



UNIVERSITÀ DI SIENA

1240

Università degli Studi di Siena

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE E SCIENZE
MATEMATICHE

Corso di Laurea Magistrale in Computer and Automation Engineering
curricula: Robotics and Automation

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Simulazione e ottimizzazione dei consumi di un impianto di teleriscaldamento alimentato da fonte geotermica

Relatore:
Prof. A. Vicino

Candidato:
Marco Becattini

Correlatori:
Prof. A. Giannitrapani
Prof. S. Paoletti

Anno Accademico 2015-2016

Sommario

This is a LaTeX2e style for writing thesis. It is based on the book LaTeX2e class. The abstract is not present on the original book class, it is taken from the report class. The bastract is single spaced.

Ringraziamenti

Indice

1	Geotermia e Teleriscaldamento	3
2	Tecnologie degli impianti di teleriscaldamento	4
2.1	Struttura di un impianto	4
2.1.1	Centrale termica e di scambio	5
2.1.2	Stazioni di pompaggio	6
2.1.3	Rete di distribuzione	7
2.2	Effetti delle temperature di esercizio in un impianto di teleriscaldamento	7
2.2.1	Influenze sulla capacità termica in mandata	8
2.2.2	Influenza sull'energia di pompaggio	8
2.2.3	Influenza sulle perdite di calore	9
2.3	Effetti degli utenti sulla rete	9
2.3.1	Regolazione con valvola a tre vie	10
2.3.2	Regolazione con valvola di laminazione	11
2.3.3	Pompe a pressione differenziale	11
2.4	Effetti della temperatura esterna sulle utenze	12
3	Modelli Matematici	14
4	Risultati della simulazione	15
5	Conclusioni	16
	Appendice A: Dettagli	17
	Bibliografia	18

Introduzione

La geotermia costituisce una risposta alle esigenze di salvaguardia ambientale e di sviluppo sostenibile: è una fonte che lavora in maniera costante sfruttando il calore naturale della terra. Il termine "geotermia" deriva dal greco e significa letteralmente calore della Terra. Per energia geotermica si intende, quindi, l'energia contenuta sotto forma di calore all'interno del nostro pianeta. Di fatto, però, è possibile utilizzare industrialmente solo il calore che si trova concentrato in alcune zone privilegiate, dove sono presenti masse magmatiche fluide o in via di raffreddamento. La risorsa geotermica disponibile a profondità accessibili è contenuta in un serbatoio naturale sotto forma di vapore o acqua a elevata temperatura, in gran parte piovana, che si riscalda circolando nelle rocce calde e permeabili. Se vi sono fratture nella crosta terrestre (faglie) o affioramenti di rocce permeabili, nel raggiungere la superficie, acqua e vapore possono dar luogo a manifestazioni naturali spettacolari come geyser, lagoni, fumarole. La prima utilizzazione dell'energia geotermica, per la produzione di energia elettrica, avvenne il 4 luglio 1904 in Italia per merito del principe Piero Ginori Conti che sperimentò il primo generatore geotermico a Larderello in Toscana preludio delle vere e proprie centrali geotermiche. L'energia geotermica, inoltre, viene usata anche per la produzione di energia termica. Un sistema che sfrutta la geotermia per la produzione di calore e la sua distribuzione ai centri abitati è il teleriscaldamento. Il teleriscaldamento è un servizio di distribuzione urbana del calore per riscaldamento di ambienti e produzione di acqua calda sanitaria con produzione centralizzata. Il calore viene trasportato attraverso una rete di tubazioni interrate di acqua calda, acqua surriscaldata o vapore, detti fluidi termovettori, proveniente da una grossa centrale di produzione, alle abitazioni con successivo ritorno dei suddetti alla stessa centrale. In particolare nel comune di Pomarance, comune italiano della provincia di Pisa storicamente importante per lo sviluppo e lo sfruttamento dell'energia geotermica nella frazione di Larderello, l'azienda Geo Energy Service s.p.a. (G.E.S. s.p.a.) nata nel luglio del 2006, si occupa della gestione delle centrali termiche e delle relative reti di teleriscaldamento. In tutto gestisce nove centrali termiche alimentate da energia geotermica e sei reti di teleriscaldamento che si estendono per 200 km, per un totale di 2.400 utenze allacciate con una volumetria di circa 800.000 m³ erogando energia per circa 45.000 Gcal/anno. A fronte

