

L'ENERGIA GEOTERMICA: UNA RISORSA IMPORTANTE NEI PAESI TROPICALI

1. DOVE SI TROVA

E' noto che la temperatura della crosta terrestre aumenta in profondità mediamente di 3 gradi centigradi ogni 100 metri. Questo gradiente di temperatura in alcune zone della terra può raggiungere valori sensibilmente maggiori che possono essere di 5-10 volte superiori a quello medio.

La figura 1 rappresenta la relazione temperatura-profondità in funzione del gradiente, da cui è possibile definire diverse zone termiche.

Solo le zone in cui si possono trovare temperature superiori ai 100° C a profondità inferiori ai 3000 m. sono interessanti dal punto di vista economico.

Nelle zone ipertermiche è possibile trovare a profondità comprese tra i 1000 e i 2000 m. (ma talvolta anche minori) temperature dell'ordine di 2-300° C.

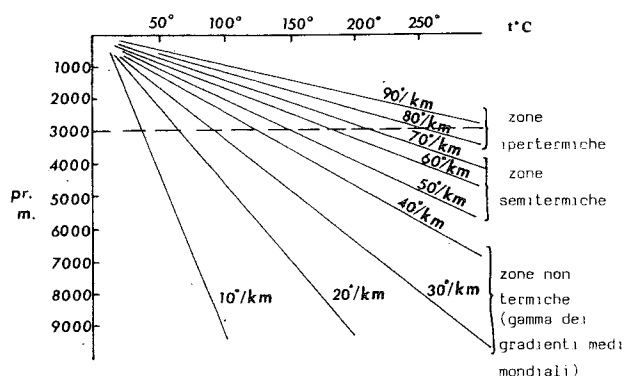


Fig. 1: relazione temperatura/profondità.

Solo le zone in cui si possono trovare temperature superiori ai 100° C a profondità inferiori ai 3000 m sono interessanti dal punto di vista economico.

Nelle zone ipertermiche è possibile trovare a profondità comprese tra i 1000 e i 2000 m (ma talvolta anche minori) temperature dell'ordine di 2-300° C. Siamo allora in presenza di un giacimento di calore che può essere sfruttato commercialmente qualora esistano le condizioni naturali per poterlo estrarre. Queste condizioni consistono nella presenza di acqua, sia allo stato liquido che allo stato di vapore, nelle formazioni rocciose calde.

Siamo allora in presenza di un giacimento di calore che può essere sfruttato commercialmente qualora esistano le condizioni naturali per poterlo estrarre. Queste condizioni consistono nella presenza di acqua, sia allo stato liquido che allo stato di vapore, nelle formazioni rocciose calde.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra - Università "La Sapienza", Roma.

Un giacimento di questo tipo è ciò che si definisce un campo geotermico.

Mediante pozzi perforati fino a raggiungere l'acquifero caldo, l'acqua (o il vapore) viene estratta in superficie per utilizzarne il contenuto termico, sia per uso diretto, sia per la generazione di energia elettrica mediante turbogeneratori alimentati dal vapore (eventualmente separato dall'acqua ad una certa pressione se il fluido geotermico si trova nella fase liquida).

Le condizioni necessarie per l'esistenza di un campo geotermico sono dunque tre e devono essere concomitanti:

1. L'esistenza di una sorgente di calore abbastanza superficiale tale da provocare gradienti elevati (zone ipertermiche).
2. L'esistenza di rocce permeabili, alla profondità in cui la temperatura raggiunge valori elevati, in modo che l'acqua possa circolarvi e porsi alla stessa temperatura della roccia.
3. L'esistenza di rocce impermeabili al di sopra dell'acquifero caldo in modo da impedire i movimenti convettivi verso la superficie e la dissipazione del calore nell'atmosfera.

Queste condizioni si presentano con notevole frequenza in certe zone della terra in cui masse di roccia fusa (magmi) risalgono verso la superficie e danno origine ad una intensa attività eruttiva i cui aspetti più appariscenti sono i vulcani. Pertanto una regione con attività vulcanica in atto o molto recente è la più favorevole alla presenza di campi geotermici.

In certe condizioni possono esistere delle anomalie termiche anche al di fuori delle regioni vulcaniche; in questi casi si possono avere delle acque calde (80-120° C) a profondità accessibili (zone semitermiche) che possono essere utilizzate per usi diretti (riscaldamento domestico, serre).

Questi acquiferi "tiepidi" possono essere sfruttati economicamente solo nei paesi dove è necessario per un periodo abbastanza prolungato dell'anno il riscaldamento domestico. Non è quindi il caso dei paesi tropicali di cui ci stiamo occupando, per cui trascureremo questo tipo di risorse geotermiche limitandoci esclusivamente a quelle ipertermiche (dette anche ad alta entalpia) sfruttabili per la generazione di energia elettrica.

La figura 2 rappresenta la distribuzione sulla superficie del globo delle aree vulcaniche attive e/o recenti. Chi è al corrente della teoria delle placche e dei loro movimenti riconoscerà chiaramente che le zone geotermiche coincidono con i margini attivi e passivi delle placche attuali (zone di apertura dei fondi oceanici e zone di collisione e subduzione delle placche oceaniche e/o continentali).

