



Dipartimento Energetica

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

**Modello per l'analisi delle anomalie degli  
scambiatori di calore nelle reti di  
teleriscaldamento**

Silvia Vivona

Aprile 2018



Dipartimento Energetica

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

**Modello per l'analisi delle anomalie degli  
scambiatori di calore nelle reti di  
teleriscaldamento**

*Relatore:*

Prof. Vittorio Verda

*Correlatore:*

Ing. Elisa Guelpa

*Candidato:*

Silvia Vivona

---

Anno accademico

2017/2018



# Indice

Lista degli acronimi.....	V
<b>Capitolo 1 Introduzione .....</b>	<b>1</b>
1.2 Struttura e contributo della tesi .....	5
<b>Capitolo 2 Il Teleriscaldamento .....</b>	<b>7</b>
2.1 Struttura del teleriscaldamento .....	10
2.1.1 La centrale termica .....	10
2.1.2 Rete di distribuzione.....	13
2.1.2 Utenze.....	18
2.1.4 Stazioni di pompaggio .....	19
2.2 Il teleriscaldamento nel Mondo e in Europa .....	20
2.3 Il teleriscaldamento in Italia.....	22
2.3.1 A Torino il Teleriscaldamento intelligente.....	25
<b>Capitolo 3 Analisi sottostazione .....</b>	<b>31</b>
3.1 Regole attuali di analisi di anomalie e/o guasti .....	32
3.1.1 Il ruolo della variazione di temperatura.....	34
3.2 Sviluppo e descrizione dei modelli .....	36
3.2.1 Modello per la creazione dei dati storici .....	37
3.2.2 Modello per l'analisi delle anomalie e degli interventi di manutenzione.....	48
<b>Capitolo 4 Risultati del modello per l'analisi delle anomalie e degli interventi di manutenzione .....</b>	<b>53</b>

4.1	Valore guida per la programmazione della pulizia degli scambiatori .....	57
4.2	Il nuovo ruolo della variazione di temperatura .....	58
<b>Capitolo 5 Verifica e confronto dei modelli .....</b>		<b>63</b>
5.1	Analisi sensitività di T4 .....	65
5.2	Utenze con miglioramento delle prestazioni non giustificato da manutenzione .....	68
<b>Capitolo 6 Conclusioni e sviluppi futuri.....</b>		<b>71</b>
<b>Lista delle figure .....</b>		<b>73</b>
<b>Lista delle tabelle.....</b>		<b>77</b>
<b>Bibliografia .....</b>		<b>78</b>
<b>Ringraziamenti .....</b>		<b>80</b>

# Lista degli acronimi

NASA: National Aeronautics and Space Administration

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

EIA: Energy Information Administration

OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development

AIRU: Associazione Italiana Riscaldamento Urbano

TLR: Teleriscaldamento

SST: Sottostazione

BCT: Baricentro

FER: Fonti di Energia Rinnovabile

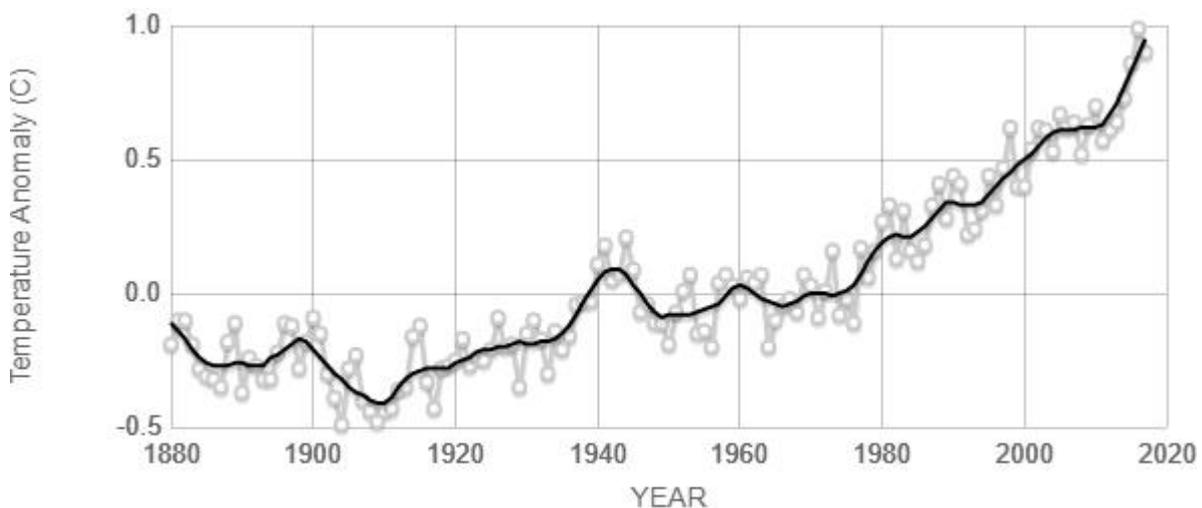
RSU: Rifiuti Solidi Urbani

# Capitolo 1

## Introduzione

Lo sviluppo e il progresso della società moderna sono strettamente legati al consumo ed alla conseguente produzione di energia. La richiesta di energia è, infatti, oggi in forte aumento ed è legata alle esigenze di un sistema economico irrazionale basato sulla logica della produttività e del consumo. Questo tipo di logica, il conseguente emergere di grandi fabbriche e il consumo di enormi quantità di carbone e altri combustibili fossili, quali gas naturale e petrolio, hanno purtroppo dato luogo a un inquinamento atmosferico senza precedenti.

Tali combustibili fossili, di cui la società moderna fa largamente uso, presentano due lati negativi; oltre ad essere destinati ad esaurirsi, essi sono dannosi per l'ambiente. Una volta bruciato il combustibile fossile estratto dal suolo, la concentrazione di anidride carbonica nell'aria aumenta e questo, insieme ad altre emissioni antropiche nell'atmosfera, sta causando un aumento esponenziale della temperatura media della Terra. Un dato davvero allarmante se si pensa che dal 1880, anno in cui si sono iniziate a registrare le temperature, la temperatura media della Terra è aumentata di circa  $0.9^{\circ}\text{C}$  [1].

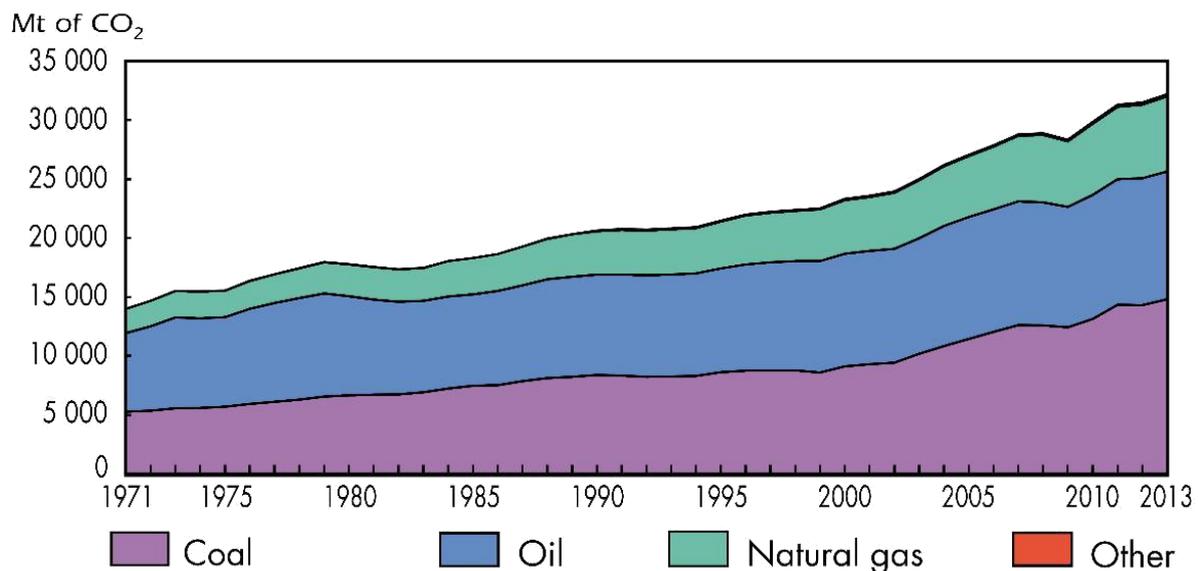


Source: [climate.nasa.gov](http://climate.nasa.gov)

*Fig. 1 Andamento Temperatura globale nel corso degli anni. Fonte[NASA]*

A tutto ciò si sovrappone la crescita economica di tutti quei paesi in via di sviluppo, che comporterà un'ulteriore pressione sull'ambiente della Terra.

È stata probabilmente questa la causa che ha portato ad uno sviluppo del settore delle energie rinnovabili. Infatti, sebbene ultimamente si sia puntato maggiormente al gas naturale, che fra tutti i combustibili fossili bruciati per la produzione di energia elettrica, per il riscaldamento, in agricoltura, nell'industria e nei trasporti, secondo le statistiche diffuse dalla Amministrazione per l'Informazione sull'Energia della UE (EIA), è quello con le minori emissioni di biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>), il suo sviluppo sembra non potersi fermare.



*Fig. 2 Emissioni di CO<sub>2</sub> mondiali per combustibile basate sui bilanci energetici dell'International Energy Agency dal 1971 al 2013 in Mt. Nella quota "Other" sono inclusi rifiuti industriali e urbani non riciclabili.*

Tra i fattori chiave utili per affrontare questa situazione, assume notevole importanza lo sviluppo di politiche energetiche sostenibili. Sensibilizzare la popolazione mondiale non è, tuttavia, un'operazione così semplice e veloce e la strada per un decisivo cambiamento è ancora lunga.

I primi passi mossi dagli Stati del mondo verso questa direzione, sono riconducibili alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), principale accordo internazionale sull'azione per il clima, fra i tre adottati al vertice sulla Terra di Rio nel 1992, ratificato finora da 195 paesi. All'inizio esso ha rappresentato uno strumento che consentiva ai paesi di collaborare al fine di limitare l'aumento della temperatura globale e i cambiamenti climatici e di affrontarne le conseguenze, ma metà degli anni 90 i firmatari

dell'UNFCCC hanno compreso che per ridurre le emissioni erano necessarie disposizioni più severe e nel 1997 hanno approvato il protocollo di Kyoto, che ha introdotto obiettivi di riduzione delle emissioni giuridicamente vincolanti per i paesi sviluppati.