dell'aumento, negli ultimi anni, del numero di utenze allacciate alla rete di distribuzione del calore, si è notato come i costi di gestione degli impianti sia cresciuto notevolmente a causa di inefficienze dovute alla mancanza di elementi di controllo e corrette regolazioni per l'ottimizzazione dell'intero sistema. Lo scopo del seguente elaborato è stato quello di cercare delle soluzioni per massimizzare l'efficienza energetica e diminuire i costi di gestione di un impianto di teleriscaldamento da fonte geotermica. In un impianto di teleriscaldamento alimentato da fonte di calore geotermica gli unici consumi di energia non rinnovabile derivano dalla energia elettrica consumata per il pompaggio delle acque di circolazione. Le stazioni di pompaggio lavorano a regime variabile e per una ottimizzazione del sistema, bisogna far sì che le pompe lavorino sempre in condizioni di buon rendimento e con il minimo dei consumi, questo vuol dire far circolare la minima quantità possibile di acqua e far sì che le temperature di ritorno siano le più basse possibili. Se nella rete di distribuzione non vi sono regolazioni presso le utenze, come l'assenza di centraline d'utenza, tutta la portata circola nei primi scambiatori e per alimentare gli ultimi si deve pompare un maggior quantitativo di acqua, inoltre, le temperature di ritorno delle prime utenze saranno più alte. Le centraline di utenza ben realizzate risultano essere un elemento fondamentale per la regolazione e l'ottimizzazione di un impianto di teleriscaldamento in quanto possono limitare la portata dell'utenza allo stretto indispensabile e limitare al massimo la temperatura di ritorno alla centrale di scambio. Più le temperature di ritorno sono basse più energia si riesce a trasferire a pari portata. Le centraline di utenza sono inoltre il luogo dove si possono rilevare molte informazioni utili per l'ottimizzazione del circuito ad esempio le condizioni di arrivo dei fluidi nei punti estremi del circuito non facilmente prevedibili istante per istante in quanto dipendono dalle richieste del momento di tutte le utenze precedenti. Dalle centraline si possono fare anche analisi di predittiva sullo stato di funzionamento degli scambiatori con segnalazione di anomalie che portano ad interventi programmati invece che in accidentale. Le centraline di utenza "intelligenti" possono inoltre aiutare i proprietari degli immobili a fare efficienza ed a evitare picchi di consumo sul circuito. Tutte le soluzioni studiate, sono state simulate in ambiente MATLAB e confrontate con dati reali misurati sul campo.

Scrivere breve riassunto su ogni capitolo

Capitolo 1

Geotermia e Teleriscaldamento

Capitolo 2

Tecnologie degli impianti di teleriscaldamento

Un impianto di teleriscaldamento è un sistema di riscaldamento a distanza di un quartiere o di una città che utilizza il calore prodotto da una centrale termica, da un impianto di cogenerazione o da una sorgente geotermica distribuendolo agli edifici tramite una rete di tubazioni in cui fluisce l'acqua calda che verrà utilizzata per la produzione di acqua igienico sanitaria e il riscaldamento di edifici residenziali e commerciali. Indipendentemente dal tipo di fonte di calore usata per la produzione di energia termica, la struttura e gli elementi principali di un impianto di teleriscaldamento rimangono invariate, come anche le problematiche relative all'ottimizzazione dei costi di gestione. Gli impianti sui quali è rivolto lo studio, sono quelli alimentati da fonte di calore geotermica. In questo tipo di impianto l'energia elettrica usata per il pompaggio dell'acqua sono responsabili di una significativa parte del totale utilizzo di energia elettrica. Risulta quindi di interesse ridurre il più possibile questi consumi, facendo un'analisi su quali sono gli aspetti che influenzano maggiormente il fenomeno e quali soluzioni poter applicare.