La figura 3 sintetizza quanto detto finora classificando le diverse tipologie di campi geotermici in funzione dell'ambiente geotettonico.

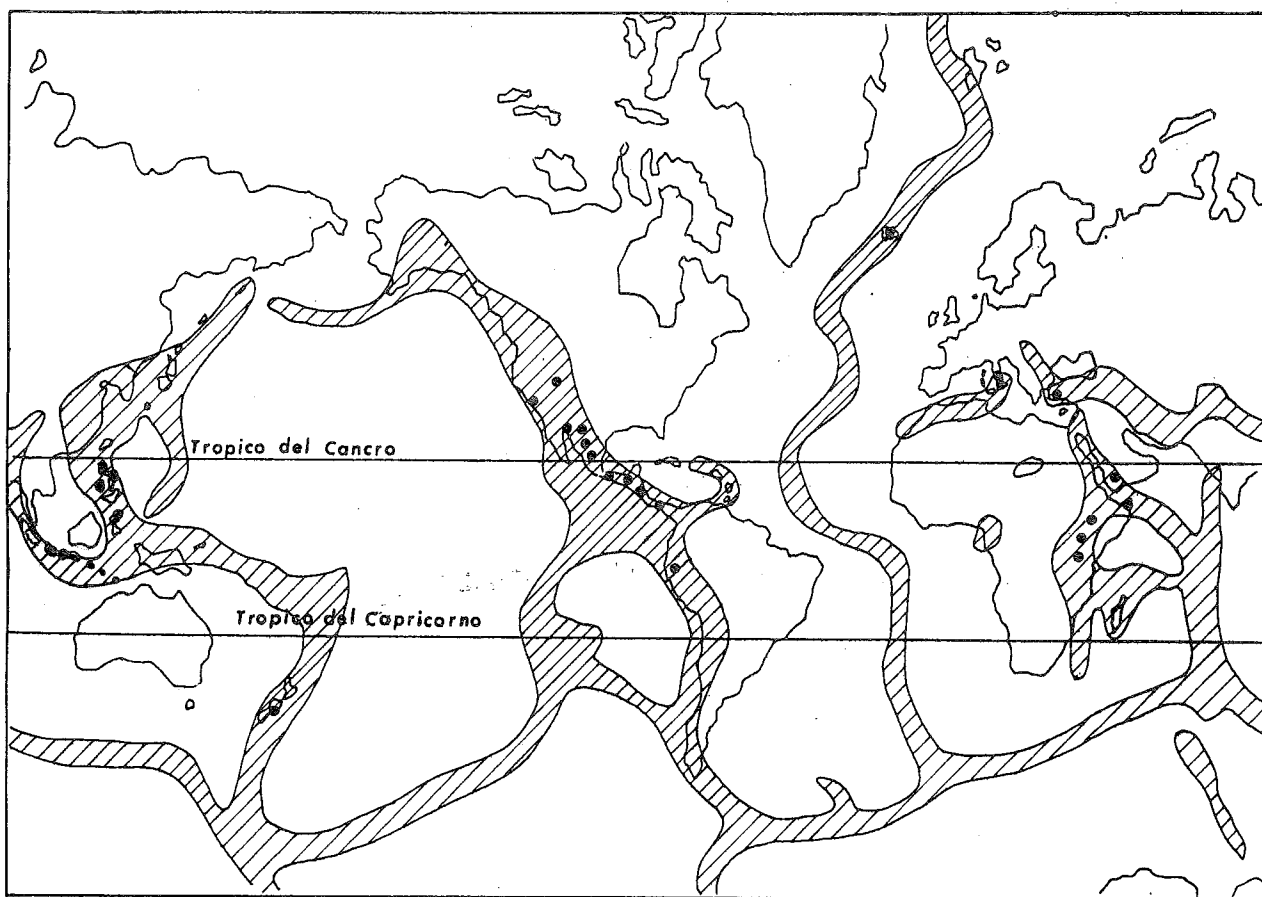


Fig. 2: Distribuzione delle aree vulcaniche attive e/o retenti e posizione dei campi geotermici (ipertermici) conosciuti.

2. I PAESI TROPICALI E LE RISORSE ENERGETICHE

In figura 4 è schematizzata la distribuzione areale dei principali giacimenti di materie prime energetiche "convenzionali" (idrocarburi e carbone) nella fascia compresa tra i due tropici. La figura 5 raffronta la popolazione della zona compresa tra i tropici con le corrispondenti risorse energetiche rispetto al totale mondiale.

Le risorse geotermiche ad alta entalpia sono invece molto più abbondanti nella zona tropicale inoltre, mentre sono totalmente privi di risorse energetiche convenzionali, sono potenzialmente ricchi di risorse geotermiche, per cui sfruttandole opportunamente, possono ridurre la loro dipendenza energetica dai combustibili convenzionali, per lo meno per quanto riguarda la generazione di energia elettrica.

