dalla neve strade e scalinate o per far crescere ortaggi e piante senza chiuderli nelle serre.

Figura 5: complesso di serre del monte Amiata.



Il primo esempio di questo riscaldamento geotermico fu avviato a Boise in Idaho, USA, ma l'impianto più grande è quello di Reykjavik in Islanda, che copre i fabbisogni di 160.000 persone, pari al 99% degli abitanti della capitale. In Cina sono riscaldati geotermicamente più di 8.000.000 m² di abitazioni. In Austria, Svizzera e Germania l'utilizzazione del calore geotermico per il riscaldamento è molto diffusa, sia direttamente che mediante l'impiego di macchine termiche, denominate "pompe di calore". Tali apparati funzionano sul principio inverso delle macchine frigorifere: utilizzando energia elettrica (accessibile a tariffe scontate, grazie alla oculata politica fiscale di incentivazione in uso presso tali paesi), è possibile estrarre calore da un corpo più freddo (il fluido geotermico accessibile a 5-20 gradi mediante pozzetti di piccola profondità) e trasferirlo all'ambiente per il riscaldamento; è possibile anche l'utilizzazione inversa, per il condizionamento estivo. In grande sviluppo è il riscaldamento geotermico in Turchia, con oltre 52.000 abitazioni servite. Dagli anni 60 la Francia scalda fino a 200.000 case con acqua geotermica. In Italia gli usi diretti ammontano a circa 600 MWt, secondo gli impieghi elencati in tabella II.

Tabella II: Usi diretti del calore geotermico in Italia

Uso	Potenza MWt	Energia TJ/anno	Fattore di Utilizzazione
Riscaldamento Individuale	57,58	1108	0,61
Riscaldamento di Quartiere	74,22	603	0,26
Serre	94,21	1130	0,38
Ittiocoltura	91,55	1488	0,52
Usi Industriali	10,15	47	0,15
Usi Termali	158,8	2678	0,53
Totale	486,51	7054	0,46
Pompe di calore	120	500	
TOTALE	606,51	7554	

Complessivamente gli usi diretti nel mondo hanno prodotto 260.000 TJ/anno, consentendo un risparmio di 18 milioni di tonnellate di petrolio, con conseguente riduzione dell'inquinamento e della emissione di anidride carbonica nell'atmosfera. Gli usi diretti sono diffusi in tutto il mondo, in 55 paesi, per una capacità

di 28.000 MWt. La tabella III e la figura 6, presentata al *World Geothermal Congress 2005* in Turchia, riportano la suddivisione tra i diversi impieghi sopra elencati.

Il raddoppio degli usi diretti nel mondo, negli ultimi cinque anni, mostra come questo impiego risulti particolarmente in crescita e

suscettibile di ulteriori sviluppi su scala mondiale (vedi figura 7).

Tabella III: Usi diretti del calore geotermico nel mondo

Usi	2005	2000	1995	2005	2000	1995
Pompe di Calore	15,723	5,275	1,854	86,673	23,275	14,617
Riscaldamento	4,158	3,263	2,579	52,868	42,926	38,230
Serre	1,348	1,246	1,085	19,607	17,864	17,742
Ittiocoltura	616	605	1,097	10,969	11,733	13,493
Usi Agricoli	157	74	67	2,013	1,038	1,124
Usi Industriali	489	474	544	11,086	10,220	10,120
Usi Termali	4,911	3,957	1,085	75,289	79,546	15,742
Condizionamento e fusione di neve	338	114	115	1,885	1,063	1,124
Altri	86	137	238	1,045	3,034	2,249
TOTALE	27,825	15,145	8,664	261,418	190,699	112,441