2.1 Struttura di un impianto

Le componenti principali di un sistema di teleriscaldamento sono come riportato in figura 2.1: una centrale termica, dove viene prodotto il calore, una rete di distribuzione, costituita da tubazioni coibentate interrate, e un insieme di sotto-centrali. Queste ultime, situate nei singoli edifici da servire, sono costituite da scambiatori di calore, che permettono di realizzare lo scambio termico tra il fluido termovettore della rete primaria di teleriscaldamento con l'acqua del circuito delle utenze, senza che vi sia così miscelazione tra i due fluidi semplificando quindi di molto la progettazione dell'intera rete. Lo

scambiatore infatti andrà semplicemente a sostituire la caldaia convenzionale mantenendo invariato l'impianto già esistente dell'utenza.

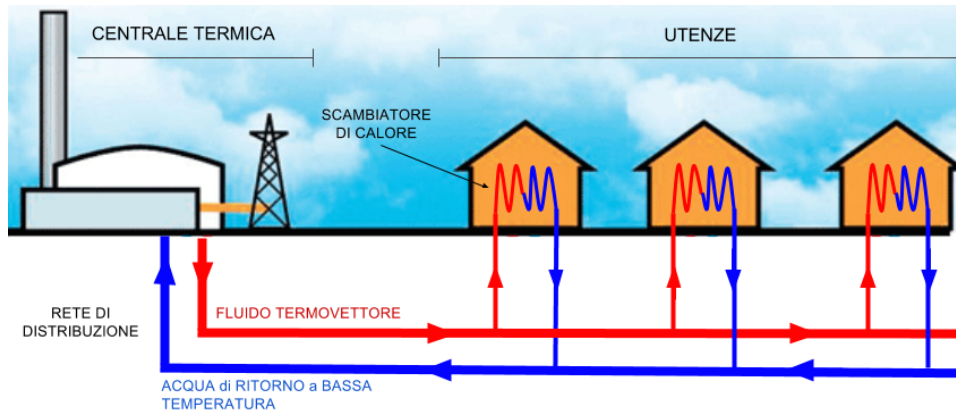


Figura 2.1: Schema di un impianto di teleriscaldamento composto da: centrale di scambio, rete di distribuzione e sotto-centrali di scambio (scambiatori)

La centrale termica riscalda l'acqua che viene distribuita ai diversi edifici attraverso la rete di distribuzione con l'ausilio di pompe. Giunta allo scambiatore, l'acqua della rete trasferisce all'acqua dell'impianto di distribuzione interno dell'edificio, il calore necessario per riscaldare gli ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria. L'acqua, ormai raffreddata, ritorna in centrale per essere nuovamente riscaldata. In seguito si analizzerà più approfonditamente ogni elemento dell'impianto.

2.1.1 Centrale termica e di scambio

Le centrali termiche, analizzate nell'elaborato, sfruttano il vapore geotermico non idoneo alla generazione di energia elettrica. Le centrali di scambio si occupano dello scambio di calore tra due diversi circuiti. La centrale termica può essere interpretata come una centrale di scambio in quanto non fa altro che estrarre dal vapore l'energia termica necessaria per l'intero impianto di teleriscaldamento. Il vapore, dunque, arriva in centrale a circa 240°C e cede la sua energia termica attraverso gruppi di scambio termico costituito da uno scambiatore vapore-acqua surriscaldato a circa 120°C e da un desurriscaldatore di condensa acqua acqua. La portata del vapore è controllata attraverso valvole a due vie di tipo NC, in funzione della temperatura di uscita dell'acqua surriscaldata desiderata nel circuito primario. La condensa viene raccolta in un serbatoio atmosferico e reiniettata nel punto di raccolta gestito da ENEL con pompe centrifughe multistadio, in modo da mantenere e rinnovare la risorsa geotermica. L'acqua surriscaldata viene inviata attraverso una linea feeder ad una seconda centrale di scambio, posta nei pressi

del centro abitativo, dove cede la sua energia termica attraverso gruppi di scambio termico costituiti da uno scambiatore acqua surriscaldata - acqua calda. La portata di acqua surriscaldata è controllata attraverso valvole a due vie di tipo NC, in funzione della temperatura in uscita dell'acqua calda nel circuito secondario. Questo ulteriore scambio permette di separare la linea dell'acqua surriscaldata dai circuiti urbani, che sono più estesi, riducendo così la potenza dell'impianto di pompaggio, le perdite di calore e il costo della rete. Inoltre, l'utilizzo di acqua calda anziché surriscaldata nei centri urbani, aumenta il livello di sicurezza e riduce gli interventi di manutenzione dovuti alla maggiore complessità degli impianti di utenza ad acqua surriscaldata. La circolazione sia nel circuito primario che secondario sono garantite da elettropompe centrifughe ubicate nella stessa centrale di scambio [figura 2.2(a)]. Nel caso in cui la centrale termica si trovi nei pressi delle utenze sarà possibile omettere la seconda centrale di scambio ed effettuare direttamente uno scambio di calore da vapore ad acqua calda [figura 2.2(b)].

