

**RECUPERO ENERGETICO
DA ACQUE di FALDA
in COMUNE di MILANO**

**aspetti tecnici, ambientali,
economici, giuridici**

Studio di fattibilità

Studio realizzato con il contributo di :

**Amministrazione Comunale di Milano
Fondazione Lombardia per l'Ambiente**

Luglio - Dicembre 1999

**RECUPERO ENERGETICO
DA ACQUE di FALDA
in COMUNE di MILANO**

**aspetti tecnici, ambientali,
economici, giuridici**

Studio di fattibilità

Autori:

prof. ing. Lorenzo Cassitto

dott. Giovanni Bartesaghi

avv. Massimiliano Montini

Studio realizzato con il contributo di :

Amministrazione Comunale di Milano
e
Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Luglio - Dicembre 1999

Fondazione Lombardia per l'Ambiente

Foro Buonaparte 12, 20121 Milano
Tel. 02 - 809169; fax 02 - 72002398
Cod. Fisc. 08365380156

<http://www.flanet.org> e-mail: flanet@flanet.org

da gennaio: Piazza Diaz 7 - 20123 Milano
tel. 02 - 8061611; fax 02 - 86616180

INDICE

Sezione 1. Introduzione e Stato di fatto

Sezione 2. Obiettivi dello Studio

Sezione 3. Gruppo di lavoro

Sezione 4. Fasi dello Studio

Sezione 5. **FASE A : Ambientale, idrogeologica, urbanistica**

5.1 Pozzi di prima falda utilizzabili anche a scopo energetico

5.2 Ubicazione pozzi e planimetrie

5.3 Caratteristiche urbanistiche nell'intorno dei pozzi

5.4 Struttura idrogeologica e dimensionamento dei pozzi

5.5 Portate

5.6 Prelievi

5.7 Temperatura delle acque di falda superficiale

5.8 Impatti ambientali sui corpi recettori finali: aspetti generali e specifici.

Appendice: Tabelle 1-2: elenco pozzi, portate, recettori finali

Figura 1: schema tipo pozzo 'Gruppo Vettabbia'

Figure 2...6: temperature delle acque di prima falda

Bibliografia

Sezione 6. **FASE B : Tecnica, energetica, economica**

6.1 Caratteristiche tecniche e criteri di scelta delle pompe di calore

6.1.1 Pompe di calore a compressione

6.1.2 Pompe di calore ad assorbimento

6.2 Utilizzo e condizioni di impiego delle pompe di calore per raffrescamento e/o per riscaldamento

6.2.1 Schemi impiantistici per l'utilizzo dell'acqua di falda

6.2.2 Schemi impiantistici per Impianti di riscaldamento

6.2.3 Trasferimento di calore mediante anello d'acqua

6.2.4 Schemi per impianti di condizionamento

6.2.5 Alimentazione della pompa di calore

6.3 Distanze massime tra sorgente e impianto

6.4 Potenziali termici sfruttabili, dimensionamento e coefficienti di prestazione degli impianti

6.5 Limiti tecnici e urbanistici di applicazione

6.6 Valutazioni economiche

6.7 Indicazioni generali per la progettazione e l'installazione di pompe di calore

Appendice Fase B:

Tabella 3 - Acqua calda a 50°C: Emungimento falda

- Tabella 4 - Acqua calda a 50°C: Riscaldamento con pompa di calore
- Tabella 5 - Acqua calda a 50°C: Bilanci energetici
- Tabella 6 - Acqua calda a 65°C: Emungimento falda
- Tabella 7 - Acqua calda a 65°C: Riscaldamento con pompa di calore
- Tabella 8 - Acqua calda a 65°C: Bilanci energetici
- Tabella 9 - Acqua calda a 50°C: Valutazioni economiche
- Tabella 10 - Acqua calda a 65°C: Valutazioni economiche

Sezione 7. **FASE C : Normativa e Giuridica**

- 7.1 Premessa
- 7.2 Normativa sulle acque pubbliche
 - 7.2.1 Legislazione nazionale
 - 7.2.2 Legislazione regionale della Lombardia
- 7.3 Concessione di derivazione e utilizzazione di acque pubbliche
 - 7.3.1 Rilascio della concessione
 - 7.3.2 Cessazione delle concessione
- 7.4 Canoni di concessione
- 7.5 Scarico delle acque
- 7.6 Utilizzo e gestione dell'acqua di falda
- 7.7 Tariffe
- 7.8 Finanziamenti
 - 7.8.1 Finanziamenti CE, statali e regionali in generale
 - 7.8.2 Finanziamenti regionali FRI SL

Sezione 8. Conclusioni

ALLEGATI

- TAVOLA 0 Quadro d'insieme delle Tavole 1 ... 7
- TAVOLE 1 ...7 Ubicazione pozzi realizzati dall'Amministrazione Comunale di Milano (scala 1:2.000)
- TAVOLA 8 Quadro d'insieme delle Tavole 9 ... 13
- TAVOLE 9 ...13 Ubicazione gruppi di pozzi in progetto a cura della Metropolitana Milanese SpA (scala 1 :25.000)

Ringraziamenti

La Fondazione Lombardia per l'Ambiente e gli Autori di questo studio desiderano ringraziare tutte quelle persone che ne hanno favorito la realizzazione, fornendo dati, elaborati, progetti, esperienze e utili informazioni.

In particolare:

- . prof. ing. Domenico Zampaglione, Assessore Ambiente Ecologia del Comune di Milano
- . dott. ing. Riccardo Ajroldi, Settore Acquedotto del Comune di Milano
- . dott. ing. Roberto Recchia, Settore Acquedotto del Comune di Milano
- . arch. Villasanta, Settore Cartografia e O.C. del Comune di Milano
- . dott. ing. Fabio Marelli, Metropolitana Milanese S.p.A.
- . dott. ing. Bruno Cavagna, Metropolitana Milanese S.p.A.
- . dott. ing. Raffaele Occhi, Servizio OIDS, Regione Lombardia
- . dott. Guido Rosti, Amministrazione Provinciale di Milano

Un sincero ringraziamento alla dott.ssa Laura Bonini (Fondazione Lombardia per l'Ambiente), per la realizzazione di tutti gli elaborati topografici e tematici di questo studio; all'ing. Antonio Rizzi (Artea S.r.l., Milano) per il sostanziale contributo alla Fase B (caratteristiche tecniche e criteri di scelta delle pompe di calore) e alla dott.ssa Teodora Marocco (Studio Brosio, Casati & Associati in associazione con Allen & Overy) per la sua collaborazione alla "Fase C : normativa e giuridica".

Sezione 1. Introduzione e Stato di fatto

Dai primi anni '90 tutta l'area milanese è stata interessata da un progressivo fenomeno di risalita dei livelli piezometrici dell'acquifero superficiale.

La causa principale di questo fenomeno è stata individuata in un crescente deficit del bilancio idrogeologico, conseguenza diretta della drastica diminuzione (o cessazione) dei prelievi idrici dai pozzi, specie ad uso produttivo, ubicati nei principali poli industriali di Milano e dei comuni nord confinanti.

A questo processo di innalzamento potrebbero inoltre coniugarsi, ma in maniera sensibilmente minore, anche gli effetti di una politica tariffaria e normativa sul risparmio e rinnovo nell'impiego delle acque intese come bene pubblico (Legge Galli 36/94 e successive).

Le maggiori escursioni in alcune zone della città e del suo interland, hanno tuttavia innescato una serie di problemi e danni a numerose strutture interrato, di interesse pubblico o di proprietà privata (allagamenti, infiltrazioni, perdite di volumetrie utili, messa fuori uso di centrali e reti tecnologiche, difficoltà nell'erogazione di alcuni servizi pubblici, durabilità dei cementi armati, diminuzione dei coefficienti di sicurezza).

Recenti studi evidenziano inoltre che, in assenza di idonei interventi (scenario "0") finalizzati a contenere e livellare la posizione attuale, la falda acquifera continuerà il suo trend di risalita, tendendo a riequilibrarsi con la situazione idrogeologica generale esterna alla città di Milano.

A fronte di questi problemi, già nel 1997 è stato attivato un "gruppo di coordinamento per l'innalzamento della falda nel Milanese", organizzato e coordinato dalla Provincia di Milano e di cui fanno parte anche la Regione Lombardia, il Comune di Milano, la MM S.p.A, il Consorzio Villoresti, l'Azienda Consorzio Acqua Potabile, il Magistrato del Po e l'Autorità di Bacino Fiume Po, con il compito specifico di individuare, programmare, e attuare una serie di proposte operative e di possibili interventi, su ampia scala, nel breve e medio termine.

Il gruppo di coordinamento, ha definito una serie di interventi di primo e secondo livello tra i quali, per importanza primaria, si segnalano:

- *integrazione e sviluppo della rete di monitoraggio piezometrico,*
- *realizzazione di nuovi pozzi per pompaggi localizzati,*
- *individuazione di corsi d'acqua idonei come recettori finali,*
- *interventi a protezione delle gallerie della Metropolitana Milanese,*
- *interventi a protezione delle strutture sotteranee (ospedali, autosilo, scantinati, ecc.),*
- *individuazione di bacini di cave come recettori temporanei,*
- *riattivazione di alcuni fontanili.*

Alla terebrazione di nuovi pozzi, al recupero di vecchi pozzi e all'alimentazione di corsi d'acqua superficiali con pozzi di prima falda, sono al momento impegnati, dal punto di vista progettuale ed esecutivo, sia il Comune di Milano (progetto "*Riattivazione della Roggia Vettabbia e*

del Naviglio Martesana") sia la Metropolitana Milanese S.p.A (progetto "Interventi per il controllo della falda").

Entrambi i progetti indicano che con la progressiva realizzazione di questi nuovi pozzi si renderanno disponibili ingenti quantitativi idrici, con quantità e caratteristiche tali per poter essere utilizzati, con ottimi risultati, anche a **scopo energetico**, per il raffrescamento e/o il riscaldamento di edifici pubblici e privati, o per altri usi pubblici come il *lavaggio delle strade, l'irrigazione del verde pubblico, l'alimentazione di fontane, la 2^a rete acquedottistica (non potabile) di Milano.*

Sezione 2. Obiettivi dello Studio

Questo studio di fattibilità *“Recupero energetico da acque di falda in comune di Milano”*, realizzato dalla Fondazione Lombardia per l’Ambiente su incarico e con il principale contributo dell’Amministrazione Comunale di Milano, ha verificato e valutato la fattibilità ambientale, tecnica, economica (costi/benefici) e giuridica (concessioni, canoni, gestione del servizio, tariffe e finanziamenti), nonché le diverse condizioni al contorno, per l’utilizzo delle acque di prima falda del sottosuolo di Milano a scopo energetico, attraverso l’impiego di **pompe di calore** per il riscaldamento o il raffrescamento di edifici, pubblici e privati, di tipo residenziale o appartenenti al settore terziario-servizi.

I sistemi a pompa di calore possono infatti utilizzare il calore contenuto nell’acquifero più superficiale, trasferendo parte dell’energia termica da un livello inferiore ad un livello di temperatura superiore e sfruttabile, con un risparmio energetico che, in condizioni ottimali di utilizzo, può raggiungere valori del 35% rispetto ai sistemi tradizionali, offrendo quindi garanzie di risparmio energetico particolarmente elevate con grandi benefici in termini ambientali e sotto il profilo economico (riduzione dei consumi di energia primaria, minori emissioni in atmosfera, riduzione dei costi di gestione).

Le acque utilizzabili come fonte di calore naturale possono essere proprio quelle derivate dai nuovi pozzi previsti per sopperire al problema del progressivo innalzamento della prima falda acquifera: sia quelli appena realizzati dall’Amministrazione Comunale di Milano (n.31 pozzi) sia quelli in fase di appalto o ancora in progetto a cura della Metropolitana Milanese (MM SpA) (n.186 pozzi). A tutti questi potrebbero inoltre aggiungersi, in futuro, anche alcuni dei 20 pozzi comunali ad uso irriguo (in progetto) e/o parte di altri 140 vecchi pozzi comunali, attualmente fermi per inquinamento o in fase ristrutturazione.

Questo studio intende quindi fornire all’Amministrazione Comunale di Milano una panoramica di indicazioni tecniche, economiche e giuridiche, finalizzate alla riscoperta, promozione e progettazione, nel breve medio termine, di queste tecnologie di sfruttamento di **“fonti di energia assimilate alle rinnovabili”**.

Questo obiettivo risulta in pieno accordo e in applicazione delle nuove politiche energetiche del paese, conseguenti alla ratifica italiana del **“Protocollo di Kyoto”**, sulla necessaria riduzione globale delle emissioni di gas serra in atmosfera, il risparmio energetico con l’ottimizzazione dei consumi e la diminuzione degli sprechi, la diversificazione delle fonti di energia.

Sezione 3. Gruppo di lavoro

Per la realizzazione di questo studio di fattibilità la Fondazione Lombardia per l'Ambiente ha definito un gruppo di lavoro composto da tre esperti:

- **Prof. Ing. Lorenzo Cassitto** (Politecnico di Milano, Dip. di Energetica) (responsabile della ricerca); fase: tecnica, energetica, economica
- **Dott. Giovanni Bartesaghi** (Fondazione Lombardia per l'Ambiente); fase: ambientale, idrogeologica, urbanistica
- **Avv. Massimilano Montini** (Studio Brosio, Casati & Associati in associazione con Allen & Overy); fase: normativa e giuridica

Il gruppo di lavoro ha beneficiato anche del supporto del Piano Editoriale della Fondazione Lombardia per l'Ambiente per la redazione degli elaborati tecnici e cartografici e le fasi di editing.

Sezione 4. Fasi dello Studio

Lo studio è articolato in tre fasi distinte:

FASE A - Ambientale, idrogeologica, urbanistica

Raccolta, analisi, selezione ed elaborazione di tutte le informazioni di carattere ambientale, idrogeologico ed urbanistico necessarie allo sviluppo delle fasi successive, in particolare: ubicazione, planimetrie e caratteristiche tecniche dei pozzi utilizzabili; portate di esercizio derivabili; caratteristiche fisico-chimiche delle acque di falda; impatti ambientali sui corpi recettori finali.

FASE B - Tecnica, energetica, economica

Caratteristiche tecniche delle pompe di calore per raffrescamento e/o per riscaldamento (ambiente, acqua sanitaria); potenziali termici sfruttabili; scelta, dimensionamento e condizioni d'impiego delle pompe di calore; limiti tecnici e urbanistici di applicazione; energia sostituibile annua; valutazioni economiche degli interventi e analisi costi/benefici (casi di studio).

FASE C - Normativa e giuridica

Normativa sulle acque pubbliche (nazionale e regionale); concessione di derivazione e utilizzazione di acque pubbliche; canoni di concessione; scarico delle acque; gestione del servizio; tariffe; finanziamenti (CE, statali, regionali).

Sezione 5.

FASE A : Ambientale, idrogeologica, urbanistica

5.1 Pozzi di prima falda utilizzabili anche a scopo energetico

I progetti "*Riattivazione della Roggia Vettabbia e del Naviglio Martesana*" (Comune di Milano, aprile 1998) e "*Piano degli interventi straordinari per il controllo della falda*" (Metropolitana Milanese S.p.A, marzo 1999) prevedono la terebrazione di ben **217** pozzi (singoli o in gruppi), distribuiti in modo abbastanza uniforme su tutto il territorio comunale di Milano, da realizzarsi, in diverse fasi temporali, tra il 1999 ed il 2001.

Come ben evidenziato in entrambi i progetti, la scelta delle località di perforazione dei pozzi (singoli o in gruppo) è stata effettuata tenendo presente i seguenti obiettivi:

- necessità di ottenere un abbassamento generalizzato del livello della falda superficiale su tutto il territorio comunale di Milano;
- previsione di sensibili effetti positivi in quelle zone e/o su quelle strutture particolarmente interessate dalla risalienza o soggette a rischio di allagamenti;
- individuazione, come punti di scarico, di corsi d'acqua superficiali con particolari carenze idriche quantitative e qualitative;
- ricettività di questi corsi d'acqua, sia in regime di magra sia in regime di piena e possibilità di soddisfare una richiesta idrica per usi irrigui, ambientali e di risanamento igienico sanitario;
- positivo rapporto costi/benefici.

Amministrazione Comunale di Milano

Il progetto predisposto dal Settore Acquedotto del Comune di Milano è finalizzato principalmente a distogliere le acque fognarie attualmente immesse nella roggia Vettabbia, sostituendole con acque pulite di prima falda, permettendo in tal modo di contribuire sia alla risoluzione di un problema ambientale e di emergenza sanitaria, noto da tempo, legato allo stato qualitativo di quel corso d'acqua sia, contemporaneamente, alla diminuzione del fenomeno di risalita dei livelli piezometrici dell'acquifero superficiale.