Figura 6: Utilizzazione del calore geotermico nel 2003

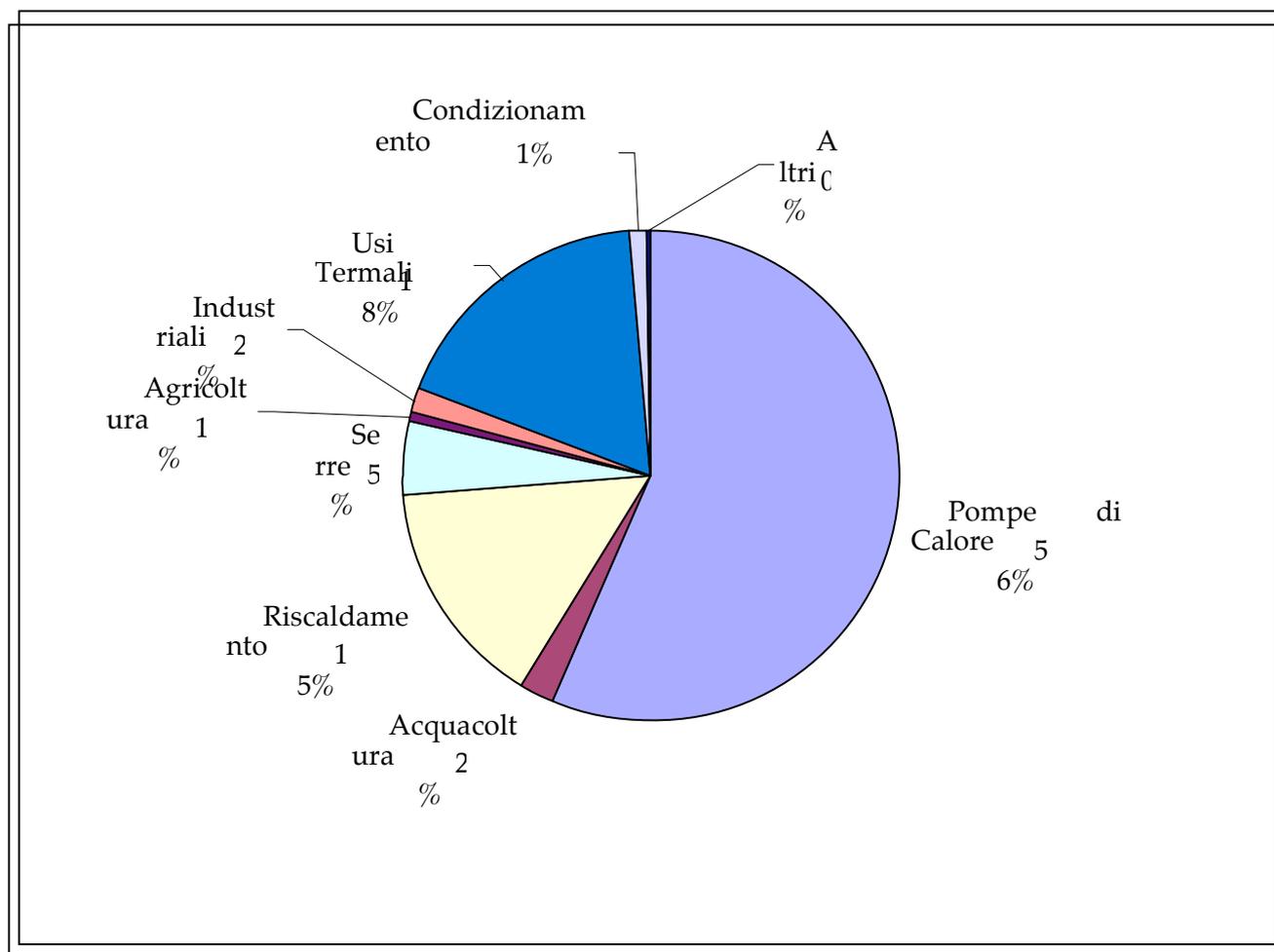
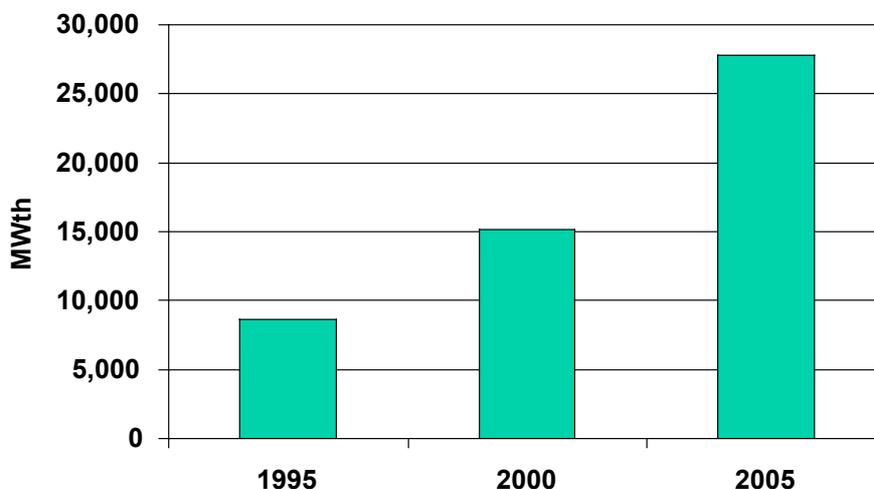


