

**INVENTARIO DELLE RISORSE  
GEOTERMICHE NAZIONALI**

ENEL S.p.A. DPT / VDAG

ENI-AGIP SERG

CNR IIRG

ENEA AMB / ANV

**INVENTARIO DELLE RISORSE GEOTERMICHE  
DI BASSA TEMPERATURA DI  
LOMBARDIA, VENETO, EMILIA ROMAGNA**



RAPPORTO a cura di:

**Geotermica Italiana s.r.l.**

con incarico ENEA - Roma del 29/07/1992

GIUGNO 1993

MINISTERO DELL'INDUSTRIA, DEL COMMERCIO E DELL'ARTIGIANATO

Legge 9 Dicembre 1986, n.896

*" Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche "*

## INVENTARIO DELLE RISORSE GEOTERMICHE NAZIONALI

ENEL S.p.A. DPT / VDAG  
ENI-AGIP SERG  
CNR IIRG  
ENEA AMB / ANV

# INVENTARIO DELLE RISORSE GEOTERMICHE DI BASSA TEMPERATURA DI LOMBARDIA, VENETO, EMILIA ROMAGNA



RAPPORTO a cura di:

**Geotermica Italiana s.r.l.**

con incarico **ENEA - Roma** del 29/07/1992

GIUGNO 1993

ENEA - Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, Roma

## INDICE

- 1. Introduzione ed obiettivi dell'indagine**
  - 1.1. Potenziali risorse geotermiche suscettibili d'interesse
- 2. La struttura dell'archivio**
  - 2.1. Parametri tecnico-economici e valutazione idrogeologica
  - 2.2. Realizzazione dell'inventario
    - 2.2.1. File dati captazioni (CAPT.DBF)
    - 2.2.2. File dati chimici (ANALIT.DBF)
    - 2.2.3. I campi "memo"
  - 2.3. Utilizzazione pratica dell'inventario
- 3. Definizione dei parametri**
  - 3.1. Temperatura del fluido geotermico
    - 3.1.1. Utilizzazioni di tipo diretto
    - 3.1.2. Utilizzazioni di tipo indiretto
  - 3.2. Profondità della risorsa
    - 3.2.1. Analisi dei prezzi per pozzi per acqua
  - 3.3. Portata d'erogazione (Q)
  - 3.4. Qualità della risorsa
  - 3.5. Distanza risorsa/utenza
  - 3.6. Conclusioni
- 4. Esempi di utilizzazioni non elettriche delle risorse geotermiche di media e bassa entalpia in Italia e in Europa**
  - 4.1. La legislazione italiana in materia di geotermia
  - 4.2. Utilizzazioni non elettriche in Italia
  - 4.3. Utilizzazioni non elettriche in alcuni paesi europei
- 5. Inquadramento geotermico delle tre regioni**
  - 5.1. Premessa
  - 5.2. La Pianura Padana
    - 5.2.1. Elementi generali
    - 5.2.2. La geometria del substrato della Pianura Padana
    - 5.2.3. Acquiferi principali della Pianura Padana
      - 5.2.3.1. Sistema degli acquiferi profondi
      - 5.2.3.2. Sistema degli acquiferi clastici nelle formazioni Terziarie marine
      - 5.2.3.3. Sistema degli acquiferi clastici nelle formazioni Quaternarie continentali
  - 5.3. Principali manifestazioni termali presenti nelle tre regioni
    - 5.3.1. Regione Lombardia
    - 5.3.2. Regione Veneto
    - 5.3.3. Regione Emilia Romagna

## **ELENCO FIGURE E TABELLE**

- Fig.3.1 Principali esempi di possibili applicazioni dirette ed indirette di fluidi geotermici di bassa-media entalpia.
- Fig.4.1 Principali aree geotermiche europee
- Fig.4.2 Sezione geologica schematica dell'area geotermica di Abano
- Fig.4.3 Schema della rete di teleriscaldamento della città di Meaux (Francia)
- Fig.4.4 Schema operativo (ciclo estate-inverno) del circuito di Begles. (Per i riferimenti si rimanda al testo)
- Fig.4.5 Schema operativo del circuito di Neubrandenburg. (Per i riferimenti si rimanda al testo)
- 
- Tab 3.A-B Valori T5%, Tmed, T95% e della percentuale di tempo con temperature minori di 7°C per alcune località italiane (dati CNR)

## 1. INTRODUZIONE ED OBIETTIVI DELL'INDAGINE

Per arrivare ad una corretta valutazione della risorsa geotermica di bassa entalpia si deve considerare sia l'aspetto tecnico, ossia il tipo di tecnologia adottabile e disponibile sul mercato, che l'aspetto economico, ossia valutare il rapporto costi/benefici alle condizioni del mercato energetico attuale.

Per quanto riguarda il secondo punto, i prezzi dell'energia considerati per la stima dei costi sono quelli delle tariffe di vendita 1992 di Enel e Snam e Aziende Municipalizzate di distribuzione.

L'energia geotermica, se da un lato è una forma d'energia povera e dispersa (a parità di peso l'entalpia utile dei fluidi geotermici è dell'ordine di 1/15-1/500 di quella degli idrocarburi) in particolari condizioni, quando è concentrata in anomalie superficiali tecnicamente raggiungibili, può rappresentare una fonte energetica di sicuro interesse economico.

Nel settore degli usi elettrici della risorsa geotermica l'ENEL vanta una posizione di leadership in Italia, maturata soprattutto nello sviluppo e gestione dei campi di Larderello, Travale e Monte Amiata in Toscana.

Nel campo degli usi termici (non elettrici) sono state avviate nel nostro Paese, negli ultimi anni, diverse iniziative interessanti da parte di ENEL, AGIP, alcune Province e Comuni e Società Private. Fra queste si può ricordare il Progetto Amiata per il riscaldamento di serre nella zona di Piancastagnaio ed i progetti di teleriscaldamento di Ferrara, Vicenza, San Donato Milanese.

In generale i fluidi a bassa entalpia per usi termici (diretti ed indiretti) sono presenti in maniera diffusa sul territorio nazionale. Per rendere economica e vantaggiosa una loro applicazione bisogna ipotizzare utenze di medio-grandi dimensioni, o meglio un complesso d'utenze aventi un buon coefficiente d'utilizzazione dell'energia termica in modo da ripartire gli elevati investimenti iniziali.

I fluidi geotermici inoltre, presentano limitazioni di trasporto e di conservazione: devono quindi essere utilizzati subito e nelle immediate vicinanze dell'area sorgente. Il loro trasporto mediante una rete capillare di tubazioni verso gli utenti è limitato a pochi chilometri. Qualora la temperatura dei fluidi consenta la trasformazione in energia elettrica questa può essere invece trasportata fino a distanze di qualche centinaio di chilometri (la distanza media percorsa dall'energia elettrica in Italia è 115 km, fonte ENEL).

### 1.1. Potenziali risorse geotermiche suscettibili d'interesse

Nel substrato della Pianura Padana sono stati identificati numerosi potenziali serbatoi che possono contenere fluidi geotermici suscettibili d'interesse economico. Questi reservoirs,, distinti dal più profondo al più superficiale, sono stati raggruppati secondo un criterio di classificazione proposto da C.Sommaruga nel 1985.

- Giacimenti profondissimi (-4000m) geopressurizzati (tipo Malossa) nei quali si trovano acque salate con pressioni litostatiche di 500-1200 atm. e temp dell'ordine di 120-210 °C.

L'energia complessiva che possono fornire questi fluidi è di tipo meccanico (turbine idrauliche ad alto rendimento che sfruttano le pressioni del fluido), termica (generazione elettrica a basso rendimento, mediante ciclo binario) e chimica (presenza di metano disciolto).

Un grande vantaggio è connesso nel fatto che gli investimenti minerari di perforazione e condizionamento sono già stati ammortizzati.

Tra gli svantaggi il più limitativo è quello connesso con la scadente qualità dei reflui prodotti che devono essere smaltiti dopo l'uso. In teoria questi potrebbero essere reiniettati, mediante pompaggio, in acquiferi più superficiali a bassa pressione.

- Giacimenti metaniferi esauriti Sono relativamente diffusi in Pianura Padana e si considerano solo quelli che non servono per futuri stoccaggi di metano d'importazione. Questi giacimenti sono ricchi in acque metanifere le cui caratteristiche non sono molto differenti da quelle esposte nel punto precedente. Anche in questo caso gli investimenti minerari sono già ammortizzati.

- Giacimenti ad acqua salata Le acque salate associate ad idrocarburi, molto diffuse nella Valle Padana e localizzate in terreni clastici, costituiscono degli acquiferi di origine fossile, non particolarmente anomali dal punto di vista termico. Le loro temperature di strato possono essere di 50°C a 1500m e 90°C a 3000m e derivano da un gradiente geotermico di 2.5°C/100m a cui si somma il valore di 13°C della temperatura media in pianura.

Questi acquiferi (contenenti anche 20-50 g/l di sali) sono sfruttabili solo a circuito chiuso con coppie di pozzi produttore/iniettore con scambiatori di calore, pompe di calore ed eventuali separatori di gas in cui il circuito primario (geotermico) e secondario, (acqua dolce) per il riscaldamento sono separati. Il progetto Metanopoli (AGIP/SNAM) sfrutta un acquifero di questo tipo.

- Giacimenti Acqua dolce profonda (artesia) Si tratta in genere di acque a bassa-media termalità (60°C), di origine profonda, a risalita artesia, che sono state rinvenute in alcune perforazioni profonde. Al risparmio dell'investimento minerario (già ammortizzato) si sommano i costi per la reiniezione (non necessaria). Un esempio di questo giacimento è quello incontrato dal pozzo per idrocarburi Rodigo 1 in provincia di Mantova, profondo 4000m, adattato a scopi termali.

- Giacimenti di acqua termale a media profondità Si tratta di una risorsa di bassa entalpia (35-40°C) presente nel sottosuolo della Pianura Padana in acquiferi sabbiosi-ghiaiosi confinati a profondità comprese tra i 500 e i 900-1000m. Questi fluidi (salati e dolci) possono essere sfruttati in modo indiretto come sorgente fredda applicando delle pompe di calore, oppure in maniera diretta nella zootecnia e nell'agricoltura. Si devono comunque ipotizzare investimenti iniziali notevoli per la realizzazione di perforazioni mirate ed ulteriori alti costi d'esercizio nel caso sia necessario pompare in modo artificiale la risorsa dall'acquifero al piano campagna.

- Falde di acque potabili superficiali (fino a 25°C/500m) e acque dolci inquinate superficialissime I fluidi contenuti in queste falde possono essere estratti da pozzetti poco profondi e vengono sfruttati mediante pompe di calore per utenze limitate. Per il fatto che in questo campo rientrano anche tutte le falde ad uso potabile la cui destinazione d'uso è prioritaria, lo sfruttamento di questi fluidi avviene oggi in modo limitatissimo e per lo più clandestino.

Dopo l'uso termico i reflui possono essere utilizzati per scopi potabili, liberamente smaltiti per irrigazione nei campi quando non inquinati, oppure avviati al depuratore attraverso le reti fognarie. Il problema dell'eventuale reiniezione (necessaria nel caso di grandi quantità di reflui inquinanti) può implicare grossi handicaps di costo e tecnici.

I principali vantaggi dell'utilizzazione di queste risorse consistono nel rendimento costante delle pompe acqua/acqua comparato con quello delle pompe aria/acqua, specie

nelle stagioni più fredde e nella limitata richiesta di energia da utilizzare nel caso di falde superficiali se comparato con quella necessaria per l'estrazione di un'equivalente quantità di risorsa da livelli più profondi.

- Vene e falde termali Queste risorse che risalgono lungo sistemi di faglie molto profondi in aree montane o collinari. presentano temperature massime di circa 90°C ad Abano, 70°C a Sirmione ecc. e vengono sfruttate per scopi termali (stabilimenti termali, bagni e alberghi). L'uso di tali acque "in cascata", a valle dell'utenza primaria balneologico-termale, è di fatto ancora troppo poco sviluppato anche se la grande presenza di strutture termali che garantiscono un'elevata concentrazione di persone (utenze pubbliche e private) può rendere l'operazione molto remunerativa.

La valutazione del potenziale geotermico a bassissima entalpia ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ ) di un grande bacino sedimentario come la Pianura Padana richiede una larga disponibilità di informazioni a carattere idrogeologico integrate da dati di stratigrafia e di produzione dei pozzi per acqua che interessano i complessi litologici che ospitano i potenziali reservoirs geotermici. L'affidabilità della valutazione è strettamente legata alla quantità e qualità dell'informazione reperibile.

La valutazione si articola su due fasi distinte, la prima comprende studi a livello regionale per definire il modello idrogeologico-fisico generale dell'area d'indagine, la seconda indagini di dettaglio per ricostruire le caratteristiche idrodinamiche e produttive dei singoli reservoirs in termini di fluido estraibile e quindi di energia recuperabile.

L'obiettivo primario dello studio è stato quindi quello di accertare il potenziale dei primi 300m di profondità delle varie zone del bacino e fornire gli elementi necessari per sviluppare una successiva fattibilità tecnico-economica. In particolare si è cercato di arrivare alla:

- individuazione della distribuzione areale, sviluppo verticale e assetto strutturale degli acquiferi presenti nel sottosuolo dell'area d'indagine.
- valutazione delle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi quali: superficie piezometrica, permeabilità, trasmissività e coefficiente di immagazzinamento e salinità quando i dati disponibili lo permettano.
- ricostruzione della distribuzione della temperatura degli acquiferi evidenziati;
- selezione delle aree più promettenti per eventuali progetti di utilizzazione energetica.

E' stato quindi svolto un lavoro di ricerca e selezione di dati relativi alle acque di bassa temperatura ( $< 30^{\circ}\text{C}$ ) presenti nelle regioni Lombardia, Veneto ed Emilia Romagna con preparazione di carte tematiche esplicative alla scala 1:250.000. I dati raccolti sono stati inoltre predisposti per l'immissione nella banca dati geotermici.

La valutazione dell'archivio di bassissima entalpia per le tre regioni ha prodotto i seguenti risultati:

- acque termicamente anomale si trovano concentrate nei pressi di importanti e già note strutture geotermiche di tipo regionale (vedere cap.5) In queste zone, associati ai fluidi ipertermali, caratterizzati da temperature mediamente superiori ai 30°C (limite superiore di temperatura), si possono rinvenire anche fluidi ipotermali, miscelati con acque d'origine superficiale.