I paesi che si trovano in queste condizioni sono i seguenti:

in America - il Salvador, il Nicaragua, il Panama, le Antille (Santa Lucia) e il Cile e infatti proprio in questi paesi la ricerca dei campi geotermici è cominciata sin dagli inizi degli anni sessanta; in Salvador e in Nicaragua inoltre sono in esercizio centrali geotermoelettriche che contribuiscono in maniera determinante al fabbisogno elettrico dei due paesi;

in Africa - il Kenya, l'Etiopia, Gibuti, l'Uganda, il Ruanda, il Burundi, lo Zaire, la Tanzania, lo Zambia e il Mozambico. I primi tre paesi hanno avviato da tem-

po la ricerca di campi geotermici e in Kenya esistono già operative delle centrali geotermoelettriche; in Asia - le Filippine dove la potenza geotermoelettrica installata e corrispondentemente l'energia generata ha superato da tempo quella dell'Italia che pure è stato il primo paese al mondo a sfruttare questo tipo di risorsa fin dagli inizi del secolo.

Consapevole del ruolo importante dell'energia geotermica nei paesi in via di sviluppo, il Dipartimento alla Cooperazione e allo sviluppo del Ministero degli Affari Esteri italiano ha promosso e finanziato diversi progetti in questi paesi e precisamente in Nicaragua, Honduras, Costa Rica, Santo Domingo, Perù, Ecuador, Colombia, Bolivia, Etiopia, Gibuti, Kenya, Tanzania, Zambia, Indonesia, Filippine e Cina.

3. LE FASI DI UN PROGETTO GEOTERMICO

Le risorse geotermiche sono assimilabili a qualsiasi altra risorsa del sottosuolo e pertanto la metodologia di esplorazione e sfruttamento non differisce molto da quella utilizzata per altri fluidi quali il petrolio e il gas naturale. Essenzialmente le fasi di un progetto geotermico sono le seguenti:

Esplorazione, mediante la quale si identificano le zone indiziate e si eseguono gli accertamenti diretti per raggiungere il giacimento e verificare le caratteristiche dei fluidi endogeni.

