

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 LOMBARDIA

DES-DIREZIONE SERVIZI CENTRALI ESPLORAZIONE-RISORSE GEOTERMICHE-SERG



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 LOMBARDIA**

RAPPORTO

DICEMBRE 1987

INDICE

Premessa

1. Cenni di geologia	Pag. 1
2. Caratteristiche idrogeologiche e geotermiche degli acquiferi	" 3
2.1. Acquiferi continui	" 5
2.2. Acquiferi discontinui	" 13
3. Sorgenti termali	" 15
4. Utilizzazioni	" 16
5. Conclusioni	" 17
Bibliografia sommaria	21
Appendice	

ALLEGATI

Tavola 1 - Isobate del tetto delle Sabbie di Asti

" 2 - Isopache delle Sabbie di Asti.

" 3 - Isobate del tetto degli acquiferi del Pliocene inferiore.

" 4 - Isobate del tetto degli acquiferi del Messiniano.

" 5 - Isobate del tetto della Gonfolite.

Tavole 6 - Sezioni idrogeologiche (da 6A a 6F).

Tavola 7 - Isobate della base delle acque dolci.

" 8 - Isotherme a 1000 m dal piano campagna.

" 9 - Isotherme al tetto degli acquiferi del Pliocene inferiore.

" 10 - Isotherme al tetto degli acquiferi del Messiniano.

Schede Sorgenti (All. A)

Schede pozzi (All. A)

Misure di temperatura in pozzo (fino al 1977) (All. B parte I).

Misure di temperatura in pozzo (aggiornamento 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 del Piemonte.

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. CENNI DI GEOLOGIA

La morfologia della Lombardia è caratterizzata, nella metà meridionale, da una vasta pianura, che corrisponde alla parte centrale della Pianura Padana, nella metà settentrionale dalle Alpi e Prealpi e nelle estremità di SW da una propaggine dell'Appennino. Ne sono diretta conseguenza la varietà e complessità dell'assetto geologico regionale.

- Area alpina

Per quanto riguarda l'area alpina si possono distinguere le seguenti principali unità strutturali: Pennidi (o complesso pennidico); Austridi (o complesso austroalpino); Alpi Meridionali (o complesso sudalpino); massicci intrusivi terziari. (Fig. 1)

Le Pennidi sono costituite in prevalenza da rocce metamorfiche archeozoiche, quali gneiss e micascisti (area di Chiavenna) e da Pietre Verdi mesozoiche, quali serpentiniti e anfiboliti (Val Malenco); in esse sono presenti inoltre rocce intrusive del ciclo ercinico e rocce sedimentarie e parametamorfiche mesozoiche, quali calcari, dolomie, marmi e calcescisti (Valle S. Giacomo).

Dal punto di vista strutturale, le Pennidi rappresentano l'elemento più profondo, costituito da un complesso di unità tettoniche sovrapposte e ribaltate da sud verso nord.

Le Austridi occupano l'estremità nord-orientale della Regione, sono anch'esse costituite da un complesso di unità tettoniche sovrapposte, in cui sono presenti rocce cristalline e rocce sedimentarie.

A sud le Austridi sono separate dalle Alpi Meridionali dalla "linea" insubrica, una dislocazione tettonica di importanza regionale, che attraversa interamente la Lombardia da est a ovest.

Le Alpi Meridionali rappresentano la porzione maggiore e più meridionale del territorio alpino lombardo, tra la bassa Valtellina e il margine padano; esse sono costituite da un basamento cristallino (Cristallino sudalpino) e da una copertura vulcanico-sedimentaria (Sedimentario sudalpino). Il basamento cristallino è composto in prevalenza da rocce metamorfiche (micascisti e gneiss), attribuite all'Archeozoico e al Paleozoico, e subordinatamente da rocce intrusive del ciclo ercinico (graniti, dioriti).

Il Sedimentario sudalpino affiora estesamente nella parte più meridionale del territorio alpino lombardo, a sud di una importante dislocazione tettonica ("linea" orobica) che lo separa dal Cristallino sudalpino.

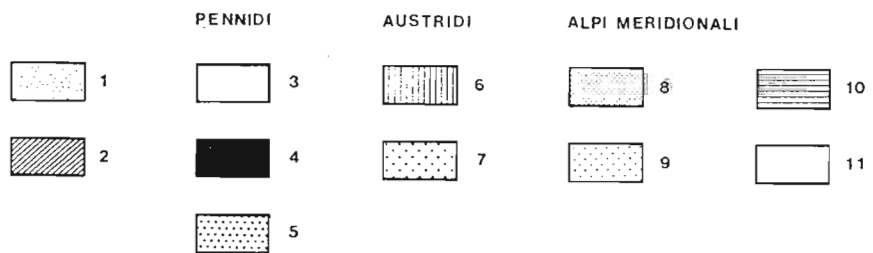


FIG. 1. Principali unità geologico-strutturali della Lombardia

1. Massicci intrusivi terziari. 2. Intrusivi ercinici. PENNIDI: 3. Pietre Verdi; 4. Sedimentario; 5. Cristallino. AUSTRIDI: 6. Sedimentario; 7. Cristallino. ALPI MERIDIONALI: 8. Sedimentario; 9. Cristallino. 10. Appennino vogherese (Oltrepò pavese). 11. Bacino padano.

