

## **Allegato 4**

**Calcoli tecnici per dimensionamento sistemi di geotermia**



COMUNE DI MILANO - MM Spa



CONNESSIONE IDRAULICA NAVIGLIO MARTESANA - DARSENA  
E RIAPERTURA DELLE PRIME 5 TRATTE

Sommario

1 ANALISI TECNICA ..... 2

2 ULTERIORI VERIFICHE A CURA DI A2A ..... 9

3 CONCLUSIONI ..... 9

# 1 ANALISI TECNICA

Il limite massimo previsto dalla normativa ambientale (D. Lgs 152/06 - Parte terza, Allegato 5, Tabella 3) è una variazione di temperatura ( $\Delta T$ ) pari a 3°C tra la sezione di ingresso IN (Cassina de Pomm) e la sezione finale OUT (confluenza nella Darsena) del canale superficiale. In sede di progettazione definitiva e di Valutazione di Impatto Ambientale si valuteranno - in accordo con gli Enti di controllo - gli eventuali impatti di tale salto termico sugli ecosistemi esistenti.

Riguardo la valutazione della possibilità di avvalersi del Naviglio come corpo idrico superficiale per il recapito di acqua di falda, emunta a fini di scambio termico, per impianti di climatizzazione di privati si riportano nel seguito una serie di considerazioni progettuali ipotizzando i seguenti scenari di funzionamento:

1. Caso A – Fase 1 (riapertura parziale)
  - a. portata complessiva pari a 3.000 lt/sec
  - b. 1.000 lt/sec provenienti da falda per uso scambio termico
  - c. 2.000 lt/sec provenienti da Adda (Naviglio Martesana)
2. Caso B – Fase 1 (riapertura parziale)
  - a. Portata complessiva pari a 3.000 lt/sec
  - b. 1.500 lt/sec provenienti da falda per uso scambio termico
  - c. 1.500 lt/sec provenienti da Adda (Naviglio Martesana)
3. Caso C – Fase 1 (riapertura parziale)
  - a. Portata complessiva pari a 3.000 lt/sec
  - b. Ipotesi di sfruttare l'intero salto termico ammissibile dalla normativa ambientale sul canale superficiale pari a  $[\Delta T]_{\max} = 3^{\circ}\text{C}$
4. Caso D – Fase 2 (Riapertura complessiva)
  - a. portata complessiva pari a 4.000 lt/sec
  - b. 2.000 lt/sec provenienti da falda per uso scambio termico
  - c. 2.000 lt/sec provenienti da Adda (Naviglio Martesana)

In esito ai calcoli che si riportano nel seguito la potenza termica utile disponibile per le utenze è la seguente:

	Portata proveniente dal Naviglio Martesana [l/s]	Portata acqua di falda per uso scambio termico [l/s]	Potenza termica utile disponibile per le utenze [MW]	
			Funzionamento invernale	Funzionamento estivo
Caso A	2000	1000	26,91	33,48
Caso B	1500	1500	40,36	50,23
Caso C	750	2250	60,54	75,35
Caso D	2000	2000	53,82	67

Nell'ipotesi di considerare un fabbisogno termico pari a 5 kW per singolo appartamento (trilocale con superficie di 70 mq) è possibile ottenere i seguenti numeri di utenze servite nei diversi scenari analizzati:

	Portata proveniente dal Naviglio Martesana [l/s]	Portata acqua di falda per uso scambio termico [l/s]	Numero di utenze servite (appartamento trilocale con superficie pari a 70 mq)	
			Funzionamento invernale	Funzionamento estivo
Caso A	2000	1000	<b>5382</b>	6696
Caso B	1500	1500	<b>8072</b>	10046
Caso C	750	2250	<b>12108</b>	15070
Caso D	2000	2000	<b>10764</b>	13400

Dall'analisi dei dati riassunti nelle tabelle precedenti si evince che il caso dimensionante risulta essere quello invernale.

Segue la descrizione dei calcoli effettuati per ogni singolo scenario preso in considerazione.

### Calcoli preliminari

La portata complessiva elaborata dal naviglio è pari a 3000 lt/sec.

Il limite massimo previsto dalla normativa ambientale è  $\Delta T = 3^{\circ}\text{C}$  tra IN e OUT del canale superficiale.