Valutazione, che consiste nella determinazione del-

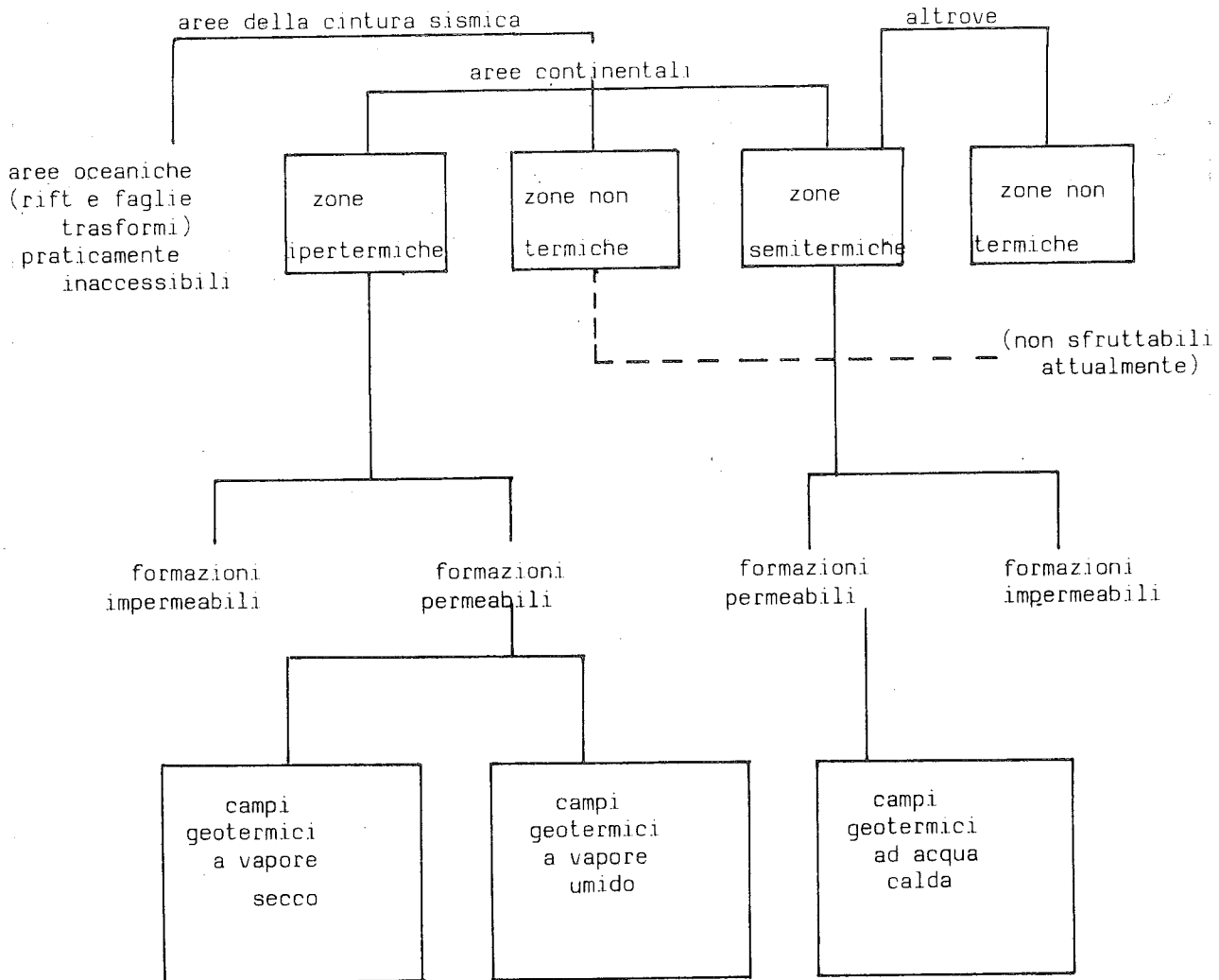


Fig. 3: Classificazione delle zone termali.

la qualità e della quantità delle risorse individuate durante la fase di esplorazione, e nell'analisi economica dello sfruttamento industriale delle risorse per determinarne la convenienza economica (Studio di Fattibilità).

Preparazione, che consiste nella realizzazione di tutte le opere necessarie alla estrazione e alla utilizzazione dei fluidi geotermici una volta che ne è stata determinata la fattibilità.

Esercizio, che consiste nello sfruttamento industriale del fluido geotermico, con l'estrazione, il trattamento e il trasporto del vapore alla centrale dove viene immesso nelle turbine per generare energia geotermoelettrica.

Ma vediamo più in dettaglio in che cosa consistono queste diverse fasi e quali specifiche attività coinvolgono.

3.1. ESPLORAZIONE

Gli obiettivi dell'esplorazione, qualunque siano i metodi adoperati, sono i seguenti:

- localizzare un campo geotermico,
- stabilire se è semitermico o ipertermico,
- nel secondo caso stabilire se si tratta di un campo ad acqua calda o a vapore dominante,
- definire nella maniera più precisa possibile la distribuzione in profondità delle temperature del giacimento.

Per conseguire questi obiettivi l'esplorazione procede per gradi, dal generale al particolare, per massimizzare la probabilità di scoperta al minimo costo.

Si inizierà perciò con una esplorazione preliminare che consisterà in una indagine regionale sulla base delle conoscenze già disponibili, per localizzare le aree potenzialmente ipertermiche.

Si procederà quindi al riconoscimento sul terreno delle aree così individuate, localizzando le manifestazioni superficiali (fumarole, sorgenti calde, zone di alterazione idrotermale) e campionando i fluidi emessi da queste manifestazioni per sottoporli ad analisi chimiche (la presenza di certi ioni ed il valore di certi rapporti ionici sono infatti indizi della temperatura in profondità e costituiscono pertanto dei "geotermometri").

Sulla base dei dati raccolti si procede quindi alla classificazione delle aree identificate stabilendo un ordine di priorità in funzione del grado presunto di probabilità di esistenza di un obiettivo commerciale.

Si continua poi con l'esplorazione dettagliata di superficie delle aree prioritarie nelle quali vengono di solito condotte le seguenti indagini:

- studio geologico e fotogeologico e determinazione dell'età assoluta di prodotti vulcanici, per stabilire l'esistenza di una camera magmatica ancora calda (sorgente di calore) e la sua probabile estensione;
- prospezione geochimica e studio idrogeochimico dei