«Linee» tettoniche: 1. Insubrica; 2. Porcile; 3. Orobica s.l.; 4. Gallinera s.s.; 5. Sellero; 6. Limite Austridi-Pennidi; 7. Val Trompia.

(da: Geotecneco (1976). "Carta della montagna". Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste).

Le unità strutturali sinora descritte, Pennidi, Austridi e Alpi Meridionali, sono attraversate da massicci intrusivi terziari appartenenti al ciclo magmatico alpino. Essi sono costituiti in prevalenza da granodioriti e graniti, subordinatamente da gabbri e dioriti.

- Area appenninica

Nell'Appennino Vogherese affiorano formazioni sedimentarie marine, appartenenti al Complesso Liguride ed alla sua copertura tardo e post-orogena (Gelati et al., 1974). Si tratta per lo più di flysch calcarei ed arenacei, argilliti (spesso ad assetto caotico), marne, arenarie e conglomerati. La struttura di questo settore appenninico è assai complessa: sono state riconosciute più coltri di ricoprimento sovrapposte, a loro volta deformate da motivi a pieghe e a faglie.

- Pianura Padana

La Pianura Padana è caratterizzata dalla deposizione di sedimenti terziari e quaternari in massima parte terrigeni, di notevole spessore, che indicano una subsidenza notevole e un apporto detritico imponente. Il basamento della Pianura Padana è costituito da sedimenti carbonatici appartenenti al Mesozoico o Terziario inferiore, di affinità sudalpina. Sul basamento carbonatico si sono depositi, in serie, due grandi cicli sedimentari (fig. 2): il primo oligo-miocenico che termina con le evaporiti messiniane; il secondo che inizia con i sedimenti di ambiente lagunare-salmastro e continua con l'ingressione marina pliocenica fino ad estinguersi nel Pleistocene. Strutturalmente i terreni più recenti sono caratterizzati da assetto a monoclinale od a pieghe blande.

2. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E GEOTERMICHE DEGLI ACQUIFERI

Nelle pagine seguenti vengono descritti i principali acquiferi di potenziale interesse geotermico presenti nella regione. Essi vengono distinti in acquiferi continui ed acquiferi discontinui.

Gli acquiferi definiti "continui" sono caratterizzati da significativa estensione areale e da permeabilità per porosità; essi sono prevalentemente rappresentati dai depositi clastici sciolti o scarsamente cementati che occupano il bacino sedimentario della Pianura Padana.