2.1.2 Stazioni di pompaggio

Le stazioni di pompaggio si occupano del trasporto dell'acqua verso le sotto-centrali di scambio delle utenze. Le pompe solitamente usate sono pompe centrifughe, la cui curva caratteristica, in funzione della portata e della prevalenza, rimane abbastanza piatta per gran parte del range di portata. In base alla resistenza offerta dalla rete la pompa lavorerà su uno specifico punto di funzionamento. Le stazioni di pompaggio hanno il compito garantire un flusso di acqua tale da fornire alle utenze l'energia termica richiesta ed inoltre, devono fornire alle utenze più sfavorite una differenza di pressione in modo che sia possibile il passaggio di acqua all'interno dello scambiatore d'utenza. Questa differenza di pressione deve essere mantenuta dalla stazione di pompaggio centrale, solitamente localizzata dentro la centrale di scambio. Quando la portata è elevata, le perdite di pressione nella rete aumentano, e le pompe dovranno lavorare più duramente. La pressione sarà sempre sufficiente nelle sotto-stazioni vicine alla centrale, ma se la capacità limite della pompa viene raggiunta, la pressione nelle parti distanti della rete possono decadere e gli scambiatori di calore di quelle zone non potranno lavorare correttamente. I radiatori di queste utenze svantaggiate saranno freddi.

Come già citato, le pompe sono i principali elementi responsabili dei consumi di un impianto di teleriscaldamento perciò è necessario introdurre delle regolazioni che limitino il più possibile gli sprechi di energia di pompaggio ma allo stesso tempo si deve far sì che in tutte le utenze sia garantita una differenza di pressione che permetta il corretto funzionamento degli scambiatori.

2.1.3 Rete di distribuzione

La rete di distribuzione è la linea che trasporta acqua calda alle utenze verso le sotto-centrali di scambio. La rete è composta da tubazioni interrate che devono essere adeguatamente isolate in modo da evitare che la temperatura del fluido termovettore si abbassi troppo lungo il tragitto. Il lemma inglese stesso, *district heating*, indica l'importanza che ha il fattore di localizzazione di un sistema di teleriscaldamento, infatti, l'area teleriscaldabile deve essere preferibilmente un distretto urbano, cioè un'area ad alta densità abitativa, dove le costruzioni sono abbastanza concentrate. Aree con edifici troppo isolati tra loro non sono infatti convenienti da teleriscaldare, poiché la rete di tubazioni si estenderebbe troppo e aumenterebbero le dispersioni di calore. I terminali della rete di distribuzione sono le sotto-centrali di scambio (scambiatori). Da un punto di vista idraulico gli scambiatori di utenza vengono visti come una resistenza variabile che definiscono la caratteristica dell'impianto. Se nella rete di distribuzione non vi sono regolazioni sulla portata in ingresso alla sotto-centrale di scambio delle utenze, tutta la portata circolerà nei primi scambiatori e per alimentare gli ultimi si dovrà pompare un maggior quantitativo di acqua. Inoltre, avendo le prime utenze un surplus in portata, il calore disponibile sarà di gran lunga superiore a quello necessario perciò si scambierà solo una piccola parte di energia con la conseguenza che le temperature di ritorno saranno più alte. L'introduzione di elementi che regolano la portata in ingresso allo scambiatore in base calore necessario all'utenza, risultano fondamentali per l'ottimizzazione di un impianto.

2.2 Effetti delle temperature di esercizio in un impianto di teleriscaldamento

Le temperature di esercizio in una rete di teleriscaldamento influenzano la quantità di calore fornito alla rete, le perdite di calore e l'energia di pompaggio per il trasporto dell'acqua.

