



**Fondazione
Lombardia
per l'Ambiente**

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

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

prof. ing. Lorenzo Cassitto

RECUPERO ENERGETICO DA ACQUE DI FALDA IN COMUNE DI MILANO : ASPETTI TECNICI, AMBIENTALI, ECONOMICI, GIURIDICI

Prof. Ing. Lorenzo Cassitto
Politecnico di Milano – Dipartimento di Energetica
P.zza Leonardo da Vinci, 32 – 20133 Milano – Italia
Tel. +39 02 23993800 – Fax. +39 02 23993838

1 Introduzione

Dai primi anni '90 tutta l'area milanese è stata interessata dal progressivo fenomeno di risalita dei livelli piezometrici dell'acquifero superficiale, con innalzamenti (sino a + 10 metri) in alcune zone della città e dei comuni limitrofi e conseguenti locali gravi problemi (durabilità delle strutture in c.a., diminuzione dei coefficienti di sicurezza) e danni a numerose strutture interrato (allagamenti, infiltrazioni, perdite di volumetrie utili, messa fuori uso di centrali e reti tecnologiche, difficoltà nell'erogazione di servizi pubblici).

La causa principale di questo fenomeno è data dal deficit del bilancio idrogeologico, conseguenza diretta della drastica diminuzione (o cessazione) dei prelievi idrici da pozzi, in particolare da quelli ad uso produttivo ubicati nei principali poli industriali di Milano e dei comuni nord confinanti.

In assenza di idonei interventi la falda acquifera continuerà la sua risalita tendendo ad equilibrarsi con la situazione 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", di cui fanno parte, tra l'altro, la Regione Lombardia, l'Amministrazione Provinciale di Milano, il Comune di Milano, la MM S.p.A, il Consorzio Villorosi, l'Azienda Consorzio Acqua Potabile, il Magistrato del Po e l'Autorità di Bacino Fiume Po, con il compito specifico di individuare, programmare, verificare e attuare una serie di proposte operative e di possibili interventi.

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, il Comune di Milano e la Metropolitana Milanese S.p.A.

Questo studio di fattibilità ha verificato e valutato la fattibilità ambientale, tecnica, economica, giuridica e amministrativa 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.

Questi sistemi possono infatti utilizzare il calore contenuto nell'acquifero più superficiale, trasferendolo da un livello inferiore ad un livello superiore di temperatura e sfruttabile ai fini di riscaldamento, con un consistente risparmio energetico rispetto ai sistemi tradizionali, e con grandi benefici in termini ambientali (riduzione dei consumi di energia primaria e dei costi di gestione, minori emissioni in atmosfera).

Gli stessi sistemi possono produrre acqua refrigerata, sottraendole calore invece che alla falda, utilizzando invece quest'ultima per il raffreddamento del gruppo.

2 Aspetti ambientali, idrogeologici ed urbanistici

2.1 Pozzi di captazione delle acque 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 distribuiti in modo abbastanza uniforme su tutto il territorio comunale di Milano, da realizzarsi, in diverse fasi temporali, tra il 1999 ed il 2001.

La scelta delle località di perforazione dei pozzi è stata effettuata tenendo presente alcuni obiettivi prioritari:

- 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

I 31 pozzi 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.

La **Tabella 1**, riporta l'elenco dei pozzi, il luogo dell'intervento, le portate previste ed il recettore finale.

Metropolitana Milanese S.p.A

Il progetto originale prevede la realizzazione di un totale di n.186 pozzi.

Di questi, n.42 pozzi sono previsti in esercizio entro la prima metà dell'anno 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 lotti e verranno realizzati probabilmente tra la fine dell'anno e tutto il 2001.

La **Tabella 2** riporta l'elenco dei gruppi di pozzi, il luogo dell'intervento, le portate previste ed il recettore finale.

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, ed anche da alcuni dei 140 pozzi comunali, distribuiti su tutto il territorio milanese, attualmente fermi per inquinamento o in fase di ristrutturazione.

Per la scarsità e l'incertezza delle informazioni disponibili, nelle elaborazioni e nei calcoli energetici non si è tenuto conto di questi due gruppi di pozzi.

2.2 Caratteristiche urbanistiche nell'intorno dei pozzi

Ai fini di uno sfruttamento delle acque di falda a scopo energetico si ritiene prioritaria una 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 compreso analisi di dettaglio delle situazioni urbanistiche in un intorno significativo di ogni singolo pozzo, finalizzate alla individuazione delle possibili priorità di intervento.

2.3 Caratteristiche dei pozzi e dell'emungimento

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.

Il pozzo tipico ha le seguenti caratteristiche:

- portata: 35 l/sec
- profondità: 30-35m.
- prevalenza: 35-40 mt.

Alcune prove di portata effettuate sui pozzi già realizzati hanno fornito anche valori decisamente superiori a quelli di progetto, con portate derivabili fino a 50 l/sec.