Figura 7: trend di sviluppo delle utilizzazioni del calore geotermico



PROSPETTIVE FUTURE

Nel breve termine le applicazioni finora descritte continueranno ad essere le uniche commercialmente utilizzabili (per l'uso finalizzato alla produzione di elettricità è stato stimato un potenziale di circa 80 GW). Molti serbatoi si trovano in paesi in via di sviluppo e, in tal caso, la risorsa geotermica può essere considerata anche un'eccellente opportunità di crescita economica.

Nel medio e lungo termine potrebbe svilupparsi la tecnica di sfruttamento delle rocce calde secche (*hot dry rock*), situate in profondità. Gli esperti di molti paesi stanno studiando la possibilità di perforare pozzi profondi e di iniettare acqua per farla scaldare in profondità dal calore della Terra; l'acqua calda poi risalirebbe in superficie lungo altri pozzi per poi venire impiegata come fluido energetico. L'applicazione pilota in questa tecnologia è quella a Soultz, sul confine franco-tedesco, ove è in corso di realizzazione il prototipo industriale da 2-3 MWe, che dovrà essere ultimato nei prossimi anni, mediante un pozzo di reiniezione e due di produzione, profondi circa 5.000 m, alla temperatura di 200°C.

L'ENERGIA GEOTERMICA PER LA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ IN EUROPA: SITUAZIONE ATTUALE E PROSPETTIVE DI SVILUPPO

L'utilizzazione della risorsa geotermica a bassa entalpia trova grande diffusione in Europa, mentre purtroppo la presenza di serbatoi ad alta entalpia, utilizzabili per la produzione di energia elettrica, è accertata solamente in pochi paesi: Italia, Turchia e Grecia. Politicamente facente parte dell'Europa, ma appartenenti ad altre entità geologiche, sono i sistemi di Islanda, Russia, Francia e Portogallo.

Eccetto l'Italia, il paese più promettente appare la Turchia, con solamente 20 MWe installati ma con un potenziale di 200-300 MWe. Per la Grecia il problema maggiore appare la reazione negativa delle popolazioni nei confronti delle installazioni industriali geotermiche, erroneamente considerate ostili alla prevalente vocazione turistica delle isole più promettenti; non vi sono attualmente impianti funzionanti, ma il potenziale geotermico è stimabile di circa 200 MWe disperso su molte isole. L'Islanda è una importante realtà (200 MWe), ed ha un potenziale enorme, pari a 4.000 MWe, ben superiore all'effettivo fabbisogno locale. La Russia ha nella Kamchatcka e nelle isole Kurili 80 MWe installati, con un potenziale di sviluppo pari a 400-500 MWe. Francia e Portogallo hanno nelle isole atlantiche di Guadalupa ed Azzorre piccoli impianti (15 MWe e 13 MWe rispettivamente), con possibilità di un modesto sviluppo sino ad alcune decine di MWe nei prossimi anni.

In Francia, Germania e Svizzera (a Soultz, Bad Urach e Basilea) si stanno avviando sperimentazioni per l'estrazione del calore da

formazioni rocciose profonde (circa 5.000 m) attraverso la fratturazione e la circolazione artificiale di acqua.

In Islanda è in fase di studio il progetto di un pozzo profondo per il reperimenti di fluidi supercritici, ad altissima densità energetica.

Si può stimare che lo sviluppo geotermoelettrico in Europa potrà raggiungere nel 2010 circa 1.500 MW_e, mentre per il 2020 possiamo ipotizzare da 2.000 a 3.000 MW_e.