Al contrario, al di fuori di queste zone termali e considerando l'intervallo di profondità 0-300m, non si incontrano acque la cui temperatura sia significativamente anomala. Solo in alcuni casi limitati, a volte non totalmente attendibili, sono state osservate acque con temperature debolmente anomale (16-18°C).

La maggior parte dei dati di temperatura (relative alla grande parte di acque analizzate) sono compresi invece tra valori di 10-14°C, che corrispondono alla media annuale termica della Pianura Padana.

- La modesta componente termale esistente per la maggior parte di queste acque non consente applicazioni generiche in termini di utilizzo energetico. E' necessario pertanto analizzare ciascun caso separatamente, valutando sia il massimo salto termico disponibile tra le temperature medie invernali (prossime a 0°C) e quelle del fluido, che le portate d'erogazione.



## 2. LA STRUTTURA DELL'ARCHIVIO

### 2.1. Parametri tecnico-economici e valutazione idrogeologica

In questo paragrafo vengono riportati, in maniera sintetica, i parametri che guidano alla scelta della risorsa. Si rimanda al cap 3 del rapporto per gli approfondimenti tecnici e per le valutazioni economiche relative.

Per temperature inferiori a 30°C, (ossia nel campo della bassissima entalpia), il fluido geotermico da considerare è esclusivamente l'acqua. Per valutare la redditività della risorsa geotermica è necessario prendere in considerazione: temperatura, profondità, portata, qualità del fluido geotermico e distanza dell'area sorgente-area utilizzazione.

Nelle regioni Lombardia, Emilia e Veneto sono da considerare risorse geotermiche di bassissima temperatura (<30°C) suscettibili di utilizzo economico:

- 1) le acque provenienti da emergenze naturali quali sorgenti, fontanili, risorgive etc
- 2) le acque provenienti da acquiferi confinati che risalgono in modo artesiano o mediante pompaggio in pozzigì perforati.

Nell'intervallo di profondità compreso tra il piano campagna e -300m si concentrano tutti i potenziali acquiferi economicamente sfruttabili, che rispondono ai requisiti sotto elencati:

- temperatura al punto di utilizzo compresa tra 12-30°C per quote inferiori ai 300m slm e compresa tra 10 e 30°C per le aree montuose;
- portata (Q) di erogazione elevata e possibilmente costante nel corso dell'anno.
- nel caso di acque provenienti da pozzi artesiani che si alimentano in acquiferi confinati, il fluido (preferibilmente acque dolci) deve possedere buone caratteristiche chimico-fisiche in modo tale che, dopo la sua utilizzazione, possa essere scaricato liberamente nella rete di deflusso superficiale senza che vi produca contaminazioni (acque salate e/o inquinate ecc.).
- l'area di produzione (sia essa sorgente o pozzo artesiano) deve essere adiacente all'area di utenza.

Dei 3 principali sistemi di acquiferi riconosciuti nel sottosuolo della Pianura Padana, e descritti in dettaglio nel capitolo 5 Inquadramento Geotermico, sono stati scelti, come obiettivo primario dell'indagine, quelli che si rinvengono negli strati clastici delle formazioni Quaternarie continentali.

Questi acquiferi meglio rispondono ai requisiti ante descritti e cioè profondità limitata della risorsa, buone qualità chimiche, temperature non superiori ai 30°C, elevati valori di portata, notevole diffusione areale.

La serie clastica continentale si estende nell'intera pianura, ricopre le sottostanti formazioni terziarie e comprende un sistema acquifero multifalda di spessore variabile compreso tra poche decine di metri e 300-500m. E' sede delle più importanti, ricche ed estese falde acquifere di tutta la pianura padana, intensamente sfruttate a fini idropotabile-industriale. Esse comprendono acquiferi freatici prevalentemente sviluppati nella fascia pedemontana delle conoidi e numerosi acquiferi confinati nella pianura s.s..

Le acque contenute nei livelli permeabili di queste formazioni sono in genere dolci, di origine superficiale, a ricarica stagionale e con temperature mediamente basse che di norma non superano i 20°C.

I livelli acquiferi (sabbie e/o ghiaie) incontrate da numerose perforazioni producono in genere fluidi caratterizzati da elevate portate e abbassamenti piezometrici modesti.

Le loro caratteristiche chimiche indicano, in alcuni casi, possibili miscelamenti tra acque superficiali di ricarica prealpina o appenninica ed acque fossili saline di pianura contenute all'interno dei livelli clastici marini inferiori.

In considerazione di quanto esposto (parametri e situazione idrogeologica) appare evidente che le risorse di bassissima termalità, e potenzialmente suscettibili di utilizzo energetico, presenti nelle aree in esame coincidano, per la massima parte, con le acque captate a scopo idro-potabile.

L'inventario delle risorse di bassissima termalità è stato concentrato quindi sulla ricerca e selezione di un elevato numero di dati relativi a captazioni per acqua potabile. Per la sua realizzazione è stato utile un archivio preparato per il Ministero dell'Ambiente relativo a pozzi e gruppi di pozzi ad uso potabile distribuiti in maniera abbastanza uniforme nelle tre regioni in esame.

Questo archivio è stato opportunamente modificato ed integrato da altri dati provenienti da differenti pubblicazioni e rapporti. Fra queste si ricorda:

- l'indagine dell'Agip a cura di A. Silvano del 1978 relativa alle "Manifestazioni Idrotermali e Vulcaniche d'Italia";
- l'"Inventario delle risorse geotermiche nazionali" preparato dal CNR-ENEA-ENEL-AGIP nel 1987/88 relativo alle tre regioni;
- il rapporto del 1988 "Assessment of the low enthalpy geothermal resources, Po Valley" curato da Getas srl per la Comunità Europea;
- il rapporto "Valutazioni delle risorse geotermiche a bassa entalpia" del Progetto finalizzato Energetica a cura del CNR-ENEA del 1989.

Di rilevante importanza sono state le informazioni contenute nei fogli geologici 1:100.000 e note illustrative di corredo, relative alle tre regioni in esame ed una serie di dati locali ricavati da pubblicazioni scientifiche, rapporti tecnici e note ottenute a livello di pubbliche amministrazioni locali.

## 2.2. Realizzazione dell'inventario

L'inventario è costituito fisicamente da due "file dati" indipendenti comprensivi di informazioni riguardanti le caratteristiche di singole captazioni e/o gruppi di captazioni e le caratteristiche geologiche e idrodinamiche delle aree e dei complessi nei quali sono state suddivise le tre regioni.

Il primo file comprende i dati generali per le captazioni corrispondenti ai punti riportati in carta (CAPT.DBF).

Il secondo file comprende i dati chimici e le temperature delle acque (ANALIT.DBF).

All'interno di entrambi i file esiste un campo memo contenente un codice che riporta a due "file testo". Il primo con le descrizioni geologico-morfologiche dell'area e il secondo con le descrizioni dei singoli complessi acquiferi.

In dettaglio i Files sono così composti:

### 2.2.1. File Dati captazioni (CAPT.DBF)

Questo file è costituito da 10 campi e contiene riformazioni generali riguardanti i singoli punti riportati in carta. Questi punti rappresentano l'ubicazione geografica di singole opere o gruppi di opere di captazione. Ad ogni punto corrisponde una o più captazione a

loro volta rappresentate da una o più opere elementari. In totale il file è costituito da 1.290 records.

Struttura del File

Campo	1	Tp.
	2	n. prog.
	3	Comune
	4	Codice Com.
	5	Località
	6	Area (Campo memo)
	7	Complesso (Campo memo)
	8	Profondità m.
	9	n. Op.
	10	Q l/s

Campo 1 - E' rappresentato da una lettera che identifica la tipologia della captazione: S se è sorgente, P se si tratta di un pozzo.

Campo 2 - Codice che identifica univocamente la captazione e a cui corrisponde un punto sulla carta. I primi due caratteri rappresentano la sigla automobilistica di provincia, i restanti tre caratteri numerici rappresentano un progressivo all'interno della provincia.

Campo 3 - Denominazione del comune.

Campo 4 - Codice che identifica univocamente il comune all'interno del quale è ubicato il punto rappresentativo delle captazioni.

I primi due caratteri identificano univocamente la regione, segue la sigla automobilistica di provincia e infine il codice ISTAT di comune.

Campo 5 - Località in cui è ubicata la captazione.

Campo 6 - Codice dell'area nella quale ricade la captazione.

Campo 7 - Codice del complesso idrogeologico dal quale attinge la captazione.

Campo 8 - Profondità in metri dal piano campagna del livello acquifero nel quale sono impostati i filtri del pozzo o del gruppo di pozzi rappresentanti la captazione.

Campo 9 - Numero di opere elementari che compongono la captazione.

Campo 10 - Portata della captazione in litri al secondo. Nel caso che la captazione sia rappresentata da più opere elementari viene riportata la somma delle portate emunte.

#### 2.2.2. File Dati chimici (ANALIT.DBF)

Questo file è costituito da 26 campi e contiene informazioni riguardanti il chimismo e la temperatura dell'acqua emunta dalle captazioni.

I dati chimici e di temperatura sono stati raccolti in parte indipendentemente dai dati generali sulle captazioni e come tali possono corrispondere ad opere di captazione nel file CAPT.DBF. Esiste però una corrispondenza esatta tra i punti riportati sulle carte e questi dati. Ad esempio una serie di analisi chimiche del file ANALIT.DBF possono appartenere a un pozzo non compreso tra quelli descritti nel file CAPT.DBF ma ubicato

nello stesso punto rappresentato dal numero progressivo preceduto dalla sigla di provincia. In totale il file è costituito da 4.149 records.

Struttura del File

Campo	1	n. prog.
"	2	Tip.
"	3	Località/pozzi
"	4	Area (campo memo)
"	5	Complesso (campo memo)
"	6	T°C
"	7	A1 (conducibilità a 20°; in uS/cm)
"	8	A2 (pH)
"	9	A3 (Cloruri; in mg/l di Cl)
"	10	A4 (Ammoniaca; in mg/l di NH <sub>4</sub> )
"	11	A5 (Nitrati; in mg/l di NO <sub>3</sub> )
"	12	A6 (Solfati; in mg/l di SO <sub>4</sub> )
"	13	A7 (Durezza totale; in F°)
"	14	A8 (Residuo fisso a 180°C)
"	15	A9 (Silice; in mg/l di SiO <sub>2</sub> )
"	16	A10 (Calcio; in mg/l di Ca)
"	17	A11 (Ferro; in µg/l di Fe)
"	18	A12 (sodio; in mg/l di Na)
"	19	A13 (Potassio; in mg/l di K)
"	20	A14 (Manganese; in µg/l di Mn)
"	21	A15 (Alluminio; in mg/l di Al)
"	22	A16 (Magnesio; in mg/l di Mg)
"	23	A17 (Boro; in mg/l di B)
"	24	A18 (Ossigeno disciolto; % di saturazione)
"	25	A19 (Anidride carbonica libera; in mg/l di CO <sub>2</sub> )
"	26	A20 (Idrogeno solforoso; in µg/l di H <sub>2</sub> S)

Campo 1 - Codice che identifica univocamente la captazione e a cui corrisponde un punto sulla carta. I primi due caratteri rappresentano la sigla automobilistica di provincia, i restanti tre caratteri numerici rappresentano un progressivo all'interno della provincia.

Campo 2 - E' rappresentato da una lettera che identifica la tipologia della captazione: S se è sorgente, P se si tratta di un pozzo.

Campo 3 - Località in cui è ubicata la captazione e/o nome o numero identificativo dell'opera di captazione.

Campo 4 - Codice dell'area nella quale ricade la captazione.

Campo 5 - Codice del complesso idrogeologico dal quale attinge la captazione.

Campo 6 - Temperatura dell'acqua.

Campi 7-26 - Analisi chimiche delle acque.

### 2.2.3. I "campi memo"

I campi nominati "Area" e "Complesso" sono campi "memo" collegati a due "file testo":

- File descrizione aree (costituito da 202 record);
- File descrizione complessi (costituito da 380 record).

Nel file "descrizione aree" sono riportate informazioni riguardanti l'area idrogeologica la quale non rappresenta entità litologiche vere e proprie ma, piuttosto, le condizioni geografico-geologiche generali entro cui si possono ascrivere, con una certa omogeneità, un certo insieme di captazioni.

Nel file "descrizione complessi" sono riportate le descrizioni delle caratteristiche lito-strutturali e idrogeologiche dei complessi contenuti all'interno delle aree.

Per complesso idrogeologico si intende un'unità litologica o un insieme di termini litologici aventi una specifica unità spaziale, un tipo di permeabilità prevalente comune e un grado di permeabilità relativa che oscilla in un campo piuttosto ristretto. In base a queste caratteristiche i complessi possono essere "acquiferi" o "non acquiferi" (acquitardi o acquiclude).

### 2.3 Utilizzazione pratica dell'Inventario

Si accede all'archivio componendo il codice rappresentativo delle captazioni (sigla di provincia + numero di tre cifre progressivo per la singola provincia).

Si apre in questo modo il file CAPT.DBF con le informazioni generali sulla captazione rappresentata dal punto sulla carta e costituita da una o più opere.

Da qui si può accedere attraverso i campi memo ai file "testi" con le descrizioni delle aree e dei complessi idrogeologici.

Sempre dal file CAPT.DBF è possibile accedere al file ANALIT.DBF digitando il codice corrispondente (sigla di provincia + numero progressivo).

In allegato è riportato come esempio l'intero archivio su supporto cartaceo suddiviso nei due file di dati e i due file di testi.

### 3. DEFINIZIONE DEI PARAMETRI

Secondo la Legge 9/12/86 n 896, per Risorsa Geotermica si intende l'energia termica derivante dal calore terrestre estraibile mediante fluidi geotermici, che a loro volta sono quelli esistenti naturalmente nel sottosuolo o quelli immessivi artificialmente.

Per temperature inferiori a 30°C, (ossia nel campo della bassissima entalpia), il fluido geotermico è l'acqua liquida.

Per valutare la redditività della risorsa geotermica è necessario prendere in esame i seguenti parametri: temperatura, profondità, portata, qualità del fluido geotermico e distanza dell'area sorgente-area utilizzazione.