Per ricavare la  $T_{out}$  del canale superficiale, partendo dalla  $T_{in}$ , occorre effettuare per i vari casi richiesti, sia un bilancio di massa che di energia tra IN ed OUT, ovvero occorre considerare il seguente sistema di equazioni:

- $m_{in} + m_{fin} = m_{tot}$  BILANCIO DI MASSA
- $m_{in} \cdot cp \cdot T_{in} + m_{fin} \cdot cp \cdot T_{fin} = m_{tot} \cdot cp \cdot T_{out}$  BILANCIO DI ENERGIA

Dove:

- $m_{in}$  è la portata proveniente dall'Adda;
- $m_{fin}$  è la portata proveniente dalla falda per lo scambio termico con le Pdc;
- $m_{tot}$  è la portata totale del canale superficiale pari a 3000 lt/sec (NAVIGLIO);
- $T_{in}$  è la temperatura di immissione della portata proveniente dall'Adda;
- $T_{fin}$  è la temperatura di immissione in canale della portata dalla falda (temperatura di uscita delle Pdc);
- $T_{out}$  è la temperatura di uscita del canale superficiale.
- $cp$  è il calore specifico dell'acqua pari a 4,186 kJ/kgC.

## CASO A – FUNZIONAMENTO INVERNALE E FUNZIONAMENTO ESTIVO

### FUNZIONAMENTO INVERNALE (Pdc)

Come prima ipotesi è stata considerata la seguente ripartizione di portata (ripartizione ritenuta accettabile dal punto di vista idraulico):

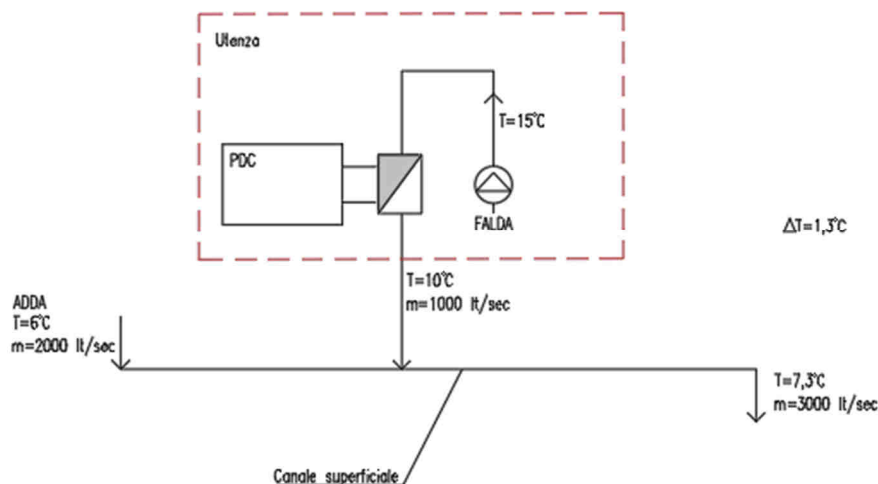
- $m_{fin}$  pari a 1000 l/s, proveniente dalla falda per uso scambio termico (Pdc);
- $m_{in}$  pari a 2000 l/s, proveniente dall'Adda.

Le temperature di immissione, nel caso invernale sono:

- $T_{in}$  pari a 6°C; (Temperatura invernale Adda)
- $T_{fin}$  pari a 10°C. (Temperatura uscita Pdc)

Risolvendo la seconda equazione sopracitata possiamo ricavare la  $T_{out}$ :

#### CASO INVERNALE



$$T_{out} = \frac{m_{in} \cdot cp \cdot T_{in} + m_{fin} \cdot cp \cdot T_{fin}}{m_{out} \cdot cp} = 7,3^{\circ}\text{C}$$

Pertanto, il  $\Delta T$  risultante tra ingresso e uscita dal canale è **1,3°C**, ben inferiore al limite previsto dalla normativa.

In queste condizioni, considerando una portata globale emunta da falda pari a 1000l/s, la massima potenza disponibile per lo scambio termico con gli impianti di riscaldamento,  $P_{sg}$  risulta pari a:

$$P_{sg} = m_{fin} \cdot cp \cdot \Delta T$$

Considerato un  $\Delta T$  di lavoro pari a 5°C sulle macchine in regime invernale ( $T_f$  15°C,  $T_{fin}$  10°C), la potenza  $P_{sg}$  risulta pari a 20,93 MW.

Da ciò possiamo ricavare la  $P_{th}$  potenza termica utile disponibile per le utenze.

Considerando un coefficiente della prestazione della macchina COP pari a 4,5, la seguente equazione permette il calcolo della potenza utile degli impianti di riscaldamento:

$$P_{sg} = P_{th} \cdot \left(1 - \frac{1}{COP}\right) \quad P_{th} = \frac{P_{sg}}{\left(1 - \frac{1}{COP}\right)} = 26,91 \text{ MW}$$

Pertanto, la massima potenza termica degli impianti è pari a 26,9 MW.

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5 kW, questo equivale a 5382 utenze.

### FUNZIONAMENTO ESTIVO (refrigeratore)

Per caso estivo le temperature di immissione sono le seguenti:

- $T_{in}$  pari a 22°C;
- $T_{fin}$  pari a 25°C.

