

MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO
LEGGE 9 DICEMBRE 1986, N. 896 "DISCIPLINA DELLA RICERCA E DELLA COLTIVAZIONE DELLE RISORSE GEOTERMICHE

CNR - ENEA - ENEL - ENI / AGIP

**INVENTARIO DELLE RISORSE GEOTERMICHE NAZIONALI
REGIONE EMILIA-ROMAGNA**



DES-DIREZIONE SERVIZI CENTRALI ESPLORAZIONE-RISORSE GEOTERMICHE-SERG



Agip

MINISTERO DELL'INDUSTRIA DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO
LEGGE 9 DICEMBRE 1986, N. 896 "DISCIPLINA DELLA RICERCA E DELLA COLTIVAZIONE DELLE RISORSE GEOTERMICHE
CNR - ENEA - ENEL - ENI / AGIP

INVENTARIO DELLE RISORSE GEOTERMICHE NAZIONALI
REGIONE EMILIA-ROMAGNA

RAPPORTO

DICEMBRE 1987

INDICE

PREMESSA

1.	CENNI DI GEOLOGIA	Pag.	1
2.	IDROGEOLOGIA	"	2
3.	SORGENTI TERMALI	"	3
4.	GEOTERMIA	"	3
5.	UTILIZZAZIONI	"	4

BIBLIOGRAFIA

APPENDICE

ALLEGATI

TAVOLA 1	-	SCHEMA GEOIDROLOGICO
TAVOLA 2.1	-	ISOPACHE SABBIE DI ASTI (PLEISTOCENE-PLIOCENE SUPERIORE)
TAVOLA 2.2	-	ISOPACHE FM PORTO GARIBALDI (PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE)
TAVOLA 2.3	-	ISOPACHE FM PORTO CORSINI E SABBIE DI CORTEMAGGIORE (PLIOCENE INFERIORE)
TAVOLA 3	-	BASE DELLE ACQUE DOLCI
TAVOLA 4	-	ISOTERME A 2000 m DAL PIANO CAMPAGNA
- SCHEDE SORGENTI (All. A)		
SCHEDE POZZI (All. A)		
- MISURE DI TEMPERATURA FINO AL 1977 (All. B parte I)		
- MISURE DI TEMPERATURA (aggiornamenti al 1987) (All. B parte II)		

- PREMESSA

Il presente documento è stato curato da ENI-AGIP ed è parte dell'Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali, eseguito per conto del Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato da parte di CNR, ENEA, ENEL ed ENI-AGIP.

Lo scopo del lavoro è di fornire una raccolta di elementi utili per la conoscenza delle risorse geotermiche dell'Emilia-Romagna.

Il documento si compone di un Rapporto, con tavole annesse, in cui vengono esaminate e descritte le caratteristiche idrogeologiche e geotermiche dei principali acquiferi individuati.

Al Rapporto fanno seguito una raccolta di dati di sorgenti e di pozzi per idrocarburi, con informazioni di carattere idrogeologico sugli acquiferi ad acqua dolce attraversati dai pozzi (Allegato A) ed una raccolta di schede contenenti misure di temperatura effettuate in pozzi per idrocarburi a varie profondità (Allegato B).

In conformità con gli obiettivi dell'Inventario, una parte della documentazione citata (informazioni contenute nelle schede più recenti dell'Allegato B) è già stata trasferita nella Banca Dati Geotermici esistente presso l'Istituto Internazionale per le Ricerche Geotermiche di Pisa del CNR.

La documentazione rimanente sarà trasferita successivamente, insieme con i dati che via via si raccoglieranno a completamento dell'Inventario, a partire da quelli riguardanti i pozzi perforati da altre Compagnie, e di cui l'AGIP sta curando la raccolta per conto del Ministero.

Le considerazioni conclusive contenute nel presente rapporto, così come le estrapolazioni effettuate per la compilazione delle tavole annesse, hanno carattere generale e richiedono pertanto ulteriori indagini ed approfondimenti per una loro utilizzazione puntuale.