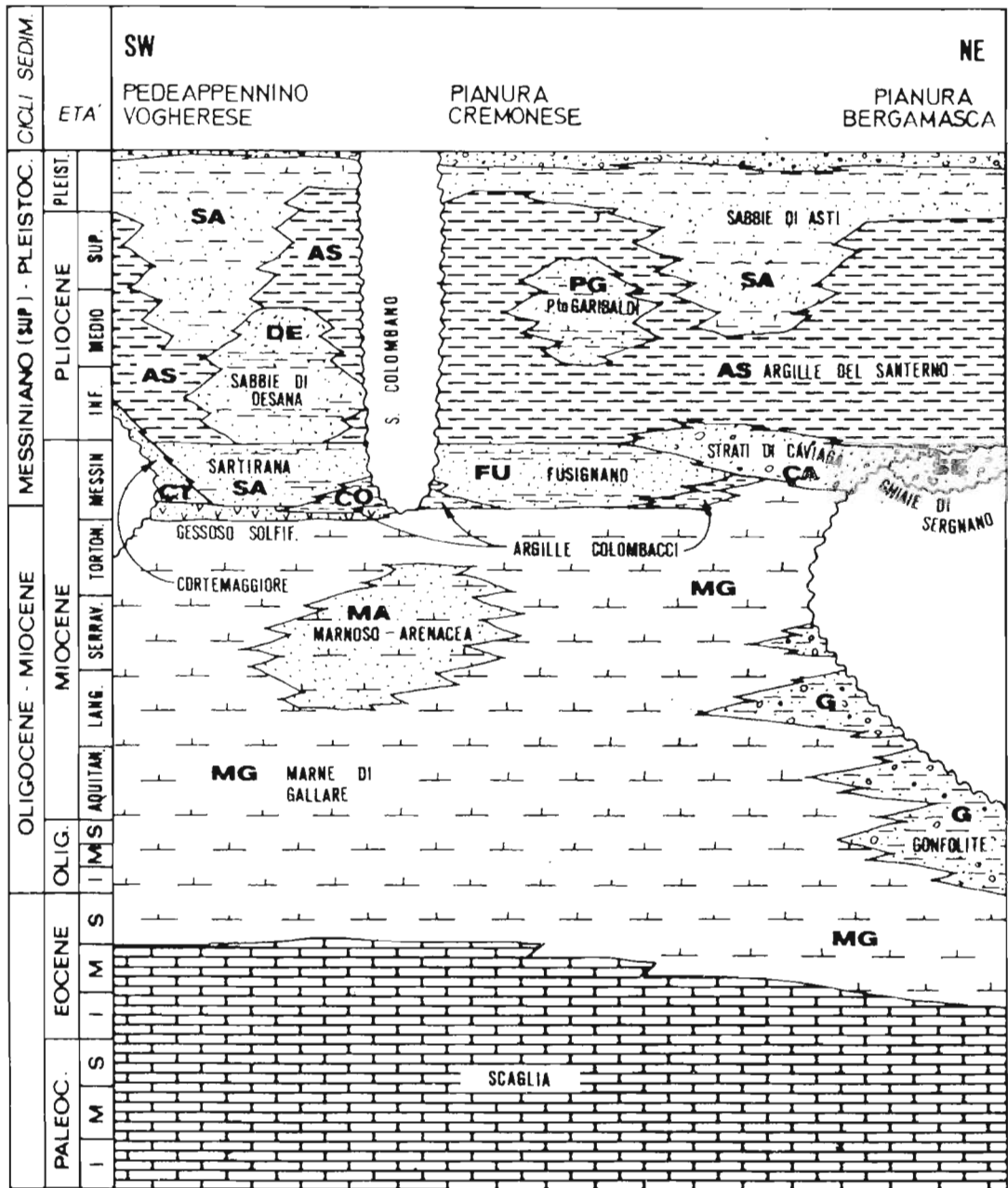


Fig. 2 - Schema dei rapporti litostratigrafici nell'area centrale padana tra il pedeappennino vogherese e la pianura bergamasca.

Gli acquiferi definiti "discontinui" sono invece in genere di limitata estensione areale; quando sono presenti su aree più vaste, essi sono compartimentati a seguito di vicende deposizionali o tettoniche, comportandosi, dal punto di vista idraulico, come entità separate.

2.1. Acquiferi continui

Gli acquiferi individuati, fino alla profondità di interesse di 2500 m, sono compresi nelle successioni clastiche dal Pleistocene all'Oligocene.

Essi sono rappresentati dagli orizzonti permeabili delle formazioni SABBIE DI ASTI (Pliocene Medio Sup.-Pleistocene), SABBIE DI DESANA (Pliocene inf.-medio), STRATI DI CAVIAGA (Messiniano-Pliocene Inf.), FORMAZIONI DI SARTIRANA E DI FUSIGNANO (Messiniano), GHIAIE DI SERGNANO (Messiniano) e del GRUPPO GONFOLITE (Oligocene-Serravalliano).

Un discreto interesse possono inoltre presentare il MEMBRO PANDINO (sabbioso) della formazione ARGILLE DEL SANTERNO (Pliocene), e le SABBIE DI MAGNAGO (Pliocene Inferiore). Per ciascuna delle formazioni citate, ad eccezione del MEMBRO PANDINO e delle SABBIE DI MAGNAGO (presenti queste ultime in una ristretta area al confine con il Piemonte) è fornita nei paragrafi successivi una breve descrizione.

Lo schema della figura 2 e le sezioni idrogeologiche (Tavv. 6) illustrano i rapporti stratigrafici fra le formazioni presenti nella Regione e l'andamento dei principali complessi di orizzonti permeabili (acquiferi potenziali) fino ad una profondità di 2000-2500 m.

La ricostruzione indicativa delle isobate del tetto degli acquiferi del Pliocene inferiore e del Messiniano, e dell'andamento delle rispettive temperature, è illustrata nelle tavole 3,4,5,9 e 10. Per l'acquifero delle SABBIE DI ASTI è stata compilata, oltre alla carta delle isobate anche quella delle isopache (Tavv. 1 e 2).

La tavola 7 illustra infine l'andamento nel sottosuolo della base delle acque dolci.

A causa della scarsità di dati affidabili (prove di produzione e/o prove di strato di lunga durata) nelle formazioni di interesse geotermico, è stato possibile fornire indicazioni solo qualitative, salvo rare eccezioni, sui parametri idraulici, e di conseguenza sulla produttività di eventuali pozzi geotermici.

2.1.1. SABBIE DI ASTI (Pliocene medio-Pleistocene)

- Litologia

La formazione, a totale componente clastica, è costituita da

una successione abbastanza uniforme di sabbie talvolta debolmente cementate, sabbie argillose, argille sabbiose e silt con passaggi graduali dall'uno all'altro litotipo. Sono presenti, negli intervalli più sabbiosi, verso il tetto della formazione, sporadici livelli di ghiaie.

- Spessore (Tav. 2)

La formazione ha spessori variabili da alcune decine ad oltre il migliaio di metri.

Gli spessori massimi (oltre 1500 m) sono localizzati in Lomellina e a nord-est di Cremona. La potenza utile media (pay netto) si aggira intorno ai 150-200 m, con valori massimi che superano gli 800 m. Gli orizzonti permeabili sono più frequentemente presenti nella parte alta della formazione.

- Rapporti con le altre formazioni (Fig. 2)

La formazione passa verso l'alto, in modo graduale, ai depositi ghiaioso-sabbiosi della coltre alluvionale padana. Alla base della formazione sono generalmente presenti: nel settore occidentale prevalentemente la formazione SABBIE DI DESANA, al centro la formazione ARGILLE DEL SANTERNO, all'estremità sud-orientale la FORMAZIONE PORTO GARIBALDI.

- Distribuzione areale

La formazione è presente nel sottosuolo della maggior parte della pianura lombarda. Gli affioramenti hanno invece un'estensione molto limitata.

- Profondità (Tav. 1)

La profondità del tetto della formazione aumenta andando dai bordi verso il centro della pianura padana, rispettivamente da circa 50 m a 250 m (fra Milano e Pavia).