Cenni Storici

L'energia geotermica in Europa è nota sin dall'antichità, ed è stata usata per migliaia di anni dapprima nelle terme romane e successivamente nei bagni turchi a scopo balneare, in Francia nel medioevo per il riscaldamento ed in Italia per scopi industriali a Larderello (Toscana) sin dal 1700. Più recentemente è stata avviata anche la produzione geotermoelettrica in alcuni paesi europei, seguendo l'esempio italiano (prima produzione nel 1904, prima centrale geotermica nel 1913).

Inoltre sono stati realizzati molti progetti di massiccio sfruttamento degli usi diretti del calore geotermico in diversi paesi, principalmente nell'Europa centrale. L'utilizzazione di pompe di calore in Germania e Svizzera è in forte espansione, anche grazie ad un'oculata politica di incentivazione tariffaria (sconti fiscali sul consumo di energia elettrica).

Classificazione delle risorse

Le risorse geotermiche sono tradizionalmente divise in due categorie: alta e bassa entalpia.

Le prime sono utilizzabili per la generazione di energia elettrica, ma sono disponibili solamente in aree geologicamente attive, dove le forze endogene portano il magma relativamente vicino alla superficie. In Europa tali situazioni sono presenti solo nell'area del mediterraneo centrale, tra la Turchia, Grecia ed Italia (collisione di placche geotettoniche Africana e Laurasiana). Possono verificarsi favorevoli condizioni anche dove esistono regimi tettonici estensivi (mid-oceanic rifts), come nelle isole Azzorre (Portogallo) ed Islanda.

In tutti questi paesi è quindi possibile realizzare una importante produzione geotermoelettrica, anche mediante utilizzazioni "a cascata", con sfruttamento secondario del fluido residuo dopo la

produzione elettrica (ad esempio riscaldamento o estrazione minerali).

Le risorse a bassa entalpia (tipicamente sotto 150°C) sono invece notevolmente diffuse ed originano dalla circolazione profonda di acque meteoriche all'interno di sistemi fratturati, caratterizzate da valori medi del gradiente geotermico terrestre, che risalgono naturalmente in superficie o in acquiferi facilmente accessibili.

Ubicazione delle risorse

Secondo una classificazione recentemente proposta, il territorio europeo può essere quindi suddiviso in quattro grossolane aree:

- *Aree "molto buone"*: sono i settori con le migliori prospettive e con eccellenti possibilità di sviluppo per la produzione geotermoelettrica: Antille Francesi (Guadalupa e Martinica, solo politicamente europee), Islanda, Azzorre (Portogallo), Canarie (Spagna), poste lungo la dorsale medio-atlantica, Estremo est della Russia (Kamchatka, collocata nel "ring of fire" dell'oceano pacifico, solo politicamente europea). La fascia preappenninica toscana-laziale (dove si trovano i campi di Larderello e del Monte Amiata) e le isole Eolie (Italia), le isole vulcaniche dell'Egeo (Grecia) e l'Anatolia occidentale (Turchia). *Tutte queste regioni coprono però solo lo 0,2% del territorio europeo.*

- *Aree "buone"*: sono i settori ai margini delle regioni precedentemente citate, oltre a: Massiccio Centrale della Francia, Graben del Reno in Germania, il Campidano in Sardegna, il bacino Pannoniano (Ungheria e Romania), l'isola di Lesbo (Grecia), la Siberia orientale (Russia), *per un totale del 2,3% del territorio.*

- *Aree "moderate"*: per un ulteriore 12,5%.

- *Aree "povere"*: il rimanente 85%.

La produzione geotermoelettrica può essere quindi possibile solo per le prime due categorie (2,5% del territorio), almeno con le presenti tecnologie e gli attuali parametri economici. Gli usi diretti possono invece essere sfruttati virtualmente ovunque, seppur a temperature diverse.

Previsioni nel medio e lungo termine

Nell'aprile 1999 la *International Geothermal Association* (IGA) e lo *European Geothermal Energy Council* (EGEC), nel corso di un seminario internazionale tenutosi a Ferrara, hanno stabilito alcuni ambiziosi obiettivi per lo sviluppo geotermico europeo nel nuovo millennio; La "Dichiarazione di Ferrara"

(Tabella IV) auspica di raggiungere 2,000 MWe di energia geotermoelettrica per il 2010 (raddoppiando il valore presente), ed addirittura triplicando gli impieghi termici diretti (15.000 MWt).