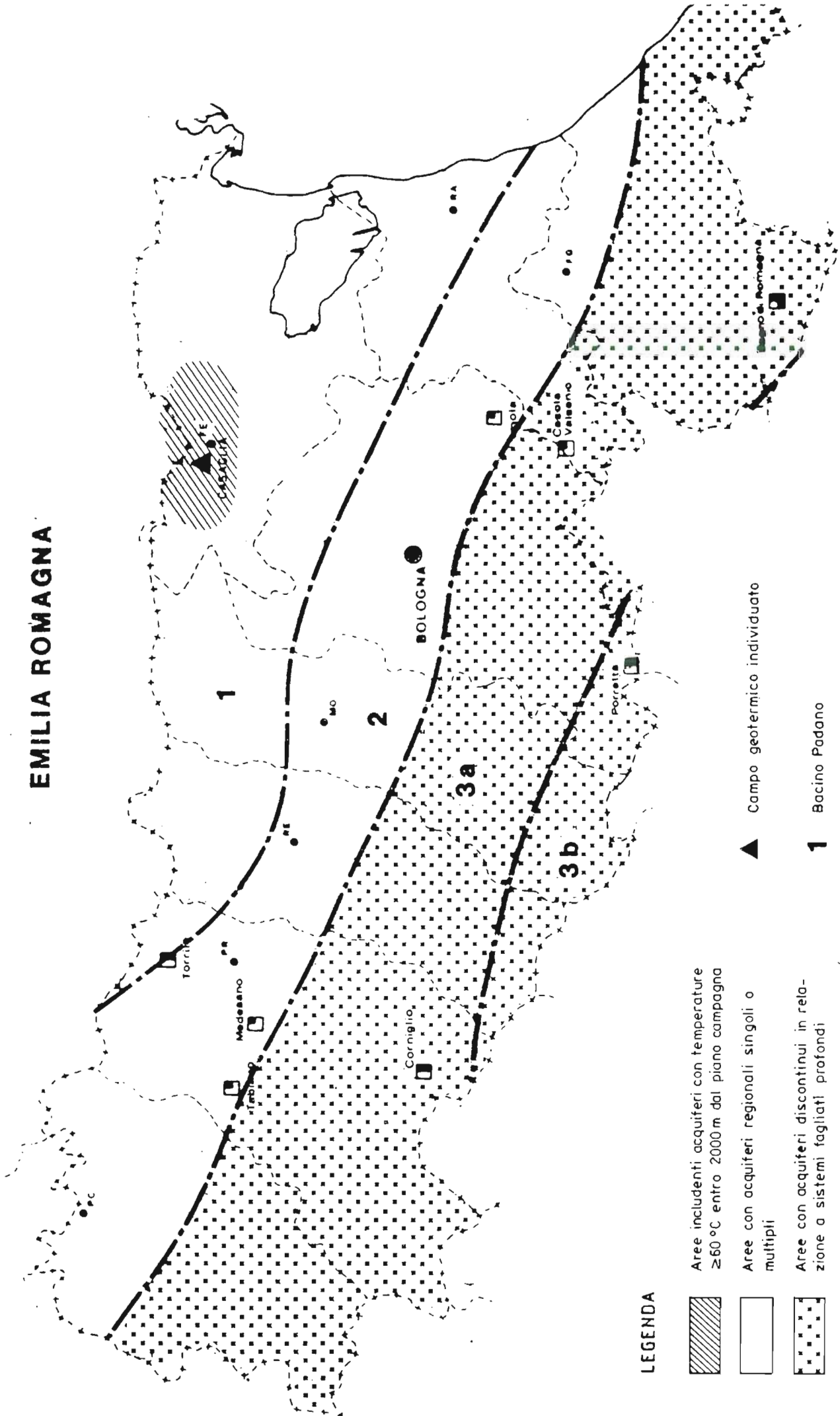
I successivi aggiornamenti dell'Inventario, già previsti dalla legge 9 dicembre 1986, n°896, permetteranno di migliorare via via l'affidabilità delle conoscenze riguardanti le entità ed ubicazione delle risorse geotermiche regionali.

1. GEOLOGIA




Le caratteristiche geo-strutturali del territorio regionale possono essere sinteticamente riassunte nel modo che segue (fig. 1):