Il periodo di adempimento del protocollo di Kyoto è iniziato il 1° gennaio 2013 e si concluderà nel 2020, tuttavia non solo esso richiede unicamente ai paesi sviluppati di intervenire, ma inoltre gli Stati Uniti non hanno mai aderito al protocollo di Kyoto, il Canada si è ritirato prima della fine del primo periodo di adempimento e Russia, Giappone e Nuova Zelanda non prendono parte al secondo periodo. Tutto ciò ha fatto sì che questo strumento si applica attualmente solo a circa il 14% delle emissioni mondiali. [2]

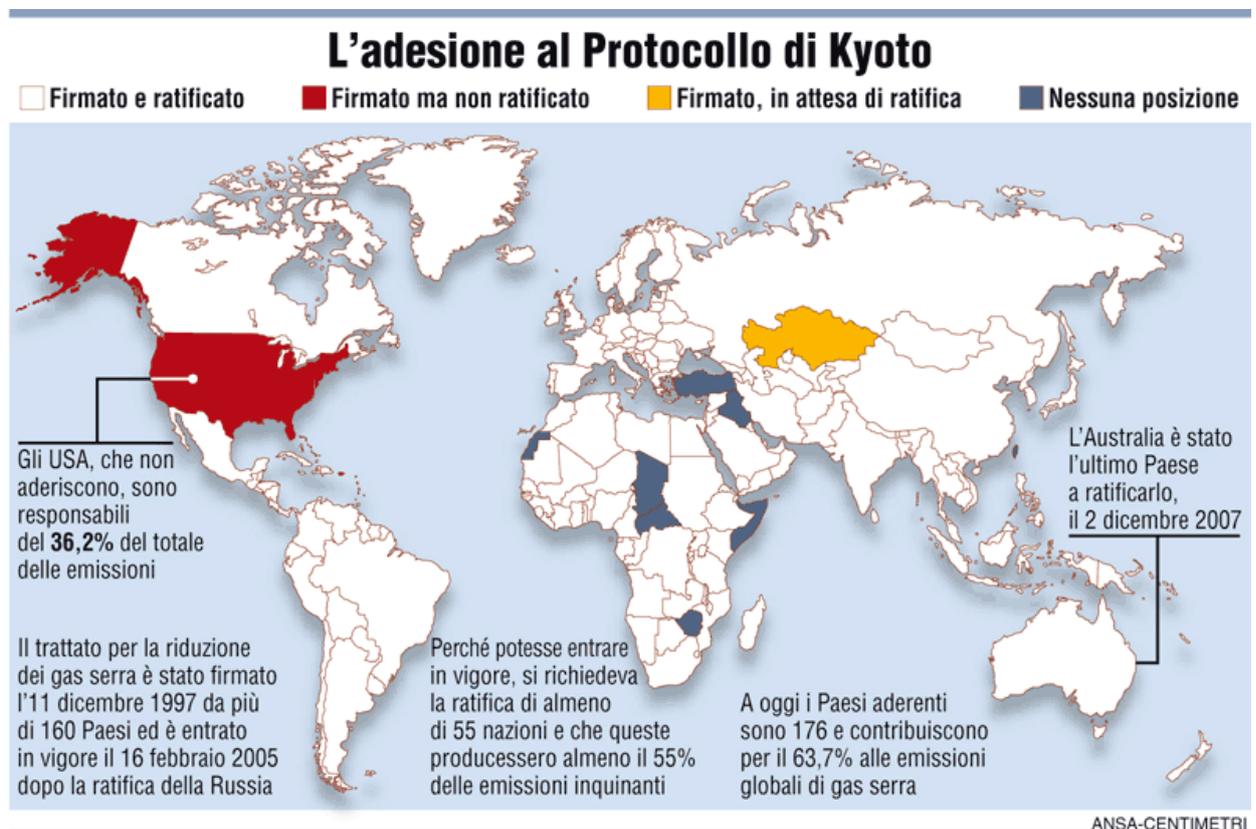


Fig. 3 Adesione mondiale al protocollo di Kyoto. Fonte[“Rete Clima: informazione ed azione per la sostenibilità ed il contrasto al cambiamento climatico”]

Per tentare di superare tali criticità nel Dicembre del 2015 a Parigi, si è tenuta la ventunesima “Conference of the Parties (COP21)”. Essa si è occupata del tema ambiente ed energia, mettendo così in evidenza la necessità di un intervento congiunto dei governi mondiali per cercare di limitare i cambiamenti climatici. Le parti hanno quindi raggiunto un nuovo accordo: un piano d'azione per limitare il riscaldamento globale "ben al di sotto" dei 2°C. Nonostante

non sia stato descritto nel dettaglio come ottenere questo risultato, l'obiettivo è di minimizzare il più possibile le emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2030 e di portarle a zero entro il 2050. Sta volta l'accordo è stato firmato da non meno 55 paesi che rappresentano almeno il 55% delle emissioni globali di gas a effetto serra. [3]

Altro fattore chiave, è lo sviluppo, con conseguente divulgazione, di tecnologie di approvvigionamento energetico a basso impatto ambientale e il progressivo abbandono totale delle fonti fossili. [4]

A tal proposito la Commissione Europea si sta muovendo già da diversi anni, invitando e incentivando la transizione verso tutte quelle fonti energeticamente "pulite", come si evince anche da uno degli ultimi comunicati della commissione del Parlamento Europeo stilato a Bruxelles, il 30.11.2016 dal titolo "*Energia pulita per tutti gli europei*", in cui si sottolineano che la maggior parte degli interventi previsti avranno un impatto nel breve e nel medio periodo. Da quanto detto si evince che negli ultimi anni sono stati fatti grandi passi avanti nell'utilizzo di fonti di energia rinnovabile, ma, nonostante ciò il cammino da fare è ancora lungo; i costi di produzione sono ancora troppo elevati e la continuità della fornitura, necessaria al fabbisogno energetico non è ancora garantita. [5]

Al livello europeo uno dei maggiori settori per una potenziale riduzione dei consumi energetici è quello civile, che contribuisce a circa il 40% [6] della domanda energetica totale nell'Unione Europea. La maggior parte della popolazione europea si concentra infatti in centri urbani che includono aree residenziali, servizi pubblici, attività industriali e sono responsabili per una grande parte del consumo energetico.

Riguardo al settore abitativo i 35 paesi dell'OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), restano i maggiori emettitori in quanto localizzati in zone dai climi più freddi rispetto ai paesi fuori dall'OECD, con una conseguente maggiore necessità di riscaldare le abitazioni.



*Fig. 4 Paesi membri dell'OECD. Fonte [Australian Government, Department of Foreign Affairs and Trade]*

Nell'ambito della progettazione urbanistica al fine di rispettare gli obiettivi comunitari e nazionali di carattere ambientale e di efficienza energetica, è stato scelto il **teleriscaldamento** come nuova tecnologia alternativa al riscaldamento degli edifici tramite caldaie tradizionali decentralizzate in ogni abitazione.

Esso, che con la sua affidabilità e versatilità rientra bene in questo quadro, ben si accoppia con diverse fonti di energia come combustibili fossili, energia nucleare, cogenerazione di calore, calore di scarto da processi industriali, energia termica da fonti rinnovabili incluso solare, geotermico e biomasse.

Il teleriscaldamento, sfrutta il calore centralizzato prodotto da centrali di cogenerazione (a più alta efficienza), da impianti di termovalorizzazione o da energia termica da fonti rinnovabili di grossa taglia, come per esempio il solare a concentrazione. Questo permette di sfruttare meglio la fonte di energia primaria, riducendone i consumi e di conseguenza, riducendo le emissioni di gas serra [7].

## **1.2 Struttura e contributo della tesi**

Dopo una prima analisi delle caratteristiche della rete di teleriscaldamento, in questo lavoro di tesi è stata individuata quella che rappresenta una delle principali sfide in questo settore, ovvero quella di ridurre le anomalie di funzionamento degli scambiatori della rete dovute al loro sporco e di strutturare un piano di azione con anticipo e tempestività.

Per fare ciò è necessario studiarne le caratteristiche e ricavare un metodo universalmente valido che possa suggerire una grandezza da monitorare al fine di evitare guasti e interruzioni del sistema. Come caso studio è stata considerata la rete di teleriscaldamento di Torino, una delle

più grandi in Italia, grazie anche alla collaborazione con l'azienda leader nel settore IREN Energia S.p.A.

Fino ad ora la grandezza presa in esame per il monitoraggio delle condizioni di funzionamento dello scambiatore è stata la variazione di temperatura tra quella di ritorno del circuito primario e quella di mandata del circuito secondario, ma la sola osservazione di questa non permette un piano di manutenzioni ottimale. Nella presente tesi verrà quindi analizzato il nuovo parametro  $F \cdot U \cdot A$  e si dimostrerà che questo può essere utilizzato nell'analisi delle anomalie degli scambiatori. Dapprima, verrà presentato e utilizzato un modello che permette l'analisi delle grandezze tipiche di uno scambiatore di calore. A partire dai dati forniti, questi verranno mediati nel tempo e suddivisi nei tre diversi anni presi in esame: 2015, 2016 e 2017. Dopo avere riorganizzato tutta la mole di dati, verranno mostrate in figura le curve che rappresentano l'andamento di  $U \cdot A$  in funzione della potenza termica scambiata  $\phi$ , evidenziando ciò che succede nel tempo in uno scambiatore; verrà quindi dimostrato che in molti casi è presente un andamento che non mostra il progressivo e naturale deterioramento dello scambiatore.

A conferma di tale tesi, il modello presenterà in un grafico anche le rette interpolanti i dati e ne calolerà i relativi coefficienti angolari e la loro variazione percentuale, grandezze che saranno molto utili ai fini dell'analisi delle anomalie di scambio termico.

Le utenze analizzate, saranno poi differenziate in tre gruppi, uno che comprende le sottostazioni per le quali si hanno sufficienti dati ma non equamente distribuiti negli anni, un altro che comprende quegli scambiatori che se pur presentano anomalia di funzionamento non sono state interessate da interventi di manutenzione e infine l'ultimo gruppo che comprende tutte quelle sottostazioni il cui scambiatore sembra migliorare le proprie prestazioni negli anni. In quest'ultimo gruppo si è posta maggiore attenzione, in quanto si è cercato di dare una spiegazione plausibile a tale andamento. In certi casi la causa è sarà trovata nell'intervento di manutenzione, grazie a un nuovo modello che esaminerà e confronterà i dati aziendali relativi alla manutenzione e i dati caratteristici dello scambiatore calcolati nel primo modello.

Infine, si cercherà di trovare e verificare un valore limite della variazione percentuale del coefficiente angolare delle rette interpolanti, che permetta di stabilire quando uno scambiatore necessita di manutenzione e programmare così di conseguenza un piano di interventi.

# Capitolo 2

## Il Teleriscaldamento

In base a quanto indicato dall’AIRU (Associazione Italiana Riscaldamento Urbano), per teleriscaldamento si intende “*un sistema a rete, atto al trasporto e alla consegna di energia termica prodotta in una o più centrali di produzione*”. Esso è un servizio energetico, presente nei centri urbani ubicati in aree climatiche fredde, che consiste nella distribuzione di acqua calda o surriscaldata a mezzo di reti interrato, destinata al riscaldamento degli edifici ed alla produzione di acqua calda igienico-sanitaria.