Tabella IV: Dalla "Dichiarazione di Ferrara": obiettivi per lo sviluppo geotermico all'inizio del nuovo millennio

	1998	2010	2020
Calore(*)	5,200 MWt	15,000 MWt	48,000 MWt
Elettricità(**)	940 MWe 4,300 GWh/y	2,000 MWe 16,000 GWh/y	(***) 3,000 MWe 24,000 GWh/y

(*) risorse superficiale e profonde;

(**) incluso *Enhanced Geothermal System* = progetti tipo Soultz;

(***) senza politiche di supporto;

In Tabella V troviamo una stima leggermente più conservativa, basata sui vincoli della tecnologia esistente e dello attuale scenario economico.

Tabella V: Potenziale geotermico in alcuni paesi europei

Paese	2010 MWe	2020 MWe
Francia	30	50
Grecia	10	30
Islanda	220	300
Italia	930	1,000
Portogallo	35	70
Russia	130	300
Turchia	70	200
Altri	50	90
TOTALE	≈1.500	≈2.000

Il tasso medio di crescita della potenza installata è comunque in lieve discesa: da 4,8% per il periodo 1990-2000, a 3,7% e 3,3% per 2000-2010 e 2010-2020 rispettivamente. Solamente una adeguata politica di supporto legislativo ed economico potrebbe consentire lo sviluppo di nuove risorse, più profonde o più costose. Un ulteriore limite allo sviluppo consiste nell'accoppiamento risorsa/domanda: in paesi con alto potenziale (Islanda, Russia asiatica) non esiste una forte domanda elettrica, ed una volta saturato il mercato locale diventano

antieconomici ulteriori investimenti. D'altra parte, il limitato ingresso di nuovi paesi produttori appare troppo modesto per controbilanciare la graduale riduzione della crescita in Italia, dove lo sviluppo della risorsa dura ormai da quasi un secolo.

Viceversa, per gli usi diretti (esclusa la balneologia) si può ipotizzare una crescita notevole, con 8.000 MWt nel 2010 e 14.000 MWt nel 2020, con un tasso di sviluppo in rapida crescita, passando dal 2,7% per il 1990-2000 a 5,2% e 5,8% per i decenni successivi.

Appare difficile stimare l'effetto delle misure di sostegno allo sviluppo geotermico che i paesi europei dovranno adottare per il rispetto dei parametri dettati dal protocollo di Kyoto, incrementando lo sviluppo sostenibile di una importantissima fonte energetica pulita e rinnovabile come la geotermia. A maggior ragione nuovi sviluppi tecnologici, così come l'impatto delle nuove metodologie di *Enhanced Geothermal System* (progetti tipo Soultz) potranno dare un contributo non indifferente nel quadro di sviluppo geotermico europeo. In questa ottica anche le stime conservative appena presentate possono essere riconsiderate, sino a valori in accordo con la "Dichiarazione di Ferrara".

CONCLUSIONI

Le risorse geotermiche utilizzabili per la produzione di energia elettrica sono piuttosto limitate ed irregolarmente distribuite sul continente europeo, mentre per gli usi diretti le condizioni di sfruttamento sono molto più favorevoli.

Tuttavia, si può concludere che solamente una minima parte dell'intero potenziale geotermico europeo sia stata esplorata ed utilizzata. Le prospettive di sviluppo sono estremamente promettenti, considerando anche le possibilità di estrazione del calore da sistemi non idrotermali artificialmente o naturalmente fratturati.

Fare previsioni è sempre difficile, ed in misura maggiore appare ancora più complicato dall'assenza di certezze del quadro di riferimento legislativo/economico, oltre che dalla difficoltà della valutazione delle riserve e delle potenzialità di un campo geotermico, sia che siano stati perforati alcuni pozzi esplorativi che, in maggior ragione, sulla base delle sole prospezioni di superficie.