I **31** pozzi (**gruppo Vettabbia + 1**) previsti dal progetto (autorizzati in escavazione dalla Regione Lombardia nel marzo 1998) sono già stati realizzati dal Comune di Milano nel corso del 1999 ed entreranno in funzione a breve o all'inizio dell'anno 2000. Alla data attuale sono infatti in corso gli ultimi interventi esecutivi ed i collaudi per la definizione delle portate ottimali di esercizio (vedi oltre).

La **Tabella 1**, in appendice a questa sezione, riporta l'elenco dei pozzi, il luogo dell'intervento, le portate previste (singole e totali) ed il nome del recettore finale.

Va ricordato che il progetto originale prevedeva un totale di 33 pozzi; in fase esecutiva non è stato invece utilizzato il pozzo n.1 di Largo Augusto (già esistente) e non è stato realizzato il pozzo n.32 in Conca dell'Incoronata. (*informazioni fornite dal Servizio Acquedotto del Comune di Milano*).

Metropolitana Milanese S.p.A

Il progetto originale prevede la realizzazione di un totale di n.**186** pozzi. Di questi, n.**42** pozzi (**1° e 2° lotto**) sono previsti in esercizio entro la prima metà dell'anno 2000 (appalto in corso) e riguardano in particolare l'**Ospedale S.Paolo** (20 pozzi), **Conca del Naviglio** (3 pozzi), **Parco Solari** (8 pozzi), **via Morgagni** (6 pozzi) e **via Pacini** (5 pozzi). I rimanenti **144** pozzi saranno distribuiti in ulteriori 4 lotti (3°, 4°, 5°, 6°) e verranno realizzati probabilmente tra la fine dell'anno 2000 e tutto il 2001.

La **Tabella 2**, in appendice a questa sezione, riporta l'elenco dei gruppi di pozzi, il luogo dell'intervento, le portate previste (singole e totali) ed il nome del recettore finale.

Nota: Sulla base degli effetti ottenuti dalla terebrazione dei primi lotti di pozzi (31 del Comune di Milano + 42 della Metropolitana Milanese) e del conseguente abbassamento del livello piezometrico della falda acquifera, potrà eventualmente essere ridotto il numero totale dei pozzi in progetto con il 3°, 4°, 5° e 6° lotto: da 186 a circa 120. Non esistono tuttavia, per il momento, indicazioni di maggior dettaglio sui pozzi da escludere in fase esecutiva.

(comunicazione fornita dal Servizio Acquedotto del Comune di Milano).

Altri pozzi utilizzabili

Ulteriori possibilità di sfruttamento della falda superficiale a scopo energetico potrebbero essere rappresentate, potenzialmente, anche da una serie di pozzi ad **uso irriguo (n.20)**, in progetto, e da alcuni dei **140 pozzi comunali**, distribuiti su tutto il territorio milanese, attualmente fermi per inquinamento o in fase di ristrutturazione.

Per quanto riguarda i 20 pozzi ad uso irriguo, note le diverse ubicazioni (vedi oltre), non si conoscono invece nel dettaglio le caratteristiche tecniche di progetto e le eventuali portate derivabili.

Per i 140 pozzi comunali, invece, le caratteristiche tecniche sono alquanto diversificate e il loro eventuale uso energetico andrà verificato caso per caso. (Secondo recenti indicazioni del Servizio Acquedotto del Comune di Milano sembra tuttavia più probabile un loro completo recupero per un uso prioritario quale quello potabile).

Per la scarsità e l'incertezza delle informazioni disponibili, non si è tenuto conto di questi due gruppi di pozzi (20 irrigui + parte dei 140 comunali) nelle elaborazioni e nei calcoli energetici effettuati nella Fase B di questo studio di fattibilità.

5.2 Ubicazione pozzi e planimetrie

Amministrazione Comunale di Milano

Tutti i 33 pozzi (31 realizzati + i 2 esclusi) sono riportati, in scala 1:2.000, nelle **Tavole 1-7** (non disponibili in questa versione pdf.) tratte dalla versione informatizzata della Carta Tecnica Comunale fornita dal Comune di Milano, Settore Cartografia e O.C.

Oltre all'ubicazione dei singoli pozzi, le Tavole illustrano anche la planimetria di dettaglio in un intorno significativo (vie, piazze, edifici, aree a verde, corsi d'acqua superficiali) ed evidenziano il percorso (sotterraneo/superficiale) del recettore finale (roggia Vettabbia) (o del naviglio Martesana per il pozzo n.33) ed il tracciato dei collegamenti previsti tra i singoli pozzi ed il recettore.

Per agevolare l'inquadrimento delle singole Tavole (1...7) nel contesto dell'intero territorio comunale di Milano, è stata realizzata anche la **Tavola 0** (quadro d'insieme).

Metropolitana Milanese S.p.A

I 186 pozzi in progetto sono raggruppati in 26 gruppi: ognuno è numerato e denominato con il luogo dell'intervento (cfr. Tabella 2).

Per l'inquadrimento territoriale dei singoli gruppi sono state realizzate planimetrie in scala 1:25.000 (**Tavole 9...13**) (non disponibili in questa versione pdf.) tratte dalla cartografia fornita in allegato al progetto esecutivo della MM SpA.

Per agevolare l'inquadrimento delle singole Tavole (9...13) nel contesto dell'intero territorio comunale di Milano, è stata realizzata anche la **Tavola 8** (quadro d'insieme).

Le Tavole 9...13 riportano anche l'ubicazione generale dei pozzi del "Gruppo Vettabbia" ed i 20 pozzi ad ad uso irriguo.

Cartografie con dettaglio maggiore (scala 1:1000) sono disponibili solo per gli interventi previsti nel 1° lotto esecutivo (n.42 pozzi) ma non vengono riportate in questo studio.

5.3 Caratteristiche urbanistiche nell'intorno dei pozzi

Amministrazione Comunale di Milano

Le Tavole 1...7 illustrano con sufficiente dettaglio le caratteristiche urbanistiche generali (vie, piazze, edifici, aree a verde e corsi d'acqua superficiali) in un intorno significativo di tutti i 31 pozzi.

Ai fini di uno sfruttamento delle acque di falda a scopo energetico si ritiene prioritaria una loro destinazione a strutture edilizie (singoli grandi edifici o gruppi di edifici) appartenenti alle seguenti categorie:

- proprietà dell'Amministrazione Comunale di Milano,
- proprietà e/o strutture della Metropolitana Milanese SpA,
- grandi strutture del settore terziario e servizi,
- gruppi di edifici del settore residenziale.

Le caratteristiche di "fattibilità" di questo studio non hanno tuttavia previsto analisi di dettaglio delle singole situazioni urbanistiche, in quanto

l'individuazione e la scelta delle possibili priorità d'intervento sono legate anche ad altri fattori, non direttamente collegati a questo specifico lavoro.

Metropolitana Milanese S.p.A

Le Tavole 9...13 (in scala 1:25.000) non permettono invece un inquadramento urbanistico di dettaglio.

Solo per il 1° e 2° lotto di pozzi: Ospedale S.Paolo (20 pozzi), Conca del Naviglio (3 pozzi), Parco Solari (8 pozzi), via Morgagni (6 pozzi) e via Pacini (5 pozzi), sono disponibili, alla fonte, cartografie di dettaglio (scala 1:1.000).

Oltre alle strutture di proprietà comunale e di quelle della Metropolitana Milanese è facile intuire, e suggerire, una potenziale immediata applicazione per l'Ospedale S.Paolo (1° lotto) mentre per i rimanenti 4 gruppi di pozzi (2° lotto) valgono le intenzioni di priorità espresse nel paragrafo precedente.

5.4 Struttura idrogeologica e Dimensionamento dei pozzi

Ai fini di una valutazione preliminare dei potenziali energetici ottenibili dalle acque di prima falda, le informazioni relative alle principali caratteristiche costruttive dei pozzi di emungimento, quali profondità, diametri e tratti filtranti, assumono una importanza minore rispetto ad altri più importanti parametri idrogeologici come le portate derivabili, la costanza dei prelievi e le caratteristiche fisiche delle acque emunte (vedi oltre).

Tuttavia, per completezza di informazione, si ritiene opportuno fornire almeno un quadro generale dei principali dati tecnici costruttivi.

Va rilevato innanzitutto che il corretto dimensionamento delle opere di captazione è stato verificato e ottimizzato dai progettisti in base alle numerose informazioni di dettaglio già disponibili, o rilevate da specifiche attività sperimentali, sui pozzi di prima falda esistenti (efficienza, portate limite, trascinarsi del fine, ecc.) e sui parametri idrogeologici (trasmissività, permeabilità, coefficienti di immagazzinamento, ecc.) relativi al cosiddetto "acquifero tradizionale" di Milano (falda libera più falda semiconfinata).

La falda libera (unità ghiaioso-sabbiosa), oggetto dei prelievi in esame, si estende sino a profondità di 40-50 metri, caratterizzando in maniera discretamente omogenea tutto il sottosuolo dell'area milanese; questa falda è separata dalla sottostante falda semiconfinata (che si estende sino a circa 100-120 metri) da un livello argilloso di spessore variabile da qualche metro a 5-6 metri. Questo livello si individua con una buona continuità laterale su tutta l'area di Milano e si caratterizza quindi, dal punto di vista idraulico, come acquitard (*informazioni generali tratte da "Le problematiche idrogeologiche delle aree altamente industrializzate: l'esempio di Milano"; Provincia di Milano - settore ecologia, 1996*).

Schema tipo dei 31 pozzi dell'Amministrazione Comunale di Milano

(Gruppo Vettabbia)

Profondità:	40 metri	
Diametri:	interno 400 mm, esterno 800 mm	
Metodo primario:	percussione	
	(secondario: circolazione inversa o rotazione con fanghi)	
Colonna del pozzo: (in acciaio)	montante	= cieca (25-30 m)
	filtrante	= filtri antisabbia tipo Johnson (8-10 m in totale)
	finale	= cieca (1-2 m)
Rivestimento:	cementazione	= 15 m
	dreno	= 10+10 m
	tampone di argilla	= 4 m
	dreno	= 10 m
	finale (tampone di argilla)	= 1 m

schema tipo del pozzo in Figura 1 (non disponibile in questa versione pdf.)
(tratto dalle "specifiche tecniche" del progetto esecutivo)

Schema tipo dei 186 pozzi della Metropolitana Milanese S.p.A.

Profondità:	40 metri (zona nord di Milano)	
	35 metri (zona centrale di Milano)	
	30 metri (zona sud di Milano)	
Diametri:	interno 400 mm, esterno 800 mm	
Metodo primario:	percussione	
Colonna del pozzo: (in acciaio)	montante	= cieca (0 -19.5 m; zona nord) (0 -14.5 m; zona centro) (0 - 9.5 m; zona sud)
	filtrante	= filtri antisabbia tipo Johnson (-19.5 m -39.0 m; zona nord) (-14.5 m -34.0 m; zona centro) (-9.5 m -29.0 m; zona sud)
	finale	= cieca (1 m) (-39.0 m -40.0 m; zona nord) (-34.0 m -35.0 m; zona centro) (-29.0 m -30.0 m; zona sud)
Rivestimento:	cementazione	= 0 - 17.5 m; zona nord

	0 - 12.5 m; zona centro
	0 - 7.5 m; zona sud
tappo impermeabile =	-17.5 m - 18.5 m (zona nord)
	-12.5 m - 13.5 m (zona centro)
	- 7.5 m - 8.5 m (zona sud)
ghiaietto drenante =	-18.5 m - 40.0 m (zona nord)
	-13.5 m - 35.0 m (zona centro)
	- 8.5 m - 30.0 m (zona sud)

I dati raccolti indicano quindi una generale uniformità delle opere già realizzate o ancora in progetto.

Le indicazioni tecniche utilizzate in Fase B (sezione 6) sono quindi riferibili indistintamente a tutti i pozzi oggetto di studio.

5.5 Portate

Nella valutazione dei potenziali di rendimento e di utilizzo dei sistemi a pompe di calore, i "fattori naturali" determinanti sono le portate derivabili dai pozzi e le temperature delle acque emunte (vedi 5.7).

Per quanto riguarda le portate, dalle "specifiche tecniche" allegate al progetto esecutivo "*Riattivazione della Roggia Vettabbia e del Naviglio Martesana*" del Comune di Milano, si rileva che le elettropompe sommerse, in dotazione ai 31 pozzi realizzati, avranno le seguenti caratteristiche:

- portata al minuto secondo: **35 I/sec.**
- prevalenza manometrica totale non inferiore a: 35 mt.
- tensione di alimentazione trifase: 380 V
- frequenza: 50 Hz

Analoghe caratteristiche si rilevano anche per i pozzi che saranno realizzati dalla Metropolitana Milanese, in particolare:

- portata al minuto secondo: **almeno 35 I/sec.**
- prevalenza manometrica totale non inferiore a: 20 - 25 - 30 mt.
(a seconda delle zone considerate: nord, centro e sud);
- potenza installata: 20 - 25 - 30 kW
(a seconda delle zone considerate: nord, centro e sud);
- profondità di installazione: 3 mt. dal fondo

Alcune prove di portata effettuate sui pozzi già realizzati dal Comune di Milano (via Pacini) ed altri test di pompaggio, effettuati invece dalla Metropolitana Milanese nell'area del passante ferroviario della stazione

Vittoria, hanno fornito anche valori decisamente superiori a quelli di progetto, con portate critiche superiori ai 55-60 l/sec. e potenziali portate d'esercizio vicine ai 50 l/sec.

Tenendo comunque presente che molti degli interventi prevedono "gruppi di pozzi" (sicuramente interferenti tra loro) e che, col passare del tempo, si potranno avere possibili deflessioni nella resa delle singole opere, ai fini del presente studio si è assunta, per tutti i pozzi, una **portata utile di 35 litri/secondo**.

Questo valore di portata è stato quindi utilizzato per i calcoli energetici di Fase B (cfr. sezione 6).

La posizione delle elettropompe sommerse e le caratteristiche dei pozzi fanno inoltre ritenere che questo valore di portata possa essere ragionevolmente mantenuto in futuro, anche con livelli piezometrici della falda superficiale sensibilmente inferiori agli attuali.

Sulla necessità, e opportunità, di utilizzare pompe sommerse a portata variabile (con continuità o a gradini), si veda la sezione 6.7.

5.6 Prelievi

La funzionalità di un sistema a pompa di calore presuppone una costanza di alimentazione dal pozzo utilizzato come sorgente.

I tempi di funzionamento saranno quindi determinati, in sede progettuale, in funzione delle diverse soluzioni adottate - riscaldamento e/o raffreddamento - e delle specifiche esigenze dell'intervento.

Per tutti i casi in esame può essere comunque adeguatamente garantita quella costanza di prelievo richiesta dal sistema.

Il progetto originale per il contenimento della falda superficiale (vedi sezione 1) prevede anche la realizzazione di un sistema di gestione automatica in grado di regolare il funzionamento di tutti i pozzi, realizzati per quello scopo, e alimentare quindi i diversi recettori finali in modo assolutamente flessibile, interrompendo gli afflussi in caso di particolari fenomeni di piena o esondazioni.

Questo sistema di gestione potrà comunque prevedere operazioni di disattivazione o riattivazione di quei pozzi asserviti all'uso di pompe di calore, consentendone la loro piena funzionalità.

Non si rilevano a tal fine impedimenti particolari, di carattere tecnico, idrologico o di emergenza.

5.6 Temperatura delle acque di falda superficiale

Senza entrare in particolari tecnici relativi ai sistemi a pompa di calore, illustrati nella Sezione 6, si può comunque anticipare che il rendimento di questi sistemi, sia per il riscaldamento invernale sia per il raffrescamento estivo, dipende fortemente dalla temperatura della sorgente utilizzata (l'acqua di falda in questo caso).

L'uso dell'acqua di falda risulta inoltre più vantaggioso, efficiente e conveniente, soprattutto nella stagione invernale, rispetto ad altri sistemi analoghi che utilizzano invece l'aria esterna come fonte di calore.

In questa fase di acquisizione dei dati di base si è cercato quindi di reperire informazioni dettagliate relative alle temperature delle acque di prima falda dell'acquifero milanese.

Presso l'Amministrazione Provinciale di Milano (U.O tecnica Progetti Speciali, Interventi e Controllo Acque - Suolo - Sottosuolo, Sistema Informativo Falda) sono stati acquisiti i dati disponibili limitatamente al solo acquifero superficiale, rilevati da sonde automatiche in cinque pozzi di Milano, monitorati in continuo nel periodo 1998-1999.