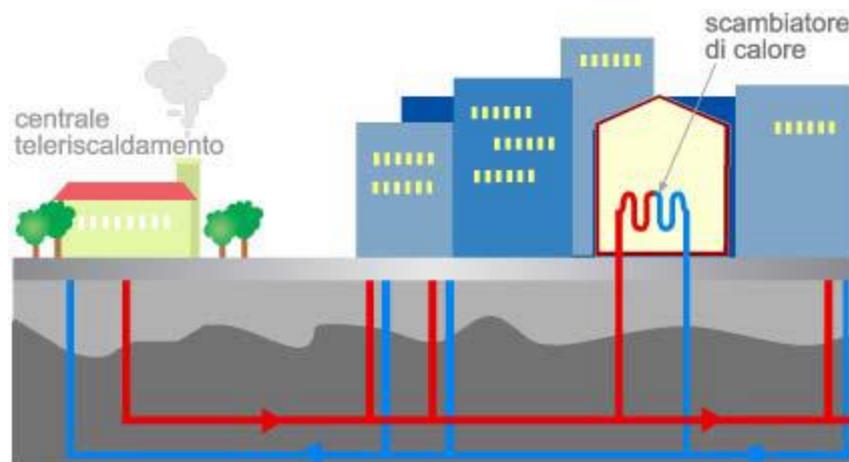


Fig. 5 Struttura generale di una rete di teleriscaldamento. Fonte [Bio-resource Technology]

L’idea fondamentale che sostiene un moderno sistema di teleriscaldamento è “riciclare calore di surplus”, per esempio:

- dalla termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani;
- dalla produzione termoelettrica (cogenerazione di elettricità e calore);
- dai processi di raffinazione dei combustibili e bio-combustibili;
- dalle fonti geotermiche;
- dai diversi processi industriali produttivi. [8]



Fig. 6 Le fonti del teleriscaldamento. Fonte [<http://www.sportelloenergia-terredacqua.it/schede-azioni/>]

Un sistema di teleriscaldamento deve soddisfare contestualmente le seguenti condizioni:

- essere al servizio di un comparto urbano esistente o programmato e alimentare una pluralità di edifici appartenenti a soggetti diversi mediante una rete di trasporto dell'energia termica posata prevalentemente in suolo pubblico;
- essere un sistema aperto ovvero, nei limiti di capacità del sistema, consentire l'allacciamento alla rete di ogni potenziale cliente secondo principi di non discriminazione;
- la cessione dell'energia termica ai clienti deve essere regolata da contratti di somministrazione atti a disciplinare le condizioni tecniche ed economiche di fornitura del servizio secondo principi di non discriminazione”.

La generazione centralizzata e l'annessa distribuzione del calore attraverso la rete di teleriscaldamento presentano almeno due vantaggi per la comunità:

1. Un risparmio di energia primaria di origine fossile, che in Italia è circa il 26%, dovrebbe avvenire: con il recupero di calore altrimenti disperso, generato da processi industriali esistenti; con l'impiego di fonti rinnovabili, da biomasse, da termodistruzione dei rifiuti, da solare, da

geotermia; con la cogenerazione grazie a rendimenti medi più elevati a parità di combustibile impiegato; [9]

2. Un impatto ambientale minore rispetto ai sistemi convenzionali utilizzati per la generazione distribuita [10], diventato oggi il problema prioritario poiché connesso alle alterazioni climatiche causate alle emissioni di gas effetto serra (in Italia le emissioni di CO<sub>2</sub> evitate sono del 38% ca.).

I vantaggi non sono solamente legati alla comunità, ma anche al singolo utente, il quale beneficia del teleriscaldamento in termini di costo dell'energia. Le aziende che gestiscono reti di teleriscaldamento, infatti, praticano all'utente finale un "prezzo calore" equiparato al costo del calore prodotto tramite combustione in una caldaia di un edificio alimentata a gas naturale, che è il combustibile meno costoso [8]. I minori costi di gestione che richiede una sottocentrale di scambio termica rispetto alla centrale termica sostituita, fa sì che il costo del teleriscaldamento risulta inferiore a quello di qualunque altro vettore energetico disponibile a oggi sul mercato.

Tuttavia, anche il teleriscaldamento, come tutte le forme di riscaldamento, presenta degli svantaggi, che vanno indubbiamente presi in considerazione in fase di progettazione. Gli svantaggi sono:

- lunghissimi tempi di ritorno degli investimenti;
- convenienza solo per le aree densamente abitate (l'alto costo degli impianti di distribuzione infatti necessita di un alto numero di utenti);
- l'allacciamento al teleriscaldamento comporta nella stragrande maggioranza dei casi la sottoscrizione di contratti vincolanti con gestori in regime di monopolio;
- la dispersione termica nei circuiti primari di distribuzione;
- la dispersione termica nei circuiti secondari (tipicamente condominiali) che ricircolano acqua calda per permettere agli utenti di attingere calore (tali dispersioni non si hanno nel caso di caldaie autonome o boiler che producono calore localmente e solo quando è strettamente necessario);
- gli impianti di cogenerazione sono molto più rumorosi delle caldaie tradizionali e possono generare inquinamento acustico;
- grossi impianti di cogenerazione a metano aumentano localmente l'inquinamento atmosferico (incremento emissioni NO<sub>x</sub>).

## 2.1 Struttura del teleriscaldamento

Guardando in dettaglio una rete di teleriscaldamento, esso è composto dai seguenti elementi principali:

- Una o più centrali termiche;
- Rete di distribuzione costituita da una doppia tubazione (mandata e ritorno);
- UtENZE (ciascuna con una sottostazione di scambio);
- Stazioni di pompaggio;

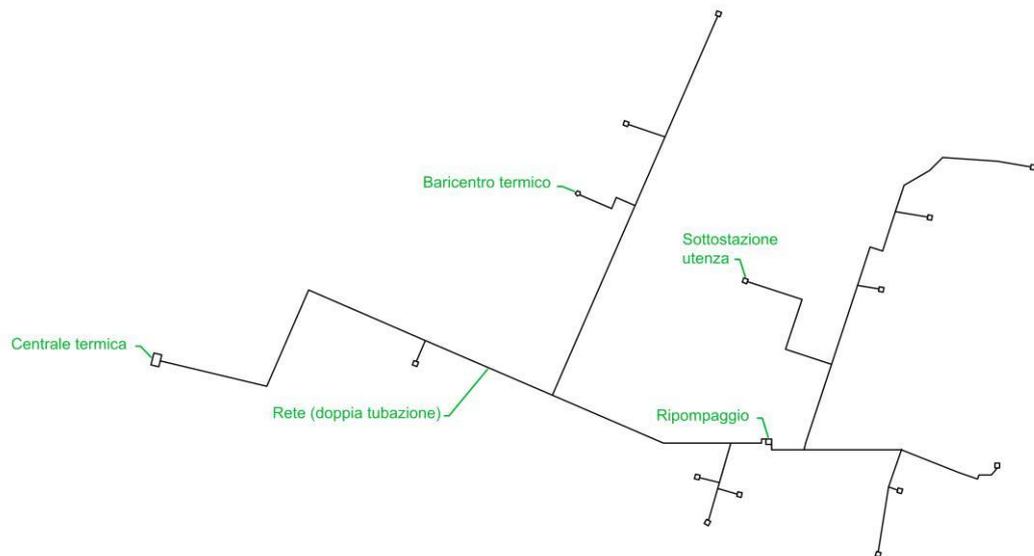


Fig. 7 Schema di un sistema di teleriscaldamento

### 2.1.1 La centrale termica

Come precedentemente accennato, la centrale termica che serve una rete di teleriscaldamento può essere di diversi tipi. Si stima che nelle centrali termoelettriche più del 50% di energia in input vada persa nella conversione in termini di *waste heat* [11].

Ad esempio, la centrale a cogenerazione, oltre a generare energia elettrica, è in grado di produrre contemporaneamente energia termica, sfruttando i processi termodinamici che avvengono durante la trasformazione della fonte primaria, che nelle centrali elettriche convenzionali andrebbe perso e disperso in ambiente come “scarto”.

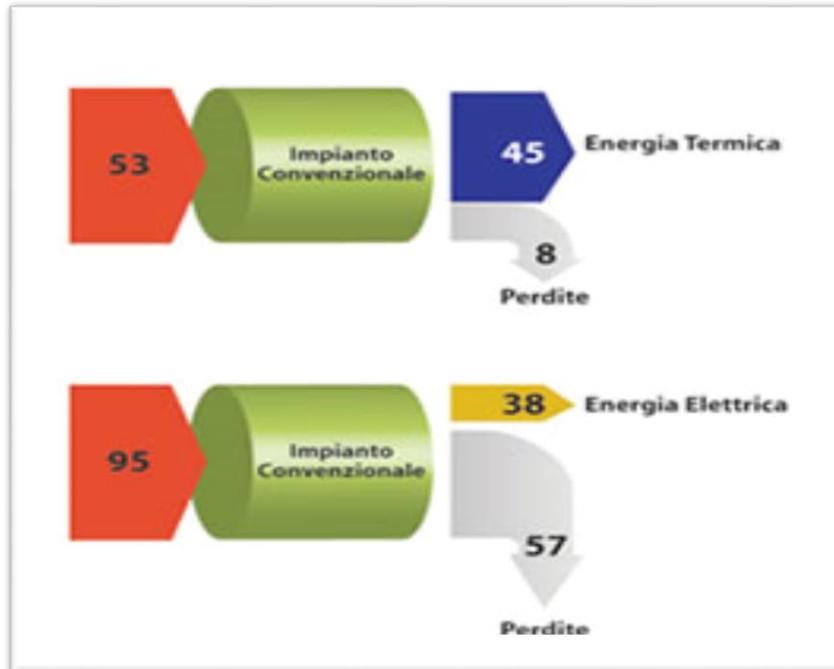


Fig. 8 Efficienza energetica di un sistema convenzionale. Fonte [Enea]

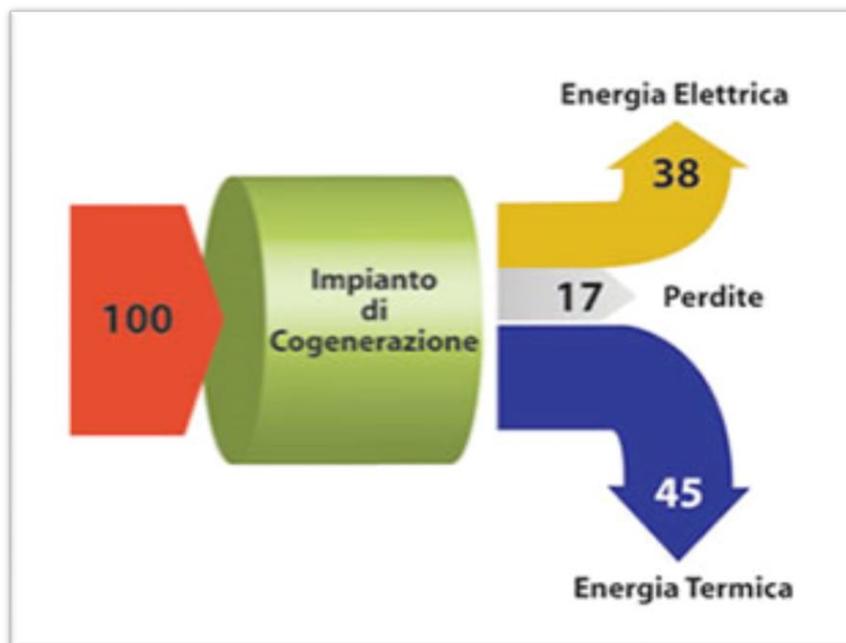


Fig. 9 Efficienza energetica di un sistema cogenerativo. Fonte [Enea]

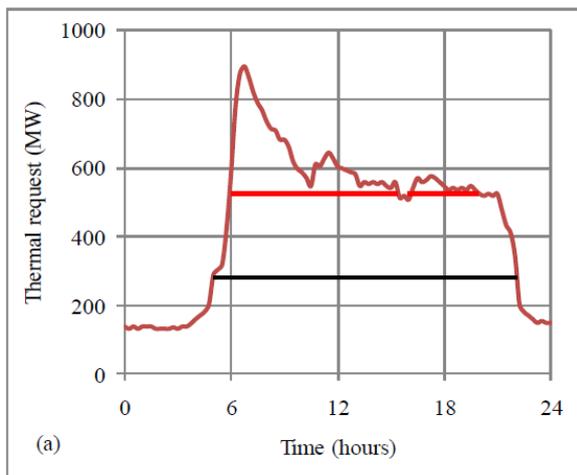
La cogenerazione può raggiungere efficienze fino all'80% ed è stata riconosciuta anche dal parlamento europeo come processo che migliora l'efficienza energetica e diminuisce le emissioni di anidride carbonica [11].