- Temperatura

Essendo il tetto della formazione SABBIE DI ASTI posto a ridotta profondità, si è ritenuto utile fornire una carta delle temperature alla profondità di 1000 m dal p.c. (Tav. 8). Anche se non sempre le SABBIE DI ASTI raggiungono i 1000 m di profondità, la carta ci permette di individuare le zone di maggiore interesse dal punto di vista termico. Le temperature presenti sono dell'ordine di 35-

- 40°C. Fa eccezione una ristretta zona a nord-est di Novara ove è possibile riscontrare temperature di 45-50°C.

Produttività

La formazione, per lo scarso interesse dal punto di vista della esplorazione per idrocarburi, non è stata mai interessata da prove di strato in pozzi per idrocarburi. Tuttavia determinazioni di permeabilità su carote e prove di portata in pozzi per acqua (interessanti questi ultimi solo la parte alta della formazione) hanno permesso di ricavare valori di permeabilità variabili, negli orizzonti più permeabili, da 10^{-5} a 10^{-4} m/s, cui possono corrispondere portate da 50 ad oltre 500 m³/h.

2.1.2. SABBIE DI DESANA (Plioc. inf. - medio pro-parte)

- Litologia

La formazione è costituita da grosse bancate di sabbie prevalentemente a grana media, separate da setti argillosi di potenza ridotta; alcuni livelli conglomeratici sono presenti alla base della formazione con particolare sviluppo ai margini del bacino piemontese.

- Spessore

Lo spessore della formazione è dell'ordine dei 700-800 m, tuttavia lo spessore utile (pay netto) della formazione, limitato ai soli livelli con contenuto argilloso inferiore al 30%, si riduce a 200-300 m circa.

- Rapporti con le altre formazioni (Fig. 2)

Le SABBIE DI DESANA poggiano su un substrato rappresentato prevalentemente dalla FORMAZIONE DI SARTIRANA; lateralmente le SABBIE DI DESANA passano alle ARGILLE DEL SANTERNO; il tetto è costituito dalle SABBIE DI ASTI e dalle ARGILLE DEL SANTERNO.

- Distribuzione areale

La formazione è sviluppata nel settore occidentale della pianura padana.

- Profondità (Tav.3)

Il tetto dell'acquifero si approfondisce dai 1300 m della zona ad ovest di Milano ai 2500 m a sud-ovest di Pavia.

- Temperatura (Tav. 9)

La temperatura al tetto di questo acquifero raggiunge i valori maggiori (di poco inferiori ai 60°C) in una zona tra Vigevano e Milano e supera i 70°C a sud di Pavia.

- Produttività

Per questo acquifero si stimano valori di portata fra i 25 m³/h ed i 150 m³/h.

Le aree più favorevoli sembrano ubicate nell'area a sud di Milano.

2.1.3. STRATI DI CAVIAGA (Messiniano-Pliocene inf.)

- Litologia

La formazione è in generale costituita da spesse bancate di sabbia con alternanze di argille. La componente sabbiosa è molto più abbondante alla base della successione dove è stata localmente riscontrata la presenza di conglomerati a cemento arenaceo-argilloso.

- Spessore

Lo spessore della formazione varia in genere fra i 100 ed i 200 m. I massimi valori del "pay" netto dell'acquifero si riscontrano nelle aree di Caviaga (150 m) e Bordolano (100 m).

- Rapporti con le altre formazioni (Fig. 2)

Gli STRATI DI CAVIAGA sono sormontati dalle ARGILLE DEL SANTERNO, mentre poggiano sul GRUPPO DI GALLARE e lungo il bordo settentrionale, sulle GHIAIE DI SERGNANO.

- Distribuzione areale

La formazione è sviluppata in una stretta fascia compresa tra il meridiano di Milano e quello di Brescia nella parte mediana della pianura compresa tra il bordo pedemontano ed il Po.

- Profondità (Tav. 3)

Nel settore nord il tetto degli STRATI DI CAVIAGA mostra due affossamenti con profondità superiori ai 2000 m separati da un alto a 1500 m. Immediatamente a sud del motivo descritto, il tetto della formazione mostra una fascia di alti strutturali orientata sud-ovest con profondità di circa 1300 m.

- Temperatura (Tav. 9)

I valori della temperatura al tetto dell'acquifero raggiungono i 60°C all'estremità orientale dell'area. In una stretta fascia centrale si misurano valori di poco superiori ai 50°C.

- Produttività

La produttività potenziale di questo acquifero è piuttosto modesta, con valori più alti nell'area di Galliano; ove si raggiungono i 30 m³/h.

2.1.4. FORMAZIONE DI SARTIRANA E FORMAZIONE DI FUSIGNANO (Messiniano).

- Litologia

Le formazioni sono costituite da alternanze di sabbie, più o meno siltose, ed argille. Nella parte superiore della FORMAZIONE DI SARTIRANA è stata osservata la presenza di ciottoli poligenici inglobati in matrice sabbiosa.

- Spessore

La potenza della FORMAZIONE DI SARTIRANA raggiunge valori massimi nella zona di Vigevano (700 m), diminuendo verso sud ed in direzione di Pavia (500 m). La FORMAZIONE FUSIGNANO oltrepassa mediamente i 500 m.

I valori più rilevanti di potenza utile per la FORMAZIONE DI SARTIRANA sono: 300 m a sud-est di Vigevano, 200 m a sud di Pavia.