Vi sono due differenti temperature da tenere in considerazione: la temperatura di mandata e la temperatura di ritorno alla centrale di scambio. La prima è la temperatura alla quale viene inviata l'acqua verso le utenze. Questa temperatura è prodotta dalla centrale termica. La seconda, è la temperatura di ritorno dagli scambiatori di utenza, quindi a temperatura più bassa. La temperatura di ritorno non è un parametro che può essere settato ad un certo valore, ma è il risultato di uno scambio di calore che avviene nello scambiatore delle utenze. Questa temperatura è quindi influenzata principalmente dalle utenze.

Gli effetti dei cambiamenti di queste due temperature sono descritti in seguito da un punto di vista generale.

2.2.1 Influenze sulla capacità termica in mandata

Nelle reti di teleriscaldamento ci sono due parametri che controllano la potenza termica inviata alle utenze. L'equazione 2.1 mostra come la potenza P in arrivo alla sotto-centrale di scambio dipende dalla differenza di temperatura tra acqua in ingresso e quella in uscita dallo scambiatore ΔT , dalla portata \dot{m} e dalla capacità termica C_p del fluido termovettore.

$$P = \dot{m} C_p \Delta T \quad (2.1)$$

$$\Delta T = T_{mandata} - T_{ritorno} \quad (2.2)$$

C_p è una proprietà che dipende dal fluido per questo non viene considerata come un parametro che può influenzare la variazione di potenza inviata. Soltanto la portata e la differenza di temperatura possono essere usate a questo scopo. La temperatura di ritorno $T_{ritorno}$ non è determinata dalla centrale di produzione. Soltanto la temperatura in mandata $T_{mandata}$ e la portata possono essere modificate dal gestore dell'impianto.

Questi due parametri sono gli strumenti che la centrale possiede per fornire la giusta quantità di calore in ogni momento.

Dall'equazione 2.1 è possibile notare come la potenza inviata alla rete di distribuzione sia proporzionale alla differenza di temperatura del fluido. Ovvero, ogni volta che diminuisce la temperatura di ritorno oppure cresce la temperatura di mandata si ha una crescita della potenza totale trasportata a parità di portata. Un sistema di teleriscaldamento efficiente ha due caratteristiche: una temperatura in mandata bassa e una differenza di temperatura tra mandata e ritorno alta. Una temperatura in mandata bassa fa diminuire le perdite di calore durante il trasporto, mentre, un ΔT alto comporta una riduzione della portata e dunque risparmio di energia elettrica per il pompaggio.

Dal momento che la temperatura di ritorno non è un parametro che può essere deciso a priori, in quanto dipende dalle utenze, il maggiore sforzo che deve essere fatto nelle reti di teleriscaldamento per aumentare la loro efficienza sta nel regolare e ottimizzare le sotto-stazioni di scambio delle utenze così da ottenere in ogni momento la più bassa temperatura di ritorno in base al reale fabbisogno dell'utenza ed individuare malfunzionamenti che riducono l'efficienza degli scambiatori.

2.2.2 Influenza sull'energia di pompaggio

L'energia di pompaggio è l'energia necessaria al trasporto dell'acqua calda dalla centrale termica verso le utenze e per riportarla indietro alla centrale stessa. La perdita di pressione della rete deve essere misurata lontano dalla stazione di pompaggio e se la differenza di pressione tra mandata e ritorno non è sufficientemente elevata si ordina alla pompa di dare più pressione.

Queste pompe devono inviare una pressione tale da far fronte alle perdite che si hanno lungo la rete dovute alla frizione che ha l'acqua con le tubazioni e tale da fornire una differenza di pressione che permetta il corretto funzionamento degli scambiatori. Questa frizione non ha una relazione lineare con la portata, ma è approssimativamente proporzionale alla terza potenza della portata. Ciò implica che una diminuzione del flusso ha un grande impatto sul consumo di energia delle pompe.

Dando uno sguardo all'equazione 2.1 possiamo notare che a parità di potenza inviata alla rete, un aumento della differenza di temperatura comporta una diminuzione della portata del fluido e, dunque, una diminuzione dei costi di pompaggio.

Concludendo, l'aumento della differenza di temperatura ha un impatto notevole sul risparmio di energia elettrica.