I cinque pozzi sono ubicati in diverse zone della città, a copertura dell'intero territorio di Milano:

- settore centro: piazza Castello, sonda automatica MM Castello;
- settore NO: via Giampietrino, sonda automatica AEM;
- settore NE: via Venezian, sonda automatica Istituto dei Tumori;
- settore SE: piazza Wagner, sonda automatica MM Wagner;
- settore SE: piazzale Lodi, sonda automatica ABB.

I dati di temperatura delle acque sono illustrati nei diagrammi di Figura 2-3-4-5-6 (non disponibili in questa versione pdf.): gli andamenti delle temperature risultano abbastanza uniformi e soprattutto con limitate variazioni stagionali. I valori sono costantemente superiori ai 15 °C, con valori massimi prossimi o superiori ai 17 °C nei settori di NE e SE.

Per i calcoli energetici effettuati in Fase B (sezione 6), si è assunta quindi come temperatura media di emungimento quella di **15 °C**.

5.7 Impatti ambientali sui corpi recettori finali

Aspetti generali

La realizzazione di pozzi di captazione della prima falda e la conseguente alimentazione di un numero determinato di corsi d'acqua superficiali avrà sicuramente un impatto molto forte e positivo sulle caratteristiche quantitative e qualitative attuali di questi recettori, favorendo quindi il recupero di situazioni di crisi e destinazioni d'uso (in particolare irrigue e biologiche) compromesse o perse da tempo.

In tutti i progetti sinora avviati (Comune di Milano, Metropolitana Milanese, Gruppo di coordinamento per l'innalzamento della falda nel Milanese) questo aspetto rappresenta sempre uno degli obiettivi prioritari programmati e viene ampiamente trattato.

Si ricorda che proprio le problematiche legate al progressivo degrado dei corsi d'acqua superficiali hanno spinto il Comune di Milano a predisporre il suo progetto, più volte citato in questo studio, finalizzato principalmente a distogliere le acque fognarie attualmente immesse nella roggia Vettabbia,

sostituendole con acque pulite di prima falda, permettendo in tal modo di contribuire alla risoluzione di un problema ambientale e di emergenza sanitaria, noto da tempo, legato allo stato qualitativo di quel corso d'acqua.

Concordiamo naturalmente con i diversi giudizi finali che esprimono un elevato "valore ecologico" agli impatti ambientali di questi interventi.

Aspetti specifici

Nel caso particolare di utilizzo delle acque di falda per usi energetici con sistemi a pompa di calore, ai benefici ambientali appena descritti vanno aggiunti ulteriori effetti positivi derivanti da un consistente risparmio energetico e minori emissioni in atmosfera.

Per quanto riguarda gli impatti ambientali specifici, l'unica modificazione rispetto alla situazione originale (prelievo da falda e ricarica di corsi d'acqua superficiali) sarà la temperatura dell'acqua.

Il sistema a pompe di calore si inserisce infatti tra il pozzo di captazione ed il recettore finale; in fase di intercettazione delle acque la loro temperatura sarà prossima ai **15 °C** (cfr. sezione 5.6); dopo l'utilizzo la temperatura al recettore finale sarà di circa **7 °C**.

Le rimanenti caratteristiche fisiche e chimiche delle acque (emunte e scaricate) rimangono inalterate.

La temperatura è un parametro importante poiché le sue variazioni possono influenzare la velocità delle reazioni biochimiche, la solubilità dei gas nell'acqua, e possono indurre condizioni di stratificazione termica o creare limitati fenomeni di condensazione superficiale.

In mancanza di dati specifici e stagionali sui singoli recettori finali (elenco in tabella 1 e 2) è difficile tuttavia ipotizzare o prevedere, in questi casi specifici, eventuali situazioni negative in grado di generare problemi idrologici o biologici ai recettori finali.

Si ritiene comunque che le differenze di temperatura delle acque in ingresso (osservabili solo in alcune stagioni) inducano effetti sui recettori finali trascurabili o persino benefici, tenendo conto delle caratteristiche stagionali dei corsi d'acqua, dell'intera struttura idrografica del bacino milanese, dell'attuale destinazione d'uso, dello stato di qualità e di biocenosi esistente, degli obiettivi di recupero auspicabili ed effettivamente raggiungibili.

Qualche problema potrebbe eventualmente crearsi solo in sede di interpretazione normativa qualora lo scarico di acqua verso un recettore finale, proveniente da un sistema a pompe di calore, venga attribuito ad una classe d'uso per la quale sono previsti determinati valori limiti, guida e imperativi (vedi anche Fase C, sezione 7).

Le normative vigenti (da ultimo il D.L. 152/99) non fanno specifico riferimento alle variazioni di temperatura delle acque derivanti da utilizzi, come quelli a scopo energetico localizzato, per i quali invece si auspica l'applicazione (risparmio idrico, riutilizzo delle acque, ecc.). L'attenzione legislativa è maggiormente dedicata ai valori di temperatura massimi

ammissibili o limita a 3 °C, per certi usi, le differenze concesse tra sorgente e recettore.

Questo potenziale problema di natura, squisitamente, "giuridica" più che "ambientale", andrà eventualmente considerato, definito e regolamentato in sede giuridica, al limite ricorrendo ai possibili poteri di "deroga" attribuiti alla Regione.

Bibliografia

- Progetto "*Riattivazione della Roggia Vettabbia e del Naviglio Martesana*" (Comune di Milano, aprile 1998)
- Progetto "*Piano degli interventi straordinari per il controllo della falda*" (Metropolitana Milanese S.p.A, marzo 1999)
- "Le problematiche idrogeologiche delle aree altamente industrializzate: l'esempio di Milano" (Provincia di Milano - settore ecologia, 1996).
- Amministrazione Provinciale di Milano (U.O Tecnica Progetti Speciali, Interventi e Controllo Acque-Suolo-Sottosuolo, Sistema Informativo Falda - SIF): Rilevamenti della temperatura delle acque di prima falda con sonde automatiche.
(comunicazione privata)
- Gruppo di coordinamento per l'innalzamento della falda nel Milanese: progettazione di massima degli interventi (aprile 1997).

Sezione 6

FASE B: Tecnica, energetica, economica

6.1 Caratteristiche tecniche e criteri di scelta delle pompe di calore

6.1.1 Pompe di calore a compressione

Le pompe di calore prese a riferimento per gli impianti oggetto di questo studio sono quelle del tipo acqua-acqua, le quali:

- utilizzano acqua come sorgente di calore a bassa temperatura. Lo scambio termico avviene nell'evaporatore dove il calore estratto dall'acqua di falda viene trasmesso al refrigerante che compie la fase di evaporazione
- producono acqua calda per le utenze termiche. Lo scambio di calore avviene al condensatore dove il calore della fase di condensazione del vapore del refrigerante viene ceduto all'acqua dell'utenza termica.

Le pompe di calore a compressione si differenziano in primo luogo per il tipo di compressore. In funzione delle potenze termiche esso può essere:

- compressore alternativo per potenze termiche rese da pochi kW fino a circa 800 kW
- compressore scroll per macchine di piccola taglia
- compressore a vite o centrifugo per potenze termiche rese da 200 a 6.000 kW e oltre.

Al fine di ottimizzare le prestazioni, soprattutto nel funzionamento ai carichi parziali, le macchine hanno in genere circuiti frigoriferi multipli.

Nei modelli commercializzati in questi ultimi anni si possono regolare le pressioni nel circuito frigorifero in funzione delle temperature dei fluidi esterni. Ciò avviene mediante regolazione con inverter della velocità del motore del compressore. Questo accorgimento è in realtà più utile nelle macchine con condensatore (o evaporatore) ad aria, poiché permette alle pressioni di esercizio della macchina di adeguarsi alle variazioni di temperatura dell'aria.

Gli scambiatori di calore sono in genere a fascio tubiero con acqua sul lato tubi. Essi devono essere scovolabili, in particolare l'evaporatore. L'acqua di falda infatti non necessita di scambiatori adatti ad acque sporche, tuttavia è buona norma di manutenzione il tenere sotto controllo il fattore di sporcamento delle superfici di scambio per garantire la migliore efficienza nella trasmissione del calore.

Nel campo delle medie potenze, quelle in cui si utilizza il compressore alternativo, il fluido refrigerante oggi utilizzato è principalmente il R407c, che ha sostituito l'R22, con una penalizzazione sul rendimento di almeno il 5%. In questo caso esse operano ai seguenti livelli di temperatura:

- acqua, lato evaporatore: è raffreddabile fino a 3-4°C, pertanto la temperatura dell'acqua disponibile deve essere almeno 6-8°C. Da

questo punto di vista la temperatura della falda superficiale di Milano, intorno ai 15°C, è ottimale. Si rammenta che particolari evaporatori di impianti installati in paesi scandinavi consentono l'utilizzo di acqua di mare a 1-2°C

- acqua calda, lato condensatore: le temperature disponibili al condensatore per le macchine a ciclo frigorifero normale arrivano a 55°C, tuttavia il campo ottimale si trova a 40-45°C.

E' possibile ottenere la produzione di acqua calda anche a temperature superiori. In questo caso si adottano, oltre alle macchine che operano secondo il ciclo frigorifero base, anche particolari configurazioni impiantistiche, come la macchina a doppio effetto o due macchine in serie, che permettono di produrre acqua a 65°C ed in casi estremi a 75°C, il tutto naturalmente a spese dell'efficienza termodinamica. Come fluido refrigerante si ricorre all'R134a, in sostituzione dell'R12.

L'R134a è un fluido alternativo anche al l'R407c. Rispetto al R22 l'impiego del R134a comporta una penalizzazione dell'ordine del 5% sul rendimento e soprattutto, a parità di macchina, un decadimento della potenza specifica dell'ordine del 40%, ciò che costringe a surdimensionare la macchina in proporzione.

Le prestazioni delle pompe di calore, in termini di COP (*coefficient of performance* = rapporto tra potenza termica resa e potenza elettrica assorbita), dipendono naturalmente da tanti fattori, primo fra tutti le temperature dell'acqua all'evaporatore ed al condensatore, da cui dipende l'efficienza teorica, pari all'inverso del rendimento del ciclo di Carnot fra queste temperature. Indicativamente per produrre acqua calda a 50°C con acqua di falda a 15°C come fonte a bassa temperatura si può assumere un COP pari a 4, mentre se si vuole produrre acqua a 65°C il COP scende a 2,8 circa.

Si rammenta infine l'esistenza, specialmente nei paesi scandinavi, di pompe di calore di grande taglia, anche oltre i 25 MW termici resi, asservite ai grandi impianti di teleriscaldamento cittadino. Esse risalgono agli anni '80, ed impiegavano, ai tempi, come refrigerante l'R12.

Le pompe di calore acqua-acqua possono essere reversibili, cioè funzionare da pompa di calore per il riscaldamento degli ambienti e da gruppo frigorifero per il condizionamento degli stessi. L'inversione del ciclo di funzionamento si effettua senza alcun intervento sul ciclo frigorifero: il passaggio da un regime all'altro è ottenuto deviando i flussi d'acqua dall'evaporatore al condensatore e viceversa. Ciascuno dei due scambiatori mantiene inalterate le proprie funzioni indipendentemente dal regime operativo della macchina. E' importante in questo caso un dimensionamento accurato degli scambiatori di calore, collegati di volta in volta al circuito dell'utenza o alla sorgente fredda.

L'azionamento delle pompe di calore a compressione è generalmente attuato mediante un motore elettrico accoppiato direttamente al compressore ed alimentato dalla rete elettrica cittadina.

Quando la potenza assorbita dal compressore diventa rilevante, indicativamente con potenze dell'ordine di 200 kW, a cui corrisponde una potenza termica resa dalla pompa di calore intorno ai 700 kW, è opportuno considerare l'azionamento mediante un motore primo, tipicamente un motore diesel a gasolio o a ciclo otto a gas. Il collegamento può essere diretto o, meglio, mediante albero "elettrico" (motore alternativo – alternatore – motore elettrico – compressore).

La soluzione col motore primo risulta in particolar modo interessante, anche dal punto di vista economico, quando il motore primo funziona in cogenerazione.

6.1.2 Pompe di calore ad assorbimento

Il principio di funzionamento di una pompa di calore ad assorbimento si basa sulla riduzione della tensione di vapore di una sostanza (refrigerante) per effetto della miscela con altre sostanze (solvente) con la quale forma una soluzione.

E' così possibile far evaporare il refrigerante per effetto della cessione di calore dall'acqua di falda, fargli compiere, sia pure a pressione bassa e molto bassa, un normale ciclo frigorifero (condensazione/evaporazione) e riassorbire i vapori di refrigerante prodotti dall'evaporatore con la miscela povera di refrigerante e ricca di solvente che dal generatore scende nell'assorbitore.

L'energia motrice (il calore fornito al generatore) è così in gran parte termica e solo in piccola parte elettrica, per l'azionamento della pompa che rinvia al generatore la miscela che si forma nell'assorbitore per effetto del riassorbimento del vapore nella miscela proveniente dal generatore.

I fluidi oggi utilizzati sono la coppia LiBr/H₂O, con il bromuro di litio che funge da solvente e l'acqua da refrigerante, e la coppia H₂O/NH³ con l'acqua che funge da solvente e l'ammoniaca da refrigerante.

Le limitazioni nelle applicazioni e nelle prestazioni sono per lo più dovute alle caratteristiche delle miscele, che possono presentare problemi di cristallizzazione e di corrosività alle alte temperature (LiBr), di pressioni molto elevate e di tossicità (NH³).

Le potenze termiche rese dalle macchine vanno da poche decine di kW fino a quasi 10 MW.

Mentre dal lato evaporatore si hanno condizioni identiche alle macchine a compressione, sul lato condensatore la temperatura massima dell'acqua calda producibile è di circa 60°C.

Le macchine in commercio sono del tipo monostadio o bistadio. Le prime hanno un COP intorno a 1,3 e necessitano per la alimentazione del generatore di acqua surriscaldata o di vapore a temperature di almeno 110°C. Le macchine bistadio, o meglio, a doppio effetto, hanno un COP di 2,1 e sono usualmente alimentate con vapore a 8 bar e 180°C. Nel caso di funzionamento come gruppo frigorifero i suddetti COP possono arrivare rispettivamente fino a circa 0,7 e circa 1,3.

Le macchine sono in genere costituite da un sistema "a doppio serbatoio", uno per l'alta pressione che ospita generatore e condensatore, ed uno per la bassa pressione che contiene evaporatore ed assorbitore.

Esse sono in grado di operare in tre modi differenti agendo solo sulle connessioni idrauliche: possono operare come pompe di calore, come impianti frigoriferi per il condizionamento e come trasferimento di calore da un fluido più freddo a un fluido più caldo.

L'energia termica per la alimentazione del generatore può essere generata da:

- generatore di vapore
- recupero di calore da turbogas
- recupero di calore/vapore industriale

Le pompe di calore ad assorbimento hanno avuto un discreto successo in Giappone, prevalentemente macchine di grande taglia in applicazioni industriali, ed in Germania. Esistono diversi esempi anche in Italia, dove si vanno diffondendo in concomitanza alla realizzazione di gruppi di cogenerazione di cui, in particolare, sfruttano il calore prodotto durante l'estate.

6.2 Utilizzo e condizioni di impiego delle pompe di calore per raffrescamento e/o per riscaldamento

6.2.1 Schemi impiantistici per l'utilizzo dell'acqua di falda

L'esigenza di controllare il livello della prima falda nell'area metropolitana milanese rende disponibili grandi quantità di acqua che, estratte con adeguate stazioni di pompaggio e prima di essere avviate nei corsi d'acqua superficiali, possono essere utilizzate come fonti di calore a bassa temperatura per alimentare gruppi di pompe di calore.

Al fine di procedere col suddetto utilizzo vanno osservate alcune precauzioni:

- evitare l'inquinamento della falda da parte dei fluidi di processo (refrigerante, olii lubrificanti), aspetto molto importante quando la falda è utilizzata per altri scopi (potabile, irrigazione, ecc)
- evitare l'inquinamento delle acque superficiali dovuto potenzialmente al rilascio di fluidi di processo, oppure al contenuto di inquinanti delle acque emunte
- rispettare le norme relative all'impiego delle acque di falda ed al rilascio di acqua in superficie
- generare un bilancio economico che produca risultati accettabili

Utilizzo diretto

Secondo questo schema le acque del sottosuolo vengono emunte, vanno direttamente all'evaporatore della pompa di calore, e successivamente vengono restituite in ambiente (corso d'acqua superficiale).