Tuttavia, pur con tutte le cautele del caso, e considerando attentamente i possibili fattori limitanti, si può concludere che lo sviluppo

geotermoelettrico in Europa potrà andare nel 2010 tra un minimo di 1.500 MWe ad un massimo di 2.000 MWe, mentre per il 2020 possiamo ipotizzare da 2.000 a 3.000 MWe.

Si può quindi considerare il futuro geotermoelettrico europeo con fiducia, e nutrire la speranza che le opportune politiche di sostegno a livello dei singoli paesi e della Comunità Europea possano dare un impulso notevole allo sviluppo di tale risorsa, in linea con i parametri dettati dal protocollo di Kyoto.

LO SVILUPPO DELLE RISORSE GEOTERMICHE IN ITALIA PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

L'utilizzazione delle risorse geotermiche per usi industriali è stata avviata nell'area di Larderello fin dalla prima metà del 1800, con la produzione di sali borici e l'utilizzazione del vapore, in sostituzione della legna, per la concentrazione delle salamoie.

La produzione di energia elettrica fu sperimentata, per la prima volta al mondo, nel 1904, quando una macchina a vapore, alimentata da fluido geotermico, fu collegata ad una dinamo e permise di accendere alcune lampade nello stabilimento per la produzione di sali borici.

Nel 1913 fu installato a Larderello il primo gruppo di generazione geotermoelettrica da 250 kW, segnando l'inizio di questa nuova attività industriale.

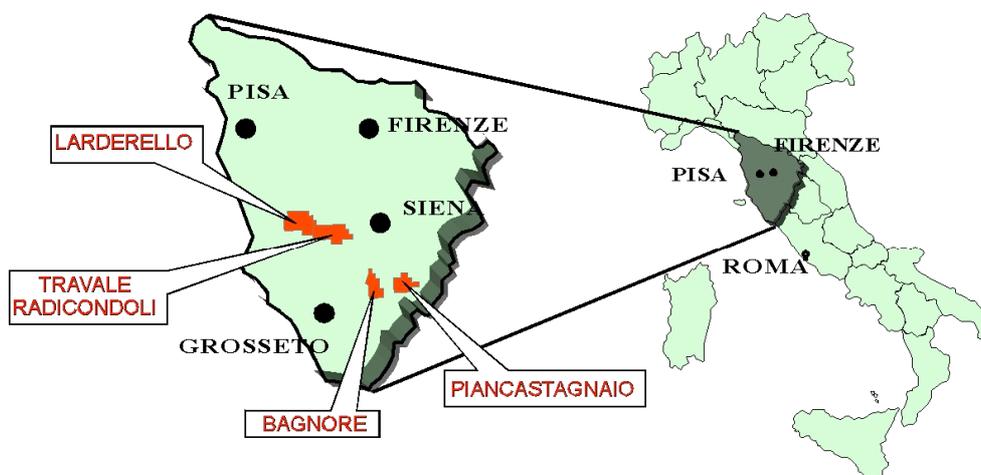
La produzione elettrica si mantenne a livelli modesti fino al 1938, ma successivamente ebbe un rapido e costante incremento. La potenza installata è aumentata nel tempo a seguito della progressiva estensione delle aree investigate con la perforazione di nuovi pozzi, che hanno permesso di incrementare la produzione di fluido.

L'esperienza italiana nella produzione di energia elettrica da fluidi endogeni ha rappresentato l'unico esempio nel mondo fino al 1958, quando il primo gruppo di generazione venne installato a Wairakei in Nuova Zelanda; nello stesso anno la produzione annua di energia elettrica a Larderello aveva già raggiunto i 2 miliardi di kWh, con una potenza installata di circa 300 MWe.

A partire dagli anni '50 furono sviluppati anche i campi geotermici di Bagnore e Piancastagnaio, localizzati sul Monte Amiata, e quindi il campo di Travale-Radicondoli che si trova a circa 20 km ad Est di Larderello.

Successivamente l'esplorazione geotermica fu estesa anche nel Lazio, in Campania e nelle Eolie. Tutte queste aree sono caratterizzate da elevate temperature nel sottosuolo ma i modesti valori di permeabilità rilevati, le caratteristiche dei fluidi reperiti e le problematiche ambientali ed autorizzative hanno reso possibile lo sviluppo per produzione elettrica del solo campo di Latera, ubicato nel Lazio settentrionale, in prossimità del lago di Bolsena, successivamente abbandonato.