#### 3.1. Temperatura del fluido geotermico

Per arrivare a definire la temperatura minima del fluido geotermico da considerare come risorsa utile, va ricordato che le possibili applicazioni d'uso sono di tipo: 3.1.1) diretto per acquacoltura, piscicoltura, letti caldi ecc ed 3.1.2) indiretto per riscaldamento mediante pompe di calore acqua-acqua o acqua-aria

Nella Fig. 3.1 vengono riportati i possibili tipi d'applicazione di fluidi geotermici di bassissima-media entalpia.

##### 3.1.1. Utilizzazioni di tipo diretto

Gli utilizzi diretti necessitano in genere di acque geotermiche con temperature non inferiori a 15°C e sono spesso condizionati dalla qualità delle acque (composizione e contenuto in gas). I principali sono:

###### - usi termali

Questi comprendono sia usi medicali e baneologici (saune, piscine, fanghi) in stabilimenti termali, sia utilizzi energetici che consistono nel riscaldamento diretto, mediante scambiatori di calore, degli stabilimenti, alberghi, edifici pubblici ed abitazioni. Questo è possibile quando la temperatura del fluido supera i 40°C; per temperature minori si rientra invece nel campo degli utilizzi indiretti mediante pompe di calore.

###### - riscaldamento e climatizzazione

I fluidi geotermici, con temperature variabili tra 50 e 130°C possono essere utilizzati per riscaldare e climatizzare ambienti in modo diretto (se il fluido è di buona qualità) oppure diretto ed integrato da scambiatori di calore quando le acque termali disponibili siano incrostanti oppure corrosive. In alcuni centri di montagna a clima freddo (Sapporo in Giappone e Klamath Falls negli USA) fluidi geotermici vengono utilizzati per riscaldare a scopo antigelo strade ad elevata pendenza.

Esistono svariati possibili usi del fluido geotermico in agricoltura e in zootecnia. La maggior parte di questi necessita però di fluidi termali con temperature superiori ai 70°C. Tra i possibili utilizzi a temperatura minore si ricorda:

###### - fungicoltura e fermenti (19-24°C)

Irrigazioni calde vengono distribuite sulle aree in coltivazione migliorando lo sviluppo e la produzione del fungo. Le temperature richieste variano tra 16°C per la produzione e 22-24°C per la propagazione del micelio.

- riscaldamento dei suoli ("letti caldi" a 25°C)

In alcuni paesi dell'Est, caratterizzati da inverni continentali molto freddi e lunghi (ad es. Russia-Siberia e Romania) hanno larghissima diffusione i "letti caldi" ottenuti riscaldando il suolo con tubazioni nelle quali circola acqua a 25°C e proteggendo eventualmente le piante con ricoveri di plastica. Questa tecnica permette di sviluppare coltivazioni intensive in terreni altrimenti inadatti (permafrost).

La circolazione del fluido geotermico di bassa entalpia in serpentine di tubi affogati nella coltre di terreno vegetale, produce un certo riscaldamento del terreno circostante facendo sviluppare in modo efficace l'apparato radicale delle specie vegetali impiantate. Durante la stagione estiva queste specie vengono trapiantate in campi non riscaldati dove sviluppano rapidamente l'apparato superiore sub-aereo.

- acquacoltura, culture idroponiche, irrigazione calda (15-35°C; media 27°C)

Fluidi termali non inquinati, possono essere utilizzati direttamente per culture idroponiche in serra (Susanville USA) per irrigazioni calde del tipo "marcite" (più raccolti di fieno durante l'anno).

- zootecnica e allevamento (>25°C)

Acque geotermiche di bassa entalpia possono essere utilizzate in progetti di acquacoltura integrata e piscicoltura.

- bevande analcoliche o minerali (>25°C)

- balneologia-idrotermalismo (>20°C)

- serre (18-27°C)

- biogas da biomassa (>29°C)

### 3.1.2. Utilizzazioni di tipo indiretto

Per questo intervallo di temperatura le uniche applicazioni indirette, tecnicamente proponibili, sono quelle che implicano l'utilizzo delle pompe di calore. Queste macchine termodinamiche consentono di trasferire calore da un mezzo a temperatura inferiore (es. acqua geotermica) ad un mezzo a temperatura superiore (es. acqua sanitaria e per riscaldamento) tramite un fluido di lavoro frigogeno che evolve ciclicamente all'interno della pompa di calore stessa.

In via schematica una pompa di calore si compone di 2 scambiatori di calore (evaporatore e condensatore), un compressore ed un organo di espansione. Quanto più basso è il salto termico (dT) esistente tra la sorgente fredda (risorsa geotermica) e quella calda (acqua sanitaria) tanto minore sarà il lavoro compiuto dal compressore e quindi il consumo di energia elettrica assorbito della pompa di calore. Nel ciclo della pompa di calore è quindi implicito il vantaggio di utilizzare acque geotermiche anche di bassissima entalpia al posto di acque fredde superficiali.

In mancanza di un limite inferiore tecnico di temperatura di utilizzo delle acque e basandoci anche sulle scelte fatte in Francia, (stato pioniere nell'uso della bassissima entalpia dove, nel bacino di Parigi si utilizzano acque a 12-17°C), può essere considerata per le tre regioni la temperatura media annuale (11-13°C) della Pianura Padana (Tab.3.A e 3.B) quale limite di temperatura inferiore per l'utilizzo delle risorse geotermiche di bassissima entalpia

Nelle aree sub-pianeggianti delle tre Regioni (a quote inferiori a 300m slm) possono essere considerate come risorse geotermiche di bassissima entalpia tutte le acque la cui

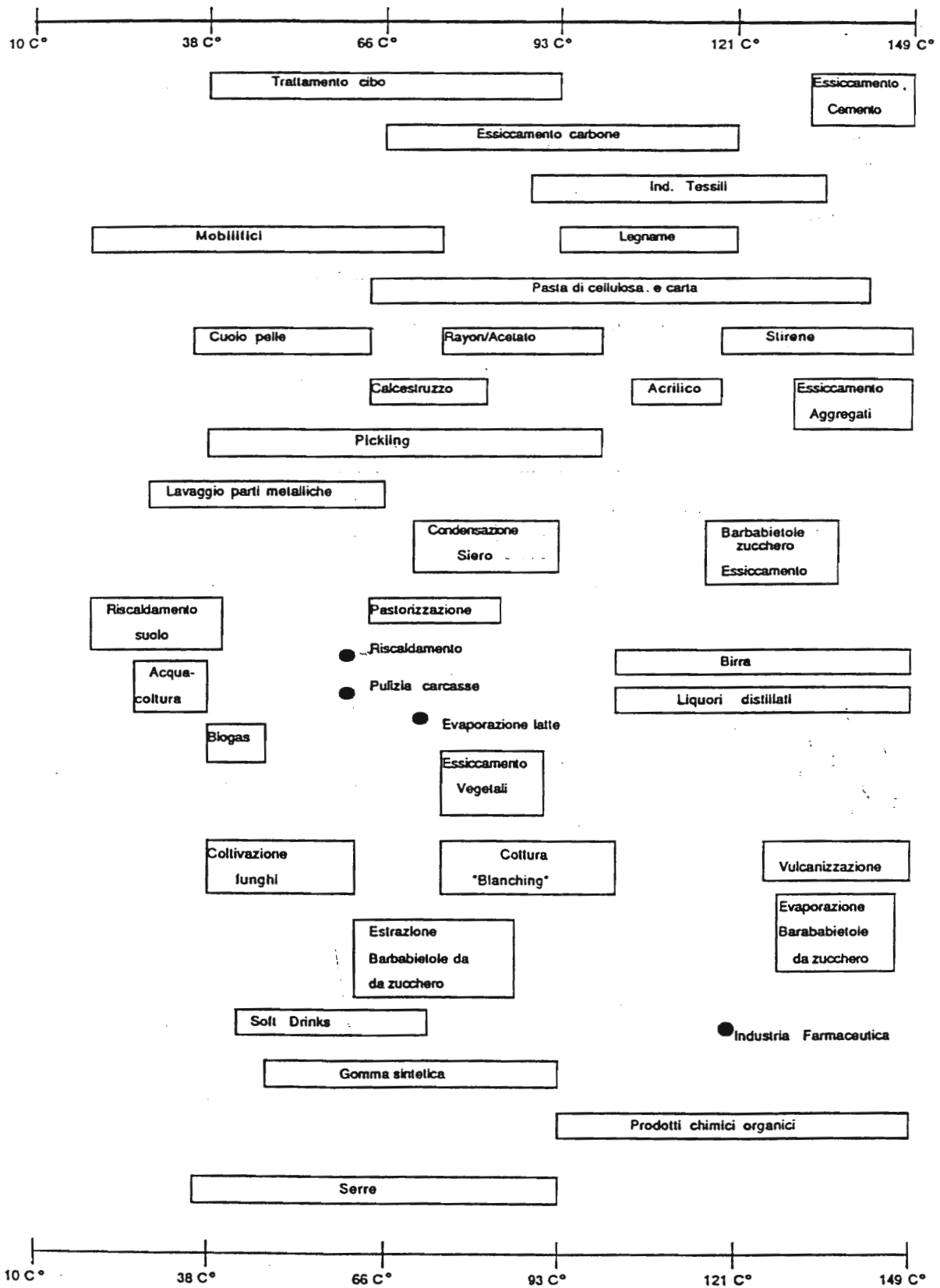


Fig.3.1 Principali esempi di possibili applicazioni dirette ed indirette di fluidi geotermici di bassa-media entalpia.



## BOLOGNA

Mese	Temperatura aria (°C)			Tempo con temperatura aria < 7°C (% sul tot.)
	T 5%	T med	T 95%	
Gen.	-3,7	1,1	6,5	95,2
Feb.	-2,2	3,3	10,0	78,1
Mar.	0,8	8,1	17,2	40,2
Apr.	6,0	12,7	20,7	9,3
Mag.	10,6	17,5	24,8	0,0
Giu.	14,2	21,4	30,4	0,0
Lug.	16,5	23,9	31,7	0,0
Ago.	16,0	23,6	31,8	0,0
Set.	12,0	19,7	27,6	0,0
Ott.	7,0	13,7	20,1	4,8
Nov.	0,7	7,2	14,4	47,1
Dic.	-2,9	2,6	9,4	79,8
<b>ANNO</b>		<b>13,0</b>		<b>29,3</b>

## BRESCIA

Mese	Temperatura aria (°C)			Tempo con temperatura aria < 7°C (% sul tot.)
	T 5%	T med	T 95%	
Gen.	-3,0	2,2	8,8	86,7
Feb.	-2,4	4,2	10,7	74,0
Mar.	-1,1	7,0	15,0	47,6
Apr.	3,6	11,4	18,8	14,0
Mag.	10,4	16,9	25,3	0,5
Giu.	11,4	19,1	28,0	0,6
Lug.	15,0	22,8	30,0	0,0
Ago.	16,4	22,4	29,7	0,0
Set.	10,0	18,6	26,5	0,8
Ott.	4,7	12,3	21,0	13,3
Nov.	-1,0	7,3	13,3	34,3
Dic.	-6,0	1,2	8,9	88,7
<b>ANNO</b>		<b>12,2</b>		<b>29,9</b>

Tab 3.A

Valori T5%, Tmed, T95% e della percentuale di tempo con temperature minori di 7°C per alcune località italiane (dati CNR)

## MILANO

Mese	Temperatura aria (°C)			Tempo con temperatura aria < 7°C (% sul tot.)
	T 5%	T med	T 95%	
Gen.	— 6,8	0,6	5,4	98,0
Feb.	— 3,0	2,9	9,0	86,6
Mar.	1,8	8,5	15,2	32,0
Apr.	5,5	12,8	21,6	11,8
Mag.	10,2	16,8	23,9	0,0
Giu.	13,7	19,9	27,9	0,0
Lug.	15,3	23,1	30,9	0,0
Ago.	15,8	22,0	29,9	0,0
Set.	13,5	19,0	26,1	0,0
Ott.	5,9	13,0	19,8	6,0
Nov.	1,7	7,5	13,4	38,6
Dic.	— 3,3	2,4	9,6	81,5
<b>ANNO</b>		<b>12,4</b>		<b>29,3</b>

## VENEZIA

Mese	Temperatura aria (°C)			Tempo con temperatura aria < 7°C (% sul tot.)
	T 5%	T med	T 95%	
Gen.	— 3,0	2,6	8,0	88,3
Feb.	— 2,8	3,9	9,1	83,3
Mar.	0,7	7,7	14,9	41,1
Apr.	5,4	12,0	19,4	11,4
Mag.	11,2	17,2	22,2	0,0
Giu.	15,1	20,8	27,8	0,0
Lug.	17,5	23,8	30,2	0,0
Ago.	17,7	22,7	28,6	0,0
Set.	13,9	19,6	24,8	0,0
Ott.	6,7	13,9	19,7	5,4
Nov.	2,0	8,7	14,1	31,8
Dic.	— 1,6	4,0	9,7	75,3
<b>ANNO</b>		<b>13,1</b>		<b>27,8</b>

Tab 3.B

Valori T5%, Tmed, T95% e della percentuale di tempo con temperature minori di 7°C per alcune località italiane (dati CNR)

temperatura di emergenza è compresa tra 12-30°C. A quote superiori vengono incluse anche acque relativamente più fredde. In quelle aree l'intervallo di temperatura considerato sarà pertanto di 10-30°C

Questi due intervalli di temperatura permettono di ottimizzare l'uso della risorsa geotermica sia da un punto di vista diretto (limitatamente ai mesi più freddi dell'anno) che indiretto (continuo su base annuale).

### 3.2. Profondità della risorsa

Se consideriamo un acquifero ad elevata produttività, il parametro economico da valutare attentamente per il suo sfruttamento è costituito dai costi di perforazione e condizionamento del pozzo.

Il costo d'esercizio, legato al pompaggio artificiale da applicare quando l'acqua non risale in modo artesianesimo sino alla superficie, incide invece in maniera trascurabile sui costi complessivi. In effetti la potenza della pompa, ( $W_p$  in watt) è uguale a:

$$W_p = (Q * g * h)/n$$

dove:

Q = Portata, (kg/sec)  
g = Acc. gravità, (m/sec<sup>2</sup>)  
h = Prevalenza (m)  
n = rendimento della pompa

Per sollevare 1 kg/s di acqua di 1 metro, assumendo un rendimento della pompa uguale a 0.7, è necessaria una potenza di circa 14 W.

Il costo di produzione (nel caso di una pompa alimentata a corrente elettrica, e considerando un prezzo medio dell'energia di 270-300 Lit/kWh) è di 3.8-4.2 Lit per ora per ogni kg/s di fluido estratto, per ogni metro di prevalenza.