Ripercorrendo la procedura descritta precedentemente ricaviamo i seguenti risultati:

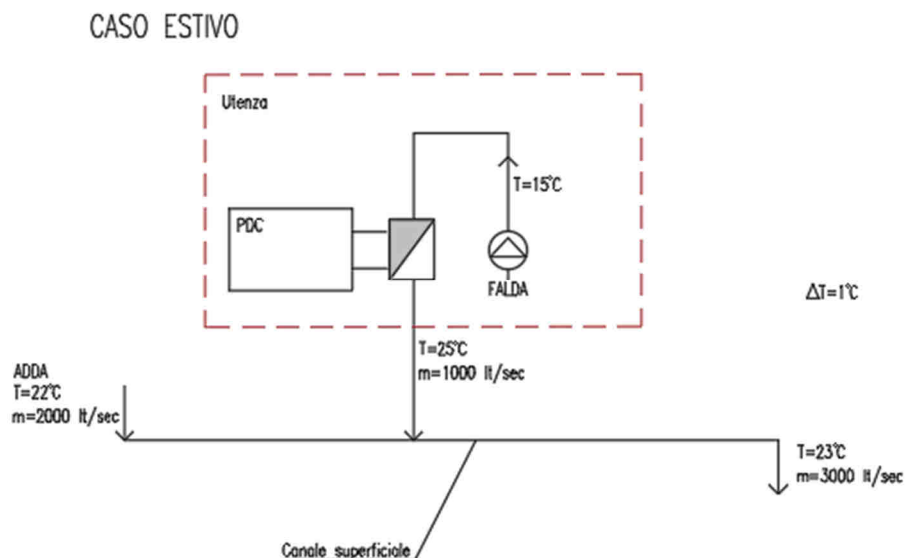
- $T_{out} = 23^\circ\text{C}$ ;
- $\Delta T$  canale superficiale pari a 1°C;

Considerato un  $\Delta T$  di lavoro pari a 10°C sulle macchine in regime estivo ( $T_f$  15°C,  $T_{fin}$  25°C), la potenza  $P_{sg}$  risulta pari a 41,86 MW.

Da ciò possiamo ricavare la  $P_{fr}$  potenza frigorifera utile disponibile per le utenze.

Considerando un indice di prestazione della macchina EER pari a 4, la seguente equazione permette il calcolo della potenza utile degli impianti:

$$P_{sg} = P_{fr} \cdot \left(1 + \frac{1}{EER}\right) \quad P_{fr} = \frac{P_{sg}}{\left(1 + \frac{1}{EER}\right)} = 33,48 \text{ MW.}$$



La potenza frigorifera degli impianti è pari a 33,48 MW

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5kW, questo equivale a 6696 utenze.

### **CONSIDERAZIONI FINALI**

Pertanto, alla luce delle considerazioni sopra riportate, si evince che il caso dimensionante risulta essere quello invernale per il quale si hanno le seguenti condizioni di esercizio:

- $m_{fin}$  pari a 1000 l/s, proveniente dalla falda per uso scambio termico (Pdc);
- $m_{in}$  pari a 2000 l/s, proveniente dall'Adda;
- $\Delta T$  canale superficiale pari a 1,3°C;
- $\Delta T$  utenze Pompa di calore pari a 5°C ( $T_f$  15°C,  $T_{fin}$  10°C);
- $P_{th}$  potenza termica utile pari a 26,91 MW (3588 utenze).

### **CASO B – FUNZIONAMENTO INVERNALE ED ESTIVO**

La seconda ipotesi presa in considerazione, prevede una portata complessiva pari a 3000lt/sec, con la seguente ripartizione idraulica:

- $m_{in}$  pari a 1500 lt/sec
- $m_{fin}$  pari a 1500 lt/sec;

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in regime estivo ed invernale:

#### **FUNZIONAMENTO INVERNALE (Pdc):**

- $T_{in} = 6^\circ\text{C}$ ;
- $T_{out} = 8^\circ\text{C}$ ;
- $\Delta T = 2^\circ\text{C}$ ;
- $P_{sg} = 31,395 \text{ MW}$
- $P_{th} = 40,365 \text{ MW}$

La potenza termica utile degli impianti è pari a 40,365 MW

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5 kW, questo equivale a 8072 utenze.

#### **FUNZIONAMENTO ESTIVO (refrigeratore):**

- $T_{in} = 22^\circ\text{C}$ ;
- $T_{out} = 23,5^\circ\text{C}$ ;

- $\Delta T = 1,5^{\circ}\text{C}$ ;
- $P_{sg} = 62,79 \text{ MW}$
- $P_{fr} = 50,23 \text{ MW}$

La potenza frigorifera utile degli impianti è pari a 50,23 MW.

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5 kW, questo equivale a 10046 utenze.