Un altro uso interessante del teleriscaldamento è quello che prevede un accoppiamento a fonti di energia rinnovabili quali: geotermico, biomassa, collettori solari.

Il tipo di centrale termica è determinato anche dalla potenza e dall'energia richiesta. Collettori solari, risorse geotermiche e sistemi di cogenerazione di piccola taglia sono risorse più adatte per impianti di piccola potenza (alcune decine di MW) associati a temperatura di mandata più bassa e differenze di temperatura tra mandata e ritorno limitate. Tutte le altre fonti di cui si è parlato precedentemente sono, invece, adatti sia ad impianti di piccola taglia che di grande taglia, fino a centinaia di MW e sono associati a temperatura di mandata e differenze di temperatura più elevate.

La potenza che deve fornire la centrale corrisponde alla richiesta delle utenze più le perdite termiche della rete e dunque presenta picchi tipicamente al mattino e alla sera. Queste perdite sono costanti per tutta la rete e dunque il loro peso percentuale in termini di energia termica aumenta al diminuire della domanda dell'utenza.

#### Richiesta termica in un giorno invernale



#### Richiesta termica annua

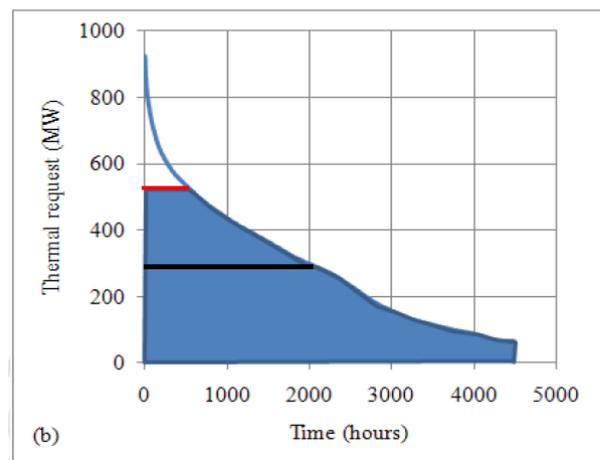


Fig. 10 Esempio di potenza termica richiesta per un'utenza del teleriscaldamento in un giorno tipico invernale (a) e annuale (b). Fonte [15]

In figura è rappresentata la richiesta termica di un'utenza del teleriscaldamento in un giorno tipico invernale. Si può notare un picco di richiesta mattutino, in quanto, nel periodo notturno, i sistemi di riscaldamento degli edifici sono spenti, quindi, l'acqua che scorre nel circuito dell'impianto di riscaldamento dell'edificio si è raffreddato fino a raggiungere la temperatura ambiente. La potenza in centrale è dunque massima solo per poche ore all'anno e quindi affinché la centrale funzioni a pieno carico per un numero elevato di ore all'anno, in modo da

essere economicamente conveniente, questa viene dimensionata ad un valore di potenza inferiore a quello del picco. Quest'ultimo viene coperto tramite caldaie di integrazione o comunque unità produttive alimentate a combustibili fossili.

## 2.1.2 Rete di distribuzione

Il teleriscaldamento consiste essenzialmente nel trasporto a distanza di acqua calda, acqua surriscaldata o vapore, attraverso una rete di tubazioni situate nel sottosuolo e isolate termicamente, proveniente da una o più grosse centrali di produzione.

La rete di distribuzione è composta da tubazioni di mandata e ritorno. Le tubazioni di mandata rappresentano la parte di rete che trasporta il fluido termoconvettore dalla centrale di produzione e all'utenza. Il fluido termovettore, giunto all'utenza, cede il calore al circuito di riscaldamento tramite uno scambiatore di calore e ritorna in centrale, tramite la tubatura di ritorno, ad una temperatura più bassa.



*Fig. 11 Posa della rete di teleriscaldamento. Fonte [21]*

Ogni tubo è isolato termicamente con diversi materiali che limitano le perdite termiche a pochissimi gradi nel percorso che li separa dall'utente. La rete è dotata di valvole di sezionamento; esse sono accoppiate e si trovano sia nelle tubature di mandata che di ritorno e servono a dividere la rete di distribuzione in varie parti a seconda della necessità; le più utilizzate sono quelle dette a sfera, con la caratteristica di essere coibentate e con azionamento

manuale. Infine, la valvola terminale di sfiato/drenaggio è coibentata e subisce un trattamento contro la corrosione [12].

Le tubazioni, infatti, con il tempo sono soggette a deterioramento e per questo è di fondamentale importanza la scelta dei giusti materiali per il buon funzionamento dell'impianto. Le tubazioni di una rete possono essere fatte di diversi materiali quali la ghisa, l'acciaio, la vetroresina o la schiuma di poliuretano espansa, mentre esternamente sono ricoperte da una guaina bituminata o in polietilene ad alta intensità oppure con resine termoindurenti. Le tubazioni più utilizzate sono quelle pre-coibentate, con il sistema di localizzazione delle perdite integrato. Il coibente più utilizzato è la lana di roccia biosolubile. Lo spessore del coibente cambia a seconda del diametro della tubazione [13].



*Fig. 12 sezione di una tubazione*

Il fluido termovettore più usato in generale è l'acqua surriscaldata. Essa viene distribuita alle varie utenze allacciate alla rete o direttamente all'impianto di distribuzione interno residenziale per riscaldare gli ambienti e per la produzione di acqua calda sanitaria, o il fluido può trasferire calore ad un altro fluido tramite uno scambiatore di calore (vi è pertanto una suddivisione del circuito tra primario e secondario). Quest'ultima soluzione è la più comune e diffusa in Italia [14].

In generale, nella maggior parte delle reti di teleriscaldamento esistenti il termovettore impiegato è acqua allo stato liquido, la cui circolazione è assicurata da un sistema di pompe idrauliche a portata variabile. Questa soluzione permette di adattare la fornitura di energia termica alla domanda regolando la portata dell'acqua e di mantenere contemporaneamente costanti le temperature di andata e di ritorno dell'acqua.

La regolazione della portata d'acqua calda che la centrale fornisce alla rete si basa sulla temperatura di ritorno di quest'ultima. Quando la temperatura di ritorno risulta essere maggiore della temperatura di progetto significa che la potenza termica richiesta dall'utenza è minore di quella fornita e la portata d'acqua deve quindi essere ridotta sino a eguagliare quella di progetto. Viceversa, nel caso in cui la temperatura di ritorno dell'acqua sia minore rispetto a quella di progetto, la portata circolante nella rete deve essere aumentata sino a eguagliare quella di progetto.

La rete di distribuzione è costituita da condotte principali e secondarie, le cui caratteristiche sono descritte di seguito:

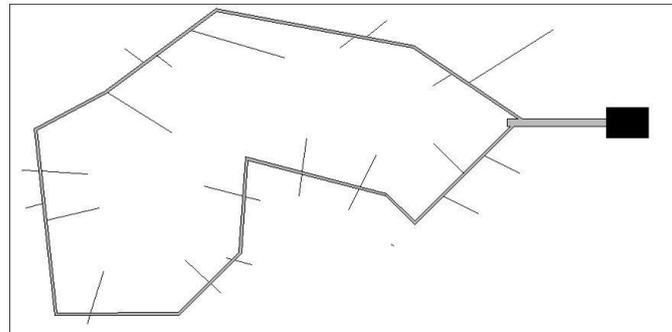
- Come condotta principale si intende la condotta che permette di distribuire il calore all'utenza. Il dimensionamento di una condotta principale deve essere realizzato tenendo conto sia del fabbisogno di energia e della localizzazione geografica attuali degli utenti sia dello sviluppo futuro (estensione della rete nel tempo).
- La condotta secondaria corrisponde all'allacciamento tra la condotta principale e la sottostazione all'interno dell'edificio.

Esistono, inoltre, due tipologie di reti di distribuzione:

1. DIRETTA: un'unica rete di passaggio per l'acqua calda che va dalla produzione alle unità di riscaldamento come termosifoni o radiatori. Questo sistema ha come vantaggio un costo minore e una minore perdita di energia termica. Tuttavia vi sono dei problemi nella gestione del sistema, soprattutto riguardanti la gestione dei flussi di portata di acqua calda e l'individuazione di perdite di carico. [15]
2. INDIRETTA: questa è la rete più utilizzata in Italia e consiste in due circuiti distinti tra i quali viene posizionato, in prossimità dell'utenza, uno scambiatore. Rispetto al sistema diretto, questo è più costoso e vi sono maggiori perdite di energia termica ma i vantaggi in termini di manutenzione, individuazioni di perdite e di energia regolata e contabilizzata, sono maggiori. Inoltre i due circuiti separati permettono di gestire meglio la distribuzione della rete di riscaldamento dell'utenza, separandola dalla gestione di distribuzione dell'acqua calda sanitaria.

In base a come queste tubazioni sono disposte e la forma che il sistema assume si hanno 3 tipologie principali di reti: ad anello, ramificata, ad albero e magliata.

AD ANELLO: costituita da un circuito chiuso in cui il fluido termovettore scorre attraverso un'unica tubazione sia per la mandata che per il ritorno. In tal caso la tubazione parte dalla centrale, arriva all'utenza e ritorna all'impianto per cui è possibile alimentarla in entrambi i sensi ed inoltre il sistema è flessibile e facilmente ampliabile.



*Fig. 13 Rete di distribuzione ad anello*

AD ALBERO: si presenta con una dorsale principale costituita da una doppia tubazione (una di mandata e l'altra di ritorno) che si trova in corrispondenza delle grandi utenze dalla quale si dipartono le reti ramificate più piccole che portano calore alle utenze secondarie. Questa tipologia obbliga ad usare condotte più grandi all'inizio della rete, ma ha il vantaggio non è vincolata dalla distribuzione delle utenze sul territorio. Ad esempio nel caso di chiusura di un tratto di rete, questa impedisce la fornitura del calore a tutte le utenze a valle del tratto intercettato. [16]

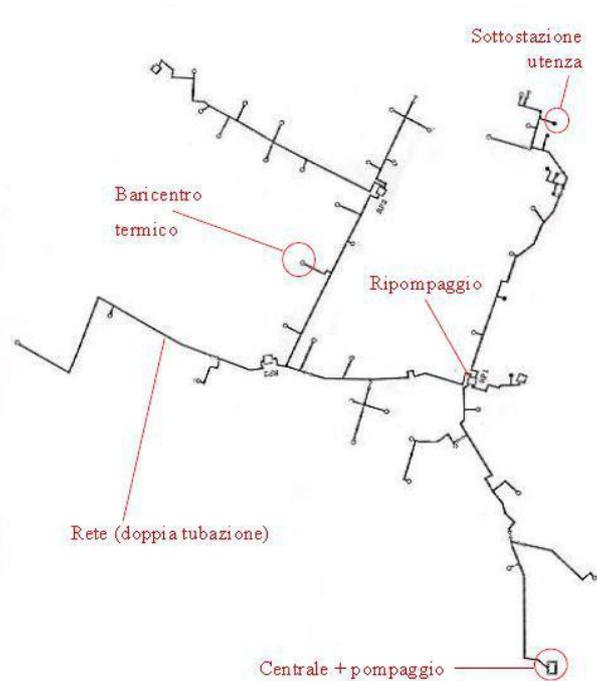


Fig. 14 Rete di distribuzione ad albero.