- Area compressiva appenninica costituita principalmente da arenarie con intercalazioni più o meno fitte di marne che formano un complesso strutturato ad anticlinali rovesciate, sovrascorse su terreni alloctoni verso il bacino padano; le faglie inverse all'estremo nord-occidentale sono fra loro raccordabili e tali da costituire un unico fronte di sovrascorrimento.
- Area del bacino emiliano-romagnolo: costituito da un bacino allungato, riempito da una coltre di sedimenti eterogenei cretacico-terziari in cui prevale la componente terrigena (argille scagliose s.l. o Liguridi), che si sviluppa con queste caratteristiche fino all'altezza del Fiume Sillaro; a SE di tale limite il riempimento avviene ad opera della Formazione marnoso-arenacea; al di sotto di questa formazione è presente, a profondità rilevanti, la successione carbonatica mesozoica di tipo umbro-marchigiano, come verificato dai pozzi AGIP che l'hanno raggiunta.
- Area del sovrascorrimento pedeappenninico: costituito da un elemento strutturale, sepolto sotto i depositi quaternari delle pianure, che si estende dal limite occidentale della regione fino all'altezza di Forlì, messo in evidenza dai rilievi sismici dell'AGIP e non visibile in superficie. Tale elemento strutturale separa la parte collinare e montuosa da quella di pianura;
- Area del Bacino Padano che comprende il tratto emiliano-romagnolo dell'avanfossa appenninica dal Piemonte alle Marche; tale area è riempita da terreni, a componente clastica prevalente, dall'Oligo-Miocene al Pleistocene; nell'ambito di quest'area i rilievi geofisici e i pozzi dell'AGIP hanno messo in evidenza archi di faglie prevalentemente inverse ed un alto strutturale del Mesozoico carbonatico all'altezza di Ferrara (Dorsale Ferrarese).




EMILIA ROMAGNA




LEGENDA

-  Aree includenti acquiferi con temperature $\geq 60^\circ\text{C}$ entro 2000 m dal piano campagna
-  Aree con acquiferi regionali singoli o multipli
-  Aree con acquiferi discontinui in relazione a sistemi fagliati profondi

SORGENTI TERMALI CON CLASSE DI TEMPERATURA ($^\circ\text{C}$):

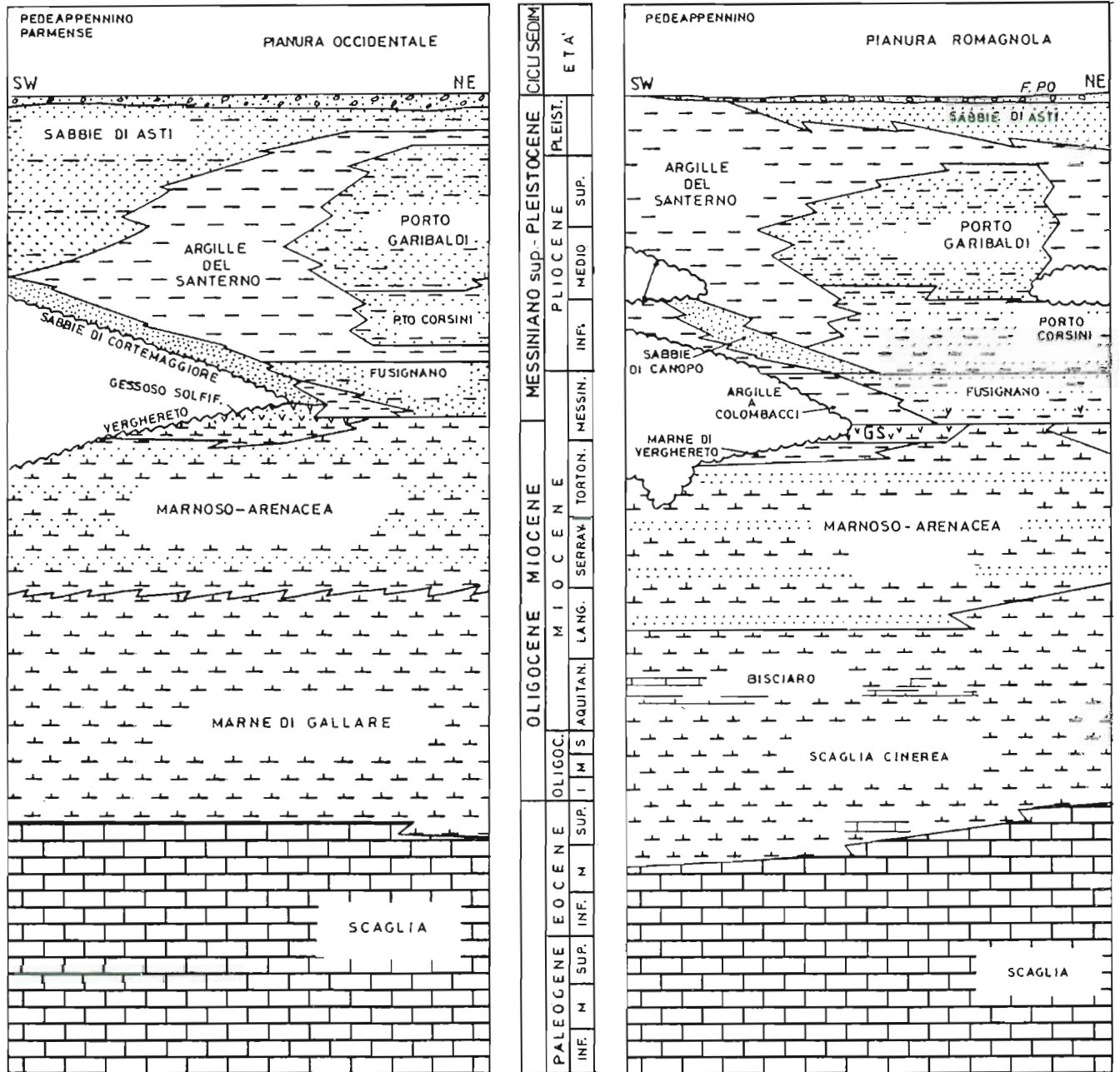
-  da 18° a 30°
-  da 30° a 40°
-  da 40° a 50°