Figura 8: Localizzazione dei principali campi geotermici italiani



Attualmente tutte le attività relative alla esplorazione, sviluppo ed utilizzazione delle risorse geotermiche per la produzione

elettrica in Italia vengono effettuate da ENEL (vedi figura 8).

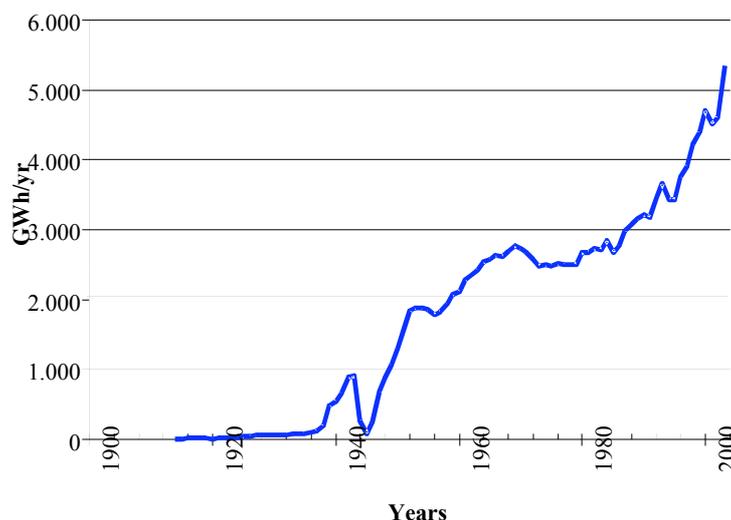
Lo sviluppo delle produzione elettrica

Lo sviluppo negli anni della produzione elettrica da fonte geotermica è riportato in Figura 9. Nell'anno 2003 sono stati prodotti 5,3 miliardi di kWh che contribuiscono solo per il 1.6% alla produzione in Italia ma che costituiscono il 10% della produzione

geotermica mondiale ed il 25% della produzione elettrica della Toscana.

Come si può notare, la produzione è iniziata a crescere significativamente ed in modo costante a partire dalla fine degli anni '30 (interrotta solo dagli eventi bellici del 1944, quando tutti gli impianti furono distrutti) e fino all'inizio degli anni '70.

Figura 9: Andamento della produzione elettrica in Italia e previsioni future



In questo periodo i pozzi perforati nelle aree di Larderello, Travale-Radicondoli, Bagnore e Piancastagnaio avevano profondità che andavano da poche centinaia di metri fino a circa 1.500 m ed interessavano il serbatoio carbonatico superficiale (costituito prevalentemente da anidriti e dolomie) sottostante le formazioni di copertura costituite prevalentemente da argille.

La perforazione, avviata nelle zone centrali e più produttive, si era poi estesa arealmente nel corso degli anni fino a raggiungere i margini produttivi del serbatoio carbonatico e verso la metà degli anni '70 si pose il problema di come mantenere ed addirittura incrementare la produzione di fluido che stava iniziando a declinare a causa del lungo ed intenso periodo di esercizio dei campi.

A tale scopo furono avviate due differenti strategie:

a. *esplorazione profonda* (3,000 – 4,000 m) per verificare la presenza di nuovi orizzonti produttivi all'interno del Basamento Metamorfico sottostante il serbatoio carbonatico;

b. *reiniezione* di vapore condensato ed acqua all'interno del serbatoio per

incrementare la produzione di vapore dai pozzi già in esercizio.

Ambedue le strategie hanno avuto successo ed hanno permesso di incrementare significativamente la produzione di fluido e quindi di energia elettrica.

La *perforazione di pozzi profondi* ha permesso di reperire fluido a maggiori temperature e pressioni e di estendere arealmente le aree produttive fino allora individuate con i pozzi più superficiali.

La *reiniezione nel campo di Larderello*, avviata verso la fine degli anni '70, ha permesso di verificare che le acque immesse in alcuni pozzi vengano vaporizzate all'interno del serbatoio a spese della enorme quantità di energia termica immagazzinata nelle rocce ed il vapore generato incrementa la produzione dei pozzi circostanti.