MAGLIATA: questa rete invece è formata da tanti circuiti chiusi collegati tra di loro. Rispetto alle tipologie precedenti questo tipo di rete è più conveniente per quanto riguarda la regolazione e la distribuzione dell'energia termica. Ciò è legato alla eventualità di malfunzionamento in un tratto di tubazione, in quanto se questo avviene in un tratto magliato, è sufficiente intercettare il tratto, limitando così il servizio al solo tratto chiuso. Le reti a maglie presentano, inoltre, minori cadute di pressione, permettendo quindi di semplificare la gestione in caso di elevata richiesta termica e di ridurre i costi di pompaggio.

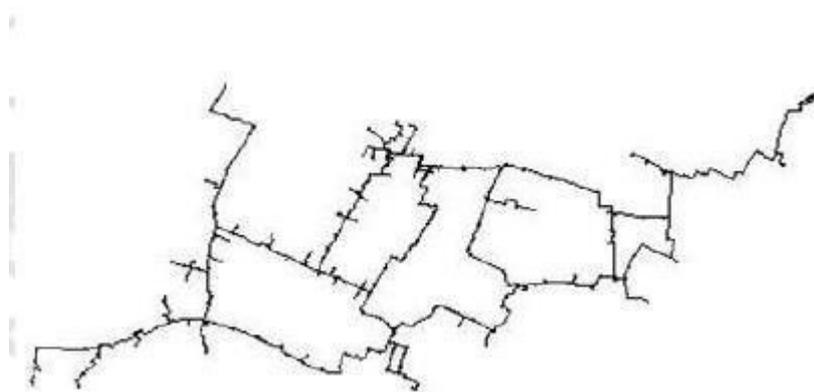


Fig. 15 Rete di distribuzione Magliata. Fonte [16]

## 2.1.2 Utenze

Ogni utenza della rete di teleriscaldamento può essere identificata con una sottostazione (SST). La sottostazione è usata nei sistemi di distribuzione indiretta e ha il ruolo di sostituire le vecchie caldaie condominiali tradizionali. Esiste una sottostazione installata in prossimità di ciascuna utenza o di più utenze vicine tra loro che formano un baricentro. Dalla rete principale, che presenta tubature con un diametro maggiore, si stacca il ramo della tubatura che porta all'utenza. Nel locale centrale termica dell'utenza è collocato lo scambiatore di calore tra circuito primario, quello della rete di teleriscaldamento, e circuito secondario, quello del riscaldamento dell'edificio.

Elementi essenziali della sottostazione di scambio termico sono: lo scambiatore a fasci tubieri, le valvole di regolazione, le termosonde di presa misura, la centralina di regolazione e il contabilizzatore di calore (per determinare l'energia ceduta all'utenza). I sistemi di contabilizzazione si distinguono tra quelli a misura diretta in cui vengono misurate le portate e la differenza di temperatura, e indiretta dove viene misurata la temperatura dei radiatori [17].

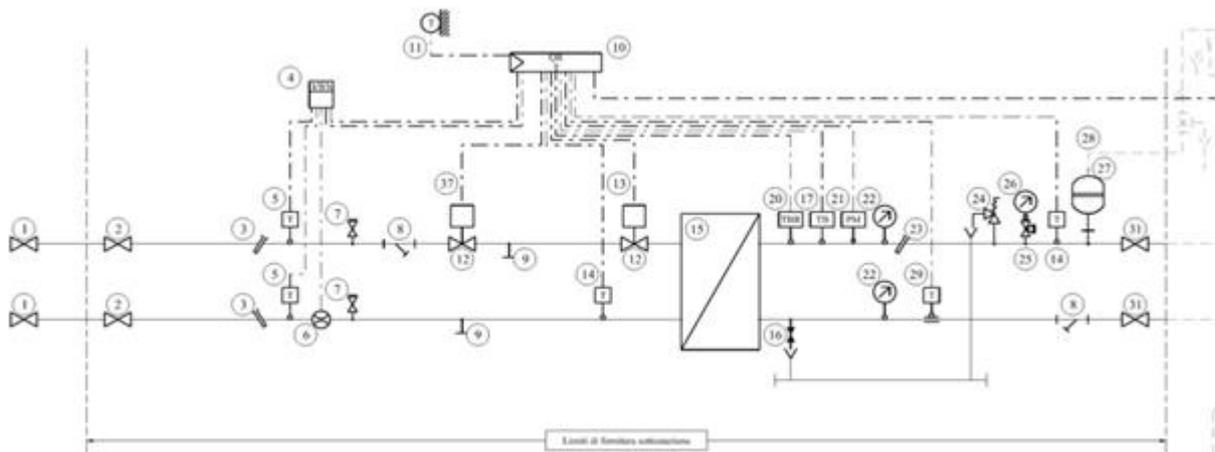


Fig. 16 P&I di una sottostazione tipo per la rete TLR di Torino. Fonte IREN Energia S.p.A

Poiché al variare della temperatura esterna, cambia il fabbisogno dell'utenza e la portata del secondario è invece normalmente costante, il secondario deve essere regolato modificando la temperatura media di questo circuito, al fine di mantenere la temperatura interna desiderata a parità di superficie di scambio dei corpi scaldanti. Per ottenere questo risultato si può agire sul set point della temperatura di mandata. La soluzione è stata trovata, dunque, nella centralina di termoregolazione climatica, (presente in ogni sottostazione) la quale ha la funzione di gestire

tutti i regolatori e generare la temperatura di set-point di mandata per garantire il giusto confort termico alle varie utenze, al variare della temperatura esterna. Nella centralina, la sonda di temperatura esterna determina il set-point della temperatura di mandata del circuito secondario, la quale viene ottenuta tramite la regolazione della portata sul circuito primario grazie alla valvola termoregolatrice a due vie.

Le temperature lato secondario, condizionano la progettazione e il funzionamento del circuito primario; esse in condizioni di progetto, sono determinate dal tipo di impianto di riscaldamento installato nell'edificio. Tipicamente:

Radiatori:  $T_{\text{mandata}} = 70-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ritorno}} = 60-70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Pannelli radianti:  $T_{\text{mandata}} = 45-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ritorno}} = 38-42\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fan coils:  $T_{\text{mandata}} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{ritorno}} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

### **2.1.4 Stazioni di pompaggio**

Le stazioni di pompaggio hanno la funzione di riequilibrare le perdite di pressione che avvengono lungo tutta la rete del teleriscaldamento. Le componenti principali di una sottostazione di questo genere sono:

Elettropompe centrifughe di circolazione;

Vaso di espansione;

Filtri;

Serbatoio di riserva;

Sistema di controllo automatico.

Nel caso in cui il fluido termovettore sia acqua, la velocità imposta nelle tubazioni è compresa nel range di 1,5-3 m/s. Questo perché velocità troppo elevate comporterebbero perdite di carico eccessive, mentre velocità troppo basse necessitano di tubazioni di più ampio diametro, con conseguente aumento delle dispersioni termiche e dei costi.

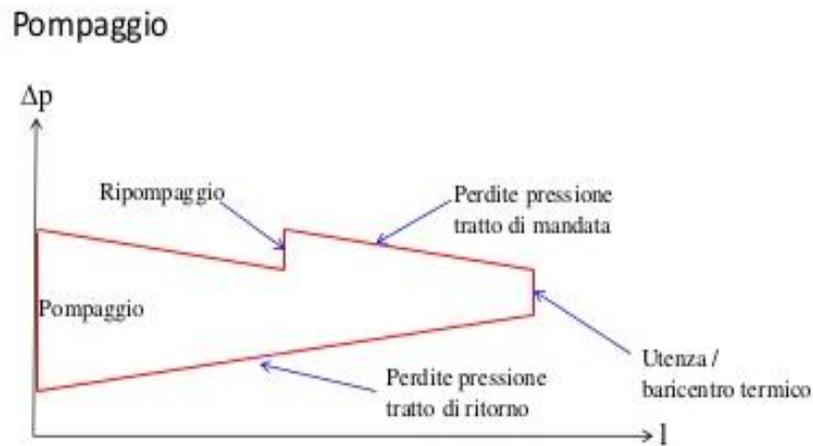


Fig. 17 Il pompaggio in una rete di TLR. Fonte [16]

## 2.2 Il teleriscaldamento nel Mondo e in Europa

Il teleriscaldamento è comparso per la prima volta nel centro urbano di New York nel 1876, ma in pochi anni la tecnologia si è diffusa anche in Europa, a partire da città come Amburgo e Parigi [18].

Ad Amburgo, il sistema di teleriscaldamento è il più antico di tutto il continente ed è attivo fin dal 1895. Con i suoi 1.200 km, copre il 19% della domanda di calore della città, arrivando a soddisfare 500.000 utenze. La maggior parte del calore viene prodotto da centrali a cogenerazione a carbone e a gas naturale, accoppiate a 4 termovalorizzatori. [19]

Tuttavia, ad oggi la nazione più teleriscaldata al mondo è la Russia che, nel 2007, ha venduto quasi 7 milioni di TJ di energia sotto forma di calore per il teleriscaldamento ai suoi clienti del settore residenziale ed industriale [20].

La seconda nazione più teleriscaldata risulta essere la Cina che, sempre nel 2007, ha venduto più di 2 milioni di TJ di calore per il teleriscaldamento. A queste due nazioni si aggiungono gli Stati Uniti con un totale di circa 350 000 TJ di vendite nel 2011.

Tuttavia, per stabilire la misura e l'importanza del settore in un dato Paese, un buon indicatore è la vendita di calore per il teleriscaldamento. Secondo tale indicatore, la Germania risulta essere il Paese al primo posto, seguita da Polonia e Svezia.

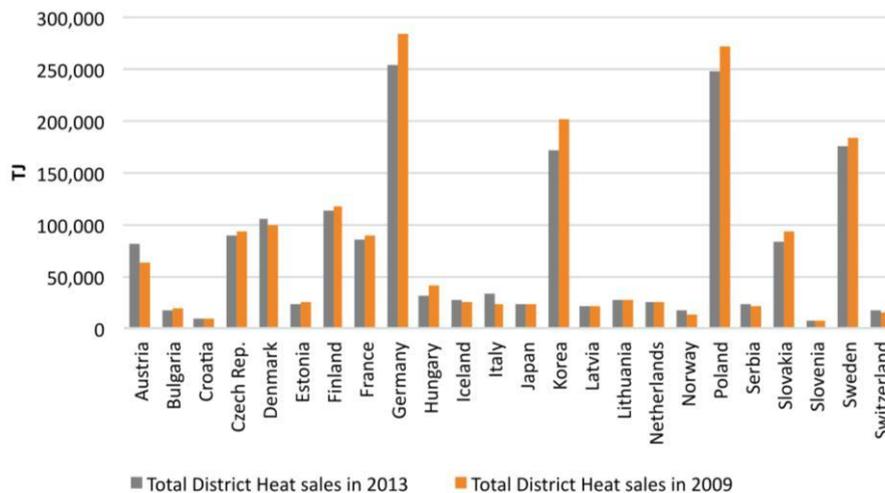


Fig. 18 Vendite di calore per TLR per le altre nazioni europee. Fonte [13]

Da tale grafico, si può notare come tra il 2009 e il 2013, i Paesi che più hanno aumentato le loro vendite sono stati l'Austria e l'Italia, invece i Paesi che hanno subito una decrescita delle vendite sono Ungheria, Slovacchia e Bulgaria, soprattutto a causa dell'introduzione di misure di efficientamento energetico al livello delle singole utenze ma anche la sostituzione di vecchie reti con reti più moderne e tubi più isolati termicamente.