2.2.3 Influenza sulle perdite di calore

Le perdite di calore in una rete di teleriscaldamento sono proporzionali alla differenza di temperatura tra l'ambiente e l'acqua nelle tubazioni. Dal momento che la temperatura ambiente è una variabile non decisionale, le perdite di calore dipendono dalla temperatura in mandata, da quella di ritorno e dalla portata. Le perdite di calore non sono un elemento da sottovalutare, infatti, in media il calore disperso in una rete è più alto del 10% dell'energia fornita. Per questo motivo è importante tenere in considerazione le perdite di calore quando vogliamo determinare le temperature di esercizio ottimali di un impianto teleriscaldato.

Si potrebbe pensare che ridurre il più possibile la temperatura in mandata eliminerebbe il problema delle perdite di calore nei tubi. Se da una parte una temperatura in mandata molto bassa ridurrebbe queste perdite dall'altra si avrebbe che le pompe dovrebbero inviare un flusso di acqua molto maggiore per raggiungere la stessa potenza termica desiderata. Un studio che può essere fatto, è trovare quali sono le temperature e le portate della rete che minimizzano l'energia elettrica necessaria alle pompe sommata all'energia termica persa. Questa somma dovrà essere pesata in funzione dei diversi costi tra l'energia elettrica per alimentare le pompe e la produzione di calore disperso nella rete. Un altro vincolo importante sulla temperatura in mandata è che questa non potrà essere inferiore alla temperatura di funzionamento dei radiatori.

2.3 Effetti degli utenti sulla rete

Gli utenti svolgono un ruolo importante nell'ottimizzazione di un impianto di teleriscaldamento. Al fine di minimizzare l'energia elettrica consumata dalle stazioni di pompaggio, la differenza di temperatura tra mandata e ritorno deve essere massimizzata. La temperatura di mandata è un parametro

prodotto dalla centrale termica, ma non la temperatura di ritorno. Quest'ultima dipende principalmente dagli utenti. Una bassa temperatura di ritorno è possibile soltanto se l'impianto dell'utenza è progettato a dovere e funziona correttamente.

La rete di distribuzione, ovvero la rete di tubi tra la centrale termica e le sottostazioni di scambio delle utenze deve fornire alle utenze la potenza necessaria al proprio fabbisogno, quindi la velocità delle pompe dovrà essere settata in modo tale da raggiungere tale potenza in funzione della temperatura in mandata e quella di ritorno. Quando nel circuito dell'utenza non viene mantenuta un'alta differenza di temperatura tra mandata e ritorno, più portata sarà richiesta nel circuito di distribuzione per trasferire la stessa potenza termica. Per questa ragione, quando l'utenza ritorna acqua ad alta temperatura, nella sottostazione dovrà essere fornito un flusso maggiore, che comporta un aumento dell'energia di pompaggio ed un rischio per le altre utenze di non ricevere sufficiente calore.

La differenza di temperatura deve essere massimizzata al fine di lavorare con il minimo flusso di acqua richiesto. Questa considerazione è valida sia per la rete di distribuzione che per il circuito dell'utenza a causa di una stretta relazione tra i due. Quando si aumenta la portata dovuta per esempio ad un aumento della temperatura di ritorno e quindi ad una diminuzione della differenza di temperatura del lato utenza si avrà una maggiore temperatura di ritorno anche nel lato della rete di distribuzione perché l'aumento di portata, da una parte aumenta la quantità di energia termica ma allo stesso tempo la maggiore velocità fa raffreddare meno il fluido per unità di tempo.

Nella rete di distribuzione il flusso di acqua è regolato in accordo al carico termico richiesto. Durante l'inverno, dove la domanda è più alta, il flusso di fluido termovettore sarà più alto rispetto all'estate. Un flusso variabile nella rete è la strada necessaria da percorrere per ottimizzare le spese di pompaggio.

Nel circuito delle utenze può essere fatta la stessa considerazione. Tre differenti soluzioni per regolare la portata in arrivo alle sotto-centrali di scambio delle utenze verranno analizzate in seguito, tenendo conto di quanto e come influenzano la rete.

2.3.1 Regolazione con valvola a tre vie

La prima soluzione che verrà descritta lavora con un flusso costante di acqua che arriva allo scambiatore d'utenza, una valvola a tre vie regola la quantità di fluido termovettore che verrà usato dall'utenza. Vi è quindi un flusso variabile, ma la pressione rimane costante. Lo schema di funzionamento è illustrato in figura .