La stima dei costi degli investimenti necessari (quali la perforazione ed il condizionamento del pozzo) sono sintetizzati al punto 3.2.1.

In questo caso semplificato la funzione di costo ( $F_c$ ) è pertanto:

$$F_c = 4 * F * h \quad (1)$$

dove:

F(kg/s) = Fabbisogno d'acqua necessario  
h(m) = Dislivello di sollevamento dell'acqua  
4(Lit/h) = Costo medio per Kg/s di fluido pompato

La funzione di valore energetico equivalente (Fv), nel caso che si utilizzi la risorsa geotermica di bassissima entalpia disponibile, si calcola considerando il consumo di metano (o gasolio o elettricità) necessario per riscaldare una corrispondente quantità di acqua dalla temperatura media annua del sito a quella dell'acqua geotermica:

$$Fv = \frac{c * (T-Ta) * F * \text{£}}{p} \quad (2)$$

dove:

- c = calore specifico dell'acqua (1 Kcal/kg.°C)
- T = temperatura acqua geotermica (30°C)
- Ta = temperatura media annua del sito (10°C)
- F = fabbisogno d'acqua necessario (in kg/h)
- £ = costo del metano (circa 760 Lit/mc, 1992)
- p = potere calorifico del metano (8.500 Kcal/mc)

Nell'esempio la formula (2) si riduce a **1.788 F** se si considera il metano. Se si utilizza il gasolio la formula (2) diventa **3.782 F**, mentre se si considera l'energia elettrica la (2) diventa **9.302 F**.

**La funzione Fr (cioè Fv-Fc), costituisce il risparmio energetico ottenibile utilizzando le risorse geotermiche disponibili.** Usando 3 fonti energetiche di tipo tradizionale, la funzione risparmio (Fr) corrisponde a:

- (Fv-Fc) metano = Fr = F (1.788-4/3600 h)
- (Fv-Fc) gasolio = Fr = F (3.782-4/3600 h)
- (Fv-Fc) elettricità = Fr = F (9.302-4/3600 h)

A parità di F e h, il risparmio energetico è minore nel caso che si consideri il metano come fonte energetica di riferimento; è intermedio se si utilizza il gasolio e diventa massimo nel caso dell'elettricità che, fra tutte le energie, è la più pregiata.

In sintesi, nelle condizioni attuali, la risorsa geotermica (se questa sgorga spontaneamente dal piano campagna oppure se pompata da pozzi già esistenti) è competitiva con altre fonti energetiche per le sue utilizzazioni dirette (usi termali e/o agroindustriali) o indirette (mediante pompe di calore). L'utilizzo delle acque sotterranee di bassissima entalpia è invece fortemente condizionato dall'elevato costo degli interventi iniziali (perforazioni, condizionamenti, tubazioni ecc.) che possono, in molti casi, rendere economicamente svantaggiosa l'operazione in relazione con il basso costo attuale delle energie tradizionali e la modesta componente termica disponibile nel fluido.

### 3.2.1. Analisi dei prezzi di pozzi per acqua

Nei terreni sciolti (alluvioni della Pianura Padana) la perforazione a percussione di un pozzo per acqua profondo 100m e diametro di 400mm costa mediamente 40-50 milioni di Lit (Fonte "Acque sotterranee", prezzi 1992).

Questa cifra non cambia sostanzialmente se lo stesso pozzo viene eseguito mediante perforazione a rotazione con circolazione diretta di fluidi (diametro massimo di 17"1/2).

Un pozzo perforato a percussione, con diametro di 1000mm, può costare invece 60-75 milioni di Lit.

A questi vanno sommati i costi per il condizionamento finale del pozzo che possono far incrementare anche del 50% il costo totale dell'opera. Questi costi addizionali comprendono la fornitura e posa in opera del rivestimento in lamiera di acciaio elettrosaldato, i filtri di captazione, i dreni, l'impermeabilizzazione dell'intercapedine, lo spurgo e le prove di portata.

Infine devono essere previsti ulteriori 10-20 milioni di Lit di spesa (valore medio) che comprendono il costo della pompa sommersa e quello della tubazione di derivazione.

### 3.3. Portata di erogazione (Q)

Le calorie fornite dall'acqua sono proporzionali al salto termico (dT) ed alla portata di erogazione (Q) del fluido geotermico proveniente dal pozzo o dalla sorgente. Il prodotto (Q\*dT) quantizza quindi la risorsa geotermica disponibile.

Più basso è il contributo del dT e tanto maggiore dovrà essere la portata Q perchè l'energia geotermica sia redditizia.

Data la bassa temperatura della risorsa (compresa tra 10-12 e 30°C) il salto termico dT disponibile è di norma modesto: pertanto solo i pozzi e le sorgenti caratterizzati da elevate portate di erogazione sono di interesse a fini pratici.

A titolo d'esempio, nel caso di una sorgente la cui temperatura è 30°C, e considerando una temperatura media esterna di 10°C, il salto termico utile (dT) è di 20°C ed il calore estraibile corrispondente è di 20 cal/g. Per una portata di 1000 kg/h, quell'acqua fornirà pertanto 20.000 Kcal teoriche.

### 3.4. Qualità della risorsa

L'uso indiretto della risorsa, mediante pompa di calore, può essere applicato, in linea generale, a qualsiasi fluido geotermico, anche inquinato, che possieda però i requisiti termici e di portata sopra descritti. Al contrario il possibile uso diretto di una risorsa inquinata è praticamente nullo.

In relazione alla qualità dell'acqua proveniente da pozzi artesiani si ricorda inoltre che se il contenuto salino del fluido è elevato, e/o se il fluido proviene da acquiferi confinati inquinati, va impedito il libero scarico del fluido geotermico nella rete di deflusso superficiale dopo il suo uso termico. In questo caso si deve prevedere quindi la sua reiniezione nel sottosuolo mediante pompaggio in un pozzo (eventualmente da perforare), adiacente al pozzo di produzione.

Per quanto detto nel paragrafo 3.2. è evidente che qualsiasi opera di reiniezione implica elevati oneri aggiuntivi che incidono fortemente sulla convenienza dello sfruttamento della risorsa.

### 3.5. Distanza risorsa/utenza

Il trasporto a distanza dell'acqua calda non è economico e pertanto è indispensabile che la risorsa si trovi vicino all'utenza. Qualsiasi trasferimento della risorsa geotermica (con queste caratteristiche termiche) è improponibile sia da un punto di vista tecnico, per le significative perdite di calore che si verificano, che da un punto di vista economico, in quanto le opere (stazioni di pompaggio e condutture) per il trasferimento del fluido hanno costi elevati di costruzione e di esercizio/manutenzione.

### 3.6. Conclusioni

#### Analisi delle risorse disponibili.

Nelle regioni Lombardia, Emilia e Veneto sono da considerare risorse geotermiche di bassissima temperatura (<30°C) suscettibili di utilizzo economico:

- 1) le acque provenienti da emergenze naturali quali sorgenti, fontanili, risorgive etc
- 2) le acque provenienti da acquiferi confinati poco profondi che risalgono, in modo artesiano o mediante pompaggio, in pozzi già perforati.

Inoltre tali acque dovranno rispondere, al punto di utilizzo, ai seguenti requisiti:

- temperatura compresa tra 12-30°C per quote inferiori ai 300m slm e compresa tra 10 e 30°C per le aree montuose;
- portata (Q) di erogazione elevata, costante nel corso dell'anno e possibilmente spontanea;
- nel caso di acque provenienti da pozzi che si alimentano in acquiferi confinati, il fluido deve possedere buone caratteristiche chimico-fisiche in modo che, dopo la sua utilizzazione, possa essere scaricato liberamente nella rete di deflusso superficiale senza che vi produca contaminazioni (acque salate e/o inquinate ecc.);
- l'area di produzione (sia essa sorgente o pozzo artesiano) deve essere adiacente all'area di utenza.

#### 4. ESEMPI DI UTILIZZAZIONI NON ELETTRICHE DELLE RISORSE GEOTERMICHE DI MEDIA E BASSA ENTALPIA IN ITALIA E IN EUROPA

Nel seguente paragrafo viene riportata una breve descrizione di alcuni progetti geotermici per scopi di riscaldamento sviluppati in Italia (limitatamente alla zona di interesse) e in alcuni stati europei. Nella fig. 4.1 è riportata una carta schematica delle principali aree geotermiche dell'Europa. Si riportano sia esempi nei quali la risorsa geotermica utilizzata supera la soglia di temperatura dei 30°C sia casi nei quali la temperatura del fluido è inferiore e pertanto richiede l'applicazione della pompa di calore. La dimensione e lo scopo di questi progetti contempla tanto le piccole utilizzazioni domestiche che quelle estese a gruppi di edifici (case e uffici), a serre e a vasche per piscicoltura. Alcuni impianti sono di tipo dimostrativo mentre la maggior parte sono di tipo commerciale.

La pompa di calore necessaria per sfruttare in modo indiretto fluidi geotermici di bassissima entalpia è attualmente diffusa nei paesi industrializzati in 4-5 milioni di unità, in differenti versioni, delle quali circa l'80% è del tipo reversibile. Tra questi Stati Uniti e Giappone sono di gran lunga i più importanti mercati per tale applicazione.

##### 4.1. La legislazione italiana in materia di geotermia

Il DPR 27/5/1991, n.395 contiene le norme di attuazione della legge 9/12/1986, n.896 che regola la disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche, mentre la Legge 9/1/1991, n.10 promuove lo sviluppo della geotermia in Italia.

L'art. 8 della L.10/91 "Norme per l'Attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia" recita: "al fine di incentivare la realizzazione di iniziative volte a ridurre il consumo specifico di energia, il miglioramento dell'efficienza energetica, l'utilizzo di fonti di energia di cui all'art.1 (.. sole, vento, energia idraulica, risorse geotermiche, maree, moto ondoso, la trasformazione dei rifiuti organici ed inorganici o di prodotti vegetali...) ... possono essere concessi contributi in conto capitale nella misura minima del 20% e nella misura massima del 40% della spesa di investimento ammissibile documentata per ciascuno dei seguenti interventi:

- a) coibentazione (...);
- b) installazione di nuovi generatori di calore ad alto rendimento (...);
- c) installazione di pompe di calore per riscaldamento ambiente o acqua sanitaria o di impianti per l'utilizzo di fonti rinnovabili di energia che consentano la copertura almeno del 30% del fabbisogno termico dell'impianto in cui è attuato l'intervento nell'ambito delle disposizioni del titolo II;
- d) installazione di apparecchiature per la produzione combianda di energia elettrica e di calore;
- e) installazione di impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica (...);
- f) installazione di sistemi di controllo integrati (...);
- g) trasformazione degli impianti centralizzati di riscaldamento in impianti unifamiliari a gas (...);
- h) installazione di sistemi di illuminazione ad alto rendimento anche nelle aree esterne".





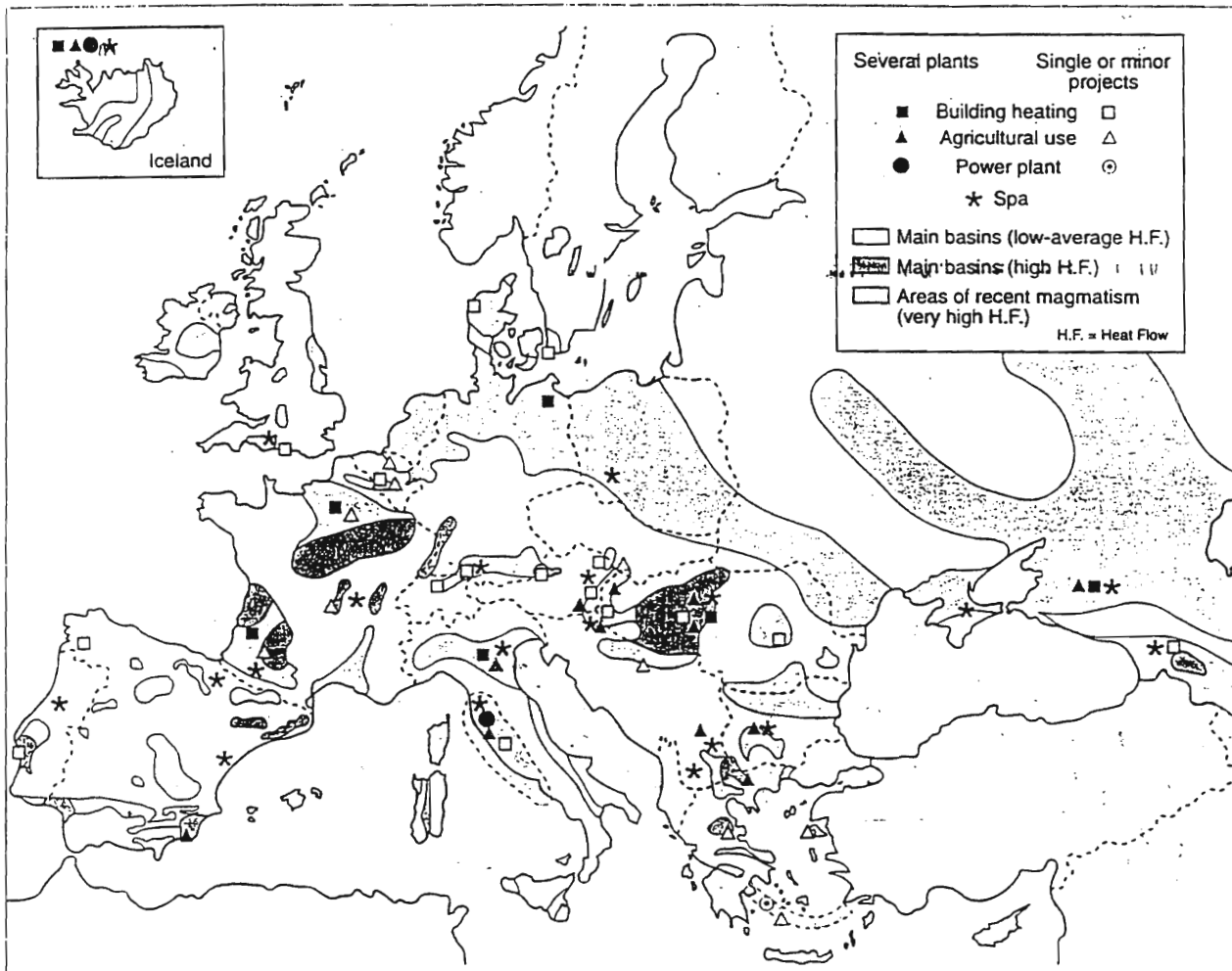


Fig.4.1 Principali aree geotermiche europee

#### 4.2. Utilizzazioni non elettriche in Italia

In Italia sono numerosi gli esempi di utilizzazione non elettrica del fluido geotermico di media e bassa entalpia. Oltre ai casi delle serre dell'Amiata e dell'acquacoltura di Orbetello in Toscana e delle serre di Borgo Pantani nel Lazio, si ricordano, in Pianura Padana, i progetti termali e di teleriscaldamento di: Abano, Metanopoli-San Donato Milanese, Rodigo, Vicenza e Ferrara, Bagno di Romagna e Miano-Corniglio. In tutti questi casi la temperatura del fluido termale disponibile è maggiore di 30°C ed inferiore ai 100°C.