Questa soluzione è quella preferibile dal punto di vista tecnico economico poiché è la più semplice e meno costosa e permette di utilizzare l'intero salto termico disponibile

Nel caso in cui le acque sotterranee contengano sostanze corrosive (acque sulfuree, ecc.), corpi solidi in sospensione o elementi comunque dannosi all'ambiente o alle superfici di scambio dell'evaporatore o del condensatore, occorre prevedere l'impiego di configurazioni e/o materiali speciali (scambiatori di calore a piastre, superfici di scambio in acciaio inox o in titanio). Ragionevolmente questo non è comunque il caso della falda di Milano, salvo verifiche comunque da farsi in fase di progettazione di eventuali impianti.

Riteniamo comunque necessario che l'acqua emunta dalla falda venga filtrata prima di entrare nella pompa di calore. Il filtro deve impedire l'ingresso di eventuali sostanze solide in sospensione, come ad esempio la sabbia.

Loop intermedio

Questo schema impiantistico è caratterizzato da un circuito intermedio che separa la pompa di calore dalla sorgente a bassa temperatura. Esso evita la presenza di una superficie di scambio che veda da una parte l'acqua di falda

e dall'altra il refrigerante. L'evaporatore viene altresì protetto dalla eventuale presenza di sostanze a lui dannose presenti nell'acqua. Si distinguono cioè i seguenti circuiti idraulici in sequenza:

- circuito sorgente acqua fredda, costituito dal pozzo di emungimento (con filtri e pompa sommersa), scambiatore di calore e tubazione di scarico in corso superficiale
- circuito intermedio, che riceve il calore dallo scambiatore prima menzionato e lo trasferisce all'evaporatore
- circuito del fluido di lavoro (refrigerante) della pompa di calore
- circuito dell'utenza alimentato dal condensatore della pompa di calore.

Lo svantaggio di questa soluzione è che il circuito intermedio riduce di almeno 3-5°C il salto termico disponibile dell'acqua di falda.

Questa soluzione è preferibile qualora, ma non è il caso qui in studio, si volesse reimmettere l'acqua in falda dopo il passaggio nell'impianto.

Vasca polmone

In questa soluzione impiantistica il circuito idraulico dell'acqua della falda viene aperto a cavallo dell'evaporatore mediante una vasca che consente il sezionamento della falda dalla pompa di calore.

Si ha la seguente sequenza:

- emungimento dell'acqua dal sottosuolo e invio alla vasca
- prelievo dell'acqua dalla vasca, invio all'evaporatore e da qui allo scarico

In caso di rotture o malfunzionamenti dell'evaporatore il refrigerante andrebbe a raccogliersi nelle vasche, evitando così di contaminare il pozzo di emungimento e/o la linea di restituzione in ambiente.

Questa soluzione permette di sfruttare interamente il salto termico disponibile sull'acqua di falda. Per contro il sistema è reso più ingombrante e costoso.

6.2.2 Schemi impiantistici per impianti di riscaldamento

Lo schema di base è costituito dal circuito idraulico che riceve calore dal condensatore della pompa di calore e lo cede agli ambienti da riscaldare.

Nei sistemi più complessi si ha una eventuale suddivisione in zone ciascuna servita da un proprio circuito "secondario" che fa capo a collettori di mandata e ritorno.

Il circuito "primario" è in questo caso quello compreso tra condensatore e collettori.

La adottabilità delle pompe di calore è essenzialmente funzione della temperatura dell'acqua calda richiesta dall'utenza, come qui di seguito descritto.

UtENZE termiche che richiedono acqua calda a bassa temperatura (fino a 50°C)

Le tipologie di impianti di riscaldamento più diffuse che fanno parte di questa categoria sono:

- gli impianti a pannelli radianti
- gli impianti a ventilconvettori

Questi impianti sono ottimali dal punto di vista dell'impiego di pompe di calore poiché:

- richiedono temperature dell'acqua calda non superiori ai 50°C, in particolare generalmente inferiori ai 35°C nel caso dei pannelli radianti
- richiedono acqua calda ad una temperatura costante o variabile in un campo molto ristretto. La regolazione della potenza può essere fatta su parametri diversi dalla temperatura dell'acqua (ad esempio sulla velocità dei ventilatori dei ventilconvettori)
- queste tipologie permettono agevolmente di realizzare anche il raffrescamento estivo, estendendo l'utilizzo della pompa di calore (in questo caso reversibile) anche alla stagione estiva

La fattibilità dell'impiego di pompe di calore nei suddetti impianti è quindi pressochè unicamente dipendente dalla convenienza economica. In particolare gli impianti che devono fornire anche il condizionamento estivo sono quelli favoriti.

Le considerazioni sopra esposte sono valide anche per gli impianti di produzione di **acqua calda per usi igienico sanitari**, con la differenza che il basso fattore di utilizzo nel corso della giornata rende conveniente l'impiego di pompe di calore solo se abbinate all'impianto di riscaldamento.

Utenze termiche che richiedono acqua calda a medio-alta temperatura (da 50 a 65°C)

Le tipologie di impianti di riscaldamento più diffuse che teoricamente potrebbero far parte di questa categoria sono:

- gli impianti a radiatori
- gli impianti ad aria (aerotermi)
- le unità di trattamento aria (UTA)

L'impiego delle pompe di calore per le suddette tipologie è subordinato ad alcune problematiche tecniche ed economiche, poiché per motivi di ingombro e/o di scambio termico i suddetti impianti richiedono usualmente temperature dell'acqua fino a 70-80°C.

Nel caso di **impianti nuovi** un primo criterio è di dimensionarli per temperature di esercizio non superiori ai 65°C, limite massimo per le pompe di calore. Ciò è relativamente facile nel caso degli aerotermi e delle UTA, per le quali lo scambio termico è di tipo convettivo forzato dal ventilatore. Nel caso dei radiatori la potenza erogata è fortemente dipendente dalla temperatura dell'acqua, cosa che comporta un maggiore ingombro abbastanza consistente. Gli aspetti tecnici ed architettonici sono sostanzialmente superabili e quindi il problema è fondamentalmente economico. Naturalmente nel bilancio va computato il sistema complessivo (cioè anche la pompa di calore in confronto alla caldaia)

Nel caso di **impianti esistenti** è impensabile, per evidenti ragioni economiche e pratiche, di sostituire le unità terminali esistenti, in particolare quando si tratta dei radiatori, e/o i circuiti di distribuzione (che sono annegati nei muri).

E' tuttavia possibile indagare sulla esistenza di eventuali situazioni di surdimensionamento degli impianti esistenti. Si è infatti constatato, soprattutto negli edifici costruiti fino a qualche decina di anni orsono, che:

- ben difficilmente i radiatori richiedono temperature a 75°C, anche nel caso di impianti progettati per 80°C o più
- spesso i radiatori funzionano a portata ridotta o intermittente, per effetto della valvola termostatica o del rubinetto sull'ingresso dell'acqua.

Il problema tecnico consiste quindi nel verificare se sono in grado di erogare la potenza necessaria anche quando alimentati a 60-65°C. Questa verifica che non presenta eccessive difficoltà poiché è sufficiente:

- intervenire sul termostato di caldaia, tarandolo sulla temperatura di interesse
- regolare la apertura dei rubinetti dei singoli radiatori
- registrare le temperature negli ambienti, in relazione alla temperatura esterna

Ad una verifica positiva dal punto di vista tecnico deve naturalmente far seguito la verifica economica

I casi di più immediato interesse che si prospettano in relazione a questa tipologia di intervento sono quelli degli edifici o dei quartieri costruiti negli anni '60 e '70 che hanno la necessità di ristrutturare la centrale termica.

Utenze termiche che richiedono acqua calda ad alta temperatura (oltre 65°C)

Per quanto detto in precedenza la pompa di calore non è adeguata per servire utenze quando la temperatura dell'acqua calda richiesta eccede i 65°C.

Ci sono naturalmente delle eccezioni, costituite dai grandi impianti di teleriscaldamento scandinavi. Tuttavia non riteniamo che queste rappresentino un riferimento riproducibile alla applicazione qui in studio. Esse infatti sono macchine con potenze termiche di alcune decine di MW che provvedono a fornire il carico termico di base (insieme agli inceneritori dei rifiuti) in impianti di teleriscaldamento che erogano potenze di alcune centinaia di MW.

6.2.3 Trasferimento di calore mediante anello d'acqua

Gli impianti ad anello d'acqua costituiscono una interessante soluzione tecnica per quegli edifici nei quali vi è contemporanea richiesta di riscaldamento e di raffrescamento. Quest'ultimo si rende necessario anche nella stagione invernale quando vi è elevata produzione di calore da fonti interne, come tipicamente accade negli edifici del terziario, dove ci sono centri elaborazione dati (CED) da raffrescare, o negli edifici di grandi dimensioni con numerosi locali che non affacciano sull'esterno.

Il concetto di base è quello di avere un certo numero di pompe di calore reversibili ciascuna dedicata ad un ambiente, ad una zona dell'edificio oppure ad una funzione particolare (es. raffrescamento CED). Queste si interfacciano da un lato con l'ambiente da riscaldare/raffrescare e dall'altro con un circuito di acqua ad anello ad una temperatura "neutrale", intorno ai 20-25°C.

Durante il funzionamento in raffreddamento esse raffrescano l'ambiente (lato evaporatore) e riversano nell'anello il calore da dissipare (lato condensatore), mentre durante il funzionamento in riscaldamento usano l'anello come fonte di calore a bassa temperatura (lato evaporatore) e riversano in ambiente il calore necessario (lato condensatore). Il cambio di configurazione avviene automaticamente.

Naturalmente è difficile che i carichi termici e frigoriferi si bilancino tra di loro, pertanto sarà comunque necessaria una interfaccia esterna all'anello d'acqua per le seguenti funzioni:

- riversare il calore in eccesso quando, nella stagione estiva, la prevalenza delle pompe di calore funziona in raffrescamento. In questo caso si può ricorrere ad una torre evaporativa, oppure al free cooling con acqua di pozzo. Questa viene emunta, riscaldata mediante scambiatore di calore, e restituita in ambiente
- attingere il calore necessario a mantenere la temperatura nell'anello d'acqua quando, nella stagione invernale, le pompe di calore funzionano prevalentemente in riscaldamento. Ciò è ottenibile interponendo una pompa di calore tra l'acqua di falda e l'anello d'acqua.

Questa soluzione comporta vantaggi e svantaggi:

- dal punto di vista dell'investimento si hanno due effetti contrapposti: da un lato un maggiore costo rispetto al caso di impianto centralizzato poiché invece di un'unica macchina o al più di poche unità, vi sono diverse macchine di piccola taglia dislocate nell'edificio. Per contro la potenza complessivamente installata è minore per effetto della funzione di trasferimento di calore
- i costi di manutenzione sono maggiori rispetto ad un impianto centralizzato, mentre i costi di esercizio sono ridotti dal fatto che si opera il trasferimento di calore
- l'impianto è maggiormente sfruttabile, soprattutto nelle mezze stagioni, cosa che comporta maggior comfort agli ambienti
- dal punto di vista termodinamico siamo di fronte ad una soluzione con due pompe di calore in serie (una opera tra la falda e l'anello, e l'altra tra l'anello e l'utenza) il cui effetto cumulato è sostanzialmente identico al caso in cui si abbia una sola macchina che opera tra falda ed utenza.

6.2.4 Schemi per impianti di condizionamento

Pompa di calore reversibile

Il funzionamento di una pompa di calore reversibile in configurazione raffrescamento è in tutto simile a quello di un gruppo frigorifero raffreddato ad acqua.

Il problema semmai si pone in relazione al dimensionamento della macchina, quando deve fornire sia il riscaldamento che il raffreddamento.

A titolo esemplificativo ipotizziamo una macchina con COP pari a 4 (corrispondente ad una efficienza pari a 3 nel funzionamento come gruppo frigorifero) che deve alimentare una utenza da 1.000 kW in riscaldamento e 1.200 kW in raffrescamento. Al di là dei numeri specifici, è questo un caso, molto frequente, in cui i carichi massimi estivi sono superiori a quelli invernali.

Pensando al funzionamento in riscaldamento la macchina fornisce 1.000 kW al condensatore, assorbe $1.000 / 4 = 250$ kW elettrici, e scambia 750 kW sul lato evaporatore (lato acqua di falda).

Per sopperire ai suddetti 1.200 kW frigoriferi la macchina è quindi insufficiente.

Una macchina dimensionata sul raffrescamento, invece, scambia 1.200 kW all'evaporatore, assorbe $1.200 / 3 = 400$ kW elettrici e scarica 1.600 kW al condensatore. Questa macchina è sufficiente anche per il riscaldamento.

Si vede quindi come, nell'esempio indicato, il dimensionamento vada in questo caso effettuato sulle condizioni di funzionamento estive.

Free cooling

Il free cooling consiste nel raffreddare l'acqua di ritorno delle utenze mediante scambio termico diretto con l'acqua di falda.

Il gruppo frigorifero è quindi sostituito da uno scambiatore di calore del tipo acqua acqua.

Questa configurazione è ottimale nelle stagioni intermedie poiché permette il raffrescamento degli ambienti senza avviare il gruppo frigorifero quando il carico frigorifero delle utenze non è molto elevato.

Il suddetto scambiatore di calore sarà installato in parallelo all'evaporatore della pompa di calore.

6.2.5 Alimentazione della pompa di calore

Alimentazione elettrica

La alimentazione elettrica delle pompe di calore e delle stazioni di pompaggio è una soluzione consolidata che non pone problemi tecnici particolari poiché è del tutto analoga alla alimentazione di una centrale frigorifera.

Si devono solamente tenere presente alcuni fattori che, quando si progettano e realizzano impianti di solo riscaldamento, usualmente non vengono considerati:

- poiché le potenze elettriche in gioco sono dell'ordine delle centinaia di kW, la fornitura è in genere in media tensione
- occorre prevedere gli spazi ed i costi per la cabina di consegna e di trasformazione
- occorre che la manutenzione sia effettuata da personale qualificato

Alimentazione mediante a motore primo

La alimentazione mediante motore primo consiste come già accennato in precedenza, nel produrre la potenza meccanica per muovere il compressore della pompa di calore mediante un motore alternativo o una turbomacchina (turbogas).

La fattibilità tecnica e la convenienza economica di questa soluzione devono essere esaminate caso per caso, e dipendono da diversi fattori:

- la potenza elettrica deve essere dell'ordine di alcune centinaia di kW, in genere non vi è convenienza per potenze elettriche inferiori ai 100-200 kW
- il motore deve essere utilizzato in cogenerazione, cioè deve essere recuperato il calore di raffreddamento del motore stesso e/o dei gas di scarico in questo caso è possibile per alimentare utenze termiche anche a temperatura più alta di quella delle pompe di calore
- si deve utilizzare un combustibile defiscalizzato, cosa possibile in caso di cogenerazione
- si deve verificare la compatibilità della installazione rispetto alle emissioni di rumore. In pratica non ci dovrebbero essere abitazioni in un intorno di 100 m.
- si deve verificare la compatibilità della installazione rispetto alle emissioni dei gas combusti in atmosfera. Poiché questi impianti sono in genere al piano terra, al di là di quanto indicato dalle norme, per una buona installazione le abitazioni devono distare almeno 50-100 m.

6.3 Distanze massime tra sorgente e impianto

L'impianto deve essere collegato al pozzo di emungimento ed al corso d'acqua per la restituzione in ambiente mediante tubazioni. Per ogni pozzo da 35 l/s sono necessarie tubazioni con diametro di 150-200 mm.

Non si può dire che esiste un limite fisico o economico assoluto per definire la posizione reciproca tra i suddetti elementi, tuttavia il criterio da applicare è comunque che l'impianto deve collocarsi il più vicino possibile alla sorgente (pozzo di emungimento) ed al punto di restituzione dell'acqua (corso superficiale).

Per "il più vicino possibile" si intendono distanze che vanno da una situazione ideale di qualche decina di metri per arrivare al più a 100-200 m. Distanze superiori vanno esaminate caso per caso, ma riteniamo che andare oltre qualche centinaio di metri in territorio cittadino sia improponibile.

Le problematiche sono essenzialmente legate a:

- potenza elettrica per il pompaggio, ed alla relativa energia elettrica assorbita, poiché queste grandezze sono pressochè proporzionali alla distanza
- difficoltà urbanistiche dovute alla la posa delle tubazioni di collegamento, anch'esse proporzionali alla distanza. Si pensi ad esempio all'attraversamento di un incrocio stradale o alla posa sotto il piano stradale il più delle volte già saturo di servizi interrati (telefono, elettricità, gas, polifore con servizi vari, metropolitana, ecc.): la situazione va esaminata caso per caso, ma è evidente che quanto più breve è il tragitto, tanto minore è la probabilità di trovare ostacoli.