 Campo geotermico individuato

- 1** Bacino Padano
- 2** Area del sovraccorrimiento pedeappenninico
- 3** Zona orogenetica appenninica
- a** Bacino emiliano-romagnolo
- b** Area compressiva appenninica

SCALA 1:1.000.000

PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA



Schema dei rapporti litostratigrafici dei sedimenti terziari

I rapporti stratigrafici, l'area di distribuzione e le isopache dei sedimenti terrigeni del Plio-Pliocenes sono illustrati nelle Tavv. 1, 2.1, 2.2 e 2.3 e nella fig. 2.

2. IDROGEOLOGIA

La ricostruzione dell'assetto geostrutturale del territorio ha permesso di caratterizzare, dal punto di vista idrogeologico, le differenti aree in cui può essere suddiviso.

I sedimenti della fascia compressiva appenninica, a componente prevalentemente clastica, fortemente tettonizzati e a permeabilità secondaria per fratturazione nei termini più compatti, possono costituire la sede di acquiferi locali di modesta potenzialità produttiva.

Nella fascia della fossa emiliano-romagnola si hanno caratteristiche idrogeologiche differenti: nel settore occidentale affiorano formazioni a componente terrigena prevalentemente impermeabili; nel settore orientale, ad est della linea del F. Sillaro, affiora la formazione Marnoso-arenacea che, a causa della intensa fratturazione subita dai terreni più compatti della successione, presenta zone dotate di permeabilità secondaria che danno luogo ad acquiferi frazionati di limitata estensione e capacità produttiva. Tali acquiferi alimentano sorgenti generalmente di modesta entità.

Le caratteristiche idrogeologiche dei terreni del sovrascorrimento appenninico, non affioranti in superficie, risultano tali da non consentire l'esistenza di acquiferi di qualche rilevanza.

Nella fascia di territorio a Nord-Ovest di quelle in precedenza descritte, costituita dal settore meridionale del Bacino Padano, i terreni che colmano il bacino sono costituiti da una potente successione di sedimenti clastici a granulometria variabile. Il substrato di tale successione è costituito da una potente serie carbonatica raggiunta da alcuni pozzi profondi. Nei termini Plio-pleistocenici di tale successione sono individuabili alcuni acquiferi a permeabilità primaria di grande estensione, messi in evidenza dalle perforazioni eseguite dall'AGIP nella pianura padana. Gli acquiferi individuati, partendo dalla superficie e procedendo in profondità, sono rappresentati dalle seguenti formazioni:

- Sabbie di Asti del Pliocene Sup.- Pleistocene
- Formazione Porto Garibaldi, del Pliocene medio-superiore.
- Formazione Porto Corsini, del Pliocene inferiore.
- Sabbie di Cortemaggiore, del Pliocene inferiore.

Gli acquiferi sopracitati sono raggiungibili con perforazioni a differente profondità, da poche centinaia di metri nei settori prospicienti l'area del sovrascorrimento pedeappenninico a più di 2000 m nel bacino padano.