- Aspetti generali di un progetto di teleriscaldamento.

Da un punto di vista generale un progetto di teleriscaldamento tipo, con utilizzo di fluidi di bassa entalpia, può essere distinto in tre parti:

1. Produzione di calore (serbatoio geotermico di bassa entalpia)
2. trasporto del fluido caldo alle utenze attraverso una rete di distribuzione (perdite energetiche di trasporto)
3. distribuzione finale all'interno di ogni singola utenza ed utilizzo della risorsa (tipologia utenza finale rapportata sull'intero ciclo di un anno).

Per ottimizzare un teleriscaldamento è necessario che le utenze siano vicine al punto di erogazione e che abbiano consumi energetici elevati (alta densità di unità abitative, cioè "High Heat Density").

Questo parametro varia da:

- >8.3 (centro città-grattacieli) condizioni molto favorevoli;
- 8.3-6 (centro città, edifici a più piani) favorevole;
- 6-2.4 (appartamenti plurifamiliari-insediamenti commerciali) possibile;
- 2.4-1.5 (insediamenti residenziali) discutibile;
- >1.5 (abitazioni unifamiliari) non favorevole.

##### Abano (Colli Euganei)

Il comprensorio termale di Abano copre un'area di circa 23 Km<sup>2</sup> e rappresenta il più grande esempio europeo di uso integrato dell'energia geotermica per differenti scopi. Abano comprende numerosi stabilimenti dove 230 pozzi attivi su oltre 400 perforati (la cui profondità media è di 300-400m.) erogano mediamente 2500 m<sup>3</sup>/h (con punte di 3600 m<sup>3</sup>/h) di acqua dolce a 65-87°C. Nella fig. 4.2 è riportata una sezione geologica schematica che mostra la posizione del serbatoio carbonatico fratturato del Cretacico Inferiore dal quale vengono estratti i fluidi geotermici

Gli usi di questi fluidi sono balneologici e medicali, e successivamente (a temperature di 40-45°C) vengono utilizzati per il riscaldamento individuale di 130 stabilimenti albergo con 9500 camere (eq. 8000 alloggi standard).

A Galzignano 3 ha di serre sono riscaldate mediante due pozzi a 65°C

L'acqua di Abano non viene riniettata e quindi esiste qualche modesto caso di subsidenza.

##### Metanopoli-San Donato Milanese

Il progetto sfrutta fluidi geotermici localizzati in due 2 acquiferi sabbiosi ubicati tra 1900-2400m di profondità che contengono acque salate metanifere. La loro temperatura è 70-81°C mentre la portata d'erogazione è di Q=50 m<sup>3</sup>/h.

Il ciclo d'applicazione mediante pompa di calore utilizza anche il metano disperso presente nel fluido.

Oltre 2000 alloggi standard di volumetria complessiva possono essere riscaldati da questo sistema.

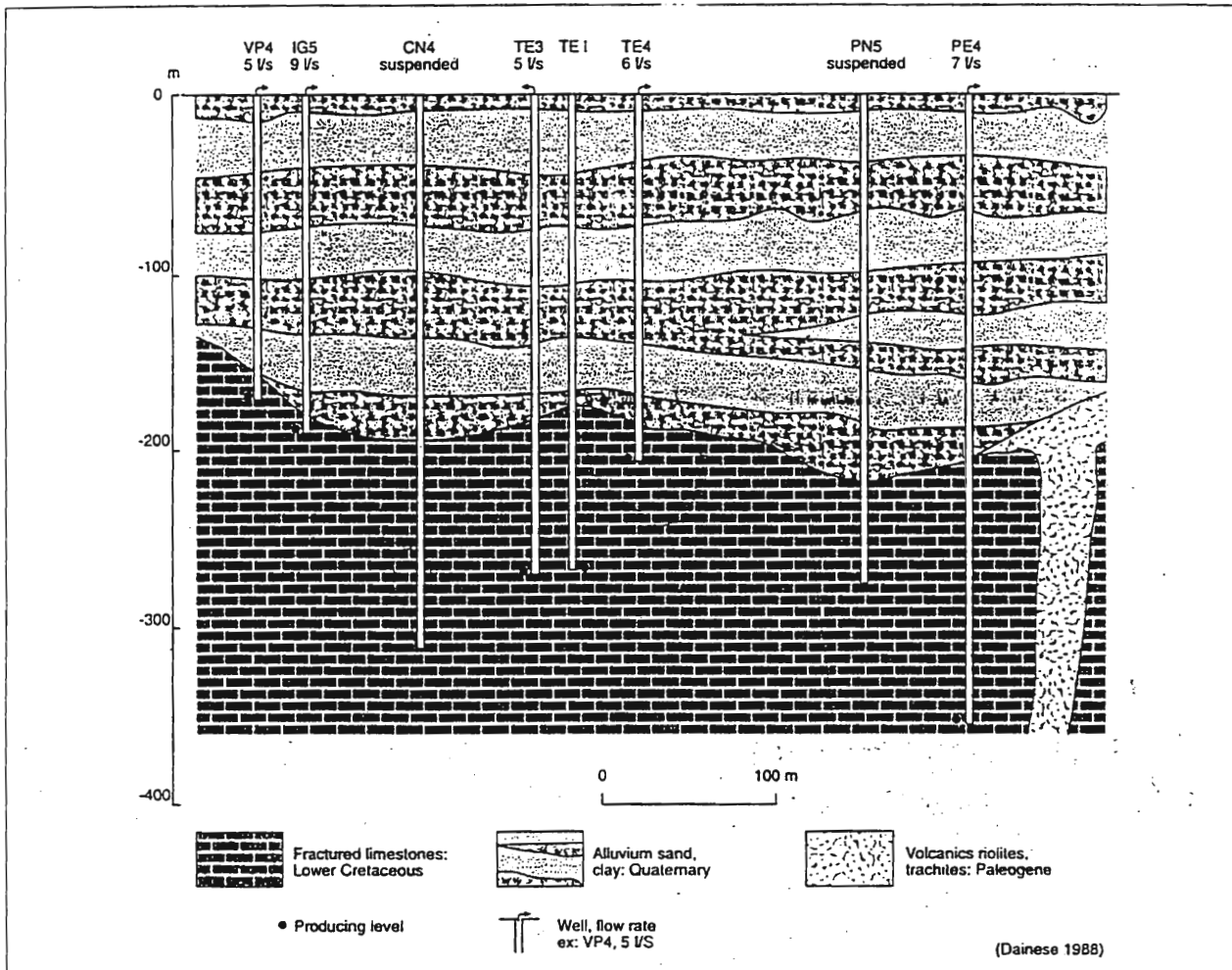


Fig.4.2 Sezione geologica schematica dell'area geotermica di Abano



I costi d'investimento sono stati in parte supportati con finanziamento CEE. L'impianto attualmente è stato chiuso a causa degli elevati costi di personale necessario per il suo funzionamento.

#### Rodigo (Mantova)

A Rodigo un pozzo per idrocarburi (Rodigo-1) ha rinvenuto a -4000m un serbatoio di acqua dolce a 63°C con portate artesiane spontanee di 80 m<sup>3</sup>/h estensibili a 250 m<sup>3</sup>/h con pompa sommersa. Non è prevista la reiniezione dell'acqua una volta utilizzata.

#### Villaverla e Vicenza (Veneto)

Il pozzo Villaverla 1, a 12km Nord di Vicenza ha attraversato da 1380 a 2590m un importante serbatoio calcareo-dolomitico di acque dolci a temperatura di 65-67°C e produzione possibile di circa 125 m<sup>3</sup>/h. L'area è interessata da un'importante linea tettonica regionale "linea di Schio". per la città di Vicenza è stato perforato un pozzo di 2150m che ha incontrato fluidi geotermici ad acqua dolce a 67°C nei calcari e dolomie giurassiche.

Dal 1990 è iniziato il teleriscaldamento mediante fluidi geotermici

Una rete di distribuzione (sola mandata), lunga 5 km, per acqua sanitaria permette un flusso di 20-65 m<sup>3</sup>/h di acqua termale mentre un circuito chiuso ad anello di circa 7 Km, articolato su un tubo di mandata ed uno di ritorno nei quali circolano fluidi a temperature tra 60 e 90°C, garantisce il teleriscaldamento di 42 edifici principali (case, scuole ed altri edifici pubblici). La temperatura finale di scarico dell'acqua termale nella rete fognaria è di 20-25°C.

Il sistema fluido geotermico pompa di calore copre la base del fabbisogno dell'utenza lasciando ad eventuali centrali termiche tradizionali la copertura delle punte. Per questo progetto la CEE ha erogato un contributo finanziario.

#### Ferrara

L'AGIP nel corso di perforazioni petrolifere ha individuato (pozzo Casaglia 1) un esteso acquifero termale ad elevata salinità (100°C) localizzato a 1300m di profondità dentro a formazioni carbonatiche mesozoiche. La perforazione del pozzo Casaglia 2 ha confermato la presenza di questo acquifero. I fluidi termali prodotti vengono immessi in una rete di teleriscaldamento collegata da collettori ai pozzi di produzione. La rete di distribuzione, lunga 25Km, serve alcuni quartieri periferici della città ed è costituita da due condotte una di mandata (90°C) ed una di ritorno (60°C).

Nella dorsale ferrarese sono presenti acquiferi carbonatici con accumuli di acqua calda.

Progetti allo studio

#### Bagno di Romagna (Forlì)

In questa località le società Aquater e Snam Progetti del Gruppo ENI hanno sviluppato un progetto di tele-riscaldamento di edifici privati e pubblici utilizzando fluidi geotermici a 45°C. Acque termali che sono eccedenti al fabbisogno degli stabilimenti di cura (circa 20 m<sup>3</sup>/h) delle locali terme di San Agnese vengono convogliate in una rete di teleriscaldamento urbano.

#### Miano-Corniglio (Parma)

Si tratta di un progetto CNR per utilizzare acque clorurato sodiche a 39°C. Nella formazione del macigno (-1000m) un pozzo perforato dalla società SPI produce acque salmastre metanifere (15-18 m<sup>3</sup>/h) a 30°C.

Tra le applicazioni geotermiche realizzate in altre regioni italiane si ricorda il progetto di riscaldamento delle serre di Borgo Pantani che, seppure poco conosciuto, costituisce, per estensione ed importanza, il secondo progetto italiano di riscaldamento di serre con fluidi geotermici, dopo l'Amiata ed il terzo del mondo.

#### Borgo Pantani (Lazio)

In questa località, non lontana da Civitavecchia, oltre 20 ha di serre sono riscaldate da acqua geotermica a circa 50°C. Un fluido a bassa salinità (3 g/l) viene estratto da un serbatoio carbonatico del Giurassico inferiore, posto a 350-500m dalla superficie. I fluidi geotermici, che scorrono nel circuito primario, cedono il calore ad un circuito secondario mediante scambiatori di calore e successivamente vengono riniettati in strato per mantenere la pressione dell'acquifero.

La portata media dei pozzi è di circa 250-350 m<sup>3</sup>/h. Il range di temperatura è compreso tra 42-52°C.

### 4.3. Utilizzazioni non elettriche in alcuni paesi europei

#### - Svizzera

Anche se priva di importanti risorse geotermiche la Svizzera può costituire un valido esempio per lo sviluppo della geotermia di bassa entalpia.

Da un punto di vista legale la risorsa geotermica è regolamentata dalle leggi cantonali relative all'acqua. Ciò semplifica notevolmente le procedure per ottenere le autorizzazioni a perforare e i successivi permessi di utilizzo.

L'inventario del potenziale geotermico del paese, integrato da valutazioni tecnico-economiche è stato preparato nel 1988. Questo studio è considerato la base di partenza per qualsiasi ulteriore indagine.

Dal 1987 l'Autorità Federale eroga inoltre un supporto statale a parziale copertura del rischio minerario di perforazione che rimborsa, in forma di donazione, una parte sostanziale dei costi del pozzo.

Dal 1990 esiste un'Associazione nazionale di esperti geotermici (circa 250 membri tra scienziati, ingegneri, manager di società di servizi, uomini politici e/o di governo) che promuove gli interessi di questa attività.

Infine un diffuso interesse del pubblico per la salvaguardia dell'ambiente favorisce l'uso della risorsa geotermica anche quando questa implica costi maggiori dei sistemi di riscaldamento tradizionali. Un esempio di questa sensibilità alla risorsa geotermica è testimoniato dal largo uso di pompe di calore alimentate da acquiferi superficiali utilizzate per riscaldare unità abitative singole private o piccoli condomini.

Oltre 4000 pompe di calore sono attualmente in uso nella Confederazione Elvetica ed il loro tasso di crescita aumenta di parecchie centinaia ogni anno.

#### - Francia

L'utilizzazione dell'energia geotermica ha visto un periodo di grande espansione negli anni '80 in virtù di particolari condizioni economiche favorevoli. Attualmente, a causa del ribasso generalizzato dei prezzi dell'energia "tradizionale", lo sviluppo della geotermia francese subisce dei rallentamenti. (M.Pivin "French low enthalpy geothermal energy assessment of 10 years of operation", Geothermics V 21, No.5/6-1992).

In questa nazione, da anni, sono state sviluppate numerose tecniche innovative per valorizzare la risorsa geotermica. Tra queste si ricorda la tecnologia "doublets" (coppia di pozzi produttore e reiniettore); l'utilizzazione di acque fredde dolci superficiali mediante pompe di calore; il pozzo ed il doublet orizzontale per acquiferi poco potenti.