L'impianto a sua volta deve essere collocato nelle immediate vicinanze dell'utenza. Si tenga presente che nel caso del collegamento impianto-utenza si devono prevedere tubazioni coibentate per cui i diametri esterni da considerare sono almeno dell'ordine dei 300 mm. L'utenza, nel caso di ristrutturazione di centrali termiche, può essere costituita dagli esistenti collettori di mandata e ritorno della centrale termica stessa.

In definitiva, tenendo conto del tessuto urbano esistente, riteniamo che l'insieme di impianto, utenza, pozzo e scarico in ambiente, debba essere contenuto in una circonferenza di diametro non superiore ai 300 m.

6.4 Potenziali termici sfruttabili, dimensionamento e coefficienti di prestazione degli impianti

Si faccia riferimento alle **Tabelle 3-8**.

Sono state considerate le situazioni relative a:

- un singolo pozzo tipico
- i 31 pozzi realizzati dall'Amministrazione Comunale di Milano
- i 186 pozzi in appalto o in progetto a cura della Metropolitana Milanese, di cui 42 del 1° e 2° lotto da realizzarsi entro il 2000 e 144 entro il 2001 (o successivi)
- totale generale dei pozzi

Per ciascuna situazione si sono considerate le potenzialità derivanti da produzione di calore a **50°C** ed a **65°C**.

Si è considerata la sola situazione relativa al riscaldamento invernale. Gli scenari fanno inoltre riferimento a condizioni medie di funzionamento, e quindi possono essere ulteriormente ottimizzati.

Per ogni pozzo si è considerato:

- profondità 35 m
- temperatura dell'acqua: **15°C**.
- portata: **35 l/s**, pari a 126 m³/h,
- salto termico dell'acqua di falda pari a **7°C** (differenza tra la temperatura di emungimento e quella di restituzione)

Risulta un **COP** effettivo di circa **3,5** per le pompe di calore con acqua a 50°C, che scende a **2,8** quando si produce acqua a 65°C.

Il bilancio energetico illustrato nelle tabelle è stato sviluppato naturalmente tenendo conto di tutti i fattori che penalizzano le prestazioni teoriche rispetto a quelle effettive, in particolare:

- energia elettrica per il pompaggio del circuito di emungimento e restituzione
- perdite di calore del sistema di distribuzione
- fattore di carico effettivo nella stagione invernale

Sintetizzando i risultati relativamente alle potenzialità del pozzo tipico risultano i seguenti valori principali:

Dati di riferimento	Acqua 50°C	Acqua 65°C
Potenza termica emungimento	1.026 kW	1.026 kW
COP pompa di calore	4	2,8
Potenza termica pompa di calore	1.368 kW	1.596 kW
Potenza elettrica (compreso pompaggio)	372 kW	600 kW
Volumetria riscaldabile	53.000 m ³	61.900 m ³
Energia elettrica assorbita (compreso pompaggio)	537.600 kWh/a	844.500 kWh/a
Gas naturale sostituibile	219.000 m ³ /a	255.500 m ³ /a
Energia primaria risparmiabile	56 Tep/a	15 Tep/a

Le valutazioni sopra indicate fanno riferimento, come detto, al caso del solo riscaldamento invernale, che rappresenta la condizione più tipica della tipologia edilizia milanese, ma non certo la più favorevole all'impiego delle pompe di calore. Condizioni più favorevoli possono essere trovate laddove vi sia la necessità del raffrescamento estivo. E' necessaria a questo proposito una accurata indagine territoriale per identificare le utenze specifiche che possono essere servite (cfr. sezione 5.3).

6.5 Limiti tecnici e urbanistici di applicazione

I limiti tecnici ed urbanistici di applicazione per gli impianti a pompa di calore che utilizzano l'acqua di falda come sorgente di calore a bassa temperatura risultano dal contesto dei paragrafi precedenti dedicati a singoli aspetti impiantistici.

Per sintetizzare possiamo ricordare qui di seguito i principali aspetti:

- i pozzi di emungimento, l'impianto ed il punto di restituzione (corso d'acqua superficiale) devono essere il più possibile vicini, possiamo indicativamente fissare in poche centinaia di metri la distanza massima
- le utenze termiche (radiatori, pannelli radianti, unità trattamento aria, ecc.) devono richiedere temperature non superiori ai 65°C

- la produzione di acqua calda centralizzata ad usi igienico sanitari è conveniente se in abbinamento al servizio di riscaldamento
- l'allacciamento elettrico in media tensione non deve comportare problemi
- nel caso di alimentazione con motore primo questo deve stare almeno a 100 m dagli edifici per evitare problemi di rumore e inquinamento atmosferico
- è preferibile che l'utenza preveda non solo il riscaldamento invernale ma anche il condizionamento estivo

6.6 Valutazioni economiche

Sono state elaborate alcune valutazioni economiche di massima prendendo a riferimento l'impiego di pompe di calore per il solo riscaldamento di edifici residenziali. Questo scenario dovrebbe costituire la situazione peggiore poiché:

- non è previsto il condizionamento estivo, che contribuisce in modo determinante a contenere l'effetto del maggiore investimento
- il costo medio dell'energia elettrica in inverno è più elevato rispetto alla media annua
- non sono state prese in considerazione ottimizzazioni impiantistiche o recuperi energetici che permettano di ridurre i costi di esercizio (principalmente costituita dall'energia elettrica)
- non sono stati considerati finanziamenti agevolati o a fondo perduto
- non si è considerata la fornitura di acqua calda ad usi igienico sanitari

Si sono assunte le seguenti ipotesi:

- per quanto riguarda l'investimento si sono considerate le differenze rispetto ad un impianto tradizionale a gas
- si sono considerati gli esborsi per energia elettrica dovuti al pompaggio ed alle pompe di calore, a 150 L/kWh, trascurando quelli della circolazione verso l'utenza che non cambiano sostanzialmente rispetto ad una soluzione tradizionale a gas
- gli oneri finanziari sono stati calcolati sul maggiore investimento, ad un tasso del 7% per un a durata di 8 anni
- il combustibile sostituito è gas naturale non defiscalizzato, a 1.150 Lire/m³
- i calcoli sono stati effettuati nel caso di utenza a 50°C ed a 65°C

Lo schema utilizzato è molto semplificato ma permette di identificare con sufficiente precisione gli ordini di grandezza delle quantità in esame.

I risultati sono presentati nelle **Tabelle 9-10**, dalle quali si ricava che:

- il tempo di ritorno semplice del maggiore investimento rispetto all'impianto tradizionale a gas è di 4,5 – 5,5 anni a seconda delle temperature dell'utenza e della dimensione degli impianti
- il risparmio annuo sul costo della Mcal (ovvero del kWh termico), sempre rispetto ad un impianto tradizionale a gas, è compreso tra il 28% ed il 37%, sempre a seconda delle temperature dell'utenza e della dimensione degli impianti.

In conclusione si può affermare che gli impianti a pompa di calore che utilizzano l'acqua di falda come sorgente di calore a bassa temperatura hanno una loro validità economica ed esiste lo spazio perché siano competitivi con i sistemi di riscaldamento tradizionali.

6.7 Indicazioni generali per la progettazione e l'installazione di pompe di calore

Risulta a questo punto evidente come l'impiego dell'acqua di falda come sorgente di calore a bassa temperatura si prospetti come una buona opportunità per l'impiego delle pompe di calore a Milano.

La vasta tipologia di utenza e di impiantistica presente nel territorio non rende tuttavia generalizzabile il ricorso a tali macchine, ma solo una dettagliata analisi caso per caso permette di individuare le soluzioni tecnicamente ed economicamente.

Non è quindi semplice individuare e sintetizzare i criteri generali sulla base dei quali impostare la progettazione e la installazione di impianti a pompa di calore. Si indicano comunque qui di seguito alcuni punti che, seppure in modo non esaustivo, permettono oculate scelte progettuali.

Il progetto deve essere preceduto da uno studio specifico con la simulazione del funzionamento su base giornaliera e nei diversi mesi dell'anno, in modo da individuare con esattezza consumi e costi per il caso in esame. La valutazione deve tenere naturalmente conto anche dell'eventuale funzionamento estivo in raffrescamento. In quest'ultimo caso occorre naturalmente evidenziare la differenza dei costi (sia di investimento che di esercizio) rispetto a quelli che comunque andrebbero spesi per l'impianto di raffrescamento.

Nel caso di adozione di una pompa di calore reversibile si deve adottare una macchina con l'inversione sull'impianto e non sul ciclo del refrigerante, in modo che il senso di percorrenza del refrigerante sia sempre lo stesso, per evitare che gli elementi (scambiatori, valvole, ecc.) vengano di volta in volta percorsi in senso opposto, con evidente penalizzazione delle prestazioni.

Nel caso di macchine a più circuiti di refrigerante (caso tipico delle macchine con compressore alternativo della potenza termica di alcune centinaia di kW) occorre preferire macchine con i singoli circuiti parzializzabili su 2 o più gradini, cosa ottenibile bypassando alcuni dei cilindri del compressore.

Al fine di minimizzare i consumi elettrici per il pompaggio dell'acqua di falda è opportuno verificare la possibilità di utilizzare pompe a portata variabile (con continuità o a gradini), con regolazione impostata sul salto termico dell'acqua a cavallo dell'evaporatore. In questo modo si possono risparmiare il 40% circa del consumo elettrico per pompaggio rispetto al funzionamento a portata costante e ΔT variabile. Ciò corrispondente ad un risparmio annuo del 5% circa del fabbisogno elettrico totale (pompaggio + pompa di calore).

Sezione 7

FASE C: Normativa e Giuridica

7.1 Premessa

Il 13 agosto 1997 il Comune di Milano, settore acquedotto, richiedeva al Servizio Opere Interesse Locale, Ufficio Acque e Bonifica, radicato presso la Direzione Generale Opere Pubbliche della Regione Lombardia, una *"autorizzazione per la costruzione e collegamento di pozzi per uso non potabile, per la riattivazione della roggia Vettabbia e del Naviglio Martesana mediante acqua di falda"*.

Il progetto di costruzione di 32 pozzi, per i quali il Comune di Milano richiedeva autorizzazione, era dunque motivato dall'esigenza di porre rimedio, da un lato, ad un problema ambientale collegato all'innalzamento della falda acquifera e, dall'altro, ad un'emergenza sanitaria dovuta all'eccessiva concentrazione di acque fognarie immesse nella roggia Vettabbia, eccessiva concentrazione che ben poteva essere ridotta con la sostituzione delle acque fognarie con l'acqua pulita proveniente dalla falda.

Il 19 marzo 1999 la Regione Lombardia, in persona del Direttore Generale delle Opere Pubbliche e Protezione Civile, rispondeva favorevolmente al progetto presentato dal Comune mediante il rilascio della richiesta autorizzazione *"per l'escavazione di n. 32 pozzi in Comune di Milano per contenere l'innalzamento della falda"*.

Dal raffronto dei due documenti sopra descritti con questo progetto volto all'uso a fini energetici delle acque di falda mediante l'installazione di pompe di calore, emergono alcune considerazioni preliminari.

In primo luogo, dai documenti risulta chiaramente che l'autorizzazione rilasciata dalla Regione autorizza il Comune di Milano all'escavazione dei pozzi sul presupposto che l'acqua non viene in alcun modo utilizzata ma soltanto scaricata nella roggia Vettabbia. In secondo luogo, la Regione motiva il rilascio dell'autorizzazione sulla base della considerazione della situazione di emergenza in atto nel territorio del Comune di Milano dovuta all'innalzamento della falda e ciò, *"in attesa che venga definita una direttiva specifica per la realizzazione dei pozzi e sollevamenti delle acque sotterranee con il solo fine di abbassare la falda"*.

Per l'utilizzo dell'acqua di falda si rende pertanto necessaria un'analisi della normativa vigente al fine di individuare quali siano i provvedimenti necessari sia per permettere al Comune di Milano di fare uso dell'acqua di falda a fini energetici sia per determinare quali debbano essere le concrete modalità operative di tale uso.

Va da sé che anche se il presente studio sulla fattibilità dal punto di vista giuridico del progetto di utilizzo delle acque di falda a fini energetici è stato realizzato con riferimento in particolare ai pozzi realizzati dal Comune di Milano, considerazioni analoghe nella maggior parte dei casi varranno anche in relazione ai pozzi che saranno in futuro realizzati dalla MM, sempre al fine di contenere l'innalzamento della falda nel territorio del Comune di Milano (cfr. Fase A: ambientale, idrogeologica, urbanistica).

7.2 Normativa sulle acque pubbliche

7.2.1 Legislazione nazionale

La normativa sulle acque ha subito nel corso degli anni innumerevoli interventi e modifiche che hanno creato una complessa congerie di diverse fonti normative. Per tracciare uno schema delle principali disposizioni, competenze ed adempimenti relativamente alle acque pubbliche è necessario pertanto prendere in considerazione un notevole numero di leggi e decreti (statali e regionali) che si sono susseguiti a partire dal testo unico (T.U.) n. 1775 del 1933.

Il T.U. delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici (**R.D. 11 dicembre 1933, n. 1775**) che contiene norme generali sulle derivazioni e sulle utilizzazioni di acque pubbliche costituisce ancora oggi la principale norma di riferimento in materia di uso delle acque. E' da notare che in base al T.U. 1775/1933 erano pubbliche "tutte le acque sorgenti, fluviali o lacuali le quali abbiano o acquistino attitudine ad usi di pubblico generale interesse" e le acque pubbliche dovevano essere iscritte a cura del Ministero dei Lavori Pubblici, in pubblici elenchi redatti per province.

Il **DPR 24 luglio 1977 n. 616**, ha che ha delegato in via generale alle Regioni numerose funzioni amministrative prima riservate allo Stato, ha disposto un trasferimento alle Regioni di tutte le funzioni relative alla tutela, disciplina e utilizzazione delle risorse idriche, con esclusione delle funzioni espressamente riservate allo Stato. Le funzioni delegate devono essere esercitate nel rispetto delle direttive statali sia generali sia di settore per la disciplina dell'economia idrica. In concreto, per quanto riguarda le derivazioni di acque pubbliche disciplinate dal T.U. n. 1775/1933, il DPR n. 616/1977 ha lasciato allo Stato, in persona del Ministero dei Lavori Pubblici, la competenza a rilasciare le concessioni per le *grandi derivazioni* (derivazioni con portata d'acqua superiore a 100 litri/secondo), mentre per le *piccole derivazioni* (derivazioni con portata fino a 100 litri/secondo) la competenza è stata trasferita alle Regioni.

La legge Galli (**L. 5 gennaio 1994, n. 36**) ha radicalmente innovato la materia stabilendo all'articolo 1 che *tutte le acque superficiali e sotterranee, ancorché non estratte dal suolo, sono pubbliche* e costituiscono una risorsa che è salvaguardata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà. L'articolo 1 stabilisce inoltre che gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse, per non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici. In base all'articolo 2 l'uso dell'acqua per il consumo umano è prioritario rispetto agli altri usi del medesimo corpo idrico superficiale o sotterraneo e gli altri usi sono ammessi quando la risorsa è sufficiente e a condizione che non ledano la qualità dell'acqua per il consumo umano.

La legge Galli introduce all'articolo 4, lettera f, il concetto di *servizio idrico integrato*, costituito dall'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue. In base all'articolo 8, i servizi idrici integrati sono organizzati sulla base di *Ambiti Territoriali Ottimali* (ATO), delimitati dalle Regioni secondo i seguenti criteri: rispetto dell'unità del bacino idrografico o del sub-bacino o dei bacini idrografici contigui, superamento della frammentazione delle gestioni e conseguimento di adeguate dimensioni gestionali. All'interno di ogni ATO, le diverse fasi della captazione, adduzione e distribuzione delle acque potabili, di fognatura e depurazione devono essere quindi considerati, pianificati e gestiti unitariamente.