Il substrato dei terreni descritti è costituito da una potente serie carbonatica posta a profondità rilevante in ogni settore della pianura emiliano - romagnola con l'eccezione della zona di Ferrara dove è presente un alto dei calcari (Dorsale Ferrarese) che porta il substrato a profondità di 1000 m dal piano campagna.

La carta oggetto della Tav. 3 compilata mediante l'interpretazione dei carotaggi elettrici dei pozzi AGIP per la ricerca di idrocarburi, illustra l'andamento della base delle acque dolci nel settore di pianura.

3. SORGENTI TERMALI

Nella zona montana si riscontrano alcune aree relativamente calde rilevate dalla presenza di alcune manifestazioni termali:

- sorgente di S. Agnese a Bagno di Romagna (FO) con temperatura di 43°C;
- sorgente di Donzelle a Porretta Terme (BO) con temperatura di 35°C;
- pozzo di Miano (PR) con acque alla temperatura di 39,8°C.

4. GEOTERMIA

Sotto il profilo geotermico il territorio regionale può essere suddiviso seguendo le grandi linee del suo assetto idrogeologico.

La zona montana mostra localmente serbatoi frazionati di modesta capacità produttiva con alcune manifestazioni termali.

La zona di pianura, sulla base dell'informazione ottenuta dai pozzi a scopo petrolifero, presenta una serie di acquiferi clastici più o meno profondi con temperatura dei fluidi di strato generalmente compresa fra 50° e 60° a 2000 m di profondità. Nell'ambito di queste zone scarseggiano tuttavia i livelli permeabili.

La formazione "Sabbie di Asti" pure dotata di buona permeabilità possiede in genere temperature relativamente basse.

Un promettente serbatoio geotermico si è rivelato il complesso carbonatico mesozoico che costituisce il substrato dei sedimenti clastici della Pianura Padana; esso si approssima alla superficie nell'area della Dorsale Ferrarese; in quest'ultima, esplorata da pozzi per la ricerca petrolifera e da 2 pozzi geotermici, è stata evidenziata a 1000 m di profondità la presenza di fluido a temperatura di circa 100°C per l'esistenza di moti convettivi nel serbatoio; il potenziale produttivo è elevato.

Le caratteristiche geotermiche della Regione sono state l'oggetto di un'indagine condotta sotto il patrocinio del CNR nell'ambito del Progetto Finalizzato Energetica.

5. UTILIZZAZIONI

I progetti di utilizzazione delle risorse geotermiche regionali esistenti sono:

- **Bagno di Romagna** - Riscaldamento di edifici urbani. Realizzato e in corso di sviluppo da parte del Comune un progetto per incrementare il riscaldamento nella stazione termale di Bagno di Romagna;
- **Miano di Corniglio** - un progetto in elaborazione per l'utilizzo della manifestazione termale presente;
- **Ferrara** - E' in avanzato stato di realizzazione il progetto "Casaglia" che comporta lo sfruttamento degli acquiferi nei carbonati della dorsale ferrarese per il riscaldamento geotermico di oltre 30.000 alloggi nella città di Ferrara; operatore minerario: J.V. Agip-Enel; acquirente del calore: Comune di Ferrara.

Bibliografia essenziale

- AGIP MINERARIA (1959): I giacimenti gassiferi dell'Europa Occidentale, Atti Conv. Milano ENI (30 sett. - 5 ott.), Roma.
- AGIP(1977): Temperature sotterranee, Roma.
- BORTOLAMI C. ET AL.: Hydrogeological features of the Po Valley, Atti Int. Hydrogeol Conf. , Budapest.
- COMMISSIONE DELLE COMUNITA' EUROPEE, 1982: Studio delle Risorse Idriche Sotterranee dell'Italia. Rd. Th. Shafer, D - 3000, Hannover 1.
- COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES, 1984. Assesement of the EC Geothermal Resources and Reserves. Comp. by Italian Working Group, CEE Report.
- CNR - PFE, 1982, Contributo alla conoscenza delle risorse geotermiche del territorio italiano, vol. RF13, Roma.
- REGIONE EMILIA ROMAGNA - CNR (1981): Caratteri geoidrologici e geotermici dell'Emilia Romagna, Pitagora Ed., Bologna.
- DELLA VEDOVA B. & PELLIS G. (1979): Deep thermal trends for the Po Valley from Agip temperature measurements, Boll. Geof. e Tec. e Appl., 22 (86), Trieste.
- ENI (1972): Acque dolci sotterranee, Roma.
- FRANCAVILLA F. & COLOMBETTI A. (1980): Lineamenti idrogeologici della Pianura della Provincia di Bologna, Quad. Ist. Ric. Acque CNR, 51 (I), Roma.
- GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE PROFONDE DELLA PIANURA PADANA(1981): Contributi tematici per la conoscenza della idrogeologia della Pianura Padana, Quad. Ist. Ric. Acque CNR, 51 5II), Roma.
- GRUPPO DI STUDIO SULLE FALDE ACQUIFERE PROFONDE DELLA PIANURA PADANA (1978): Lineamenti idrogeologici della Pianura Padana, Quad. Ist. Ric. Acque CNR, 28 (II), Roma.