La potenza utile della FORMAZIONE DI FUSIGNANO è più ridotta (inferiore a 100 m).

- Rapporti con altre formazioni (Fig. 2)

La FORMAZIONE DI SARTIRANA passa gradualmente verso l'alto alle SABBIE DI DESANA. La FORMAZIONE DI FUSIGNANO passa verso l'alto alle ARGILLE DEL SANTERNO. Il substrato è costituito dal GRUPPO DI GALLARE e dalla FORMAZIONE GESSOSO SOLFIFERA.

- Distribuzione areale

La FORMAZIONE DI SARTIRANA è particolarmente sviluppata nel settore sud-occidentale della pianura Lombarda. La FORMAZIONE DI FUSIGNANO si sviluppa da SE di Milano fino a Cremona.

- Profondità (Tav. 4)

Il tetto della FORMAZIONE DI SARTIRANA si trova intorno ai 2000 m di profondità nella sua porzione più settentrionale e degrada verso sud dove supera valori di 3000 m nella zona di Pavia. Il top della FORMAZIONE DI FUSIGNANO era da 15 m a 3500 m (Cremonese).

- Temperatura (Tav. 10)

La temperatura al tetto delle formazioni mostra un regolare aumento dal limite nord dell'area di presenza, con temperature intorno ai 60°C, procedendo verso sud, ove si riscontrano valori superiori a 75°C (Pavia) e a 65° (Cremona).

- Produttività

Non si dispone di misure attendibili riguardanti le portate estraibili dagli acquiferi delle FORMAZIONI DI SARTIRANA e DI FUSIGNANO.

2.1.5. GHIAIE DI SERGNANO (Messiniano)

- Litologia

La formazione è costituita da potenti banchi di ghiaie scarsamente cementate e da sabbie. Nella parte sommitale prevalgono le sabbie con qualche intercalazione argillosa. Le ghiaie sono generalmente costituite da elementi arrotondati con matrice arenacea e, a luoghi, argillosa.

Intercalati alle ghiaie sono presenti livelletti torbosi e talvolta, come nel campo a gas di Sergnano, livelli di calcari bioclastici a Briozoi e Litotamni.

- Spessore

Lo spessore delle GHIAIE DI SERGNANO è assai variabile per la presenza di paleoincisioni che hanno modellato la formazione con ripide scarpate e conseguenti brusche variazioni di potenza: lo spessore supera i 500 m in zone localizzate a sud di Bergamo ed a nord e ad est di Milano. La potenza utile si aggira intorno ai 50-100 m, con valori massimi di 150-200 m ad est di Milano.

- Rapporti con altre formazioni (Fig. 2)

La formazione poggia generalmente su termini erosi del Miocene; al tetto si ha passaggio alle ARGILLE DEL SANTERNO; solo in un'area ristretta, al bordo meridionale della sua area di presenza, passa verso l'alto agli STRATI DI CAVIAGA.

Nella zona di Macclodio le GHIAIE DI SERGNANO sono attribuite al Pliocene inferiore.

- Distribuzione areale

La formazione è presente nella porzione settentrionale della pianura lombarda compresa tra Milano e Brescia.

- Profondità (Tav. 4)

Il tetto delle GHIAIE DI SERGNANO, affiorante nella zona settentrionale dell'area di distribuzione, raggiunge profondità superiori a 2000 m al limite sud della formazione.

- Temperatura (Tav. 10)

La temperatura al tetto di questo acquifero è piuttosto bassa nel settore settentrionale dell'area di diffusione dell'acquifero. Con l'approfondirsi del tetto della formazione, nel settore meridionale, si riscontrano valori talora superiori ai 65°C;

- Produttività

La produttività di questo acquifero può raggiungere valori dell'ordine di 50-100 m³/h.

2.1.6. GONFOLITE (Oligocene-Serravalliano)

- Litologia

Il GRUPPO GONFOLITE comprende un complesso di unità arenaceo-conglomeratiche costituite da banchi di spessore variabile, alternati a livelli argillosi di spessore ridotto.

In questo gruppo sono state incluse tutte le unità arenaceo-conglomeratiche di età oligo-miocenica che si trovano al margine della Pianura Padana.

- Spessore

Questo gruppo presenta spessori rilevanti, dell'ordine di alcune centinaia di metri, superando, in alcune zone il migliaio. Gli spessori massimi del gruppo superano i 2000 m (pozzi Turbigo 1, Seregna 1, Monza 1) ma, probabilmente, sono limitati a zone ristrette. Una valutazione della potenza della GONFOLITE nell'intera area di esistenza del gruppo è ostacolata dal fatto che spesso le perforazioni non ne hanno raggiunto la base.

- Rapporti con le altre formazioni (Fig. 2)

A Nord la GONFOLITE è in contatto laterale e di sovrapposizione con le serie più antiche, corrugate, da cui traggono origine i clastici che la compongono; verso sud essa viene gradualmente sostituita, lateralmente ed al tetto, dai termini argillosi del GRUPPO DI GALLARE. Nell'Appennino ricompaiono i termini conglomeratici.

- Distribuzione areale (Tav. 5)

A Nord l'area di presenza del gruppo della GONFOLITE si estende in una fascia allungata secondo l'asse del bacino padano in vicinanza della catena alpina con ristretto affioramento; verso sud affiora nell'Appennino Vogherese. Questa distribuzione sembra confermare il significato di deposito sinorogenico che comunemente viene attribuito alla GONFOLITE.