Un "Comitato per la geotermia" promuove l'esplorazione e lo sfruttamento dell'energia geotermica (essenzialmente a bassa temperatura per riscaldamento domestico). Le pompe di calore elettriche (favorite dalle basse tariffe elettriche applicate) utilizzano acque dolci sotterranee anche di modesta temperatura (12-17°C) per il riscaldamento di immobili fino a 300 alloggi.

I giacimenti geotermici a bassa temperatura sono soggetti a normativa specifica che consiste in un'autorizzazione alla ricerca (3 anni) nella quale vengono determinati l'ubicazione del/i pozzo/i, il perimetro di perforazione ed un permesso di coltivazione (30 anni) con possibilità di proroghe successive (15 anni).

Lo Stato prevede un pagamento di un canone fisso (proporzionale alla superficie del titolo minerario) e di un canone di affitto del sottosuolo al proprietario del terreno.

A titolo d'esempio si riportano alcuni esempi di progetti realizzati in Francia nel campo della bassa-media entalpia.

- Teleriscaldamento della città di Meaux

La città di Meaux, 50Km a E di Parigi (popolazione di 50.000 abitanti) è il più grande esempio di città riscaldata mediante risorsa geotermica (vedere schema della rete di teleriscaldamento nella fig. 4.3).

In base a numerosi dati di sottosuolo esistenti per ricerca di idrocarburi venne eseguita un'indagine preliminare nel 1979 che confermò la presenza di un acquifero confinato nei calcari del Giurassico Medio.

Nel 1981 fu costituito il consorzio SMGM (Syndicat Mixte pour la Geotermie a Meaux) per lo sviluppo della risorsa geotermica a Meaux. Le prime perforazioni cominciarono nel 1981 e già a partire dal marzo 1982 erano disponibili fluidi geotermici che risalivano in modo artesianamente dal primo pozzo perforato. Le rimanenti perforazioni (1 pozzo verticale e 7 devianti) furono completate nell'ottobre del 1982.

Il sistema, comprendente 4 "doublets" (coppia di pozzi) e 3 reti separate fu completato nel giugno 1984.

L'acquifero sfruttato si trova ad una profondità di 1800-1900m. Il fluido prodotto da ogni singolo pozzo di ciascuna coppia (doublet) ha una temperatura di 76-78°C a testa-pozzo ed una salinità di 35 g/l. Questo, dopo l'uso, viene reiniettato nel reservoir carbonatico, a 25-35°C di temperatura, attraverso il secondo pozzo della coppia.

Delle tre reti esistenti la più estesa si trova a Beuvais dove 2 doublets producono, sotto pompaggio, oltre 600 m<sup>3</sup>/h e riscaldano oltre 8400 locali dotati in massima parte di radiatori. Le domande di picco e le eventuali emergenze sono coperte da caldaie alimentate in modo tradizionale.

Ciascun doublet è dotato di scambiatori in titanio che permettono il trasferimento del calore dal fluido geotermico all'acqua circolante nella rete di distribuzione.

Una seconda rete si trova a La Pierre Collinet, ed è alimentata da un doublet che pompa 300 m<sup>3</sup>/h di acqua geotermica. Esistono due scambiatori di calore e la rete, lunga più di 3 km, serve oltre 2900 ambienti equivalenti.

La terza rete (lunga oltre 3 km) collega l'ospedale di St.Faron ed è alimentata da un doublet che fornisce 250 m<sup>3</sup>/h (mediante pompaggio) e serve 3300 appartamenti equivalenti.

Un sistema di controllo computerizzato, che consiste di una unità centrale e di 3 stazioni periferiche, ottimizza l'uso della risorsa geotermica.

L'investimento complessivo ammonta a 46 milioni di Ecu (dei quali 3 a fondo perduto). Il risparmio è dell'ordine di 17.000 Tep/anno.

Il complesso di Meaux, durante l'esercizio ha evidenziato problemi di rottura di pompe, corrosione e parziale blocco durante la reiniezione.

Il consorzio SMGM si è recentemente aperto ai privati. L'elevato indebitamento del SMGM è dovuto principalmente agli elevati tassi di interesse praticati dalle banche. Una sua recente rinegoziazione ha migliorato sensibilmente il quadro economico.

- Teleriscaldamento e condizionamento degli uffici ESSO REP di Begles (Francia)  
A partire dal 1981 la ESSO iniziò a studiare la possibilità di riscaldare e condizionare i suoi uffici presso Bordeaux (SW della Francia) mediante fluidi geotermici. Per coprire le necessità dei palazzi furono costruiti 2 pozzi superficiali (uno "caldo" ed uno "freddo") che in alternativa funzionano come produttori o reiniettori, accoppiati ad una pompa di calore a ciclo reversibile.

I due pozzi, profondi 250m e distanti 180m, raggiungono l'acquifero confinato nei calcari dell'Eocene, potente 100m che produce, mediante pompaggio, più di 30 m<sup>3</sup>/h di acqua alla temperatura di 21°C.

Nella stagione invernale il pozzo "caldo" estrae l'acqua immagazzinata durante la precedente stagione estiva (ad una temp. di 23-26°C) e cede il calore posseduto passando nello scambiatore di calore. L'acqua viene restituita all'acquifero alla temp di 12-18°C. Due pompe di calore portano la temperatura fino a 45-50°C.

Se la temperatura ambiente è superiore a 5°C il sistema supplisce a tutte le richieste di calore; sotto questo valore il sistema viene integrato da caldaie alimentate con combustibili tradizionali (Fig. 4.4).

Durante il periodo estivo l'acqua viene pompata dal pozzo "freddo" a 14-19°C, e, dopo essere passata attraverso lo scambiatore di calore, viene reiniettata nel pozzo "caldo" ad una temperatura variabile fra 25-30°C. L'acqua fredda prodotta dalla pompa di calore alla temperatura di 7-9°C copre tutte le esigenze di condizionamento degli edifici.

Gli edifici serviti da questo sistema geotermico coprono una superficie complessiva di 9.100 m<sup>2</sup>. La potenza termica è 720 kW mentre la massima capacità di condizionamento è di 320 kW. Il sistema di Begles opera a pieno regime dalla metà del 1986.

I costi d'esercizio sono attualmente favorevoli anche per il basso prezzo dell'energia elettrica in Francia. Il successo dell'operazione è stato garantito anche dall'esperienza maturata dalla ESSO nella valorizzazione delle risorse sotterranee e nell'utilizzazione di sistemi di riscaldamento alternativi

#### Germania

A seguito di uno sforzo intensivo e sistematico finalizzato all'utilizzazione di energie non inquinanti per il riscaldamento delle città, la ex DDR aveva eseguito una valutazione delle risorse geotermiche a livello regionale già a partire dagli anni 70.

Una compagnia di servizi del Ministero della geologia (anche responsabile della ricerca dell'olio e del gas) era stata incaricata di sviluppare tutti gli aspetti della ricerca geotermica.



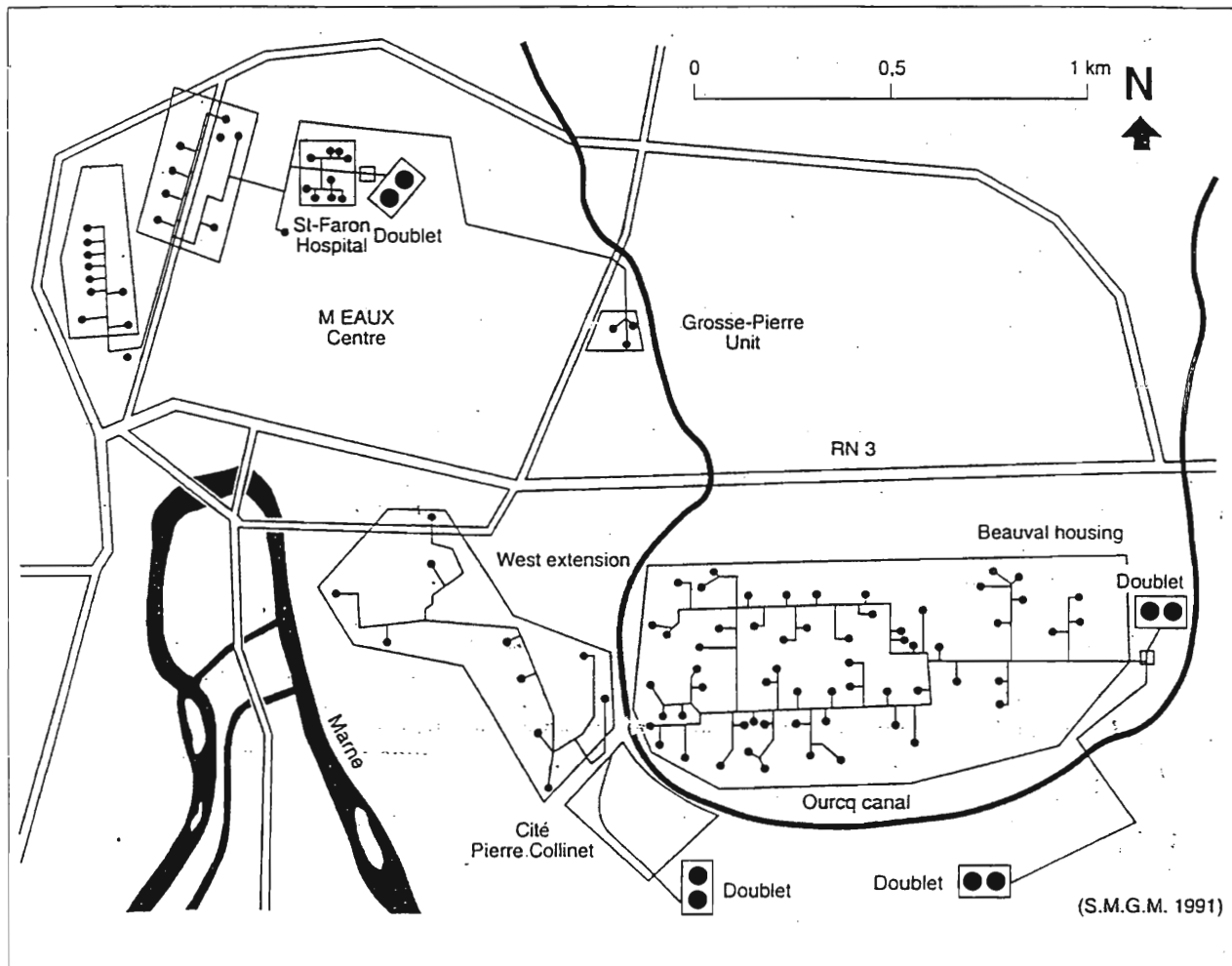


Fig.4.3 Schema della rete di teleriscaldamento della città di Meaux (Francia)

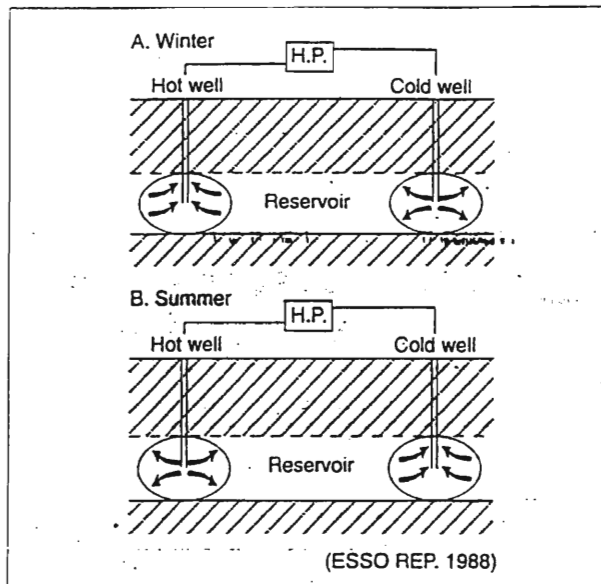


Fig.4.4 Schema operativo (ciclo estate-inverno) del circuito di Begles. (Per i riferimenti si rimanda al testo)

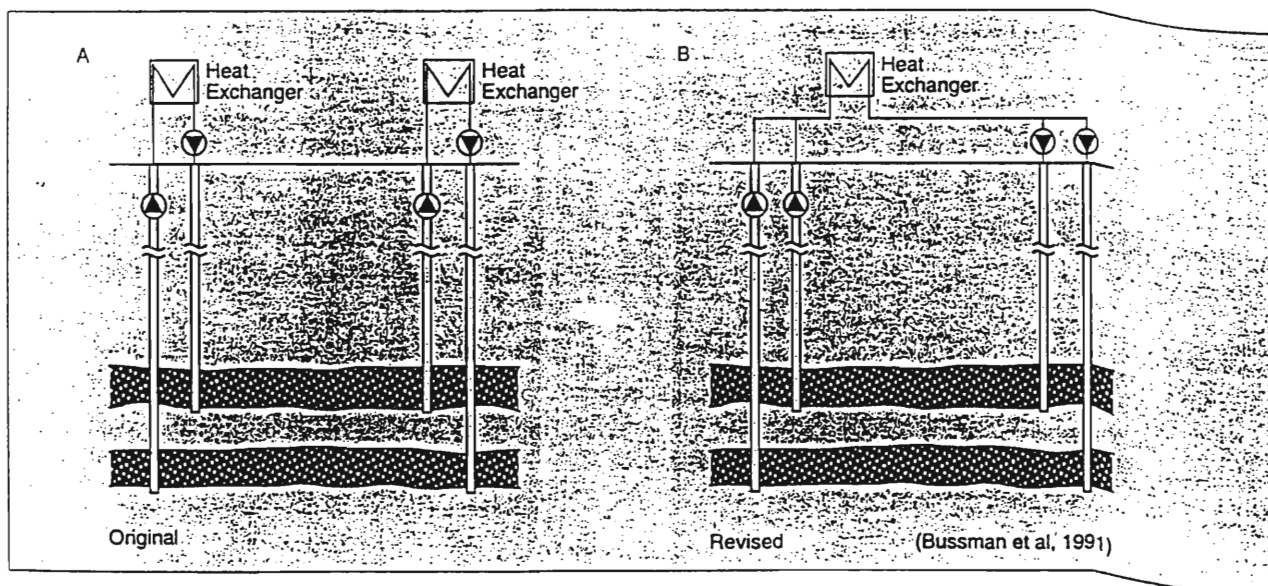


Fig.4.5 Schema operativo del circuito di Neubrandenburg. (Per i riferimenti si rimanda al testo)

Nel 1984 una prima centrale pilota fu completata e posta in marcia a Waren. Nel 1988 due altre centrali sono state completate a Neubrandenburg e a Prenzlau.