La portata nella sotto-stazione dipende dalla quantità di calore necessario all'utenza. Quando questa ha bisogno di più energia, la temperatura sul ritorno inizia a diminuire a causa del consumo di calore. La valvola a due

vie sul primario rileva una temperatura più bassa sulla rete di distribuzione e di conseguenza aumenta il flusso in modo da avere un più alto trasferimento di calore dal primario alla rete di distribuzione.

Nel sistema descritto, la valvola a tre vie decide in ogni momento quale è la portata necessaria in base al carico termico richiesto. Il resto dell'acqua è rimandato nella tubazione di ritorno attraverso il by-pass senza essere raffreddata. Conseguentemente, la temperatura di ritorno sarà più alta tanta più acqua è deviata. Più alta è la temperatura sul ritorno dell'utenza più flusso di acqua sarà necessario per spedire la stessa potenza. In questo sistema la pompa sulla rete di distribuzione lavora sempre a massimo carico, senza dipendere dalla domanda di calore. Conseguentemente la vita delle pompe sarà più breve e le spese di pompaggio saranno alte.

2.3.2 Regolazione con valvola di laminazione

In questo caso, il flusso di acqua non è costante, ma dipende dalla necessità di calore delle utenze. Una valvola di laminazione (a due vie) regola la portata in base alla necessità di calore.

Inoltre la pompa lavora in base alla richiesta di portata. Questo implica che il consumo di energia sarà proporzionale alla quantità di energia termica richiesta, non come nel primo caso con la valvola a tre vie. Lo schema di funzionamento è mostrato in figura .

La rete di distribuzione diventa un sistema con portata e pressione variabile. Viene solitamente scelto dagli ingegneri in quanto ha bisogno di poca manutenzione, riduce i consumi di energia elettrica per il pompaggio e assicura una bassa temperatura di ritorno.

2.3.3 Regolazione con pompe a pressione differenziale

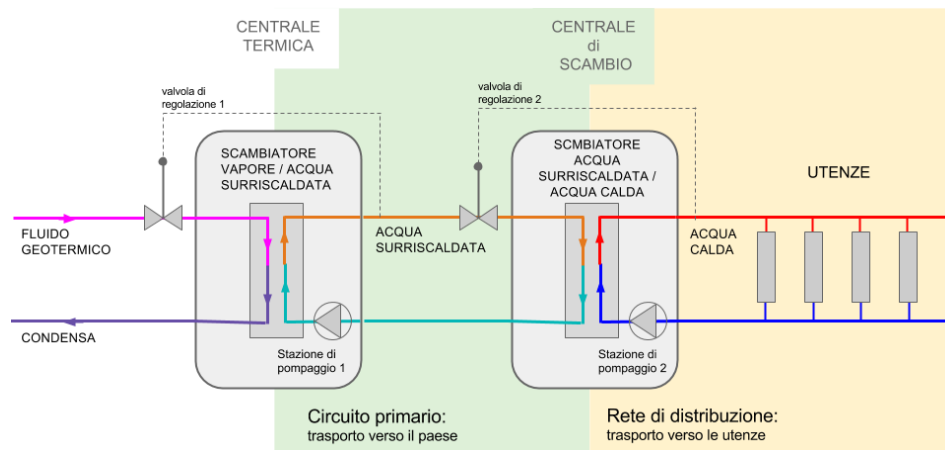
Anche questo sistema, come quello precedente, utilizza una valvola di laminazione ed inoltre la velocità delle pompe è controllata in funzione di un parametro di controllo come il calo di pressione, cosicché il consumo di elettricità per il pompaggio è ridotto al massimo. In figura sono analizzati i cambiamenti portati dai due miglioramenti.