- GORGONI C. ET AL. (IN PRESS): Indagine geochimica preliminare sulle acque termali di Bagno di Romagna, Atti Conv. PFE (SP Energia Geotermica), Roma.
- GORGONI & AL. (IN PRESS): Geochimica e modalità di circolazione di acque sotterranee in alcune aree della Pianura Padana", Atti 2° conv. PFE, Roma.
- GUGLIELMINETTI M. & SOMMARUGA C. (1979): Distribuzione e usi non elettrici delle risorse geotermiche in Italia, Energ. e Materie prime, 5-6.
- IDROSER-TECNECO (1977): Progetto di piano per la salvaguardia e l'utilizzo ottimale delle risorse idriche in Emilia-Romagna, RER-ENI, Bologna.
- PIERI M., GROPPI G. (1981): Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy, AGIP-CNR, Prog. Fin. Geod. Pubbl. n. 414, Roma.
- SIGHINOLFI G.P. et al. (1979): Studio di acque termicamente anomale della bassa pianura emiliana, Atti 1° Sem. Inf. SP Energia Geotermica, PEG Ed., Roma.

APPENDICE

I - Provenienza dei dati

I dati che consentono la compilazione di un inventario delle risorse geotermiche provengono da misure e determinazioni effettuate espressamente per fini geotermici oppure per altri scopi.

Essi si riferiscono a parametri fisici, petrofisici, chimici ed idraulici direttamente misurati sui fluidi provenienti dal sottosuolo per erogazione spontanea (sorgenti, fumarole, ecc.) e per estrazione o venuta a giorno (pozzi perforati, gallerie, ecc) e sulle rocce che li contengono, oppure provengono da attività di esplorazione di superficie (indagini geologiche, geofisiche, ecc.). In genere le informazioni raccolte per fini non espressamente geotermici (ricerca per idrocarburi e mineraria, ricerca d'acqua, gallerie stradali, fondazioni, geotecnica, ecc.) sono assai più abbondanti di quelle ricavate nel corso di attività dichiaratamente geotermiche e costituiscono il nucleo principale di un inventario geotermico, fatta eccezione per talune aree a vocazione geotermica (Toscana e alcune zone della Campania).

Le informazioni utilizzate per la compilazione dell'inventario delle risorse geotermiche della Regione provengono essenzialmente dalle operazioni di ricerca per idrocarburi sviluppate dall'AGIP negli ultimi decenni, in esclusiva od in Joint Venture.

Altre informazioni di interesse geotermico provengono da studi e rilievi geologici e geofisici eseguiti da privati, Enti terzi od Istituti Universitari; i documenti più significativi sono citati nell'elenco bibliografico allegato.

La conoscenza e valutazione delle risorse geotermiche disponibili in una data area non può prescindere dalla profondità cui si può economicamente spingere la coltivazione. Allo stato attuale tale profondità è valutabile intorno ai 2000-2500 m nel campo della bassa entalpia. Pertanto, nella compilazione del presente inventario, sono stati presi in esame dati entro tale limite di profondità.

II - Risorse geotermiche a loro determinazione

Secondo la definizione ufficiale italiana (bozza del regolamento di attuazione della legge 9 Dicembre 1986 n°896) le RISORSE GEOTERMICHE rappresentano l'energia termica derivante dal calore terrestre estraibile mediante fluidi geotermici, che a loro volta sono o quelli esistenti naturalmente nel sottosuolo o quelli immessi artificialmente.

Per basse temperature (inferiori a 100°C) il fluido è rappresentato da acqua (campo della bassa entalpia).

Per valutare la redditività della risorsa geotermica è necessario conoscere temperatura, portata e qualità del fluido geotermico.