Presso l'Amministrazione Provinciale di Milano sono stati acquisiti i dati disponibili di temperatura delle acque di falda, limitatamente al solo acquifero superficiale, rilevati da sonde automatiche in cinque pozzi di Milano, monitorati in continuo nel periodo 1998-1999.

Gli andamenti delle temperature sono abbastanza uniformi e soprattutto con limitate variazioni stagionali. I valori risultano costantemente superiori ai 15°C, con valori massimi prossimi o superiori ai 17 °C nei settori di NE e SE.

Per i calcoli energetici si è assunta quindi come temperatura media di emungimento quella di 15 °C.

3 Aspetti tecnici, energetici ed economici

3.1 Caratteristiche tecniche e criteri di scelta delle pompe di calore

Pompe di calore a compressione

Le pompe di calore prese a riferimento 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 il ciclo frigorifero
- 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. L'acqua di falda infatti non necessita di scambiatori adatti ad acque sporche.

Il fluido refrigerante oggi utilizzato è principalmente il R407c, che ha sostituito l'R22, con una penalizzazione sul rendimento di almeno il 5% e un decadimento della potenza specifica dell'ordine del 40%.

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 precedentemente usato.

Le prestazioni delle pompe di calore, in termini di efficienza o, come si usa dire, coefficient of performance (COP), dipendono naturalmente da tanti fattori, primo fra tutti le temperature dell'acqua all'evaporatore ed al condensatore. Indicativamente per produrre acqua calda a 50°C con acqua di falda a 15°C si può assumere un COP pari a 4, mentre se si vuole produrre acqua a 65°C il COP scende a 2,8 circa.

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.

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, è opportuno considerare l'azionamento mediante un motore primo, tipicamente un motore diesel a gasolio o a ciclo otto a gas. Questa soluzione risulta in particolar modo interessante, anche dal punto di vista economico, quando il motore primo funziona in cogenerazione.

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.

L'energia motrice (il calore fornito al generatore) è così in gran parte termica e solo in piccola parte elettrica (l'energia per le pompe dei liquidi).

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 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, o a fiamma diretta, ossia da matano che alimenta un generatore interno al sistema. Nel caso di funzionamento come gruppo frigorifero i suddetti COP possono arrivare rispettivamente fino a circa 0,7 e circa 1,3.

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

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

Schemi impiantistici per l'utilizzo dell'acqua di falda

Si può fare riferimento alle seguenti configurazioni:

Utilizzo diretto: 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

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

Vasca polmone : In questo caso 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. 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.

Schemi impiantistici per impianti di riscaldamento

La adottabilità delle pompe di calore, prima ancora di una valutazione di tipo economico, è 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 la temperatura dell'acqua (ad esempio sulla velocità dei ventilatori dei ventilconvettori o sulla portata dell'acqua)
- 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

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 (aerotermini)
- le unità di trattamento aria (UTA)

L'impiego delle pompe di calore per le suddette tipologie è subordinato ad alcune problematiche tecniche ed economiche:

- nel caso di **impianti nuovi** un primo criterio è di dimensionarli per temperature di esercizio non superiori ai 65°C, limite superiore per le pompe di calore. Ciò è relativamente facile nel caso degli aerotermini e delle UTA, mentre da verificare volta per volta nel caso dei radiatori, per i quali lo scambio termico è fortemente dipendente dalla temperatura dell'acqua
- nel caso di **impianti esistenti** è impensabile, per evidenti ragioni economiche e pratiche, di sostituire le unità terminali installate. E' tuttavia possibile indagare sulla esistenza di eventuali situazioni di surdimensionamento degli impianti, condizione molto diffusa negli edifici costruiti alcune decine di anni orsono, verificando se sono in grado di erogare la potenza necessaria anche quando alimentati a 60-65°C. 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.

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.

Si ha in questo caso un certo numero di pompe di calore reversibili installate ciascuna in un ambiente, una zona dell'edificio oppure dedicate ad una funzione particolare (es. raffrescamento CED), che 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.

Poichè è difficile che i carichi termici e frigoriferi si bilancino tra di loro, sarà comunque necessario:

- riversare nell'ambiente esterno il calore in eccesso mediante torre evaporativa o scambiatore alimentato con acqua di pozzo.
- attingere il calore necessario a mantenere la temperatura nell'anello d'acqua 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 poichè 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.

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. In generale le caratteristiche delle utenze sono tali per cui il dimensionamento viene 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. 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.

3.3 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. In generale l'impianto deve collocarsi il più vicino possibile alla sorgente (pozzo di emungimento) ed al punto di restituzione dell'acqua (corso superficiale), tenendo conto di:

- potenza elettrica per il pompaggio,

- difficoltà urbanistiche, che crescono con la distanza (attraversamento di incroci stradali, posa sotto il piano stradale il più delle volte già saturo di servizi interrati)
- collegamento tra impianto ed utenza, con tubazioni coibentate con diametri esterni dell'ordine dei 300 mm

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 del diametro di qualche centinaio di metri.