Complessivamente nel 1990, 29 pozzi, di cui 28 produttivi, erano stati perforati in 13 località differenti. Sei di queste sono favorevoli per l'installazione di sistemi di teleriscaldamento.

I piani di sviluppo previsti dal precedente regime erano di 110 MW nel 1995 e di 250 MW entro la fine del secolo. Con la riunificazione della Germania è stata proposta una riorganizzazione generale, alla luce di avvenuti cambi economici e tecnologici. Pertanto le centrali di Neubrandenburg e Prenzlau sono state dotate di nuovi macchinari più efficienti (scambiatori al titanio e pompe potenti) non disponibili nella vecchia DDR.

Il sistema di Neubrandenburg è localizzato in una città di 70.000 abitanti posta a 120 km a Nord di Berlino. Comprende due coppie di pozzi adiacenti posti a circa 1300m di distanza e profondi rispettivamente 1185 e 1580m.

I pozzi raggiungono due acquiferi confinati nelle sabbie (porosità del 27-28%) del Giurassico Inferiore e del Trias Superiore e producono oltre 100 m<sup>3</sup>/h con una salinità di 120-130 g/l.

Una coppia di pozzi produttori preleva il fluido mentre l'altra coppia funziona come reiniettore (fig. 4.5). Le domande di picco e le eventuali emergenze sono garantite invece da caldaie tradizionali.

Gli edifici serviti dal teleriscaldamento includono un liceo e circa 600 appartamenti, dotati di convettori a bassa temperatura.

La rete di teleriscaldamento funziona con una temperatura di mandata di 65 °C e una di ritorno a 35°C.

Il sistema ha una capacità installata di 10 MW, corrispondenti a 38.000 MW/anno. Attualmente la capacità usata arriva a 7.4 MW per circa 11.000 MW/anno.

Anche se sono stati incontrati alcuni problemi nel corso dell'esercizio (soprattutto corrosione ed attività di batteri) il sistema sta operando in modo soddisfacente.

- Svezia

Tra i paesi scandinavi la Svezia ha impostato il riscaldamento della città di Lund (35.000 tep) con acque a 25°C attinte a 600-700m di profondità e pompe di calore da 20 MWt.

- Islanda

In Islanda l'azienda municipale di Reykjavik serve 16000 alloggi e 126.000 abitanti (98% della popolazione, dati 1978) con la geotermia.

Altri paesi che utilizzano risorse geotermiche di bassa entalpia sono Giappone, Nuova Zelanda (Rotorua), Romania, Ungheria, Russia, USA, Filippine.

Dati e figure contenuti in questo paragrafo sono stati ripresi dalla pubblicazione "The several uses of low temperature geothermal energy for heating" Programma THERMIERES della CEE, (Direttorato Generale XVII per l'Energia), eseguito dalla FAST-OPET (Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche-The Organisations for the Promotion of Energy Technologies), 1992.

## 5. INQUADRAMENTO GEOTERMICO DELLE TRE REGIONI

### 5.1. Premessa

In questo capitolo viene presentato un inquadramento schematico della geologia ed idrogeologia delle tre regioni in esame.

La Pianura Padana è stata trattata "a corpo" senza distinguere le porzioni di pianura di pertinenza di ciascuna regione. Per realizzare questo inquadramento sono stati utilizzati i dati del rapporto "Valutazione delle Risorse Geotermiche a Bassa Entalpia" del CNR, Progetto Finalizzato Energetica, 1989.

La descrizione delle aree montane invece, dove sono presenti manifestazioni termali, è stata distinta regione per regione ed è stata realizzata mediante l'analisi dei fogli geologici scala 1:100.000 (e relative note illustrative) integrata da altre pubblicazioni scientifiche.

### 5.2. La Pianura Padana

#### 5.2.1. Elementi generali

La Pianura Padana nella parte lombardo-emiliana è un ampio bacino sedimentario fortemente subsidente di età Terziaria nel quale si distinguono due domini principali. Nella parte settentrionale la struttura è caratterizzata da una grande monoclinale che declina dolcemente verso sud e sulla quale scorre il fronte delle pieghe appenniniche; la parte meridionale è caratterizzata da complessi sistemi di pieghe sepolte a vergenza settentrionale di origine appenninica.

Verso NE la Pianura Padana sfuma in quella veneto-friulana estesa ad est dei Colli Berici ed Euganei e caratterizzata da una monoclinale ad immersione verso sud che si estende nel Mare Adriatico (Monoclinale Adriatica). In questa zona la subsidenza è stata molto inferiore e la serie sedimentaria terziaria di copertura si presenta quindi molto più sottile e/o ridotta.

La Valle Padana è un bacino sedimentario di avanfossa, "freddo", a differenza di quelli di retroarco relativamente più caldi (bacino parigino e aquitaniano in Francia, il graben del Reno, il bacino Pannonico ungherese e la provincia tosco-laziale-campana). Questo fatto è evidente se si confronta il gradiente geotermico della Valle Padana (15-30°C/km) con quello medio terrestre (33°C/km) e con quelli del Bacino di Parigi (30-36°C/km) ed dell'Ungheria (45-70°C/km).

#### 5.2.2. La geometria del substrato della Pianura Padana

La Valle Padana è caratterizzata da una serie stratigrafica composta essenzialmente da terreni clastici quaternari e terziari di spessore generalmente notevole (fino a 10.000m), terreni alloctoni (al piede dell'Appennino) serie calcareo-dolomitiche mesozoiche che si riconoscono solamente nella parte orientale e settentrionale della pianura (area di Verona-Euganei e dorsale di Ferrara ed ai piedi delle Prealpi). Queste formazioni dovrebbero ricoprire un basamento metamorfico che però non è mai stato raggiunto in sondaggio.

La localizzazione delle aree carbonatiche di ricarica (arretrate, rispetto al limite della pianura lungo il margine pre-alpino) e l'andamento strutturale generale, a zone di faglia ed anticlinali a vergenza meridionale, implicano un deflusso sotterraneo profondo delle

acque prealpine abbastanza prolungato lungo gli orizzonti carbonatici rinvenibili sotto alle alluvioni padane a sempre maggiore profondità.

La presenza di faglie e di anticlinali rovesciate sepolte nella valle Padana fungono da ostacoli a tale deflusso verso sud e da sacche di possibile accumulo di acque termali. Queste acque riscaldate (con temperature dell'ordine di 50°C rilevabili tra 1500 e 2000m) grazie al fatto che durante la loro circolazione profonda intercettano gradienti geotermici relativamente elevati possono risalire verso la superficie lungo faglie, in particolari condizioni strutturali.

La massima concentrazione di manifestazioni termali si osserva nella fascia pedemontana dove la copertura semipermeabile o impermeabile alluvionale è ancora di spessore relativamente ridotto.

Anche se il gradiente geotermico della pianura padana è inferiore a quello medio terrestre, ed è compreso tra 1.5 e 2.5°C/100m, si distinguono però alcune zone anomale caratterizzate da un gradiente più elevato. Di sicuro interesse risulta l'area del Garda meridionale dove si riconosce l'allineamento di punti caldi di Caldiero e Domegliara in Veneto, Sirmione e Desenzano. Motivi strutturali profondi di direzione Est-Ovest sembrano controllare tale allineamento.

Nella Lombardia centrale sono state identificate altre aree suscettibili di possibile interesse. Queste sono: l'anticlinale dell'Adda; l'anticlinale rovesciata di Bergamo con una copertura semipermeabile di 400-500m; le strutture di Trescore Balneario; le anticlinali carbonatiche sepolte a Sud di Desso tra -2000 e -3000m e simili strutture a Nord di Borgosatollo poste a 1000m di profondità.

Nella zona di San Colombano al Lambro è stata identificata una culminazione assiale coincidente con l'anticlinale omonima appartenente all'arco delle pieghe emiliane che da Tortona si estende, con direzione SO-NE nella pianura e si collega alla linea del Sillaro (30km ad Est di Bologna).

In Emilia Romagna sono presenti numerosi assi anticlinali sepolti legati alla tettonica a pieghe e sovrascorrimenti dell'arco ferrarese-romagnolo. Nella dorsale di Ferrara questo sistema di pieghe diventa molto superficiale ed il substrato calcareo si trova, localmente, a profondità modeste (alcune centinaia di metri). Spostandosi verso SE si riconoscono altri assi anticlinali più profondi, associati all'arco delle pieghe adriatiche.

La parte nord-orientale della pianura poggia sulla grande monoclinale pedealpina. Questa è localmente interrotta da strutture positive quali il sistema di anticlinali di Conegliano-Bordolano e l'anticlinale di Piadena.

La monoclinale adriatica è invece praticamente piatta ed indisturbata; sono state osservate solo deboli ondulazioni poco pronunciate nella zona di San Donà di Piave)

### 5.2.3. Acquiferi principali della Pianura Padana

Nella valle Padana si possono distinguere 3 tipi di acquiferi principali:

#### 5.2.3.1. Sistema degli acquiferi profondi della Pianura Padana

E' localizzato nelle formazioni carbonatiche (calcaree e dolomitiche), in parte carsificate. Queste formazioni sono caratterizzate da buona permeabilità per fratturazione ed ospitano acquiferi salati di buona temperatura concentrati in corrispondenza degli alti strutturali. Ai

pie di Prealpi tali acquiferi possono essere localmente raffreddati dalle acque fredde dolci di provenienza meteorica di ricarica alpina rapida ed abbondante.

In genere questi acquiferi carbonatici, ad elevato potenziale geotermico, non vengono sfruttati a causa dell'eccessiva profondità a cui si trova il tetto della formazione permeabile. Un'eccezione è costituita dall'area termale dei Colli Euganei dove i carbonati risalgono a profondità inferiori ai 1000m.

#### 5.2.3.2. Sistema degli acquiferi clastici in terreni Terziari marini della Pianura Padana

Le sabbie-ghiaie di età Terziaria possono contenere ingenti riserve d'acqua fossile a forte contenuto salino (salse) e di limitata temperatura.

#### 5.2.3.3. Sistema degli acquiferi clastici nelle formazioni Quaternarie continentali della Pianura Padana

Si estendono nell'intera pianura, ricoprono le sottostanti formazioni terziarie e costituiscono un sistema acquifero multifalda di spessore variabile compreso tra poche decine di metri e 500m. La serie continentale è sede delle più importanti, ricche ed estese falde acquifere di tutta la pianura padana, intensamente sfruttate a fini idropotabile-industriale. Esse comprendono acquiferi freatici prevalentemente sviluppati nella fascia pedemontana delle conoidi e numerosi acquiferi confinati nella pianura s.s.. Le acque contenute nei livelli permeabili di queste formazioni sono in genere dolci, di origine superficiale e con temperature mediamente basse.

Le caratteristiche chimiche dei fluidi indicano, in alcuni casi, possibili miscelamenti tra acque prealpine ed acque fossili saline di pianura. Tali miscelamenti sembrano più probabili in aree di transizione come il bresciano orientale ed il Garda e più difficili nelle aree centrali della pianura.

Gli acquiferi del Quaternario continentale sono stati l'obiettivo del nostro studio. Questi acquiferi sono infatti quelli che meglio rispondono ai requisiti descritti nel capitolo 3 "parametri" e cioè profondità limitata della risorsa, buone qualità chimiche, temperature non superiori ai 30°C, elevati valori di portata, notevole diffusione areale.

Nell'intervallo di profondità tra il piano campagna e 300m sono presenti uno o più livelli di sabbie e/o ghiaie acquifere (con spessore complessivo stimabile in 30-50m) che possono generare 30 l/s o più per pozzo, con abbassamento piezometrico associato molto modesto. La ricarica di questi acquiferi è stagionale, la temperatura di norma non supera i 20°C e l'utilizzo primario è potabile o agricolo.

### 5.3. Principali manifestazioni termali presenti nelle tre regioni

In questo capitolo vengono riportate le descrizioni idrogeologiche relative alle aree di ciascuna regione dove si osservano le manifestazioni termali e termominerali più significative.

Nel tentativo di presentare un quadro organico del panorama delle risorse di bassa entalpia presente nelle tre regioni in esame vengono riportate e descritte anche quelle aree caratterizzate da manifestazioni le cui temperature superano i 30°C.

### 5.3.1. Regione Lombardia

In Lombardia le sorgenti più importanti sono concentrate in località Valdidentro presso Bormio. In aggiunta a queste, nelle Alpi lombarde, si riconoscono altre sorgenti importanti quali S.Caterina Valfurva, le sorgenti Levissima di S.Maria nel comune di Val di Sotto; le sorgenti S.Michele in Val Viera di Livigno e quelle di Val Masino.

#### - Sorgenti di Bagni di Bormio

9 sorgenti emergono nella Gola d'Adda. Possono essere divise in 2 gruppi. Quello inferiore (tra 1280-1340m) comprende le sorgenti di Cinlaccia, Nibelunghi, Ostrogoti e Pliniana. Il gruppo superiore (S.Martino, Arciduchessa, Zampillo dei Bambini, Cassiodora, San Carlo) si trova alle quote 1370-1421m.

Le sorgenti sono in vicinanza di una dislocazione tettonica regionale (Frattura dello Zebrù) che segna il contatto tra le rocce cristalline e le sovrastanti rocce sedimentarie. L'emergenza è resa possibile da un sistema di diaclasi e faglie vicarianti che frantumano la roccia a breccia. Questi sistemi beanti vengono utilizzati per la rapida risalita di fluidi profondi. Nel greto dell'Adda (località Gole d'Adda) nei periodi di magra si notano risalite d'acqua a temperatura maggiore di quella superficiale.

Le acque termominerali sono immagazzinate in un complesso calcareo-dolomitico (dolomia del Cristallo del Norico) in contatto tettonico con dolomie e calcari dolomitici (dolomia Valle Lunga del Carnico) e con depositi arenaceo-conglomeratico del Trias inf. e del Verrucano. Queste rocce sono in contatto tettonico con formazioni impermeabili (basamento cristallino) costituite da micascisti, filladi dislocate dalla frattura dello Zebrù (piano immerso verso N con 60° di pendenza).