La temperatura del fluido all'origine deve essere la più elevata possibile, in modo da consentire un salto termico (ΔT) significativo rispetto alla temperatura di restituzione; naturalmente le calorie fornite dal fluido geotermico sono proporzionali, oltre che al salto termico ΔT , alla portata di erogazione (Q) del fluido dal pozzo o dalla captazione.

Per bassi valore del prodotto $Q \times \Delta T$ i benefici dell'energia geotermica sono così scarsi da non consentire una utilizzazione redditizia, salvo l'uso di pompe di calore che comunque hanno un costo adizionale da prendere in considerazione.

Circa la qualità dell'acqua geotermica, se il contenuto salino è elevato, tale da impedire la immissione in un corpo d'acqua superficiale, l'acqua, dopo l'impiego, deve essere reintrodotta nel sottosuolo, e richiederà pertanto la perforazione di un pozzo di reiniezione accanto al pozzo di produzione; il costo della risorsa cresce quindi notevolmente.

Un ulteriore elemento essenziale per assicurare la fattibilità di un progetto geotermico per usi non elettrici è la concomitanza di risorse ed utenze, non essendo economico il trasporto a distanza dell'acqua calda.

Nei paragrafi che seguono ci limitiamo ad alcuni cenni miranti ad illustrare le modalità impiegate per la determinazione della temperatura, della portata di erogazione e della salinità dell'acqua geotermica.

III - Parametri e metodologia di determinazione

a - Temperatura

La temperatura nel sottosuolo in condizioni omogenee ed isotrope aumenta con l'aumentare della profondità, secondo la legge

$$T_1 = T_0 + \frac{p_1 - p_0}{100} \times \text{grad}$$

Ove T_1 = temperatura alla profondità p_1 (°C)

grad_{100} = gradiente termico: aumento di temperatura espresso in °C per un approfondimento di 100 m (°C/100 m)

p_1 = profondità richiesta (m)

p_0 = profondità minima dal piano campagna in cui vengono meno l'escursione termica diurna e stagionale (m)

T_0 = temperatura alla profondità p_0 : corrisponde in genere alla temperatura media annua del luogo ($^{\circ}\text{C}$).

Le misure di temperatura più frequenti sono quelle effettuate nei pozzi per idrocarburi nel corso di esecuzione dei carotaggi elettrici; più rare sono le misure di temperatura effettuate sui fluidi erogati da pozzi per idrocarburi nel corso di prove di produzione.

Le prime misure sono in genere approssimate per difetto per mancata stabilizzazione della temperatura in pozzo. Il metodo di Fertl-Wichmann (Fertl W.H., Wichmann P.A., 1977. "How to determine static BHT from well log data." World oil, January 1977) permette di ricavare la temperatura stabilizzata qualora siano disponibili misure di temperatura in tempi diversi ad una stessa profondità.

Conoscendo più valori di temperatura stabilizzata a differente profondità, si può tracciare, eventualmente correggendola in funzione della conducibilità termica delle formazioni attraversate, una spezzata che descrive l'andamento della temperatura con la profondità.

Dal grafico così ottenuto possiamo ricavare la temperatura del fluido geotermico negli acquiferi di interesse.

Il gradiente termico medio terrestre è di circa $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Nelle regioni dell'Italia Settentrionale ed in quelle periadriatiche, salvo rare eccezioni, i gradienti geotermici si aggirano fra $1,5$ e $2,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$; essi sono più elevati nelle regioni tirreniche (Toscana - Lazio - Campania) sedi di distretti geotermici di primaria importanza per le risorse geotermiche di alta temperatura.

b - Portata di erogazione

La portata di erogazione del fluido geotermico è funzione della permeabilità (K) e della potenza (s) dell'acquifero, (ovvero della trasmissività $T = K \times s$) e dell'abbassamento di livello (ΔS) compatibile con le caratteristiche tecniche del completamento e con la economicità della gestione dei pozzi.

Nel caso di sorgenti, la portata dipende ancora dalle permeabilità dell'acquifero, ma, essendo vincolata la quota del punto di erogazione, essa dipende dal carico idraulico nell'acquifero, e pertanto varia secondo cicli stagionali e pluriennali.

La determinazione della permeabilità K (o della trasmissività T) di un acquifero di interesse geotermico attraversato da pozzi viene eseguita sia mediante prove di produzione, sia in laboratorio, con misure su carote (in quest'ultimo caso, per possedere gli elementi utili conoscere la produttività di un pozzo, occorre poter effettuare le misure su tutti i livelli permeabili presi in considerazione).