Spostandosi verso oriente la sua estensione diventa sempre più ridotta. Il raccordo Pianura-Appennino è sconosciuto.

- Profondità

Il tetto della GONFOLITE si approfondisce gradualmente, a partire dal margine prealpino, in prossimità degli affioramenti, procedendo verso sud; raggiunge profondità di oltre 4000 m a sud di Bergamo. Normalmente le profondità sono comprese fra i 1000 e i 2500 m.

- Temperatura

Le temperature al tetto della GONFOLITE variano con la profondità; temperature interessanti nel corpo della GONFOLITE sono state registrate a profondità notevoli (oltre 80°C a 2700 m, oltre 110° a 3800 m nel pozzo Monza 1).

Di interesse in relazione alle profondità, la temperatura del pozzo Burago 1 nei pressi di Monza (52° a 786 m, alla base di un orizzonte attribuito alla GONFOLITE).

- Produttività

La produttività della GONFOLITE in Lombardia, per quel che si può desumere dai dati disponibili, sembra essere piuttosto limitata, come confermato anche dalla scarsa permeabilità riscontrata da prove su carote.

L'assenza di prove di produzione non ci permette di fornire un valore quantitativo di produttività; si possono tuttavia segnalare alcune prove di strato che hanno permesso di calcolare valori³ indicativi di portate dell'ordine di alcune decine di m³/h.

2.2. Acquiferi discontinui

Gli acquiferi discontinui, di seguito brevemente descritti, sono limitati generalmente all'area montana, alpina, prealpina, ed appenninica, come risulta dalla figura 3.

La figura citata permette di distinguere le formazioni potenzialmente acquifere con permeabilità primaria (permeabili per porosità) rispetto a quelle con permeabilità secondaria (permeabili per fratturazione e/o dissoluzione); inoltre le rocce localmente permeabili e quelle decisamente impermeabili.



FIG. 3 Distribuzione schematica delle rocce in funzione della permeabilità

- 1. Rocce permeabili per porosità.
- 2. Rocce permeabili per fratturazione e per soluzione.
- 3. Rocce impermeabili o localmente permeabili per fratturazione.
- 4. Rocce impermeabili.

(da: Geotecneco (1976) "Carta della montagna". Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste.)

Fra le rocce "permeabili per porosità" sono compresi sia i depositi fluviali e di versante, con permeabilità medio-elevata, sia i conglomerati e le arenarie poco cementate associate a sabbie (Arenarie di Serravalle), con permeabilità variabili.

Fra le rocce "permeabili per fratturazione e soluzione" sono incluse le rocce carbonatiche, assai comuni nel settore prealpino e nel territorio di Bormio e Livigno. La permeabilità varia da elevata, nei calcari a stratificazione massiccia o in banchi, fino a bassa nelle alternanze ritmiche a prevalente componente calcareo-marnosa. "Localmente permeabili" sono le rocce metamorfiche, quelle vulcaniche basiche e inoltre i conglomerati, le breccie e le arenarie molto cementate, tutte a permeabilità medio-bassa. Permeabilità variabile in funzione del grado di fratturazione hanno le rocce intrusive e le rocce effusive acide.

Le rocce "impermeabili" sono essenzialmente composte da formazioni ad elevata componente argillosa (ARGILLE DEL SANTERNO, GRUPPO DI GALLARE, FORMAZIONE MARNOSA-ARENACEA, ecc.). Le unità impermeabili sono particolarmente diffuse nell'Appennino Vogherese, ma affiorano pure estesamente nelle Prealpi Bergamasche.

Nel caso degli acquiferi con permeabilità secondaria non è possibile fornire valori medi di permeabilità, poichè quest'ultima varia molto entro lo stesso corpo roccioso sia in senso verticale sia in senso orizzontale; talora essa è alta e permette un considerevole assorbimento delle acque meteoriche e quindi una notevole circolazione idrica nel sottosuolo.

Nel caso di rocce permeabili per fratturazione non solo le grandi linee di dislocazione, ma anche il semplice reticolato di diaclasi ha una grande influenza nel determinarne la permeabilità secondaria. Numerosi tipi litologici possono essere interessati, specialmente quelli con comportamento più rigido e fragile.

3. SORGENTI TERMALI

Le manifestazioni idrotermali più importanti sono ubicate nella parte settentrionale della Regione. Esse sono legate a sistemi di fratture importanti che permettono la risalita di acque calde, riscaldate in profondità in conseguenza del normale gradiente geotermico terrestre.

Le temperature più elevate si registrano nella sorgente di Sirmione con oltre 60°C.

Le altre sorgenti variano fra i 26° di S. Pellegrino Terme ed i 40°C circa di Bagni di Bormio e di Fonte del Masino.

Nella Pianura Padana si possono rinvenire in pozzi artesiani a debole profondità, acque ipotermali (circa 21°C) come quelle note di Miradolo Terme.

I dati delle manifestazioni termali sono raccolti in schede allegate al testo (All. A).

4. UTILIZZAZIONI

Nell'ambito della Regione Lombardia, la sola realizzazione per utilizzazione di fluidi geotermici a bassa entalpia, è rappresentata dal progetto Metanopoli, presso Milano.