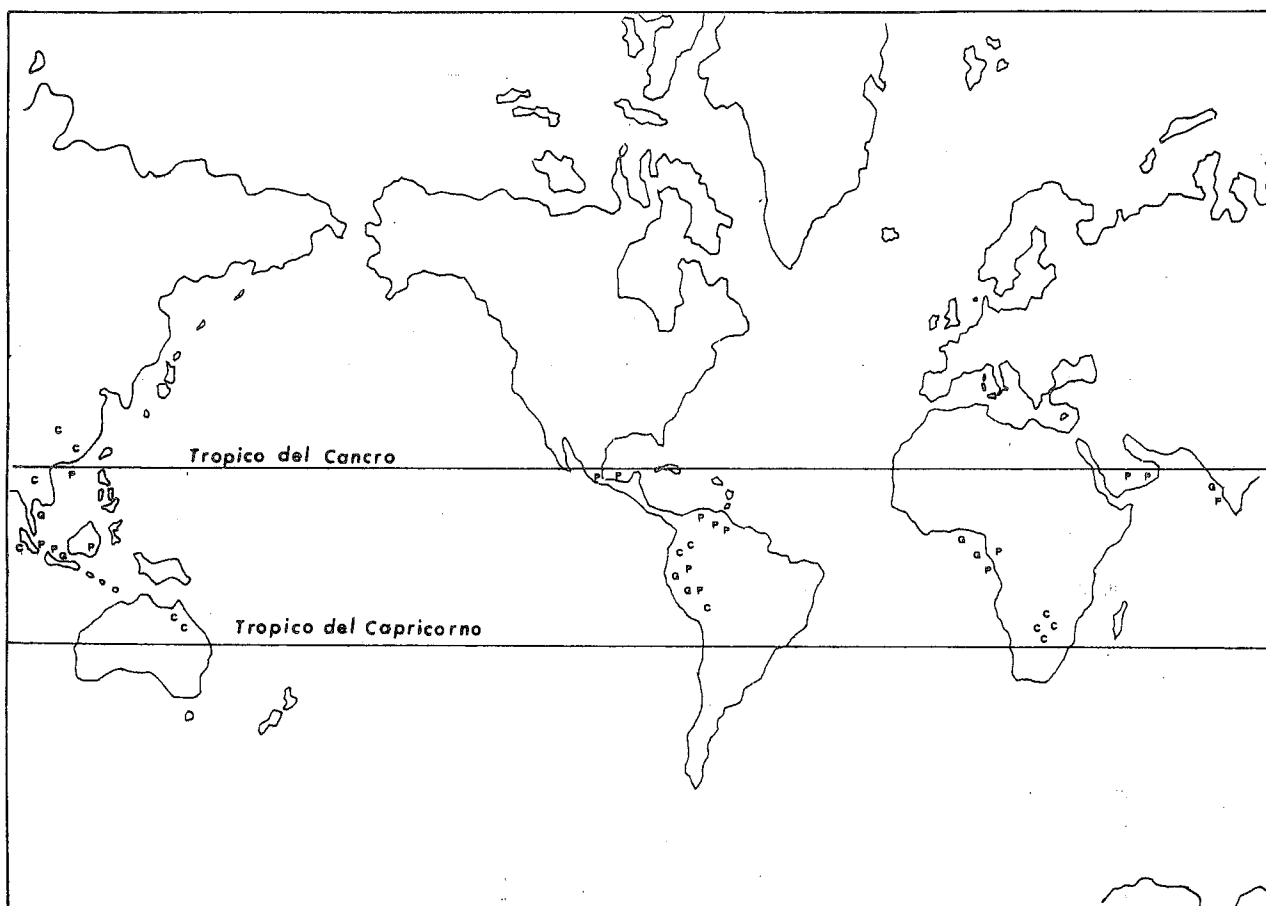


Fig. 4: Localizzazione dei giacimenti di materie prime energetiche nella fascia tra i due tropici. (c = carbone; p = petrolio; g = gas naturale).

fluidi termali e non, per cercare di delimitare le vie di risalita dei fluidi geotermici e la probabile estensione areale del serbatoio geotermico;

— prospezione geofisica (gravimetria, magnetometria ma principalmente geoelettrica) per cercare di definire le strutture profonde e per delimitare le anomalie di resistività (minimi) che corrispondono generalmente alle zone di alterazione sovrastanti un serbatoio geotermico, prodotte dai fluidi che dal serbatoio sfuggono verso l'alto.

— perforazione di pozzetti di gradiente (profondi 100-300 m.) per determinare l'andamento in profondità delle temperature e individuare le anomalie di gradiente (massimi), che generalmente si incontrano in corrispondenza dei punti più alti del serbatoio geotermico.

L'esplorazione di superficie si conclude con l'individuazione di obiettivi da verificare mediante l'esplorazione profonda, che consiste nella perforazione di pozzi diretti a raggiungere il presunto serbatoio geotermico a profondità accessibile economicamente (< 3000 m.).

Il raggiungimento del serbatoio, che si manifesta con la risalita (sia spontanea che provocata mediante opportuna stimolazione) di acqua calda o vapore costituisce una "scoperta" e conclude la fase di esplorazione dopo che almeno un altro paio di pozzi hanno confermato la scoperta.

3.2. VALUTAZIONE

Lo scopo della valutazione è quello di stabilire se

il campo geotermico scoperto, per le sue dimensioni e per la qualità del suo fluido endogeno, è tale da poter essere sfruttato industrialmente in condizioni di economicità. Si tratta quindi di verificare se l'energia geotermoelettrica utilizzando il fluido scoperto costa meno dell'energia elettrica che potrebbe essere generata nella regione interessata con l'alternativa di generazione più conveniente.

Per questo scopo si procederà a tutta una serie di prove sui pozzi produttivi per misurare e dedurre i parametri fisici necessari alla conoscenza del campo geotermico e dei suoi fluidi. Tali prove sono:

— profili di temperatura e pressione lungo i pozzi per ricostruire l'andamento delle isoterme e delle isopieze del giacimento;

— prove di produzione di breve e di lunga durata dai singoli pozzi per determinare l'entalpia dei fluidi, il flusso massico dei singoli pozzi e la relazione flusso massico-pressione di testa pozzo;

— prove di interferenza per determinare la caduta di pressione nel serbatoio in corrispondenza di uno o più pozzi per effetto dell'estrazione da un altro pozzo.