Un altro indicatore interessante è la quota di abitanti che in ogni Paese beneficiano del teleriscaldamento (fig.19). Il teleriscaldamento è maggiormente presente in aree densamente abitate ed in centri urbani dove la domanda di calore è concentrata e rende vantaggiosa la creazione di una rete di questo tipo.

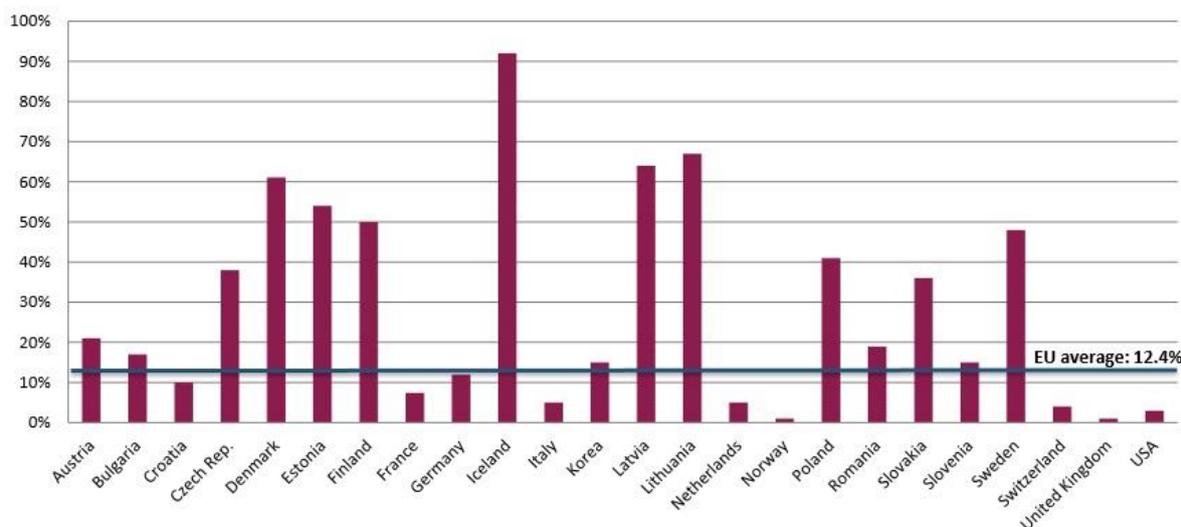


Fig. 19 Popolazione servita dal teleriscaldamento in vari Paesi a fine 2012. Fonte [13]

Un altro indicatore interessante è la lunghezza della rete di trasporto e distribuzione. A differenza del primo indicatore, questo non dipende da quanto l'utente domanda ogni anno, ma valuta in maniera oggettiva quanto il settore si sia sviluppato in un determinato Paese. La rete più sviluppata risulta quella cinese con circa 180000 km di tubature nel 2013.

## 2.3 Il teleriscaldamento in Italia

Il primo impianto di teleriscaldamento in Italia fu introdotto nel 1971 a Modena e l'anno successivo a Brescia [14]. In seguito, nell'autunno del 1982, si avviò la prima centrale di cogenerazione anche a Torino: Le Vallette.

Nel Rapporto AIRU 2017, le reti di teleriscaldamento recensite in Italia sono 193 riferite all'anno 2016, distribuite in altrettante città italiane tra cui i più importanti grandi centri urbani: Torino, Brescia e Milano con una volumetria riscaldata pari a circa 3% della domanda residenziale.



Fig. 20 Teleriscaldamento in Italia. Fonte [legambiente-Airu]

Come si vede dalla figura precedente, circa l'84% delle reti è distribuito tra Lombardia, Piemonte, Emilia Romagna e Trentino Alto Adige.

In Trentino Alto Adige sono presenti impianti a biomassa, spesso di tipo cogenerativo, alimentati dagli scarti delle lavorazioni locali e dalla manutenzione dei boschi. Sono 72 le reti alimentate da una sola tipologia di combustibile, come gli impianti cogenerativi fossili, caldaie, centrali termoelettriche e recupero di calore da termovalorizzatori. Infine sono presenti impianti alimentati da un mix di combustibili: fossili, recupero di calore (RSU ovvero rifiuti solidi urbani) e fonti di energia rinnovabile (FER).

Dal punto di vista giuridico, la prima definizione si ha solo nel decreto ministeriale del 24 ottobre 2005 “Direttive per la regolamentazione dell'emissione dei certificati verdi alle produzioni di energia”, nel quale si cita il sistema combinato di impianti a cogenerazione abbinato al teleriscaldamento [21]. In esso vengono stabilite alcune condizioni che una rete deve soddisfare:

- Mediante il trasporto di energia termica, una rete deve alimentare una pluralità di edifici o ambienti;
- Essere un sistema aperto, quindi nei limiti di capacità del sistema deve consentire l'allacciamento alla rete di ogni potenziale cliente senza discriminazione;

- La cessione dell'energia termica deve essere regolata da contratti di somministrazione e vendita;

Oltre a questa prima definizione, il decreto si impegnava al riconoscimento del risparmio energetico attraverso i Certificati Verdi, per gli impianti di nuova costruzione, di cogenerazione abbinati al teleriscaldamento.

Nel 2014 AIRU e Legambiente hanno condotto uno studio congiunto che illustra lo stato al 2012 del teleriscaldamento in Italia e che individua possibili sviluppi futuri nei centri con più di 25000 abitanti, stimando i benefici energetici e ambientali che ne derivano. Dalla comparazione tra fig.20 e fig.21, si può vedere in quali regioni e centri d'Italia sono previsti tali ampliamenti. È ovvio che lo sviluppo è previsto per le regioni del nord, dove l'inverno è più freddo e più lungo e di conseguenza il teleriscaldamento risulta essere una tecnologia più efficiente.



Fig. 21 Potenzialità di sviluppo del teleriscaldamento in Italia nei prossimi anni. Fonte [legaambiente-Airu]

Secondo questo studio, lo sviluppo del teleriscaldamento, porterebbe oltre che a un incremento della volumetria teleriscaldabile (un aumento pari a 5 volte lo stato attuale) e dunque di ktep di energia risparmiabili, anche un sostanziale aumento delle kt di CO2 non emesse.

### **2.3.1 A Torino il Teleriscaldamento intelligente**

La città di Torino è la più teleriscaldata d'Italia ed una delle più teleriscaldate d'Europa. La rete di distribuzione di Torino si estende infatti per circa 500 chilometri ed è in grado di alimentare una volumetria edificata di 54 milioni di metri cubi, corrispondenti ad una popolazione di circa 500.000 abitanti [22]. In questo contesto, IREN Energia S.p.A è la società del Gruppo IREN che opera nei settori della produzione e distribuzione di energia elettrica e di energia termica per teleriscaldamento. Il sistema integrato di cogenerazione e teleriscaldamento di Torino utilizza l'energia termica prodotta dai tre cicli combinati in assetto di cogenerazione ospitati nelle centrali di Moncalieri e Torino Nord.

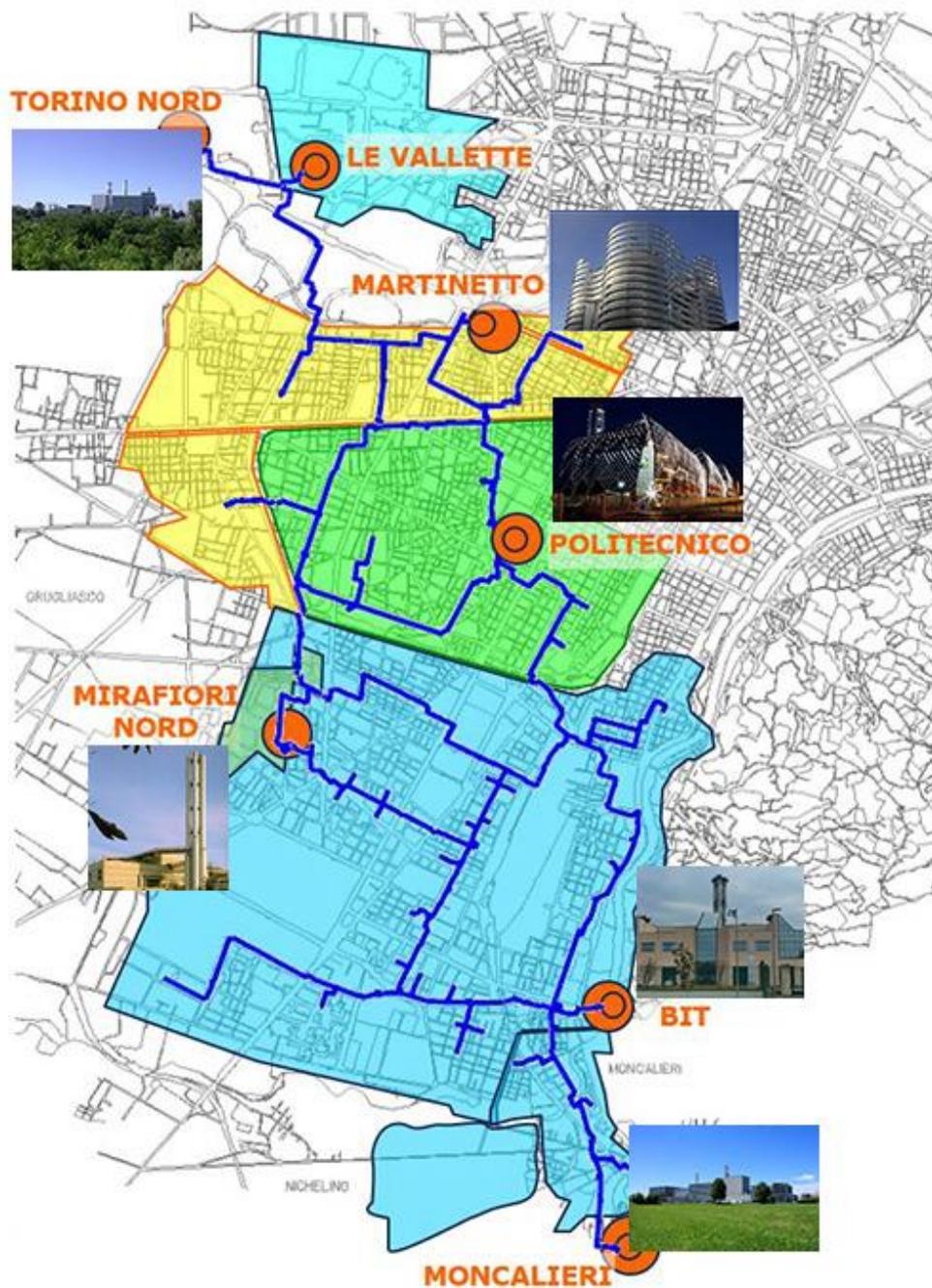


Fig. 22 Rete Teleriscaldamento Torino. Fonte [IREN Energia, Copertura di Torino, impianti di Torino, luglio 2017] Come si può osservare in figura, sono presenti anche impianti di integrazione e riserva del Martinetto, del Politecnico e del BIT. Le aree evidenziate corrispondono all'area attualmente teleriscaldata a Torino.

L'energia termica, sotto forma di acqua surriscaldata fino a 120°, viene trasportata e distribuita fino alle sottostazioni di scambio termico dei singoli edifici serviti dove, mediante un apposito

scambiatore, cede il calore all'acqua del circuito di riscaldamento dell'edificio, per poi tornare a circa 70° nelle centrali di produzione.