METANOPOLI (MI)

Il progetto Metanopoli interessa il territorio del comune di S. Donato Milanese, e rientra nella concessione Metanopoli assegnata all'AGIP. Nell'ambito della concessione l'AGIP ha eseguito la perforazione dei pozzi Metanopoli 1 (pozzo iniettore) e Metanopoli 2D (pozzo produttore).

L'obiettivo minerario, costituito da fluido geotermico a bassa temperatura presente nella formazione GHIAIE DI SERGNANO o equivalenti, ha permesso la realizzazione di un progetto, i cui dati essenziali sono:

- portata del fluido (Metanopoli 2D): $50 \text{ m}^3/\text{h}$
- Temperatura a testa pozzo: 62°C
- Salinità del fluido circa 70 gr/l.

Il fluido geotermico cede il proprio calore, tramite una serie di scambiatori a piastre, all'acqua di un circuito secondario. Il circuito secondario, realizzato dalla SNAM, distribuisce il calore ad una serie di edifici civili ed a due palazzi uffici del complesso immobiliare di Metanopoli.

Il fluido viene reiniettato, dopo prelievo del calore, nel serbatoio di origine.

L'acqua contiene abbondante metano disciolto ($2 \text{ m}^3/1 \text{ m}^3$ d'acqua), che viene separato e ceduto ad una rete di metano.

Per la limitata portata del fluido il progetto risulta non economico.

RODIGO (MN)

Il progetto Rodigo, ancora in via valutativa ad opera del Comune di Goito, basato principalmente sui risultati ottenuti dal sondaggio AGIP per idrocarburi Rodigo 1, è nato con lo scopo di sfruttare le acque dolci calde rinvenute nei calcari del Giurassico a circa 3000 m di profondità con una temperatura di 55°C. L'utilizzazione prevista, data l'ubicazione del sondaggio in aperta campagna, è di carattere agrozootecnico.

AEROPORTO DI LINATE (MI)

Il progetto di Linate in corso di studio da parte della Regione, per il riscaldamento della pista e degli edifici dell'aerostazione, prevede come fonte di calore l'utilizzo di acqua geotermica della formazione GHIAIE DI SERGNANO.

5. CONCLUSIONI

Nella Regione Lombardia il tema di ricerca più interessante è rappresentato dai termini permeabili (sabbie e ghiaie più o meno cementate) della serie clastica depositatasi dal Miocene sup. al Pleistocene nel bacino padano.

La documentazione esistente su tali formazioni ha permesso di evidenziare che :

- la termalità è relativamente bassa, con gradiente geotermico inferiore a quello medio terrestre, analogamente a quanto si riscontra sul resto della Pianura Padana;
- le acque sotterranee di possibile interesse geotermico sono prevalentemente di tipo salmastro-salato, sì da richiedere, nella eventualità di un loro utilizzo, la successiva reiniezione mediante un secondo pozzo.
Fanno eccezione i livelli sabbiosi ad acqua dolce nelle SABBIE DI ASTI, che però risultano con temperature ridotte;
- l'area in cui è possibile riscontrare temperature di 60°C in livelli sabbiosi entro i 2000 m di profondità si spinge da Milano verso sud fin quasi a Pavia, raggiungendo Vigevano ad ovest e Cremona ad est (Vedi Figura 4);
- mentre i dati di temperatura disponibili consentono una rappresentazione areale, le informazioni riguardanti le portate estraibili sono scarse ed insufficienti per consentire valide estrapolazioni. Si può solo indicare che a N di Pavia (Lacchiarella) ed in alcune località ad E di Milano sono stati

LOMBARDIA



FIG. 4

LEGENDA (Fig. 4)

Aree con acquiferi estesi



Aree includenti acquiferi con temperature $\geq 60^{\circ}\text{C}$ entro 2000 m dal piano campagna.



Aree con acquiferi regionali continui singoli o multipli.

Aree con acquiferi discontinui



Aree con acquiferi discontinui frequentemente in relazione con sistemi fagliati profondi, eventualmente sfruttabili per usi termali e collegati (Zone orogenetiche alpine ed appenniniche).

Sorgenti termali



Temperature di $18^{\circ}\text{-}30^{\circ}\text{C}$



" di $30^{\circ}\text{-}40^{\circ}\text{C}$



" di $40^{\circ}\text{-}50^{\circ}\text{C}$



" maggiore di 50°C



Installazione geotermica in esercizio



Progetto geotermico in stadio avanzato

provati livelli in cui è possibile ottenere da singoli pozzi portate dell'ordine dei 100 m³/h o superiori da formazioni del Pliocene o del Miocene.

Per quanto riguarda le zone montane, caratterizzate da acquiferi discontinui, limitati da faglie o livelli argillosi, un utilizzo delle risorse geotermiche in essi contenute è possibile solo laddove esistano percorsi sufficientemente estesi di risalita agevolata di fluidi profondi.