Sulla base dei dati raccolti con le prove sui pozzi e delle conoscenze acquisite con le indagini svolte durante la fase di esplorazione si procede alla valutazione del potenziale del campo che si articola nei seguenti momenti:

— formulazione di un modello concettuale del campo che ne sintetizzi gli aspetti geologici, idrogeologici e termodinamici;

- realizzazione di modelli matematici che rappresentino il campo nelle sue caratteristiche idrauliche e termodinamiche e che consentano di simularne il comportamento a diverse condizioni di estrazione del fluido;
- calcolo delle riserve in energia utilizzabile e dimensionamento dello sfruttamento industriale.

I dati così ottenuti permettono a questo punto di eseguire lo "studio di fattibilità" che consisterà nelle seguenti attività:

- ottimizzazione del ciclo termodinamico del sistema serbatoio geotermico-testa pozzo-turbina-scarico;
- progettazione di massima della centrale geotermica;
- progettazione dei pozzi di produzione e del sistema di trasporto e trattamento dei fluidi endogeni;
- studio del mercato elettrico della regione in cui è ubicato il campo geotermico in esame per stabilire la migliore relazione possibile tra domanda del sistema e generazione geotermoelettrica;
- analisi economica e finanziaria del progetto e confronto economico/finanziario con la migliore alternativa di generazione.

Se lo studio di fattibilità dimostrerà la convenienza economica/finanziaria del progetto, esso costituirà un documento che potrà consentire all'Ente che ha promosso il progetto di chiedere finanziamenti alle istituzioni finanziarie internazionali quali la Banca Mondiale, il Fondo Europeo di Sviluppo, la banca Asiatica di Sviluppo ecc.

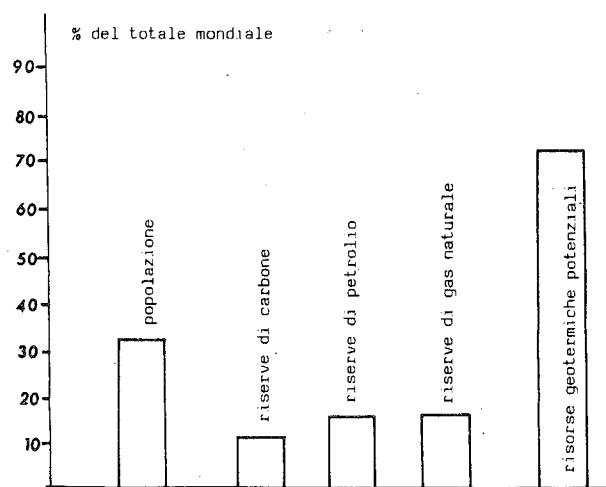


Fig. 5: Popolazione e risorse energetiche della fascia tropicale. Da queste due figure si deduce che le riserve di energia convenzionale nella zona compresa tra i tropici sono relativamente meno abbondanti che nel resto del mondo sia in valore assoluto che in valore relativo (rispetto alla popolazione).

3.3. PREPARAZIONE

Se lo studio di fattibilità ha dimostrato la convenienza economica del progetto, si passa alla realizzazione delle opere, utilizzando probabilmente i mezzi finanziari messi a disposizione da qualcuna delle organizzazioni sopramenzionate.

Da una parte si eseguiranno le opere sul campo per metterlo in condizioni di produrre la quantità di vapore necessaria alla operazione della centrale alle condizioni di esercizio previste. Queste operazioni consisteranno:

- nella perforazione di pozzi di produzione in nume-

ro sufficiente ad estrarre il fluido geotermico necessario. Lo schema e la ubicazione dei pozzi sarà studiata in maniera da minimizzare la lunghezza delle tubazioni di convogliamento del vapore alla centrale;

- nella perforazione di pozzi di reiniezione che verranno utilizzati per reiniettare i fluidi residui dopo la separazione del vapore (qualora il giacimento sia costituito da acqua calda e non da vapore secco);

- nella installazione di vapordotti e dei separatori acqua/vapore (che per evaporazione parziale ad una data pressione separano una certa quantità di vapore ottenuto a spese del calore contenuto nella massa totale dell'acqua entrante; l'acqua residua per conseguenza si raffredda portandosi alla temperatura di saturazione corrispondente alla pressione di separazione prescelta) per trasportare il vapore dai pozzi o dai separatori alla centrale geotermoelettrica.

Dall'altra parte si procederà alla costruzione della centrale geotermoelettrica che dovrà essere realizzata contemporaneamente alla esecuzione delle opere sul campo descritte precedentemente. E' importante sottolineare che la costruzione della centrale costituisce la "fase critica" dell'intero progetto in quanto il tempo necessario corrispondente non può essere ridotto al di sotto di certi minimi (36-42 mesi), mentre le opere sul campo possono essere accelerate o rallentate a seconda delle necessità, con una certa elasticità.

Se la zona dove sorgerà la centrale è lontana dalla rete elettrica della regione, si dovrà costruire anche la linea di trasmissione per collegare la centrale alla rete.