In questo contesto grande importanza è rivestita dall'*Autorità di Bacino* che ha il compito di assicurare l'*equilibrio del bilancio idrico*. A tale proposito, l'Autorità di Bacino, ai sensi dell'articolo 3, definisce ed aggiorna periodicamente il bilancio idrico diretto ad assicurare l'equilibrio fra la disponibilità delle risorse reperibili o attivabili nell'area di riferimento ed i fabbisogni per i diversi usi. L'obiettivo del conseguimento del *risparmio idrico*, invece, secondo l'articolo 5, deve essere raggiunto mediante il risanamento e il graduale ripristino delle reti esistenti che evidenzino rilevanti perdite, l'installazione di reti duali nei nuovi insediamenti abitativi, commerciali e produttivi di rilevanti dimensioni, l'installazione di contatori in ogni singola unità abitativa nonché di contatori differenziati per le attività produttive e del settore terziario esercitate nel contesto urbano e la diffusione di metodi e apparecchiature per il risparmio idrico domestico e nei settori industriale, terziario ed agricolo.

Recentemente, il **D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112** ha completato e razionalizzato il trasferimento di molte competenze amministrative dallo Stato alle Regioni già precedentemente avviato con il DPR 616/1977. La nuova normativa tra l'altro ha riordinato la ripartizione delle competenze in materia di gestione dei beni del demanio idrico. In particolare l'articolo 89 conferisce alle Regioni e agli enti locali tutte le funzioni non espressamente riservate allo Stato dall'articolo 88. In particolare sono trasferite alle Regioni "le funzioni relative alla gestione del demanio idrico, ivi comprese tutte le funzioni amministrative relative alle derivazioni di acqua pubblica, alla ricerca, estrazione e utilizzazione delle acque sotterranee, alla tutela del sistema idrico sotterraneo nonché alla determinazione dei canoni di concessione e all'introito dei relativi proventi" fatto salvo quanto disposto dall'articolo 29, comma 3, che prevede la perdurante competenza dello Stato per le grandi derivazioni di acque pubbliche per uso idroelettrico.

Alla luce delle modifiche introdotte dal D.Lgs. 112/1998 sembra pertanto che sia adesso di competenza delle Regioni il rilascio delle concessioni per tutte le derivazioni, sia grandi che piccole, di acque pubbliche, con la sola eccezione delle grandi derivazioni di acque pubbliche per uso idroelettrico. Spetta perciò ora alle Regioni la definizione delle modalità e delle condizioni cui il rilascio di tali concessioni dovrà essere sottoposto.

Da ultimo, il **D. Lgs. 11 maggio 1999 n. 152**, che costituisce la nuova normativa quadro in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, ha

modificato alcune norme del T.U. 1775/1933 al fine di un miglior coordinamento tra le varie normative in materia di acque.

7.2.2 *Legislazione regionale della Lombardia*

La **L. R. 20 ottobre 1998, n. 21** attua nel territorio della Regione Lombardia la già citata Legge Galli (L. 36/1994). E' prevista l'adozione di un piano regionale degli usi delle acque e la suddivisione in 12 Ambiti Territoriali Ottimali (ATO), uno dei quali composto interamente dalla Città di Milano. Con Decreto del Presidente della Giunta Regionale, inoltre, sarà nominata l'Autorità delle Acque.

La **L. R. 10 dicembre 1998, n. 34** all'articolo 3 disciplina le modalità di determinazione dei canoni di utilizzo delle acque pubbliche.

Infine, la **L. R. 22 gennaio 1999, n. 2** articolo 2, commi 18 – 28, razionalizza la spesa relativa all'istruttoria e al rilascio di concessioni o autorizzazioni in alcuni procedimenti relativi a pozzi e derivazioni di acque pubbliche.

7.3 Concessione di derivazione e utilizzazione di acque pubbliche

7.3.1 *Rilascio della concessione*

L'articolo 95 del Testo Unico n. 1775/1933 prevede che chi voglia provvedere a ricerche di acque sotterranee o a scavo di pozzi deve chiederne l'autorizzazione all'ufficio del Genio Civile, corredando la domanda del piano di massima dell'estrazione e dell'utilizzazione che si propone di eseguire.

L'articolo 7 stabilisce che le domande per nuove concessioni e utilizzazioni corredate dei progetti di massima delle opere da eseguire per la raccolta, regolazione, estrazione, derivazione, condotta, uso, restituzione e scolo delle acque sono dirette al Ministro dei lavori pubblici e presentate all'Ufficio del Genio Civile alla cui circoscrizione appartengono le opere di presa. Tali domande sono altresì presentate all'Autorità di bacino per il prescritto parere. Decorso quaranta giorni il parere favorevole si intende accordato.

Tali articoli, ovviamente, necessitano di armonizzazione con la normativa intervenuta successivamente, e da ultimo il D. Lgs. 112/1998, e che ha determinato il trasferimento di competenza in capo alle Regioni del rilascio delle concessioni in materia di demanio idrico.

La vigente legislazione prevede infatti che, in linea di principio, la Regione sia competente ad emanare qualsivoglia autorizzazione o concessione in materia di derivazione o utilizzo delle acque.

Occorre, inoltre, rilevare che gli uffici competenti ad effettuare il procedimento relativo all'emanazione di una concessione sono sempre quelli incardinati presso il Genio Civile i quali, inizialmente, erano organi periferici del Ministero dei Lavori Pubblici mentre oggi esercitano le funzioni che sono state trasferite alle Regioni.

Unitamente all'atto di concessione viene solitamente redatto e sottoscritto il disciplinare, con cui sono previsti tutti gli oneri connessi alla concessione. Secondo l'articolo 40 del T.U. 1775/1933, il disciplinare della concessione determina la quantità, il modo, le condizioni della raccolta, regolazione, estrazione, derivazione, condotta, uso, restituzione integrale o ridotta e scolo dell'acqua, le garanzie nell'interesse dell'agricoltura, dell'igiene pubblica e stabilisce il canone annuo. Nel disciplinare inoltre possono essere anche previste norme relative alle tariffe di vendita dell'acqua derivata o dell'energia con essa prodotta.

Solitamente, la sottoscrizione da parte del concessionario del disciplinare è accompagnata dal deposito di un'adeguata cauzione, non inferiore alla metà del canone annuo.

Le concessioni d'acqua sono accordate nei limiti della disponibilità e pertanto, qualora il volume dell'acqua diminuisca per cause naturali, la Regione concedente non è tenuta ad indennizzare il soggetto titolare della concessione. Tuttavia quest'ultimo potrà chiedere ed ottenere la riduzione del canone annuo oppure eseguire nuovi lavori al fine di ristabilire tutte le derivazioni.

L'articolo 20 del T.U. 1755/1933 permette il trasferimento della concessione purchè sia rilasciato il prescritto nulla osta da parte dell'Amministrazione concedente. Per alcuni tipi di utenze, accordate *intuitu rei*, quale ad esempio quella d'irrigazione, il trasferimento è automatico in favore dell'eventuale nuovo proprietario del fondo.

7.3.2 Cessazione delle concessione

In considerazione del preminente interesse pubblico, che normalmente accede alle acque, la legge dispone anzitutto che l'utilizzazione dell'acqua da parte del concessionario deve essere effettuata nei limiti e nelle modalità fissate dall'atto di concessione e, a garanzia dell'effettiva utilizzazione dell'acqua da parte del concessionario, è prevista la decadenza in caso di mancato sfruttamento della risorsa idrica.

La decadenza può anche essere comminata qualora sia effettuata una cessione della concessione senza il preventivo nulla osta necessario ovvero per il mancato pagamento di tre annualità del canone.

Una concessione può cessare anche per scadenza del termine pattuito. Solitamente però essa viene rinnovata se gli scopi per cui era stata emanata persistono e se non sono sopravvenute altre prevalenti e contrarie ragioni di interesse pubblico.

In ogni caso, ai sensi dell'articolo 21 del T.U. n. 1775/1933 così come modificato da ultimo dal D. Lgs. 152/1999, la durata massima della concessione è pari a 30 anni, eccezion fatta per le concessioni ad uso irriguo per le quali tale termine è elevato a 40 anni.

Infine, la concessione può essere oggetto di riscatto da parte dell'amministrazione concedente, per motivi espressamente delineati del disciplinare ovvero di revoca nel caso ricorrano ragioni di interesse pubblico e salvo indennizzo.

7.4 Canoni di concessione

Gli usi, e i canoni dovuti in concessione ai diversi usi, per la concessione di acque pubbliche erano, in origine, disciplinati dagli articoli 35 e 36 del T.U. n. 1775/1933. In particolare, era previsto il pagamento di dodici lire annue per ogni modulo (centro litri al minuto secondo) di acqua potabile o di irrigazione, di due lire annue per ogni ettaro per irrigazione di terreni con derivazioni non suscettibili di essere fatte a bocca tassata e dodici lire annue per ogni cavallo dinamico di forza motrice.

Nel corso degli anni, poi, vari provvedimenti di legge hanno incrementato i canoni fino all'emanazione di una nuova disciplina da parte della già citata legge Galli (legge n. 36/1994) che ha completamente innovato sia l'entità dei canoni, sia gli usi possibili, sia, infine, la "politica" di fissazione dei canoni stessi per cui si prende ora in considerazione, ai fini di un abbattimento considerevole della loro entità, la restituzione dell'acqua con determinate caratteristiche qualitative.

Rimane tuttavia vigente la disciplina originariamente prevista dall'articolo 36 del T.U. n. 1775/1933 per gli usi promiscui. Ai sensi di tale disposizione, per le concessioni ad uso promiscuo di irrigazione e di forza motrice si applica il canone più elevato e se l'uso promiscuo riguarda soltanto una parte dell'acqua derivata, il canone più elevato si applica soltanto a questa parte.

I canoni annui relativi alle utenze di acque pubbliche attualmente vigenti sono stati come detto determinati dall'articolo 18 della L. 36/1994, che li fissa secondo le seguenti modalità:

- a) per ogni modulo di acqua ad uso di irrigazione, Lire 70.400, ridotte alla metà se le colature e i residui di acqua sono restituiti in falda;*
- b) per ogni ettaro, per irrigazione di terreni con derivazione non suscettibile di essere fatta a bocca tassata, Lire 640;*
- c) per ogni modulo di acqua assentito per uso umano, Lire 3 milioni;*
- d) per ogni modulo di acqua assentito ad uso industriale, Lire 22 milioni, assumendosi ogni modulo pari a tre milioni di metri cubi annui. Il canone è ridotto del 50% se il concessionario attua un riuso delle acque a ciclo chiuso reimpiegando le acque risultanti a*

valle del processo produttivo o se restituisce le acque di scarico con le medesime caratteristiche qualitative di quelle prelevate;

e) per ogni modulo di acqua per la piscicoltura, l'irrigazione di attrezzature sportive e di aree destinate a verde pubblico, Lire 500.000;

f) per ogni kilowatt di potenza nominale concessa o riconosciuta, per le concessioni di derivazione ad uso idroelettrico, Lire 20.467;

g) per ogni modulo di acqua ad uso igienico ed assimilati, concernente l'utilizzo dell'acqua per servizi igienici e servizi antincendio, ivi compreso quello relativo ad impianti sportivi ed industrie e strutture varie qualora la richiesta di concessione riguardi solo tale utilizzo, per impianti di autolavaggio e lavaggio stradale e comunque per tutti gli usi non previsti dalle precedenti lettere, Lire 1.500.000.

Le Regioni, inoltre, possono istituire un'addizionale fino al 10% dell'ammontare dei canoni mentre è previsto un meccanismo triennale di aggiornamento realizzato in relazione al tasso di inflazione programmato e delle finalità della legge e regolato dal D.M. 25 febbraio 1997, n. 90, Regolamento recante modalità di applicazione dell'articolo 18, comma 5, della L. 5 gennaio 1994, n. 36.

Per quanto riguarda la Regione Lombardia, in particolare, la legge regionale n. 34 del 10 dicembre 1998 all'articolo 3 prevede che il canone per la concessione è determinato dalla somma del canone erariale e dell'addizionale regionale. E' inoltre dovuta un'imposta regionale nella misura di dieci lire per ogni cento lire di canone erariale. La medesima legge dispone che a partire dal 1 gennaio 1999 il canone di concessione è riscosso direttamente dalla Regione.

E' opportuno sottolineare a questo punto che la normativa vigente non prevede un apposito canone applicabile all'uso delle acque di falda a fini energetici per il funzionamento di pompe di calore. Pertanto sembra ragionevole ritenere che l'utilizzo della acque di falda per tali fini debba essere assoggettato al canone stabilito per "gli altri usi" previsti dalla lettera (g) dell'articolo 18 della legge n. 36/1994, pari a lire 1.500.00 per ogni modulo prelevato.

7.5 Scarico delle acque

Le acque di falda estratte dal sottosuolo con lo scopo principale di contenere l'abbassamento della falda verranno scaricate secondo il progetto presentato dal Comune di Milano alla Regione Lombardia nella Roggia Vettabbia e nel Naviglio Martesana.

Si deve ritenere che anche in caso di utilizzo di tale acque a fini energetici per funzionamento di pompe di calore non muterebbe il loro corpo recettore, ossia il corpo idrico nel quale vengono scaricate, né muterebbe la loro qualità, se si eccettua una lieve diminuzione della loro temperatura che non dovrebbe però ragionevolmente influire sulle loro caratteristiche qualitative (cfr. sezione 5.8).

La domanda a questo punto che ci dobbiamo porre è se in base alla normativa vigente, come determinata da ultimo dal D.Lgs. n. 152/1999, sia necessario ottenere una autorizzazione per effettuare tale scarico idrico nelle acque superficiali. A tale proposito, l'articolo 28 del D.Lgs. n. 152/1999 dispone che "tutti gli scarichi sono disciplinati in funzione del rispetto degli obiettivi di qualità dei corpi idrici e devono comunque rispettare i valori limite di emissione previsti nell'Allegato 5". Inoltre l'articolo 45 stabilisce che "tutti gli scarichi devono essere preventivamente autorizzati". La domanda di autorizzazione deve essere presentata alla Provincia, tranne nel caso di scarico in pubblica fognatura per il quale è competente il Comune. L'autorizzazione rilasciata è valida per quattro anni.

Alla luce di tali disposizioni sembra pertanto di dover concludere che per lo scarico nella Roggia Vettabbia e nel Naviglio Matersana, che devono essere considerate a tutti gli effetti acque superficiali, sia necessario ottenere una autorizzazione allo scarico da parte della Provincia, sia in caso che l'acqua non venga in alcun modo utilizzata, sia che invece venga in ipotesi usata a fini energetici per il funzionamento di pompe di calore.

7.6 Utilizzo e gestione dell'acqua di falda

Alla luce di quanto abbiamo esposto nei precedenti paragrafi, risulta che il Comune di Milano se vorrà in alcun modo fare uso dell'acqua di falda dovrà preventivamente ottenere una apposita concessione da parte della Regione Lombardia.

In linea generale, il Comune, una volta ottenuta tale concessione, in qualità di concessionario di acque pubbliche, dovrà quindi utilizzare l'acqua di falda nei modi e per i fini stabiliti nel disciplinare allegato alla concessione.

Quanto al concreto utilizzo ed alla gestione dell'acqua di falda da parte del Comune di Milano esistono diverse opzioni, tutte ugualmente praticabili da un punto di vista teorico. In primo luogo è possibile ipotizzare una forma di gestione diretta, da parte del Comune, dell'acqua oggetto della concessione. Il Comune potrebbe, infatti, utilizzare l'acqua direttamente al fine esclusivo di soddisfare un interesse proprio, ad esempio a servizio di edifici di proprietà comunale.

In secondo luogo, il Comune, quale ente concessionario, potrebbe provvedere ad una subconcessione dell'acqua ad i soggetti terzi interessati al suo utilizzo, purché però tale eventualità sia prevista dal disciplinare regionale allegato alla concessione. In alternativa, il Comune potrebbe anche provvedere al trasferimento a terzi della concessione o alla cessione, totale o parziale, dell'utenza ai sensi dell'articolo 20 del T.U. sulle acque n. 1775/1933, già sopra citato.

Si noti però che tale disposizione subordina le modifiche di titolarità al nulla osta dell'amministrazione concedente e che la richiesta del nulla osta deve essere in tal caso accompagnata dall'illustrazione dei motivi che

determinano la cessione e dall'indicazione delle condizioni e patti in base ai quali si deve effettuare.

In terzo luogo, e forse più semplicemente, il Comune potrebbe accordarsi con i soggetti terzi interessati all'uso dell'acqua di falda a fini energetici e presentare una richiesta "congiunta" di concessione insieme a tali soggetti, in modo da ottenere il rilascio da parte della Regione di una concessione direttamente in capo ai soggetti utilizzatori con "riserva di proprietà" dei pozzi a vantaggio del Comune.