BIBLIOGRAFIA SOMMARIA

- AGIP (1977). "Temperature sotterranee. Inventario dei dati raccolti durante la ricerca e la produzione di idrocarburi in Italia." Ed. Agip.
- AGIP (1983). "Geothermal doublet at Metanopoli, Milan - Final drilling report". CEE - Report EUR 8731 EN-IT.
- AGIP (1988). "Riscaldamento urbano geotermico a Metanopoli (Milano)". Contratto CEE Dir. XVII n°GE/00002/79/IT.
- AGIP Mineraria (1959). "Campi gassiferi padani." Atti Convegno Giacimenti gassiferi dell'Europa occidentale. Accad. Naz. Lincei, V. 2.
- Battisti I., Invernizzi G., Piemonte C., Szegö E. (1983). "Studio di un sistema energetico integrato: turboespansore di gas metano e teleriscaldamento con fonti geotermiche a bassa entalpia connesse con un sistema di pompe di calore." Seconda Conferenza Nazionale Energetica, Venezia.
- Berbenni P. e Pozzi R. (1965). "Le sorgenti termali di Bagni di Bormio: Osservazioni idrogeologiche, chimiche e chimico-fisiche." Ann. Idrol., v.3, n.3.
- Boni A. (1967). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, F° 59, Pavia - Serv. Geol. It., Roma.
- Bragagnolo G. (1948). "Le sorgenti radioattive dei Bagni di Bormio in Valtellina." Ann. Chim. Appl., V.38.
- Carella R., Guglielminetti M., Verdiani G. (1986). "Attività dell'AGIP nel campo dell'energia geotermica in Italia." Convegno della Federelettrica, Padova.
- Carella R., Guglielminetti M. (1983). "Metanopoli Geothermal Project". European Geothermal Update. Munich.
- Casati P. e Gnaccolini M. (1967). "Geologia delle Alpi Orobie occidentali". Riv. It. Paleont., V. 73-1, Milano.
- Casati P., Viganò P. (1974) "Le acque solfuree dell'Arena di Milano". Atti Soc. It. Sc. Mat., Museo Civ. St. Nat. Milano.
- Cavallin A., Clerici F., Mazzarella S. (1980). "Coefficienti di trasmissività, immagazzinamento e permeabilità dell'acquifero milanese". Boll. Ass. Mineraria Subalpina, Anno XVII, N°2.

- Cavallin A., Francani V., Mazzarella S. (1983). "Studio idrogeologico della pianura compresa tra Adda e Ticino". Costruzioni, n°326-327.
- Cerutti, Pagotto A., Peterlungo G. (1986). Bilancio idrogeologico di un settore nell'hinterland a Nord di Milano". Geologia Tecnica, N°4.
- Commission of the European Communities. Italian Working Group (1984). "Assessment of EC Geothermal Resources and Reserves, Italy".
- Cremonini G. e Ricci Lucchi F. (1982). "Guida alla Geologia del margine Appenninico-padano". Descrizione degli itinerari e degli stop. Soc. Geol. It. 1° Centenario, Bologna.
- Dal Prà A. (1984). "Studio sulle acque termali del Veneto". Rapporto J.V. AGIP-ENEL.
- Dondi L. e D'Andrea M.G. (1986). "La Pianura Padana e Veneta dall'Oligocene superiore al Pleistocene" Giornale di Geologia, Rivista di Geol. sedim. e geol. marina, Vol. 48 n°1/2.
- Gelati R., Bruzzi D., Catasta G. e Cattaneo P.C. (1974). "Evoluzione stratigrafico-strutturale dell'Appennino Vogherese a nord-est della Val Staffora." Riv. Ital. Paleont. V.80, Milano.
- Gelati R. e Gnaccolini M. (1982). "Evoluzione tettonico-sedimentaria della zona limite tra Alpi ed Appennini tra l'inizio dell'Oligocene ed il Miocene medio." Mem. Soc. Geol. It. Vol. 24 - parte 2°.
- Geotecneco (1976). "Carta della Montagna" - Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste. Vol. II, fasc.3.
- Lombardia Risorse e AGIP (1982).
"Valutazione delle risorse geotermiche a bassa temperatura in Lombardia", in "Indagine per un piano di interventi territoriali nel settore energetico". Regione Lombardia (Assessorato ai problemi dell'energia).
- Martinis B. et al. (1976). "Indagine sugli acquiferi della Lombardia-Centro-Settentrionale" - Quaderni Ist. Ricerca sulle Acque, Vol. 28, N°4.
- Martinis B., Mazzarella S. "Prima ricerca idrica profonda nella pianura Lombarda" Mem. Ist. Geol., Min. Padova, Vol. XXVIII.
- Pieri M. e Groppi G. (1981). "Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy". Pubbl. 414, P.F. Geodinamica, C.N.R.

Pozzi R. (1969). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, F° 8, Bormio. Serv. Geol. It., Roma.

Regione Lombardia (1984) - Assessorato ai problemi dell'Energia "Programma energetico regionale".

Sommaruga C., Ghelardoni R. (1980).

"Demonstration project-couple of wells for geothermal space heating in Metanopoli, Milano." Commission of the European Communities, Second International Seminar, Strasbourg.

Sommaruga C., (1985) "Sistemi geotermici antinebbia e antigelo per aeroporti". Le Scienze n°12.

Sordelli C. et al. (1987). "L'impiego agricolo dell'energia geotermica". Genio Rurale, Anno L, N°6.

Venzo S.(1969). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, F°48, Peschiera del Garda. Serv. Geol. It., Roma.

Vinaj G. e Pinali R. (1916). "Le acque minerali e gli stabilimenti termali idropinici ed idroterapici d'Italia". Grioni, Milano.

Waring G.A. (1965). "Thermal Springs of the United States and Other Countries of the World." Geological Survey Professional Paper 492.

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

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

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.