3.4. ESERCIZIO

Una volta completate le opere sul campo e terminata la costruzione della centrale e il relativo collegamento con la rete, il sistema "serbatoio geotermico-pozzi-vapordotti-centrale" è pronto per operare. Dopo un periodo di prova per la messa a punto dei diversi componenti del sistema, l'esercizio industriale può raggiungere le condizioni di regime che, per la migliore economicità del progetto, devono avvicinarsi il più possibile alla capacità massima della centrale.

L'esercizio consiste nelle seguenti attività:

- operazione dei pozzi a determinate condizioni di pressione di testa pozzo;
- trasporto del fluido (miscela acqua-vapore) ai separatori;
- trasporto del vapore separato alla centrale;
- trasporto dell'acqua residua ai pozzi di reiniezione;
- generazione elettrica e trasmissione dell'energia prodotta ai centri di consumo.

Per garantire la continuità e la regolarità dell'esercizio, occorre mantenere il campo in condizioni di fornire tutto il vapore richiesto dalla centrale e la centrale in condizioni di operare alla massima efficienza.

Per questo scopo sarà necessario:

- perforare nuovi pozzi per compensare il declino della produzione dei pozzi esistenti per effetto dell'estrazione prolungata dei fluidi geotermici;
- mantenere con periodici interventi il sistema di separazione e trasporto dei fluidi e la centrale;
- intervenire con operazioni di manutenzione straordinaria tutte le volte che le circostanze lo richiedano.

In condizioni normali, nel caso in cui il sistema elettrico è in grado di assorbire tutta l'energia generata, la centrale geotermica è in condizioni di operare ad un fattore di carico dell'80% (cioè è in grado di operare al massimo della sua capacità per l'80% del tempo,

il rimanente 20% essendo necessario per le operazioni di manutenzione).

La vita media di un campo geotermico e della relativa centrale, a condizione che quest'ultima sia dimensionata compatibilmente con il potenziale del campo, è dell'ordine dei 25 anni.

A tutt'oggi i campi geotermici in produzione per un periodo più lungo (Lardarello in Italia e The Geysers in California) continuano comunque a produrre senza sostanziali decrementi delle quantità di vapore.

4. ECONOMIA DI UN PROGETTO GEOTERMICO

La varietà dei possibili campi geotermici dal punto di vista geologico e fisico, nonché dei relativi ambienti in cui si possono trovare dal punto di vista geografico e socio-economico, non consentono la formalizzazione di modelli standard.

Le dimensioni del giacimento, le caratteristiche del fluido endogeno, la produttività dei singoli pozzi, la domanda di energia del sistema elettrico sono tutte variabili che dipendono da numerosi fattori.

Tuttavia, per poter sviluppare un esempio dimostrativo, si possono assumere certe ipotesi che riflettono situazioni reali verificate negli ultimi anni nelle Filippine, in Indonesia e nell'America Centrale dove cumulativamente sono in esercizio circa 1000 MW di potenza geotermoelettrica.

Le ipotesi di base che assumeremo per il nostro esempio sono le seguenti:

- ambiente geologico: vulcanico recente;
- profondità media del serbatoio geotermico: 1.200 m;
- caratteristiche dei fluidi geotermici: acqua calda a 260° C;
- riserve esistenti: 3000 MWe/anno;
- potenza installabile: 110 MWe;
- capacità media di un pozzo produttivo: 5,5 MWe;
- numero dei pozzi produttivi necessari (inizialmente): 20;
- coefficiente di successo dei pozzi: 80%;
- totale dei pozzi da perforare: 25;
- numero dei pozzi di reiniezione da perforare: 5;
- distanza media tra i pozzi: 250 m;
- lunghezza totale dei vapordotti: 15 Km;
- numero dei separatori di vapore: 5;
- pressione di separazione del vapore: 700 kPascal (a);
- pressione di immissione in turbina: 650 kPascal (a);
- consumo specifico di vapore: 8 kg/kWh
- tipo di turbina: a condensazione (1);
- potenza installata: 2 gruppi turbina/generatore da 55 MW l'uno;
- fattore di carico medio: 80%.

Date le ipotesi di base sopra indicate si può procedere ad una analisi dettagliata dei costi per fase di attività.

I costi indicati corrispondono ai valori più probabili desunti da un'analisi statistica basata su almeno una decina di progetti realizzati. L'unità monetaria utilizzata è il dollaro degli Stati Uniti (US\$).

(1) Turbine a condensazione sono quelle che hanno allo scarico un condensatore barometrico nel quale è fatto il vuoto mediante condensazione del vapore esausto ed estrazione dei gas incondensabili contenuti nel vapore. Ciò consente un rendimento molto più elevato rispetto allo scarico diretto nell'atmosfera per il quale il consumo specifico a livello del mare è circa il doppio (13-14 kg/kWh) di quello delle turbine a condensazione.