In un tipico giorno invernale IREN produce circa il 90% dell'energia termica richiesta tramite cogenerazione mentre il resto viene prodotto tramite caldaie (4%) e accumuli termici (6%).

La rete di Torino risulta già molto efficiente nella produzione di calore e presenta un uso molto limitato di caldaie integrative per coprire la domanda termica nei momenti di picco di richiesta. La caratterizzazione della domanda termica complessiva consiste nella determinazione dei seguenti elementi:

- il **fabbisogno termico annuo**, ovvero l'energia termica assorbita in un anno dalle utenze, che può essere calcolato come segue:

$$E_{T,U} = \sum_k (E_{T,U})_k = \sum_k (e_{T,U})_k \cdot (V_{TLR,P})_k \quad (2.1)$$

dove:

$E_{T,U}$  è il fabbisogno termico annuo complessivo;

$(E_{T,U})_k$  è il fabbisogno termico annuo relativo alla k-esima tipologia di utenza;

$(e_{T,U})_k$  è il fabbisogno termico annuo specifico (per unità di volume) relativo alla k-esima tipologia di utenza;

$(V_{TLR,P})_k$  è la volumetria teleriscaldabile di progetto relativa alla k-esima tipologia di utenza.

I fabbisogni annui delle utenze sono legati, oltre che ai parametri climatici e dell'involucro edilizio, anche alla destinazione d'uso e al profilo di occupazione degli edifici. Pertanto è opportuno differenziare la valutazione in base alle tipologie di utenza (residenziale, terziario).  
[23]

- il **carico termico di picco**, ovvero la massima potenza termica che può essere contemporaneamente richiesta dalle utenze. Esso si colloca frequentemente, qualsiasi sia la tipologia di utenza, in ore mattutine delle giornate più fredde dell'anno, che coincidono con l'avviamento degli impianti di riscaldamento. Pertanto, il carico termico di picco può essere determinato come segue:

$$Q_{U,max} = q_{U,max} \cdot V_{TLR,P} \quad (2.2)$$

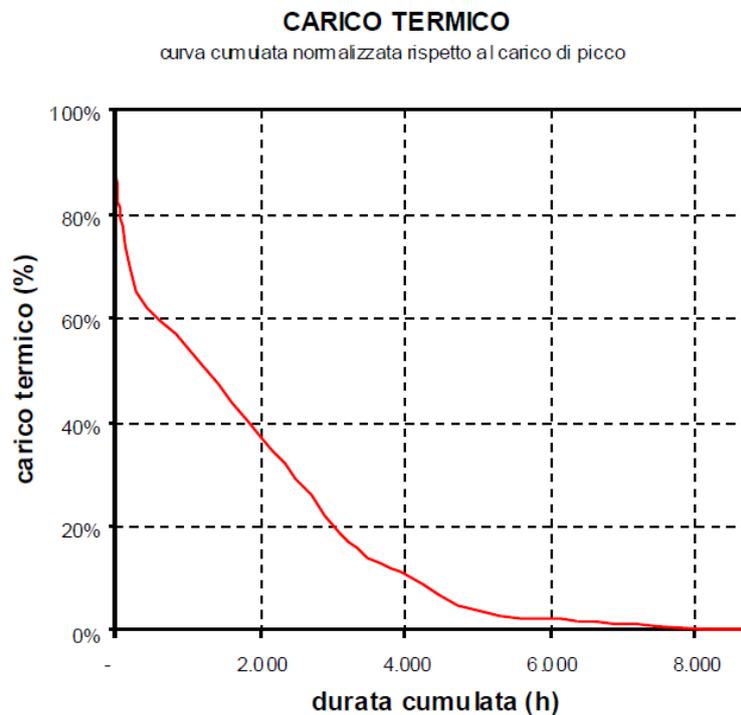
dove:

$Q_{U,max}$  è il carico termico di picco complessivo;

$q_{U,max}$  è il carico termico di picco specifico (per unità di volume);

$V_{TLR,P}$  è la volumetria teleriscaldabile di progetto complessiva.

-la **curva cumulata annua del carico termico**, ovvero il diagramma di durata dei valori di potenza termica richiesta dalle utenze nel corso di un anno. Il suo andamento dipende sostanzialmente dalla relativa curva cumulata delle temperature ambiente e dai profili di prelievo delle utenze (continuo, solo giornaliero, ecc.). Un esempio è dato dalla Fig.23.



*Fig. 23 Esempio di curva cumulata del carico termico*

Per quanto riguarda l'efficienza di un sistema di teleriscaldamento, essa è massimizzata quando le perdite di energia termica sono minimizzate e quando si massimizza il rapporto tra numero di utenti e lunghezza della rete [24].

Le perdite termiche dipendono, infatti, dalla lunghezza della rete ed hanno un maggiore peso percentuale quando la domanda termica e dunque l'energia trasportata è bassa.

**TABELLA 3 ANDAMENTO DELLA VOLUMETRIA TELERISCALDATA**

Volumetria allacciata				
Anno	Nell'anno m <sup>3</sup>	Al 31 dicembre Mm <sup>3</sup>	Indice -	Incremento %
1999	9,1	109,8		9,0
2000	7,5	117,3	1,00	6,8
2001	8,6	125,9	1,07	7,3
2002	6,4	132,3	1,13	5,1
2003	7,8	140,1	1,19	5,9
2004	4,2	144,4	1,23	3,0
2005	11,2	155,6	1,33	7,8
2006	21,7	177,3	1,51	14,0
2007	21,3	198,7	1,69	12,0
2008	13,2	211,9	1,81	6,7
2009	14,6	226,5	1,93	6,9
2010	17,9	244,4	2,08	7,9
2011	19,0	263,4	2,25	7,8
2012	16,1	279,4	2,38	6,1
2013	22,7	302,1	2,58	8,1
2014	14,1	316,2	2,70	4,7
2015	13,6	329,8	2,81	4,3
2016	12,5	342,3	2,92	3,8
<b>Media 2000-2016</b>	<b>13,7</b>			<b>7,0</b>
<b>Media 2011-2016</b>	<b>16,3</b>			<b>5,8</b>

**TABELLA 4 ANDAMENTO DELLA ESTENSIONE DELLE RETI**

Estensione delle reti			
Anno	Incremento nell'anno km	Estensione al 31 dicembre km	Indice
1999	115	996	
2000	95	1.091	1,00
2001	151	1.242	1,14
2002	121	1.363	1,25
2003	108	1.471	1,35
2004	38	1.509	1,38
2005	158	1.667	1,53
2006	286	1.953	1,79
2007	218	2.171	1,99
2008	85	2.256	2,07
2009	148	2.404	2,20
2010	368	2.772	2,54
2011	105	2.877	2,64
2012	284	3.161	2,90
2013	646	3.807	3,49
2014	167	3.974	3,64
2015	124	4.098	3,76
2016	172	4.270	3,91
<b>Media 2000-2016</b>	<b>193</b>		
<b>Media 2011-2016</b>	<b>250</b>		

*Fig. 24 Andamento volumetria teleriscaldato ed estensione delle reti in Italia*

Per mantenere l'efficienza del sistema costante nel corso degli anni, è necessaria una buona manutenzione della rete e dunque un buon sistema di rilevazione di altre anomalie. Infatti, l'efficienza si riduce non solo a causa dell'invecchiamento e deterioramento dei componenti della rete, ma anche a causa del cosiddetto fouling o sporcamento degli scambiatori di calore. Lo sporcamento è di difficile individuazione ed ha degli effetti molto importanti sulla riduzione di efficienza degli scambiatori di calore nel tempo. [25]

La struttura delle reti di teleriscaldamento è costituita da una serie di Centrali di produzione (in cogenerazione o di integrazione e riserva), sottostazioni di scambio termico di condominio, costituite sostanzialmente da uno scambiatore tra rete primaria di teleriscaldamento cittadino e rete secondaria di riscaldamento di edificio, e sistemi di valvole, regolatori, pompe e misuratori. A seguito dell'ampliamento della rete di teleriscaldamento di Torio, nacque l'esigenza di governare in modo più automatico e automatizzato un sistema che diventava sempre più complesso, così a partire dal 2011 Iren Energia ha deciso di focalizzare i propri sforzi sulla telegestione delle sottostazioni di scambio termico e ad oggi ha effettuato l'installazione di tali sistemi su 3600 sottostazioni. Ciò consente che:

- Gli apparati periferici sono programmabili e si occupano di interrogare autonomamente i regolatori e i contatori memorizzando localmente i dati in modo da sopperire ad eventuali cadute del segnale GPRS.
- In caso di necessità permettono ai sistemi centrali di entrare in connessione diretta con i dispositivi per garantire l'esecuzione di operazioni di diagnostica/manutenzione.
- Il sistema centrale oltre a collezionare i dati degli impianti è anche in grado di elaborarli e di generare allarmi, di eseguire azioni/comandi e di predisporre reportistiche di funzionamento.

Attraverso poi la telelettura dei contatori e la diffusione di tali sistemi di telegestione, è stato possibile migliorare il servizio grazie a:

- Disponibilità in tempo reale delle letture e dell'andamento dei consumi. Il sistema mette in rete oltre 500.000 tra sensori e parametri di funzionamento che vengono raccolti dal campo;
- Disponibilità delle letture dei contatori ad una data certa (correlabile con la produzione di calore);
- Possibilità di rendere disponibili a terzi (es. clienti, operatori) i dati;
- Passaggio da funzionamento manuale ad automatico da remoto;
- Controllo e impostazione ottimale dei parametri di regolazione in ogni condizione di funzionamento e climatica, grazie alla possibilità di migliore analisi sul funzionamento degli impianti, consentendo un risparmio energetico per l'utente.
- Effettuazione da remoto degli interventi di regolazione climatica richiesti dall'utente (orari, temperature etc.);
- Tempestività degli interventi (in telegestione o locali) per guasti e/o anomalie di funzionamento segnalate automaticamente dal sistema; [26]

# Capitolo 3

## Analisi sottostazione

Come già precedentemente detto nel capitolo 2, la rete di teleriscaldamento è costituita dalle utenze che possono essere identificate con sottostazioni (SST). Esiste, infatti, una sottostazione installata in prossimità di ciascuna utenza o di più utenze vicine tra loro che formano un baricentro (BCT).

In questo lavoro di tesi sono stati analizzati solamente i baricentri 410, 414 e 418 della rete di teleriscaldamento torinese, i quali presentano un numero di utenze allacciate diverso, come riportato nella tabella seguente:

BCT	N° Utenze
410	92
414	110
418	19

Tabella 1. N° utenze totali presenti nei BCT della rete di teleriscaldamento di Torino

La sottostazione è considerata attraverso un modello semplificato che include uno scambiatore reale (primario-secondario) e uno fittizio (secondario-utenza).