Il punto 1 rappresenta un alta domanda di calore, quindi la portata sarà a sua volta alta. Se la domanda di calore decresce, la valvola di laminazione inizia a chiudersi facendo aumentare la resistenza del circuito e quindi la curva caratteristica della rete cresce più rapidamente. Il punto di lavoro si sposta quindi da 1 a 2. Questo è il funzionamento della valvola di laminazione descritto in (sezione precedente). Se però viene introdotta una pompa a pressione differenziale costante, il punto di funzionamento da 1 verrà spostato a 3. Se la velocità della pompa è diminuita, la caratteristica della pompa verrà descritta da una nuova curva ed anche la curva caratteristica dell'im-

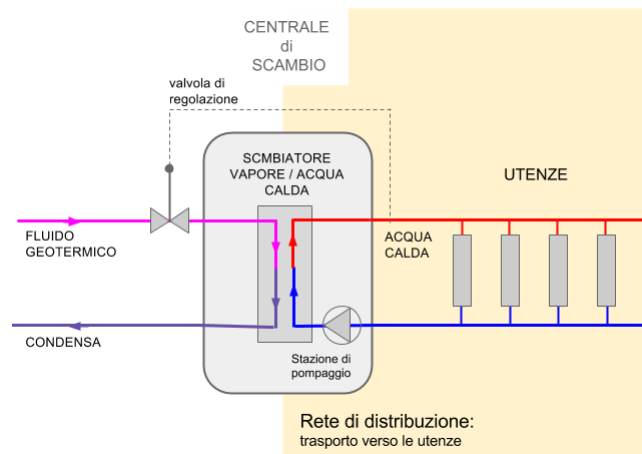
pianto cambia, avremo come risultato due curve che si intersecano nel punto 3.

La regolazione della velocità delle pompe è uno dei modi migliori per diminuire al massimo i consumi delle pompe e ed è anche una delle migliori soluzioni per i gestori dell'impianto e per i consumatori. Con questo tipo di regolazione si dovrebbe ottenere il minore consumo di energia e la più alta differenza di temperatura possibile.

2.4 Effetti della temperatura esterna sulle utenze



(a) Schema di un impianto di teleriscaldamento con due centrali di scambio. Questa configurazione è utilizzata quando la centrale termica è distante dal centro abitato.



(b) Schema di un impianto di teleriscaldamento con singola centrale di scambio.

Figura 2.2: Possibili configurazioni di un impianto di teleriscaldamento alimentato da fonte geotermica

Capitolo 3

Modelli Matematici

Capitolo 4

Risultati della simulazione

Capitolo 5

Conclusioni

Appendice A: Dettagli

Le appendici possono riportare dettagli che vengono omessi nei Capitoli. In genere possono contenere dimostrazioni di risultati presentati, tabelle di dati o documenti di supporto al materiale esposto nei Capitoli.

Le Appendici possono avere varia lunghezza a seconda del materiale che si ritiene opportuno presentare.

Bibliografia

- [1] S. H. Lin, T. C. Lee and M. F. Gardina, “Diversity protection for digital radio: summary of te-year experiments and studies,” *IEEE Communication Magazine*, vol. 26, no. 2, pp. 51–64, Febr. 1988.
- [2] D. Kralj M. McClure L. Carin and L.B. Felsen, “Time-domain wave-oriented data processing of scattering by nonuniform truncated gratings,” *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 11, no. 10, pp. 2685–2694, October 1994.
- [3] D. Vogel, J. Keller, B. Michel, M. Holst, and M Muzic, “Characterization approaches of nanoscale modified plastics,” in *4th IEEE Conference on Nanotechnology*, Munich, Germany, 16-19 Aug. 2004, pp. 23–25.
- [4] A. Yoshizawa, O. Jun, H. Yamakawa, and M. G. Fujie, “Robot surgery based on the physical properties of the brain - physical brain model for planning and navigation of a surgical robot,” in *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, 18-22 April 2005, pp. 904–911.
- [5] A. Papoulis, *The Fourier Integral and its Applications*, pp. 135–153, McGraw Hill, New York, 1962.
- [6] Y. A. Kuznetsov, *Elements of Applied Bifurcation Theory*, Springer, New York, 2nd ed. edition, 1998.
- [7] W.-K. Chen, Ed., *The Electrical Engineering Handbook*, Elsevier Academic Press, Burlington, MA, 2005.
- [8] E. Boretti, “Valutare internet. la valutazione di fonti documentazione web,” in: <http://www.aib.it/aib/contr./borettil.htm>, (ultimo aggiornamento 26-05-2000).
- [9] A. De Robbio, “Stili di citazione bibliografica per documenti a stampa ed elettronici,” in: <http://www.math.unipd.it/derobbio/citint.htm>, (data creazione:28/02/98; aggiornamento: 07/03/98).