Costi di investimento			
Esplorazione		kUSS	MUSS
(A) preliminare			
. raccolta e analisi dati geologici		20	
. fotogeologia e studio immagini da satellite		30	
. sopralluoghi sul terreno		100	
. prospezione geochemica		150	
Totale (A)		300	0,3

B) di dettaglio			
. rilevamento geologico		100	
. prospezione geochemica		200	
. prospezione geofisica		300	
. perforazione pozzi di gradiente		400	
. supervisione, amministrazione e supporto logistico		200	
Totale (B)		1.200	1,2

(C) profonda (perforazione di 5 pozzi)			
. preparazione accessi e piazzole		1.000	
. perforazione		7.500	
. supervisione, amministrazione e supporto logistico		1.000	
Totale (C)		9.500	9,5
TOTALE ESPLORAZIONE			11,0

Valutazione		kUSS	MUSS
(A) prove sui pozzi		300	
(B) valutazione del potenziale del campo		200	
(C) studio di fattibilità		500	
TOTALE VALUTAZIONE		1.000	1,0

Preparazione campo			
(A) perforazione pozzi di produzione (20)	26.000		
(B) perforazione pozzi di reiniezione (5)	6.000		
(C) costruzione vapordotti e separatori	16.000		
(D) ingegneria, supervisione e amministr.	5.000		
TOTALE PREPARAZIONE CAMPO	53.000		53

Costruzione della centrale			
(A) opere civili	15.000		
(B) apparecchiature elettromeccaniche	50.000		
(C) linea di trasmissione (10 Km)	5.000		
(D) ingegneria, supervisione e amministr.	10.000		
TOTALE CENTRALE	80.000		80

5. RIEPILOGO COSTI DI INVESTIMENTO

esplorazione		11	
valutazione		1	
preparazione campo		51	
costruzione centrale		80	
Totale costi diretti		145	

interessi durante la costruzione		45	
COSTO TOTALE DI INVESTIMENTO		190	

COSTO DI ESERCIZIO ANNUO		MUSS
- ammortamenti e oneri finanziari (in 25 anni all'interesse del 10% annuo)		20
- perforazione di pozzi di produzione addizionali (un pozzo e mezzo all'anno)		2
- manutenzione campo		1,5
- manutenzione centrale		2,0
- amministrazione e personale		2,5
TOTALE		28,0

6. COSTO DI GENERAZIONE

Dato il costo di esercizio annuo sopra indicato e conoscendo l'energia generata in un anno si può determinare il costo di produzione di un kWh di energia generata; tale costo sarà dato da:

$$\frac{28.000.000 \text{ US\$}}{110.000 \text{ kW} \times 8.760 \text{ h} \times 0,8} = 0.036 \text{ US\$/kWh}$$

dove: 110;000 MW è la potenza istallata espressa in KW;
8.760 sono le ore in un anno
0,7 è il fattore di carico ipotizzato

La fig. 6 raffronta il costo del kWh di diverse alternative di generazione in funzione del fattore di carico e per diversi prezzi di combustibili tradizionali.

Dal grafico risulta evidente che l'energia geotermoelettrica, alle condizioni ipotizzate nell'esempio precedentemente discusso, è ancora la più conveniente e merita di essere prodotta ovunque si trovino le condizioni per il suo sfruttamento. Ma soprattutto è ancora più conveniente nei paesi in via di sviluppo perché permette il risparmio di valuta pregiata per l'acquisto di prodotti petroliferi (o di carbone).

Nel caso discusso nell'esempio, il risparmio in valuta pregiata che si sarebbe dovuta spendere per acquistare il combustibile necessario a generare $110.000 \times 8.760 \times 0,8 \text{ kWh} (= 770 \text{ GWh})$ ammonterebbe a 22MUS\$ all'anno.

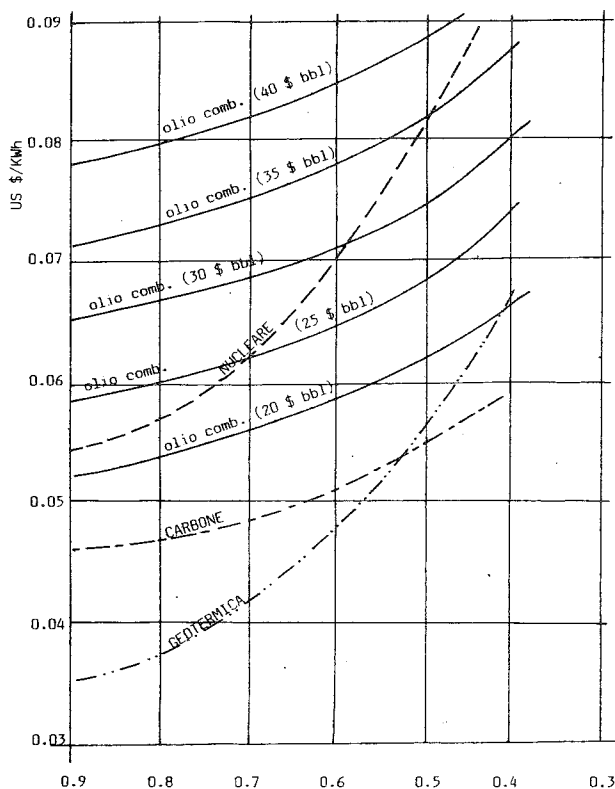


Fig. 6: Costo del kWh in funzione del fattore di carico per differenti alternative di generazione.