### **CASO C – FUNZIONAMENTO INVERNALE ED ESTIVO**

Come terza ipotesi, sono state calcolate le condizioni idrauliche che si verificano nell'ipotesi di sfruttare l'intero salto termico ammissibile dalla normativa ambientale sul canale superficiale pari a  $\Delta T_{max} = 3^{\circ}\text{C}$

Tramite i due bilanci possiamo pertanto ricavare le portate da prelevare dall'Adda e dalla falda.

#### **FUNZIONAMENTO INVERNALE (Pdc)**

Le condizioni di portata più critiche si verificano in regime invernale, i risultati ottenuti sono:

- $m_{fin}$  pari a 2250 lt/sec, dalla falda per uso Pdc;
- $m_{in}$  pari a 750 lt/sec, dall'Adda.
- $P_{sg} = 47,1 \text{ MW}$ ;
- $P_{th} = 60,54 \text{ MW}$ .

Pertanto, la massima potenza termica utile degli impianti è pari a 60,54 MW

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5 kW, questo equivale a 12108 utenze.

#### **FUNZIONAMENTO ESTIVO (refrigeratore)**

In regime estivo, considerando le stesse portate del regime invernale:

- $m_{fin}$  pari a 2250 lt/sec, dalla falda per uso Pdc;
- $m_{in}$  pari a 750 lt/sec, dall'Adda;

otteniamo, tramite i due bilanci, i seguenti risultati:

- $T_{in} = 22^{\circ}\text{C}$ ;
- $T_{out} = 24,25^{\circ}\text{C}$ ;
- $\Delta T = 2,25^{\circ}\text{C}$ ;
- $P_{sg} = 94,2 \text{ MW}$ ;
- $P_{fr} = 75,35 \text{ MW}$ .



Pertanto, la potenza frigorifera utile degli impianti è pari a 75,35 MW

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5 kW, questo equivale a 15070 utenze.

#### **CASO D – FUNZIONAMENTO INVERNALE ED ESTIVO**

La quarta ipotesi presa in considerazione, prevede una portata complessiva pari a 4000lt/sec, con la seguente ripartizione idraulica:

- $m_{in}$  pari a 2000 lt/sec
- $m_{fin}$  pari a 2000lt/sec;

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in regime estivo ed invernale:

##### **FUNZIONAMENTO INVERNALE (Pdc):**

- $T_{in} = 6^{\circ}\text{C};$
- $T_{out} = 8^{\circ}\text{C};$
- $\Delta T = 2^{\circ}\text{C};$
- $P_{sg} = 41,86 \text{ MW}$
- $P_{th} = 53,82 \text{ MW}$

La potenza termica utile degli impianti è pari a 53,82 MW

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5 kW, questo equivale a 10764 utenze.

##### **FUNZIONAMENTO ESTIVO (refrigeratore):**

- $T_{in} = 22^{\circ}\text{C};$
- $T_{out} = 23,5^{\circ}\text{C};$
- $\Delta T = 1,5^{\circ}\text{C};$
- $P_{sg} = 83,72 \text{ MW}$
- $P_{fr} = 67 \text{ MW}$

La potenza frigorifera utile degli impianti è pari a 67 MW.

Considerando una potenza media degli impianti di utenza pari a 5 kW, questo equivale a 13400 utenze.

## 2 ULTERIORI VERIFICHE A CURA DI A2A

Ulteriori verifiche sono state effettuate da parte di A2A.

Ne riportiamo lo studio nel documento in allegato 4.1 “Nota Tecnica A2A”.

## 3 CONCLUSIONI

Lo scenario di riferimento ritenuto più aderente alle condizioni al contorno e alle prescrizioni normative attualmente vigenti è quello che fa riferimento al caso A: prelievo dalla falda pari a 1.000 l/s e restituzione nella nuova infrastruttura idraulica alimentata dal Naviglio Martesana e caratterizzata da una portata di riferimento pari a 2.000 l/s. La portata complessiva è pertanto pari a 3.000 l/s.

In questo scenario, la potenza termica disponibile è pari a 33,48 MW in periodo di funzionamento estivo e pari a 26,9 MW in periodo di funzionamento invernale.

Considerando, in via cautelativa, che un appartamento di circa 70mq presenta un fabbisogno energetico di 5 kW e riferendosi al solo funzionamento invernale – ossia quello da cui si può ricavare la minore potenza – il numero di utenze servite risulta pari a circa 5300.

Le considerazioni preliminari svolte in forma autonoma da A2A confermano sostanzialmente i risultati dell'analisi tecnica, ipotizzando che la potenza disponibile risulta pari a circa 30 MW.

Si ritiene comunque utile segnalare come i calcoli riferiti allo scenario di intera riapertura – anch'essi confermati dalle considerazioni preliminari di A2A – portano ad ottenere un numero di utenze servite pari a circa 10200.