I risultati positivi delle due strategie hanno permesso di rivalutare il potenziale geotermico dei campi già in esercizio da molti anni e di avviare nuovi programmi di ulteriore sviluppo e di rinnovamento impianti (sostituzione di centrali ormai obsolete con nuove unità caratterizzate da maggiore efficienza).

A gennaio 2005 erano in esercizio nei vari campi geotermici circa 250 pozzi per la

produzione di fluido, con una rete di vapordotti per una lunghezza complessiva di circa 170 km. Le unità di produzione elettrica in esercizio erano 34, per una potenza complessiva di 800 MWe.

Tutte le unità vengono controllate ed esercitate a distanza da un Posto di Teleconduzione situato a Larderello, dove 12 operatori si avvicendano continuamente e garantiscono una sorveglianza continua nel corso delle 24 ore. E' così possibile non solo monitorare ed analizzare i vari parametri degli impianti, ma anche di telecomandare una serie di operazioni, tra cui anche la fermata ed il riavvio all'esercizio dei singoli gruppi. Tale soluzione ha permesso di migliorare l'operatività degli impianti e di ridurre drasticamente i costi di esercizio.

Solamente a Larderello, l'energia geotermica garantisce una produzione media annua di elettricità capace di soddisfare i bisogni di oltre un milione e mezzo di famiglie. Nella stessa area il vapore geotermico viene inoltre utilizzato per il teleriscaldamento di oltre 3.000 appartamenti e per altre utenze industriali, impianti di sericoltura, ecc.

Per migliorare l'impatto ambientale degli impianti di superficie sono state introdotte nuove soluzioni di progettazione, sia per ridurre l'impatto visivo che le emissioni sonore.

ENEL ha recentemente brevettato una nuova tecnologia, particolarmente innovativa per l'abbattimento degli effluenti gassosi naturalmente presenti nei fluidi geotermici;

un primo impianto dimostrativo (denominato AMIS: Abbattimento Mercurio ed Idrogeno Solforato) è stato collaudato con successo sulla centrale di Bagnore (Monte Amiata), raggiungendo percentuali di riduzione particolarmente significative, sino al 99%, eliminando quasi completamente le problematiche ambientali legate alla percezione del tipico odore di "uova marce" dell'idrogeno solforato che viene naturalmente emesso nelle aree geotermiche. Altri due impianti sono stati recentemente installati, mentre 15 sono stati commissionati, con l'intento di trattare sino all'80% delle emissioni di tutto l'intero parco geotermico.

Sono attualmente in corso ulteriori programmi di sviluppo dell'ENEL nell'area Larderello-Travale/Radicondoli, per verificare la possibilità di un ulteriore aumento della produzione di vapore dalle zone più profonde del campo. Questo programma include una serie di prospezione sismiche 3D e la perforazione di 11 pozzi esplorativi di 3.000-4.000 m. Sulla base dei risultati positivi attesi, un incremento di ulteriori 100 MWe può essere ragionevolmente ipotizzato per il 2010.

In aggiunta a tali programmi realizzativi sono stati già richiesti nuovi permessi di ricerca ed altre aree sono in fase di valutazione per ulteriori possibili programmi esplorativi. L'esito di tali attività è ovviamente ancora incerto; al momento si può ritenere che sia possibile installare ulteriori impianti per 200-300 MWe.

RUGGERO BERTANI

Laureato in Fisica a Pisa nel 1979, dopo un periodo lavorativo in Italia ed all'estero presso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), entra in ENEL nel 1981, partecipando attivamente allo sviluppo del programma nucleare italiano (centrale di Caorso); trasferitosi successivamente alla Divisione Generazione ed Energy Management - Area di Business Energie Rinnovabili - Produzione Geotermica dal 1992, è attivo nello sviluppo di progetti di ricerca ed utilizzazione della risorsa geotermoelettrica in Italia e nel Mondo. Dal 1998 al 2004 ha ricoperto l'incarico di Executive Director della International Geothermal Association, di cui è attualmente membro del Board of Directors.

Contatti:

ENEL - Geotermia

Via A. Pisano 120

56100 Pisa

Email: ruggero.bertani@enel.it