La attendibilità dei dati delle prove di produzione è più elevata di quella dei dati ottenuti da carote, anche perchè generalmente il carotaggio è solo parziale.

Nel caso di pozzi eseguiti espressamente per scopi geotermici le prove di produzione negli acquiferi di interesse sono adeguate; invece nei pozzi per idrocarburi, che sono la fonte più abbondante e diffusa di dati per la geotermia di bassa entalpia, le prove di produzione nei serbatoi d'interesse geotermico sono piuttosto rare. Le determinazioni di permeabilità su carote nel caso di pozzi per idrocarburi sono da prendere con cautela, poichè per lo più la permeabilità vi è stata ricavata in funzione del fluido gas od olio, obiettivi dell'esplorazione petrolifera, anzichè del fluido acqua, obiettivi della geotermia: l'acqua, rispetto al gas, può determinare nella roccia serbatoio, soprattutto in preseza di argilla, variazioni significative di permeabilità.

Una conoscenza sufficientemente dettagliata della permeabilità dell'acquifero è essenziale per la progettazione di un impianto geotermico; infatti la permeabilità delle rocce serbatoio può variare da luogo a luogo anche di vari ordini di grandezza, pur nell'ambito di uno stesso tipo litologico.

Per fare un esempio; nel caso delle sabbie-ghiaie-arenarie si può passare da valori di permeabilità di 10 mD (millidarcy) a valori di 10^4 mD. E' evidente che il parametro permeabilità, a causa di differenti valori che gli competono nelle varie formazioni acquifere, talora anche nello stesso orizzonte, è spesso più determinante del parametro temperatura in un progetto geotermico. In conclusione si può affermare che allo stato attuale non vi è una adeguata conoscenza della produttività degli acquiferi individuati.

In genere le indicazioni di produttività degli acquiferi contenute nel presente rapporto si riferiscono alle portate erogabili da pozzi di medio diametro con un abbassamento di livello di 100 metri.

La portata di erogazione-reiniezione dei pozzi è un vincolo da prendere in considerazione per valutare la economicità di un progetto geotermico.

Allo stato attuale si può affermare che la portata di un singolo pozzo comincia a diventare interessante quando supera la soglia dei $100 \text{ m}^3/\text{h}$ in presenza delle seguenti condizioni: livelli produttivi a profondità di 1500-2000 m; livello statico delle falde idriche a profondità di 100 metri; necessità di iniettare l'acqua geotermica dopo il prelievo di calore; gradiente geotermico da 2 a $3^\circ\text{C}/100 \text{ m}$; abbassamento di livello di 100 m in corso di produzione.

Condizioni più favorevoli, naturalmente, possono consentire l'economicità di un progetto anche con portate proporzionalmente inferiori.

c - Salinità dell'acqua geotermica

L'acqua nel sottosuolo è in genere caratterizzata da un aumento progressivo con la profondità del contenuto in sali disciolti.

Il fenomeno, laddove non è oggetto di processi più complessi, è spiegato dalla difficoltà di penetrazione in profondità delle acque di infiltrazione meteorica e dalla dissoluzione dei sali minerali delle rocce serbatoio ad opera delle stesse acque di circolazione.

A parità delle altre condizioni, la presenza di acque dolci in profondità può essere messa in relazione con una buona permeabilità dell'acquifero.

L'interesse nella determinazione della qualità delle acque di impiego geotermico risiede nel fatto che le acque dolci in genere possono venir smaltite in superficie senza richiedere l'extra costo di un pozzo di reiniezione o possono essere utilizzate per scopi congiunti (irrigazione, acqua calda sanitaria ecc.).

La documentazione esistente dei pozzi per idrocarburi permette di solito una discreta definizione del limite fra le acque dolci e le acque salmastro-salate.

La profondità della base delle acque dolci, riportata sulle schede dei pozzi per idrocarburi, è stata identificata soprattutto mediante i logs elettrici, e viene convenzionalmente fatta corrispondere al valore di resistività elettrica misurata di 20 ohm x m in formazioni acquifere rappresentate da sabbie pulite.

Al di sotto di tale valore di resistività (cui corrisponde una salinità dell'acqua di circa 1 g/litro), l'acqua contenuta nella formazione è considerata salmastra, e salata quando scende sotto i 2 ohm x m, cui compete una salinità indicativa di 25 g/l.