In quarto luogo, qualora il Comune non desideri di utilizzare direttamente l'acqua di falda per soddisfare un interesse proprio, né possa o voglia subconcederla a terzi, né infine ritenga opportuno attuare la formula della concessione diretta in capo ai soggetti utilizzatori con riserva di proprietà a suo favore, esso potrebbe affidare la "gestione" (ossia essenzialmente l'attività di distribuzione) dell'acqua di falda ad una società mista, a partecipazione pubblica maggioritaria, appositamente costituita nelle forme di cui all'articolo 22, lettera e, della legge 142/1990 sul procedimento amministrativo.

Se il Comune infine decidesse di non voler costituire una società mista per la gestione dell'acqua di falda, potrebbe comunque sempre decidere di affidare il servizio di gestione dell'acqua ad un soggetto terzo, scelto mediante gara pubblica di appalto. A tale proposito, non trattandosi nel caso di specie di acqua potabile è da escludersi l'applicazione del Decreto Legislativo n. 158/1995, regolante gli appalti pubblici di lavori, forniture e servizi nei settori esclusi, in quanto tale normativa fa un espresso riferimento soltanto all'acqua potabile come ricadente nel proprio ambito di applicazione. Pertanto potrebbe in ipotesi rientrare nell'ambito della citata normativa solo l'affidamento da parte del Comune della gestione della somministrazione di acqua potabile.

Invece, nel caso di specie, trattandosi di acqua non potabile, l'affidamento del servizio dovrebbe logicamente rientrare nell'ambito di applicazione del Decreto Legislativo n. 157/1995, in materia di appalti pubblici di servizi, purché siano soddisfatte le due condizioni previste dalla normativa per la sua applicazione: le condizioni del valore e della materia. Il primo requisito prevede l'assoggettamento alla legge soltanto per gli appalti di valore superiore a 200.000 EURO, esclusa IVA. Le materie, invece, sono elencate negli allegati 1 e 2 del decreto. A tale proposito è il caso di sottolineare che la categoria dell'appalto del servizio di erogazione di acque non potabile non è espressamente previsto in nessuno dei due allegati. Tuttavia si può ritenere che esso possa rientrare nella categoria n. 27 dell'allegato 2 denominata "altri servizi".

E' opportuno a questo punto sottolineare che, in tutti i casi in cui i soggetti utilizzatori dell'acqua di falda non abbiano ricevuto una concessione per l'uso dell'acqua a fini energetici per il funzionamento di pompe di calore, la forma giuridicamente più idonea per realizzare la distribuzione dell'acqua di falda sarà quella del contratto di somministrazione, disciplinato dagli articoli 1559 e seguenti del codice civile.

In caso di molteplicità di domande per l'utilizzazione dell'acqua di falda, la scelta dei soggetti utilizzatori potrebbe essere fatta sulla base di criteri di priorità tra diverse categorie di utenti preventivamente stabiliti nel disciplinare della concessione oppure nel disciplinare della subconcessione o dell'appalto. Tali criteri potrebbero ad esempio privilegiare in primo luogo le proprietà del Comune e della Metropolitana Milanese, enti proprietari dei pozzi, ed in subordine ad esempio, ospedali, scuole o edifici di pubblica utilità o interesse (cfr. sezione 5.3).

7.7 Tariffe

In caso di somministrazione dell'acqua di falda da parte del Comune a soggetti terzi, viene in rilievo il tema delle tariffe da applicare a tale attività di somministrazione.

Il tema delle tariffe è affrontato dalla legge n. 36/1994 (legge Galli) che prevede norme e criteri di riferimento per la determinazione della tariffa del servizio idrico integrato, costituito dall'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue.

La legge Galli stabilisce che la tariffa è determinata tenendo conto della qualità della risorsa idrica e del servizio fornito, delle opere e degli adeguamenti necessari, dell'entità dei costi di gestione delle opere, dell'adeguatezza della remunerazione del capitale investito e dei costi di gestione delle aree di salvaguardia, in modo che sia assicurata la copertura integrale dei costi di investimento e di esercizio.

E' importante sottolineare che la riorganizzazione della disciplina tariffaria nel settore delle acque, che come abbiamo visto è ispirata al principio della copertura integrale dei costi, è stata accompagnata dalla soppressione del Comitato Interministeriale Prezzi (CIP) e delle Commissioni Provinciali Prezzi.

Le tariffe vengono oggi fissate dagli enti locali titolari del servizio e vengono applicate dai soggetti gestori del servizio, nel rispetto della convenzione con l'ente titolare e del relativo disciplinare. La legge Galli ha però previsto l'elaborazione di un metodo normalizzato per la formazione di una *tariffa di riferimento*, articolata per fasce di utenza e territoriali, anche con riferimento a particolari situazioni idrogeologiche.

Il D.M. 1 agosto 1996, recante il metodo normalizzato per la definizione delle componenti di costo e la determinazione della tariffa di riferimento del servizio idrico integrato, ha poi introdotto il meccanismo del *price-cap* e cioè un meccanismo contrattuale che nell'ambito della periodica ridefinizione delle tariffe pone un limite ad eccessivi incrementi attraverso, da un lato, l'abbattimento programmato dei costi di funzionamento operativo e, dall'altro, la loro connessione ad effettivi interventi di miglioramento di efficienza e qualità del servizio.

Occorre fin da subito precisare, però, che l'ambito di applicazione delle norme e dei criteri, nonché della tariffa di riferimento di cui sopra dovrebbe essere limitato alla definizione delle tariffe del servizio idrico integrato. All'utilizzo dell'acqua di falda a fini energetici per funzionamento di pompe di calore non dovrebbero pertanto applicarsi norme, criteri e tariffe di riferimento determinate dalla legge Galli e dalle sue norme di attuazione. Tuttavia, non può escludersi in linea di principio che il Comune di Milano nel determinare la tariffa per la somministrazione di acque di falda per il funzionamento di pompe di calore non possa tenere conto di norme, criteri e tariffe vigenti in relazione alla gestione del servizio idrico integrato. Il Comune, al fine di incentivare il recupero energetico ed il risparmio della risorsa idrica, potrebbe ad esempio prevedere un "agganciamento" della tariffa per la somministrazione dell'acqua di falda alla tariffa vigente per la distribuzione dell'acqua potabile, anche soltanto in termini di percentuale della prima nei confronti della seconda. Inoltre, sempre riguardo alla tariffa, il Comune potrebbe prevedere un incremento periodico della stessa in rapporto a vari indici, quale ad esempio l'indice ISTAT sul costo della vita.

7.8 Finanziamenti

7.8.1 Finanziamenti CE, statali e regionali

In termini generali, si può affermare che lo sviluppo e la realizzazione del progetto di costruzione e installazione di pompe di calore per l'utilizzo delle acque di falda a fini energetici potrebbe ottenere finanziamenti da varie fonti e in base a diversi strumenti normativi. Le possibili fonti di finanziamenti in linea teorica e del tutto generale sono essenzialmente tre: la Comunità Europea, lo Stato e la Regione.

La Comunità Europea, ad esempio, finanzia iniziative pilota di innovazione tecnologica che possano comportare un beneficio per l'ambiente e promuovere lo sviluppo sostenibile, nell'ambito del programma LIFE. Le domande per la richiesta di finanziamenti devono essere presentate alla Comunità Europea, per tramite del Ministero dell'Ambiente. Entro la fine del 1999 è prevista l'approvazione del rifinanziamento del programma LIFE, con l'adozione del regolamento CE che introduce LIFE III.

Altri finanziamenti comunitari potrebbero poi essere ottenuti nell'ambito di programmi di ricerca e sperimentazione volti ad incentivare l'utilizzo di fonti rinnovabili ed energie alternative, come ad esempio i programmi SAVE o ALTENER.

La politica energetica nazionale, come noto aveva previsto già con la legge 9/91 agevolazioni fiscali per il contenimento dei consumi energetici ed incentivi per l'autoproduzione e con la legge 10/91 contributi in conto capitale ed altri incentivi a sostegno dell'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia e del risparmio energetico. Appositi contributi ed agevolazioni fiscali erano previsti in particolare per l'installazione di pompe di calore per riscaldamento ambiente e/o produzione acqua sanitaria.

Più recentemente, la delibera CIPE n. 137 del 19 novembre 1998, contenente linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra, in attuazione del Protocollo di Kyoto sul cambiamento climatico, ha previsto tra le azioni nazionali per la riduzione delle emissioni di gas serra anche la produzione di energia da fonti rinnovabili e la riduzione dei consumi energetici nei settori industriale/abitativo/terziario. Tuttavia, al momento non risultano essere ancora state emanate norme di attuazione contenenti appositi capitoli di spesa e incentivi o finanziamenti riferibili alla costruzione e all'installazione di pompe di calore. Una ulteriore possibile fonte di finanziamento a livello nazionale potrebbe inoltre derivare dai fondi stanziati nell'ambito del Piano nazionale per la tutela ambientale, attualmente in corso di elaborazione da parte del Ministero dell'Ambiente.

La maggior parte dei finanziamenti per il settore energetico disponibili in Italia sono erogati comunque dalle Regioni, attraverso diversi strumenti e con diverse modalità. Secondo l'analisi dell'insieme degli strumenti esistenti in campo energetico contenuta dell'*Annuario dell'Ambiente della Regione Lombardia* (1997) esistono vari strumenti utilizzabili nel settore delle fonti rinnovabili e per l'incentivazione del risparmio energetico, i quali possono essere così sintetizzati:

- 1) Il Piano energetico regionale per l'uso delle fonti rinnovabili di energia, emanato in attuazione dell'articolo 5 della legge 10/91.
- 2) Gli incentivi finanziari (contributi a fondo perduto e agevolazioni fiscali) previsti dalla legge 10/91.
- 3) Il finanziamento di progetti pilota per il risparmio energetico e lo sviluppo sostenibile.

Altri strumenti di cui è prevista l'attivazione, e che potrebbero contenere interessanti disposizioni ai fini del presente studio, riguardano invece la legge quadro regionale per l'energia ed il fondo regionale per l'energia.

Nel prossimo paragrafo analizzeremo un concreto strumento di finanziamento per l'installazione di pompe di calore, previsto dalla normativa della Regione Lombardia. In ogni caso, vale a questo punto la pena di sottolineare che, vista la molteplicità degli strumenti normativi di potenziale riferimento e l'assenza per il momento di un progetto definitivo, risulta per adesso del tutto prematuro tentare di identificare lo strumento più idoneo di finanziamento (a livello, regionale, statale o comunitario) per lo sviluppo e la realizzazione del progetto di costruzione e installazione di pompe di calore per l'utilizzo delle acque di falda a fini energetici.

La possibilità concreta ed effettiva di accedere a finanziamenti del tipo di quelli descritti sopra potrà pertanto essere verificata concretamente con le competenti autorità, solo una volta definito in maggiore dettaglio il progetto per l'utilizzo delle acque di falda a fini energetici.

7.8.2 Finanziamenti regionali FRISL

Un interessante strumento di finanziamento per l'installazione di pompe di calore previsto dalla normativa della Regione Lombardia è quello predisposto nell'ambito del FRISL (*Fondo Ricostruzione Infrastrutture Sociali Lombardia*), istituito dalla legge regionale 34/78 e finanziato da ultimo per il periodo 1998-99 con la legge regionale 16/98.

La scheda di finanziamento redatta nell'ambito del FRISL per l'iniziativa "*uso razionale dell'energia*" prevede in particolare tra gli interventi *finanziabili* "*la realizzazione di pompe di calore con utilizzo di acqua di falda per climatizzazione nel settore terziario in provincia di Milano*". I fondi stanziati per tali interventi ammontano a 2 miliardi per il periodo 1998-99 ed il contributo consiste nell'erogazione di finanziamenti a rimborso decennale senza interessi fino al 70% della spesa totale per opere di importo non inferiore a 250 milioni e non superiore a 2 miliardi, IVA esclusa. I possibili enti beneficiari di tali contributi sono comunità montane, enti locali, enti pubblici singoli o associati, consorzi pubblici, aziende speciali, società per azioni a partecipazione mista.

L'esistenza di tale forma di finanziamento per l'installazione di pompe di calore dimostra che esiste un certo interesse da parte della Regione per lo sviluppo di questa forma di uso razionale dell'energia e sviluppo dell'energia rinnovabile, anche se naturalmente l'importo totale dei fondi messi a

disposizione per tali interventi non sarebbe assolutamente idoneo a coprire le potenziali richieste, se dovesse diventare operativo il presente progetto di uso a fini energetici delle acque di falda, estratte dal Comune di Milano ed in futuro anche dalla MM per contenere l'innalzamento della falda.

Sezione 8. Conclusioni

Opportunità di utilizzo delle pompe di calore

Lo Studio ha evidenziato, per tutto il territorio di Milano, condizioni tecniche, ambientali ed economiche assolutamente favorevoli alla realizzazione di centrali di riscaldamento e/o condizionamento basate su tecnologie a pompe di calore, con utilizzo di acqua di falda superficiale come sorgente termica a bassa temperatura.

Le pompe di calore possono offrire condizioni di esercizio ottimali e tali da rappresentare un sistema di riscaldamento competitivo, in particolare nel settore del terziario ed in quelle strutture residenziali, tipiche degli anni '60, dotate di riscaldamento a pannelli.

L'utilizzo di pompe di calore può inoltre essere applicato a molti edifici "tradizionali" dotati di riscaldamento a termosifoni in cui, grazie al dimensionamento "abbondante" in uso negli anni '60 e '70, gli impianti hanno temperature di esercizio di 60-65 °C anziché i classici 80°C.

Le pompe di calore infine, se correttamente dimensionate, possono funzionare come gruppi frigoriferi nel periodo estivo, rendendo ulteriormente economico e vantaggioso il loro utilizzo.

I numerosi pozzi realizzati (o in progetto) per contenere l'innalzamento della falda superficiale (217 previsti, 31 già realizzati, 42 in appalto) ben si conciliano con l'applicazione di impianti a pompa di calore e rappresentano quindi una opportunità di rilancio di questa tecnologia.

Il potenziale teorico di riscaldamento di edifici è molto elevato, con una volumetria totale di circa 12 milioni di metri cubi e con un risparmio sui consumi di gas naturale dell'ordine di 50 milioni di metri cubi annui (o oltre 50 milioni di litri di gasolio l'anno).

Questi dati sono di estremo interesse anche se valutati sul potenziale energetico teorico ottenibile dal singolo pozzo (53.000 - 61.000 m³ di volumetria riscaldabile; 212.000 - 255.000 m³ di gas o litri gasolio risparmiabili in un anno).

L'impiantistica proposta non è tuttavia applicabile in modo generalizzato, ma occorre verificare in sede progettuale, caso per caso, ciascuno degli interventi proposti tenendo presente diversi fattori quali: la collocazione degli impianti rispetto al punto di emungimento, le esigenze termiche dell'utenza, la necessità di ristrutturazioni delle centrali termiche che andrebbero sostituite, il ritorno economico.

A fronte di queste considerazioni si ritiene che lo sfruttamento di almeno **il 20% della potenzialità teorica totale (su 217 pozzi utilizzabili) rappresenti per l'Amministrazione Comunale di Milano l'obiettivo minimo, concreto e raggiungibile nell'arco di alcuni anni (entro il 2008-2012).**

Si segnala al proposito che un caso di particolare interesse, tra tutti quelli elencati nello Studio, è quello dell'Ospedale S.Paolo in quanto rappresenta un'ottima utenza, con una potenza termica per riscaldamento e per produzione di acqua calda ad usi igienico-sanitari dell'ordine di 10MW. Nelle sue vicinanze sono infatti previsti ben 20 pozzi da cui, mediante adeguate pompe di calore, si può ricavare una potenza di circa 30 MW.

Regolamentazione delle concessioni, dei canoni, delle tariffe, degli scarichi; condizioni di incentivazione (normative, fiscali, ecc.)

Da quanto esposto in "Fase C: Normativa e giuridica", si rende inevitabile, e auspicabile, una completa regolamentazione giuridica di tutto l'argomento trattato in questo studio, in quanto le attuali normative non stabiliscono precise norme specifiche per l'utilizzo di acque di falda a scopo energetico. Nelle sedi opportune (Regione, Provincia, Comune, Enti energetici locali) sarà quindi necessario definire un provvedimento unitario con un quadro completo di norme e di regole relative a: concessioni, canoni, tariffe idriche ed elettriche, autorizzazione agli scarichi, contratti di gestione e di somministrazione.

Adegamenti e semplificazioni di tipo normativo, quanto meno a livello regionale, potranno infatti generare lo stimolo ad utilizzare le acque di falda come vettore energetico su tutto il territorio locale e non solo ad opera (o nell'ambito) dell'Amministrazione Comunale di Milano ma anche in altri ambiti "pubblici", nel terziario, nei servizi, nel residenziale privato.