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

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 l'anno e 144 entro il 2001
- 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.

Il bilancio energetico 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 pozzo	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

Tep: equivalente dell'energia contenuta in una tonnellata di petrolio

3.5 Limiti tecnici e urbanistici di applicazione

Per sintetizzare ricordiamo qui di seguito i principali punti connessi all'utilizzo delle pompe di calore:

- 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 in abbinata 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

3.6 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 una durata di 8 anni
- il combustibile sostituito è gas naturale non defiscalizzato, valorizzato a 1.150 Lire/m³
- i calcoli sono stati effettuati nel caso di utenza a 50°C ed a 65°C

Dai risultati 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 unità di calore (Mcal;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.

4 Aspetti Normativi e Giuridici

Gli aspetti normativi e giuridici sono trattati nella relazione dell'Avv. M. Montini dal titolo "Utilizzo di acqua di falda a fini energetici: facilitazioni all'iniziativa" presentata in questo stesso convegno.

5 Conclusioni

Sulla base di una previsione di realizzare 217 pozzi di emungimento sul territorio della città di Milano finalizzati al controllo del livello della falda stessa, lo studio ha mostrato come ci siano gli spazi dal punto di vista tecnico, economico e normativo per realizzare centrali di riscaldamento e condizionamento basate su pompe di calore che utilizzano l'acqua di falda come sorgente di calore a bassa temperatura.

A Milano, che dispone di una falda superficiale a circa 15°C che deve essere abbondantemente emunta, le pompe di calore sono in condizioni di esercizio assolutamente favorevoli e tali da rappresentare un sistema di riscaldamento competitivo, in particolare nel terziario e in quelle costruzioni del residenziale, tipiche degli anni '60, dotate di riscaldamento a pannelli.

E' possibile che le pompe di calore siano anche utilizzabili in molti edifici "tradizionali" dotate di riscaldamento a termosifoni in cui, grazie al dimensionamento "abbondante" che si usava fare negli anni '60 e '70, gli impianti funzionavano a 60-65°C anziché ai classici 80°C.

Il potenziale teorico è il riscaldamento di edifici per una volumetria complessiva di circa 12 milioni di m³, con un risparmio sui consumi di gas naturale dell'ordine dei 50 milioni di m³ all'anno.

L'impiantistica proposta non è tuttavia applicabile in modo generalizzato, ma occorre verificare caso per caso ciascuno degli interventi proposti, tuttavia si ritiene che la realizzazione del 10% della suddetta potenzialità rappresenti per l'Amministrazione Comunale di Milano un obiettivo raggiungibile nell'arco di alcuni anni.

Si è altresì evidenziata la necessità di una completa regolamentazione giuridica di tutto l'argomento, in quanto le attuali normative non stabiliscono norme precise sull'impiego di acqua di falda a scopo energetico, normative che dovranno riguardare concessioni, canoni, tariffe idriche ed elettriche, autorizzazioni, contratti di gestione e di somministrazione.

Dovrà infine essere impostata una adeguata campagna di informazione destinata a tutti coloro che, in ambito pubblico e privato, decidessero di contribuire efficacemente all'utilizzo di questa fonte energetica largamente disponibile sul territorio di Milano.

Ringraziamenti

Questo lavoro sintetizza lo studio di fattibilità svolto con il contributo della Fondazione Lombardia per l'Ambiente per incarico dell'assessorato all'Ecologia del Comune di Milano.

Autori (L. Cassitto, G. Bartesaghi, M. Montini) desiderano ringraziare tutte le persone che ne hanno favorito la realizzazione, fornendo dati, elaborati, progetti e informazioni.

In particolare:

- . prof. ing. Domenico Zampaglione, Assessore Ambiente Ecologia del Comune di Milano
- . dott. ing. Riccardo Airoidi, 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. Marelli, Metropolitana Milanese S.p.A.
- . dott. ing. Bruno Cavagna, Metropolitana Milanese S.p.A.
- . dott. ing. Occhi, Servizio OIDS, Regione Lombardia
- . dott. Guido Rosti, Amministrazione Provinciale di Milano

Un sincero ringraziamento va inoltre alla dott.ssa Laura Bonini (Fondazione Lombardia per l'Ambiente) per la realizzazione di tutti gli elaborati cartografici e grafici di questo studio, e alla dott.ssa Teodora Marocco (Studio Brosio, Casati & Associati in associazione con Allen & Overy) per la sua collaborazione alla "fase normativa e giuridica".

Un grazie infine all'ing. Antonio Rizzi (Artea-Milano) per l'importante contributo alla stesura del capitolo tecnico-economico e per la sintesi dello studio qui di seguito proposta.