Le sorgenti di Bormio sono mesotermali (Desio, 1959) con notevole concentrazione di solfati e bicarbonati, notevole radioattività. Le temperature oscillano sui 40°C ad esclusione della fonte San Carlo (19°C).

La loro origine è spiegata ammettendo che acque di fusione di ghiacciai (massiccio del Braulio) penetrino in profondità nel basamento cristallino e risalgono lungo la dislocazione dello Zebrù. Il termalismo è spiegato dal gradiente geotermico e si tratta, secondo Desio 1959, di sorgenti vadose e geotermali.

La profondità minima di circolazione dell'acqua è calcolata in 1000-1100m dove passano le isoterme 44-53°C.

La rapida risalita di queste acque alla superficie, favorita dalla pressione piezometrica e dal contenuto in gas discolti, impedisce la diminuzione della temperatura.

Secondo la classificazione di Marotta e Sica le acque di Bormio possono essere definite minerali, termali, solfato-bicarbonato-alcalino terrose, radioattive.

I dati salienti per ciascuna sorgente di Bormio sono i seguenti:

- San Martino, Valdidentro (So) T=43°C, Q= 6.0 l/s
- Cassiodora, Valdidentro (So) T=43 Q=?
- Arciduchessa, Valdidentro (So) T=43 Q=?
- Cinlaccia, Valdidentro (SO) T=42 Q=18
- Pliniana, Valdidentro (SO) T=38.1 Q=?
- San Carlo, Valdidentro (So) T=20.0 Q=0.1
- Zampillo Bambini, Valdidentro (So) T=38.1 Q=0.8
- Ostrogoti, Valdidentro (So) T=35.1 Q=0.1
- Nibelunghi, Valdidentro (So) T=26.1 Q=0.2

- Sorgente di S. Caterina Valfurva.

E' posta a 1750m slm. Sgorga da depositi limoso-sabbiosi con torba da un piccolo lago morenico. Il substrato è parametamorfico (filladi quarzifere, micascisti e filoni con locali alternanze di marmi verdini).

La sorgente viene captata da un tubo infisso alla profondità di 2m nel letto di questo paleolago. Il chimismo di queste acque fredde è bicarbonato-ferruginosa. La portata è in lenta ma costante diminuzione con associate perdite laterali e di fondo nel torrente Fodolfo.

- Sorgente di S. Maria (Levissima) di Valdisotto.

E' ubicata in località Valle del Prete, frazione Zola, comune di Valdisotto; sulla destra orografica della Valtellina.

La sorgente è al contatto tra massa granodioritica di S. Antonio Morignone e i parascisti del Cristallino dell'Ortles. I depositi superficiali (morene e depositi di falda) ricoprono buona parte del versante. Tutta la zona è molto fratturata. L'acqua è bicarbonato alcalino-terrosa con temperatura di 5°C (acqua oligominerale fredda).

- Sorgente San Michele in Val Viera di Livigno.

La Val Viera è una valle sinistra della valle di Livigno. La sorgente è di contatto e l'acqua sulfurea sgorga a 1919m slm presso la confluenza Val Viera-Valle Rossa. L'acqua fuoriesce da calcari fessurati e piegati del Lias inf. (Form. Monte Motto) posti a franapoggio sul versante destro della Val Viera. L'emergenza è favorita da un contatto tettonico con culminazione del basamento cristallino.

Si tratta di sorgente medio-minerale, bicarbonato-solfato-alcalino terrosa, sulfurea. La temperatura media è 4°C. La portata media della sorgente è 1.5l/S con variazioni notevoli.

- Sorgenti di Bagni di Val Masino.

In Val Masino si trova una sorgente d'acqua termale che sgorga da fratture nelle migmatiti. Di questa manifestazione termale, studiata recentemente, vengono riportati i dati salienti. La risorsa è usata solamente durante l'estate da uno stabilimento termale. La sorgente è captata da una piccola escavazione e si accumula in un serbatoio di 60m<sup>3</sup>. E' la sola acqua che fuoriesce dal Massiccio granitico di età alpina del Bergell ed è l'unica, con Craveggia, ad essere situata nel mezzo di rocce cristalline senza alcun contatto con terreni sedimentari. Il massiccio di Bergell è un corpo granitico posto a N della Linea Insubrica.

La sorgente termale sgorga da fessure in un affioramento di migmatiti di 1200m di lunghezza e di 350m di larghezza media. Vicino a queste migmatiti ci sono placche moreniche e dioriti quarzifere e granodioriti porfiriche.

4 sono i punti di emergenza noti. La sorgente principale possiede anche la temperatura e la portata maggiore. Si tratta di acqua solfato sodica e tali ioni rappresentano il 76% della mineralizzazione totale. La temperatura è di 38°C. Il rapporto Na>>CA/SO<sub>4</sub>, nella sorgente principale non cambia nel corso delle stagioni e suggerisce una provenienza profonda.

La Silice è un elemento importante e costituisce il 13% del TSD e varia da 450-540 mg/l.

Gli isotopi dell'ossigeno 18 e del deuterio mostrano un'influenza mediterranea (il massiccio di Bergell è al S delle Alpi). L'altezza media ottenuta indica 1500m che però non può essere considerata accettabile. Considerando le due analisi di trizio deriva che il tempo di transito sotterraneo dell'acqua termale sarebbe maggiore di 25 anni.

L'unico valore di portata disponibile indica 48 l/min.. Considerando anche le due sorgenti secondarie, attualmente captate, la portata totale arriva a 50 l/m. Il serbatoio di 60m<sup>3</sup> si riempie in una ventina di ore.



- Sorgente di San Pellegrino Terme.

In località San Pellegrino Terme (in provincia di Bergamo) esiste una sorgente captata per l'imbottigliamento di acque minerali la cui temperatura d'emergenza è compresa tra i 24-26.1°C. Non sono noti dati di portata.

- Sorgente sulfurea termale Boiola di Sirmione (Bs).

Sgorga a 18m di profondità dal lago, a circa 300m a E del promontorio a Scaglia rossa delle Grotte di Catullo. L'acqua termale a 70°C scende a 50°C ed è sfruttata dallo Stabilimento delle Terme. La sorgente sgorga dal morenico del fondo del lago e grossi erratici di porfido atesino sono presenti vicino.

Altre sorgenti poco note e non sfruttate sono allineate a E e ad O del promontorio lungo una linea da SO a NE (faglia con abbassamento a E ed innalzamento a O della Scaglia).

- Fonte Vittoria di Miradolo Terme (Pv).

Si tratta di 5 pozzi che captano acque artesiane localizzate a 20-25m di profondità attraverso terreni arenacei del Calabriano. La portata è  $Q=0.018-0.9$  l/s, la temperatura misurata è 20°C, il chimismo dell'acqua è del tipo salso-bromo-iodiche.

Un altro inventario preparato da A.Silvano dell'AGIP nel 1978, relativo alle manifestazioni idrotermali e vulcaniche d'Italia riporta, per la Lombardia, oltre alle manifestazioni già citate, altre località dove sono stati campionati fluidi termicamente anomali con temperatura normalmente inferiore ai 20°C.

### 5.3.2. Regione Veneto

La regione Veneto è ricca di numerose manifestazioni termali. Le più importanti si concentrano nel comprensorio termale di Abano dove fluidi ipertermali, caratterizzati da grandi portate, fuoriescono in un'area di circa 23km<sup>2</sup> posta ai piedi orientali dei rilievi vulcanici dei Colli Euganei.

Oltre 230 pozzi su 400 perforati sono attualmente produttivi. La portata media complessiva si aggira sui 2500 m<sup>3</sup>/h con punte di 3600 m<sup>3</sup>/h; Il range di temperatura è compreso tra 65 e 87°C mentre il grado di salinità varia da 2.5 a 6 grammi/litro. I pozzi, la cui profondità media è di 300-400m con valori massimi di 700m, captano il fluido geotermico dai calcari fratturati del Cretacico inferiore. Questi sono ricoperti da terreni aluvionali di età quaternaria e sono localmente attraversati da intrusioni vulcaniche a chimismo acido di età Paleogene.

Si riporta l'elenco dei principali pozzi/sorgenti presenti nel comprensorio termale

- Fattorelle, Cinto Euganeo (Pd), T=21.2 Q=?
- Bagno Nord, Cinto Euganeo (Pd), T=34.6 Q=?
- Bagno Sud, Cinto Euganeo (Pd), T=30.3 Q=?
- Val Calaona, Baone (Pd), T=36.0 Q=?
- La Cava, Monselice (Pd), T=32.2 Q=?
- San Bartolomeo, Galzignano (Pd), T=49.0 Q=?
- Pozzo Civrana 2 (352m), Galzignano (Pd), T=67.0 Q=?
- Fonte Le Bibite, Battaglia Terme (Pd), T=48.9 Q=?
- Pozzo (150m)terme INPS B2,Battaglia Terme (Pd),T=72.0 Q=?
- La Grotta, Battaglia Terme (Pd), T=60.0 Q=?
- Casa Trieste, Arquà Petrarca (Pd), T=28.3 Q=?

- Lago di Arquà, Arquà Petrarca (Pd), T=42.1 Q=?
- Pozzo Menegolli 11(405m), Abano (Pd), T=86.0 Q=?
- Pozzo SOJ 5 (372m), Abano (Pd), T=82.0 Q=?
- Pozzo Vena d'oro 10(425m), Abano (Pd), T=73.5 Q=?
- Pozzo Giaccon 11(248m), Abano (Pd), T=77.0 Q=?
- Pozzo Terme 1(270m), Abano (Pd), T=85.2 Q=?
- Pozzo Monteortone 1(246m), Abano (Pd), T=70.0 Q=?
- Pozzo Bonato 1(269m), Abano (Pd), T=74.5 Q=?
- Pozzo Strada Marzia 8(410m), Abano (Pd), T=70.0 Q=?
- Pozzo Ottaviana 3(333m), Abano (Pd), T=73.0 Q=?
- Pozzo Bertha 2(300m), Montegrotto T (Pd), T=80.0 Q=?
- Pozzo Braggion 1(280m), Montegrotto T (Pd), T=75.0 Q=?
- Pozzo Mioni 2(325m), Montegrotto T (Pd), T=80.0 Q=?

- In località Caldiero è presente la fonte termale nota come Terme di Giunone, che presenta temperature di T=26.9 e portate non note. Queste acque risalgono lungo il contatto tra i calcari di Colognola e le masse basaltiche di Caldiero. Oltre alla sorgente nell'area esiste anche un pozzo profondo 100m, asservito alle terme con portata di 5.0 l/s e Temperatura di 26.4°C

Altri punti di emergenza d'acqua termale presenti nella regione Veneto sono:

- Pozzo Lendinara (60m), S.Martino B. (Vr) T=28.6 Q=3.0
- Pozzo Ponte Mossano, Mossano (Vi) T=25.8 Q=?
- Pozzo Monticello 1 (412m), Mossano (Vi) T=34.5 Q=?
- Sorgente Franceschetto, Barabano V (Vi) T=25.2 Q=?
- Sorgente Bagno Barabano, Barabano V (Vi) T=28.5 Q=?
- Pozzo Bettini (54m), Barabano V (Vi) T=30.6 Q=?
- Sorgente Bogoni, Barabano V (Vi) T=26.5 Q=?
- Sorgente Monticello est, Barabano V (Vi) T=24.6 Q=?
- Pozzo Ponte Barabano (194m), Barabano V (Vi) T=28.5 Q=?
- Sorgente Bagno di Villaga, Villaga (Vi) T=28.8 Q=?
- Sorgente La Boia, 049017, Albettono (Vi) T=24.1 Q=?
- Pozzo 1 (421m), San Michele al T. (Ve), T=48.8 Q=1.2
- Pozzo 2 (422m), San Michele al T. (Ve), T=43.2 Q=1.8
- Pozzo 3 (413m), San Michele al T. (Ve), T=27.4 Q=1.1

L'inventario preparato da A.Silvano dell'AGIP nel 1978, relativo alle manifestazioni idrotermali e vulcaniche d'Italia riporta, per il Veneto, oltre alle manifestazioni già citate, altre località dove sono stati campionati fluidi termicamente anomali con temperatura normalmente inferiore ai 20°C.

### 5.3.3. Regione Emilia Romagna

Molto scarsi sono i dati relativi a manifestazioni termali presenti in questa regione. Le uniche manifestazioni si concentrano in località Porretta Terme, sull'Appennino bolognese e a Bagno di Romagna in provincia di Forlì.

- Le manifestazioni di Porretta Terme

Il gruppo di sorgenti di Porretta Terme (Puzzola, 24°C; Porretta nuova e vecchia, 36.5°C; galleria Madonna, 17°C; Leone, 29.5°C; Bovi, 35°C; Donzelle, 37°C; Marte, 38°C) sgorga da terreni della formazione Marnoso Arenacea. La termalità di queste acque sulfuree è messa in relazione con il gradiente geotermico. Associato a queste si osservano venute a giorno di idrocarburi gassosi.

- A Corniglio (Pr) un pozzo per idrocarburi (Miano) ha incontrato fluidi geotermici profondi che misurano 39,8°C di temperatura nella formazione del macigno.

- Le manifestazioni di Bagno di Romagna

La sorgente ipertermale San Agnese scaturisce dalla formazione marnoso-arenacea romagnola. Nell'area circostante la sorgente termale l'elemento strutturale dominante è rappresentato dalla depressione di direzione appenninica colmata dai terreni alloctoni, nota come sinclinale di San Piero.

La temperatura della sorgente è 44°C e Qmedia di 8.5 l/s. La composizione chimica è bicarbonato-alcaina con residuo secco di 1115 ppm. La termalità è dovuta a risalita lungo frattura di acqua termale fossile, non collegata con le precipitazioni meteoriche attuali. La sorgente è utilizzata per scopi termali terapeutici e balneazione, principalmente nel periodo estivo.

I dati sintetici delle sorgenti di questa località sono

- San Agnese, Bagno di Romagna (Fo), T=43.0 Q=8.5
- Garzia, Bagno di Romagna (Fo), T=40.0 Q=?
- Chiesa S.Maria, Bagno di Romagna (Fo), T=26.0 Q=?

L'inventario preparato da A.Silvano dell'AGIP nel 1978, relativo alle manifestazioni idrotermali e vulcaniche d'Italia riporta, per l'Emilia Romagna, oltre alle manifestazioni già citate, altre località dove sono stati campionati fluidi termicamente anomali con temperatura normalmente inferiore ai 20°C.