Importante a tal fine è inquadrare e definire le reali possibilità di accedere a contributi (in conto capitale o di altro tipo) di natura statale, regionale o comunitaria.

Campagna promozionale

In un'ottica di promozione e sviluppo di queste tecnologie dovrà infine essere impostata una adeguata campagna di informazione, illustrante caratteristiche, funzioni, vantaggi, costi/benefici, modalità progettuali e amministrative, e destinata a tutti coloro i quali, in ambito pubblico o privato, desiderassero contribuire efficacemente all'utilizzo di fonti di energia rinnovabili, al risparmio energetico e alla diminuzione di emissioni in atmosfera.

**Amministrazione Comunale di
Milano**

Tabella 1

Lot to	N. e Luogo Intervento		N.Pozzi	Q l/sec	Recapito finale
1	1 *	Largo Augusto	0	0	roggia Vettabbia
1	2	via Verziere	1	35	roggia Vettabbia
1	3	piazza Fontana	1	35	roggia Vettabbia
1	4		1	35	roggia Vettabbia
1	5	piazza Tarelli	1	35	roggia Vettabbia
1	6	via Disciplini	1	35	roggia Vettabbia
1	7	piazza Vetra	1	35	roggia Vettabbia
1	8...11	Parco delle Basiliche	4	140	roggia Vettabbia
1	12		1	35	roggia Vettabbia
1	13	via Tabacchi / via Sarfatti	1	35	roggia Vettabbia
1	14...16	via Tabacchi	3	105	roggia Vettabbia
1	17...19	Via Tantardini	3	105	roggia Vettabbia
1	20	via Zamenhof / via Balilla	1	35	roggia Vettabbia
1	21 - 22	via Castelbracco	2	70	roggia Vettabbia
1	23	viale Toscana	1	35	roggia Vettabbia
1	24...30	Parco Ravizza	7	245	roggia Vettabbia
1	31- 32*	via S.Marco (B. di Porta Nuova)	1	35	roggia Vettabbia
1	33	Gorla (via Bertelli)	1	35	naviglio Martesana
Totale			31	1085	

* = non viene sfruttato il pozzo in Largo Augusto (n.1) e non viene realizzato il pozzo in Conca dell'Incoronata (n.32)

Interventi di prima fase: Lotto 1 (entro fine 1999)

Profondità 40 m
pozzi:

Portata prevista per pozzo : 35 lit/sec.

Ubicazione pozzi:

TAVOLE 0...7

Fonte dei dati: Progetto "Piano degli interventi straordinari per il controllo della falda"

**MM - Metropolitana Milanese
SpA**

Tabella 2

Lotto	N. e Luogo Intervento	N.Pozzi	Q l/sec	Recapito finale
1	1 Ospedale S.Paolo	20	700	roggia Carlesca
2	2 Conca del Naviglio	3	105	darsena Porta Ticinese
	3 Parco Solari	8	280	fiume Olona (ramo darsena)
	9 via Morgagni	6	210	cavo Melzi
	15 via Pacini	5	175	cavo taverna
Totale 1° e 2° lotto		42	1470	
3-4-5-6	4 via Dei Missaglia - Conca Fallata	6	210	roggia Regina
	5 Foro Buonaparte	6	210	Grande Sevese
	6 via Dei Missaglia - snodo Manduria	4	140	roggia Marianna
	7 via Ripamonti	10	350	cavo Da Sesto
	8 via Lombroso	8	280	roggia Triulza, r. Spazzola
	10 via Cechov	6	210	fiume Olona
	11 ex impianto depurazione QT8	4	140	fiume Olona
	12 via Piranesi	8	280	roggia Triulza
	13 piazza S.Maria Nascente	3	105	fiume Olona
	14 Parco Alessandrini	9	315	cavo Sala
	16 piazza Carbonari	4	140	fiume Seveso
	17 via Zurigo	7	245	deviatore Olona
	18 via Valfurva	7	245	fiume Seveso
	19 Parco Comunale via Lessona	11	385	torrente Pudiga
	20 viale Zara	4	140	fiume Seveso
	21 Parco Nord	7	245	fiume Seveso
	22 viale Ortles	8	280	scaricatore Redefossi
	23 Parco Lambro	5	175	fiume Lambro
	24 Palizzi	15	525	torrente Pudiga
	25 via G. Papa	6	210	torrente Pudiga
26 piazzale Tripoli	6	210	fiume Olona	
Totale 3° 4° 5° 6° lotto		144	5040	
Totale generale		186	6510	

Interventi di prima fase: Lotto 1 e 2 (entro anno 2000)
Altre fasi: Lotti 3 - 4 - 5 - 6 (da definire)

Profondità pozzi: 40 m (area nord)
35 m (area centrale)
30 m (area sud)

Portata prevista per pozzo : 35 lit/sec.

Ubicazione pozzi:

TAVOLE 8...13

Fonte dei dati: Progetto "Piano degli interventi straordinari per il controllo della falda"

DATI DI RIFERIMENTO E POTENZIALITA'		POZZO TIPICO	POZZI COMUNE MILANO	POZZI METROPOLITANA MILANESE			TOTALE GENERALE
				LOTTI 1° E 2°	LOTTI 3°, 4° E 5°	TOTALE	
Tabella 3 - EMUNGIMENTO DALLA FALDA							
Numero pozzi		1	31	42	144	186	217
Portata	l/s	35	1,085	1,470	5,040	6,510	7,595
	kg/s	0.035	1.085	1.470	5.040	6.510	7.595
	m3/h	126	3,906	5,292	18,144	23,436	27,342
Emungimento annuo	m3/a	321,048	9,952,488	13,484,016	46,230,912	59,714,928	69,667,416
Temperature							
emungimento	°C	15					
restituzione	°C	8					
Potenza termica estraibile da falda							
delta temp	°C	7					
Potenza termica	kW	1,026	31,800	43,084	147,717	190,802	222,602
Potenza elettrica pompaggio							
portata	m3/h	126	3,906	5,292	18,144	23,436	27,342
prevalenza emungimento	bar	3.5					
prevalenza linea alla pdc	bar	3.0					
prevalenza totale	bar	6.5					
rendimento		75%					
potenza elettrica	kW	30.3	940	1,274	4,368	5,642	6,582

Tabella 4 - RISCALDAMENTO CON POMPE DI CALORE							
Pompa di calore							
Temp acqua calda prodotta	°C	50					
COP teorico		6.31					
Efficienza rispetto a quella teorica		63%					
COP effettivo	kW	4.00					
Potenza termica resa	kW	1,368	42,400	57,446	196,956	254,402	296,802
Potenza elettrica pdc	kW	342	10,600	14,361	49,239	63,601	74,201
Potenza elettrica totale	kW	372	11,540	15,635	53,607	69,243	80,783
Perdite calore rete		3%					
Potenza termica utile	kW	1,327	41,128	55,722	191,048	246,770	287,898
Utenza termica per riscaldamento (netta)							
Potenza termica utile		1,327	41,128	55,722	191,048	246,770	287,898
potenza specifica max	W/m3	25					
	kcal/h/m3	21.5					
volumetria	m3	53,069	1,645,134	2,228,891	7,641,911	9,870,802	11,515,936
gradi giorno	°C*giorni	2,404					
delta t max	°C	25					
giorni riscaldamento	giorni	182					
delta t medio	°C	13.2					
fattore di carico medio		52.8%					
ore di funzionamento	h/g	14					
ore totali	h/a	2,548					
ore equivalenti	h/a	1,346					
Energia specifica annua	kWh/m3/a	33.7					
	Mcal/m3/a	28.9					
Energia totale annua netta	kWh/a	1,786,085	55,368,620	75,015,550	257,196,171	332,211,721	387,580,341
	Gcal/a	1,536	47,617	64,513	221,189	285,702	333,319
	Tep/a	154	4,762	6,451	22,119	28,570	33,332

Tabella 5 - BILANCI ENERGETICI							
Consumi elettrici							
Pompaggio	kWh/a	77,289	2,395,969	3,246,152	11,129,664	14,375,816	16,771,785
Pompa di calore	kWh/a	460,331	14,270,263	19,333,905	66,287,673	85,621,578	99,891,840
Totale	kWh/a	537,620	16,666,232	22,580,057	77,417,337	99,997,394	116,663,626
Combustibili sostituibili							
Rendimento caldaie esistenti		85%					
Energia annua	Gcal/a	1,807	56,020	75,898	260,222	336,120	392,140
gasolio equivalente	t/a	177	5,492	7,441	25,512	32,953	38,445
	l/a	212,175	6,577,435	8,911,364	30,553,247	39,464,611	46,042,046
gas naturale equivalente	m3/a	219,042	6,790,305	9,199,768	31,542,062	40,741,830	47,532,134
Bilancio energia primaria							
Risparmio per sostituzione combustibili	Tep/a	181	5,602	7,590	26,022	33,612	39,214
Rendimento produzione elettrica		37%					
Energia primaria per consumi elettrici	Tep/a	125	3,874	5,248	17,994	23,243	27,116
Risparmio annuo	Tep/a	56	1,728	2,341	8,028	10,369	12,098

Tabella 9 - VALUTAZIONI ECONOMICHE (importi in milioni di lire)							
Investimento							
Pozzo, pompaggio, scarico	ML	200	6,200	8,400	28,800	37,200	43,400
Pompa di calore	ML	400	11,160	15,120	51,840	66,960	78,120
Cabina elettrica e allacciamento	ML	100	1,860	2,520	8,640	11,160	13,020
Regolazione	ML	50	930	1,260	4,320	5,580	6,510
Imprevisti	ML	100	2,790	3,780	12,960	16,740	19,530
Caldaia a gas (in detrazione)	ML	80	2,232	3,024	10,368	13,392	15,624
Investimento netto	ML	770	20,708	28,056	96,192	124,248	144,956
Costi esercizio							
Energia elettrica	150	81	2,500	3,387	11,613	15,000	17,500
Manutenzione	3%	23	621	842	2,886	3,727	4,349
Oneri finanziari (8 anni)	7%	3	91	123	421	544	634
Totale costi		107	3,212	4,351	14,919	19,271	22,482
Risparmi annui							
Combustibile sostituito	1150	252	7,809	10,580	36,273	46,853	54,662
Risparmio sui costi	ML/a	145	4,597	6,228	21,354	27,582	32,180
Risultato economico							
Tempo di ritorno semplice	anni	5.3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Risparmio sulla Mcal a gas o gasolio (15 anni di esercizio)	Lire/Mcal	60.8	67.6	67.6	67.6	67.6	67.6
Costo indicativo della Mcal con caldaia a gas	Lire/Mcal	180.4	180.4	180.4	180.4	180.4	180.4
Risparmio percentuale	%	34%	37%	37%	37%	37%	37%

DATI DI RIFERIMENTO E POTENZIALITA'		POZZO TIPICO	POZZI COMUNE MILANO	POZZI METROPOLITANA MILANESE			TOTALE GENERALE
				LOTTI 1° E 2°	LOTTI 3°, 4° E 5°	TOTALE	
Tabella 6 - EMUNGIMENTO DALLA FALDA							
Numero pozzi		1	31	42	144	186	217
Portata	l/s	35	1,085	1,470	5,040	6,510	7,595
	kg/s	0.035	1.085	1.470	5.040	6.510	7.595
	m3/h	126	3,906	5,292	18,144	23,436	27,342
Emungimento annuo	m3/a	321,048	9,952,488	13,484,016	46,230,912	59,714,928	69,667,416
Temperature							
emungimento	°C	15					
restituzione	°C	8					
Potenza termica estraibile da falda							
delta temp	°C	7					
Potenza termica	KW	1,026	31,800	43,084	147,717	190,802	222,602
Potenza elettrica pompaggio							
portata	m3/h	126	3,906	5,292	18,144	23,436	27,342
prevalenza emungimento	Bar	3.5					
prevalenza linea alla pdc	Bar	3.0					
prevalenza totale	Bar	6.5					
rendimento		75%					
potenza elettrica	KW	30.3	940	1,274	4,368	5,642	6,582

Tabella 7 - RISCALDAMENTO CON POMPE DI CALORE							
Pompa di calore							
Temp acqua calda prodotta	°C	65					
COP teorico		5.12					
Efficienza rispetto a quella teorica		55%					
COP effettivo	KW	2.80					
Potenza termica resa	KW	1,596	49,467	67,020	229,783	296,802	346,270
Potenza elettrica pdc	KW	570	17,667	23,936	82,065	106,001	123,668
Potenza elettrica totale	KW	600	18,607	25,210	86,433	111,643	130,250
Perdite calore rete		3%					
Potenza termica utile	KW	1,548	47,983	65,009	222,889	287,898	335,881
Utenza termica per riscaldamento (netta)							
Potenza termica utile		1,548	47,983	65,009	222,889	287,898	335,881
potenza specifica max	W/m3	25					
	kcal/h/m3	21.5					
volumetria	m3	61,914	1,919,323	2,600,373	8,915,563	11,515,936	13,435,259
gradi giorno	°C*giorni	2,404					
delta t max	°C	25					
giorni riscaldamento	Giorni	182					
delta t medio	°C	13.2					
fattore di carico medio		52.8%					
ore di funzionamento	h/g	14					
ore totali	h/a	2,548					
ore equivalenti	h/a	1,346					
Energia specifica annua	kWh/m3/a	33.7					
	Mcal/m3/a	28.9					
Energia totale annua netta	kWh/a	2,083,765	64,596,723	87,518,141	300,062,199	387,580,341	452,177,064
	Gcal/a	1,792	55,553	75,266	258,053	333,319	388,872
	Tep/a	179	5,555	7,527	25,805	33,332	38,887

Tabella 8 - BILANCI ENERGETICI							
Consumi elettrici							
Pompaggio	kWh/a	77,289	2,395,969	3,246,152	11,129,664	14,375,816	16,771,785
Pompa di calore	kWh/a	767,218	23,783,772	32,223,174	110,479,455	142,702,629	166,486,401
Totale	kWh/a	844,508	26,179,741	35,469,326	121,609,119	157,078,445	183,258,186
Combustibili sostituibili							
Rendimento caldaie esistenti		85%					
Energia annua	Gcal/a	2,108	65,357	88,548	303,592	392,140	457,497
gasolio equivalente	t/a	207	6,408	8,681	29,764	38,445	44,853
	l/a	247,538	7,673,674	10,396,591	35,645,455	46,042,046	53,715,721
gas naturale equivalente	m3/a	255,549	7,922,022	10,733,063	36,799,072	47,532,134	55,454,157
Bilancio energia primaria							
Risparmio per sostituzione combustibili	Tep/a	211	6,536	8,855	30,359	39,214	45,750
Rendimento produzione elettrica		37%					
Energia primaria per consumi elettrici	Tep/a	196	6,085	8,244	28,266	36,510	42,595
Risparmio annuo	Tep/a	15	451	611	2,093	2,704	3,155

Tabella 10 - VALUTAZIONI ECONOMICHE (importi in milioni di lire)							
Investimento							
Pozzo, pompaggio, scarico	ML	200	6,200	8,400	28,800	37,200	43,400
Pompa di calore	ML	400	11,160	15,120	51,840	66,960	78,120
Cabina elettrica e allacciamento	ML	100	1,860	2,520	8,640	11,160	13,020
Regolazione	ML	50	930	1,260	4,320	5,580	6,510
Imprevisti	ML	100	2,790	3,780	12,960	16,740	19,530
Caldaia a gas (in detrazione)	ML	80	2,232	3,024	10,368	13,392	15,624
Investimento netto	ML	770	20,708	28,056	96,192	124,248	144,956
Costi esercizio							
Energia elettrica	150	127	3,927	5,320	18,241	23,562	27,489
Manutenzione	3%	23	621	842	2,886	3,727	4,349
Oneri finanziari (8 anni)	7%	3	91	123	421	544	634
Totale costi		153	4,639	6,285	21,548	27,833	32,472
Risparmi annui							
Combustibile sostituito	1150	294	9,110	12,343	42,319	54,662	63,772
Risparmio sui costi	ML/a	141	4,472	6,058	20,771	26,829	31,301
Risultato economico							
Tempo di ritorno semplice	anni	5.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
Risparmio sulla Mcal a gas o gasolio (15 anni di esercizio)	Lire/Mcal	49.9	55.6	55.6	55.6	55.6	55.6
Costo indicativo della Mcal con caldaia a gas	Lire/Mcal	180.4	180.4	180.4	180.4	180.4	180.4
Risparmio percentuale	%	28%	31%	31%	31%	31%	31%