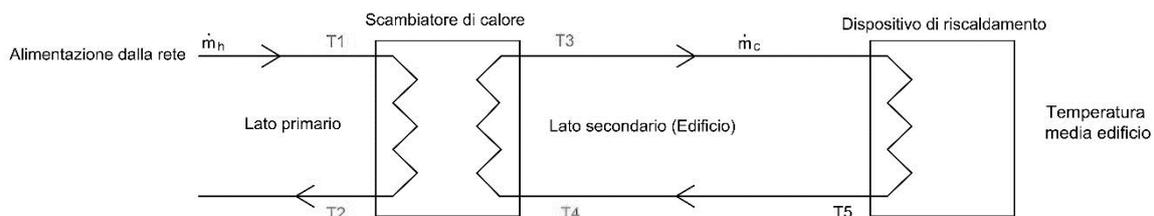


Fig. 25 Schema semplificato della sottostazione di scambio e dei terminali di riscaldamento. Fonte [25]

Come si evince dallo schema ci sono due circuiti distinti e separati:

- il circuito **primario**, che collega la centrale termica alla sottostazione (scambiatore di calore primario-secondario), in cui circola una portata d'acqua surriscaldata  $\dot{m}_h$  che entra nello scambiatore alla temperatura  $T_1$  (temperatura di mandata lato primario) ed esce alla temperatura  $T_2$  (temperatura di ritorno lato primario);

- il circuito **secondario**, il quale collega la sottostazione ai terminali di riscaldamento dell'utenza, in cui circola una portata d'acqua calda  $m_c$  che viene riscaldata fino ad una temperatura  $T3$  (temperatura di mandata lato secondario) per essere così fornita a tutti i terminali presenti nel sistema di riscaldamento dell'utenza. L'acqua, dopo aver ceduto la propria energia termica, rientra nello scambiatore di calore della sottostazione a una temperatura  $T4$  (temperatura di ritorno lato secondario).

### 3.1 Regole attuali di analisi di anomalie e/o guasti

Come precedentemente visto, tanti sono i vantaggi legati al teleriscaldamento, ma in particolare ciò che lo rende forte nel mercato è la serie di servizi ad esso legati. Grazie infatti agli strumenti di misura e di regolazione presenti nelle sottostazioni di scambio termico, agli attuatori che agiscono secondo la taratura degli organi di regolazione e alla centralina che gestisce il tutto, è possibile telegestire tutta la rete da remoto.

Tutti i servizi offerti all'utente, quali la disponibilità in tempo reale delle letture e andamento dei consumi, l'effettuazione da remoto degli interventi di regolazione climatica richiesti dall'utente e la tempestività degli interventi per guasti e/o anomalie di funzionamento segnalate automaticamente dal sistema, sono essenziali per un sempre maggior apprezzamento del servizio e per una maggiore diffusione del teleriscaldamento stesso. Per tale motivo è necessario promuovere un costante processo di ottimizzazione del sistema nel suo complesso per un miglioramento continuo dei servizi offerti. Il raggiungimento di tale obiettivo necessita pertanto di nuovi modelli di studio ottenuti grazie a innovativi sistemi di analisi.

Nel documento “*Conduzione e manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti termici e di climatizzazione presso gli edifici di proprietà o nella disponibilità del Comune di Torino e del Gruppo IREN*”, infatti, vengono riportati quegli interventi che rientrano nella manutenzione straordinaria di tipo sostitutiva, ovvero quegli interventi che possono comportare un miglioramento dell'impianto dal punto di vista tecnologico, funzionale e/o dei consumi energetici:

- sostituzione di generatori di calore completi, o della sola caldaia o del solo bruciatore;
- sostituzione di centraline o schede di regolazione di gruppi frigoriferi e generatori di calore o gruppi di essi;
- riparazione o sostituzione di sistemi PLC;

- sostituzione di centraline di regolazione climatiche complete, (sono esclusi i termostati a bordo ventilconvettori, i termostati ambiente e i cronotermostati in generale);
- sostituzione di valvole di termoregolazione complete;
- sostituzione di sistemi di rilevazione gas completi (rilevatore e modulo acquisizione) e/o delle relative valvole di intercettazione di emergenza;
- sostituzione rampe gas, o parti di esse, a bordo di bruciatori;
- sostituzione di tratti di rete di distribuzione principale dei fluidi vettori;
- riparazione delle perdite nelle reti di distribuzione principale (acqua, gas metano);
- riparazione delle perdite nelle reti gas refrigerante per i soli tratti da e verso i condensatori remoti, comprensiva della ricarica del gas se necessario;
- riparazione dei generatori di calore che comporti la sostituzione di parti quali tubi da fumo, piastre frontali, mantello o porzioni di essi.
- Sostituzione dei condotti di scarico fumi o tratti di essi;
- interventi di rifacimento parziale/totale dei corpi caldaia di tipo pressurizzato;
- sostituzione completa di vasi di espansione aperti e chiusi;
- sostituzione completa di accumuli, bollitori;
- sostituzione di corpi scaldanti completi (radiatori, ventilconvettori, arotermi);
- sostituzione di batterie calde/fredde delle UTA;
- sostituzione di unità di trattamento aria complete (UTA) o intere sezioni di esse;
- sostituzione di gruppi frigoriferi completi o di compressori di gas;
- sostituzione di valvole termostatiche, pressostatiche di gruppi frigoriferi o pompe di calore;
- sostituzione di torri evaporative, condensatori remoti completi;
- sostituzione di scambiatori di calore completi o del solo pacco piastre completo;
- sostituzione o revisione meccanica delle giranti a bordo di UTA e torri evaporative;
- rigenerazione completa di scambiatori di calore di qualsiasi tipo;
- sostituzione di elettropompe e di motori elettrici con potenza maggiore di 1 kW;
- sostituzione di inverter elettronici per il controllo di motori elettrici (ad esclusione di quelli installati direttamente a bordo motore elettrico: es. pompe/circolatori a giri variabili);
- esecuzione di lavaggi chimici su impianto o parti di esso, scambiatori e generatori di calore di qualsiasi tipo;
- revisione elettrica e/o meccanica di motori elettrici ed elettropompe con potenza maggiore di 1 kW;
- revisione meccanica di pompe, intese come sistema chiocciola più girante. [27].

Da tali interventi ci si attende un miglioramento dal punto di vista tecnologico, funzionale e dei consumi energetici.

### 3.1.1 Il ruolo della variazione di temperatura

Come si evince dal documento riportato precedentemente, attualmente gli interventi di manutenzione degli scambiatori non sono di tipo *preventivo*, ovvero interventi che si prefiggono l'obiettivo di eseguire una manutenzione di "revisione", "sostituzione" o "riparazione" di parti di impianti, prima che nel componente si manifesti il guasto, ma sono di tipo *correttivo*, si eseguono cioè solo a seguito di una segnalazione di malfunzionamento da parte dell'utente o a seguito di allarmi che segnalano un malfunzionamento degli scambiatori. Il sistema di monitoraggio remoto si basa essenzialmente sull'analisi istantanea delle Temperature T2 (temperatura di ritorno del primario) e T3 (temperatura di mandata del secondario). Esso, infatti, genera un allarme nel caso in cui la differenza tra la T2 e la T3, misurata ogni 3 minuti, supera la soglia dei 10 gradi. Si riporta di seguito l'andamento tipico di tali temperature all'interno di uno scambiatore di calore.

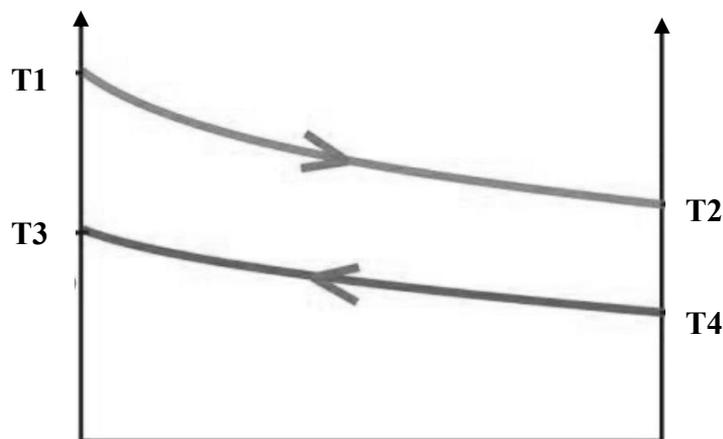
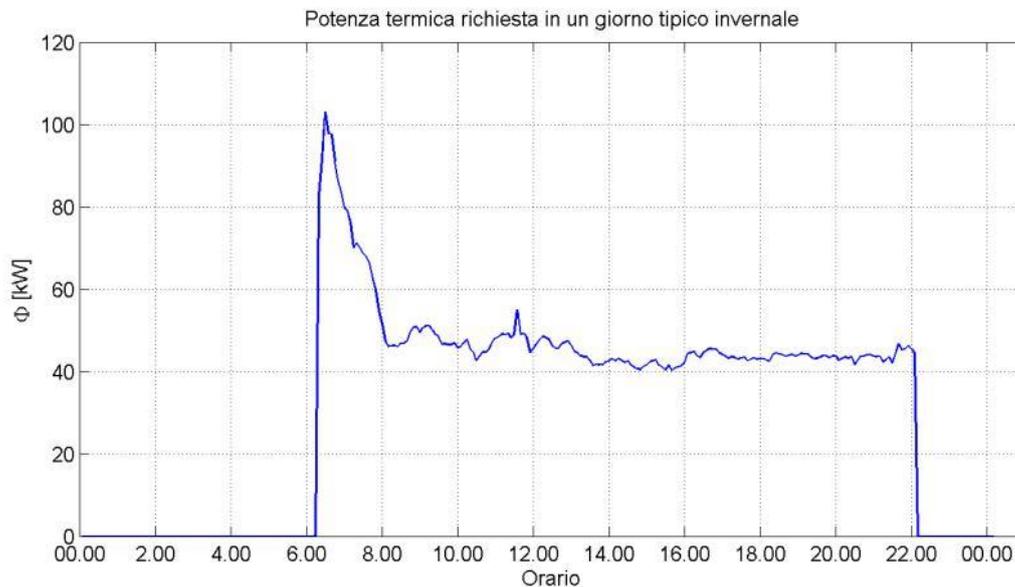


Fig. 26 Andamento delle temperature in uno scambiatore di calore controcorrente

È dunque ovvio, che questo metodo di analisi basato sui valori istantanei di temperatura presenta dei limiti per via del fatto che esse hanno un certo range di variabilità. Osservando

infatti una tipica curva di domanda giornaliera, si vede come richiesta termica risulta molto variabile durante le ore del giorno, con picchi massimi intorno alle ore mattutine e serali.



*Fig. 27 Esempio di potenza termica richiesta per un'utenza del teleriscaldamento in un giorno tipico invernale.*

Tale metodo di analisi fa sì che gli allarmi si susseguano in maniera intempestiva ed a frequenza elevata e ciò genera confusione e conseguente difficoltà nell'individuazione degli interventi di manutenzione da eseguire. L'obiettivo è quindi quello di individuare e mettere in atto nuovi strategie e metodi di analisi, attraverso nuovi parametri che consentano di monitorare la rete di scambiatori con maggiore affidabilità e che siano in grado di dare una più precisa valutazione circa il loro stato di degrado.

La scelta di tale nuovo parametro è ricaduta sul prodotto  $F \cdot U \cdot A$ , dove  $F$  è un fattore correttivo per passare da controcorrente ad altri tipi di scambiatori,  $U$  rappresenta il coefficiente di scambio termico globale [W/K] e  $A$  la superficie di scambio termico [m<sup>2</sup>]. L'idea è quella di proporre un nuovo metodo di elaborazione, basato sull'analisi di tale parametro relativo agli scambiatori, che permetta di individuarne e segnalarne le anomalie di funzionamento in correlazione al lavoro di manutenzione.

Un'ulteriore precisazione va fatta su cosa si intende per anomalia; si parlerà infatti di anomalia in tutti quei casi in cui lo scambiatore scambierà meno calore rispetto a quello di progetto e

quindi anche i casi in cui è necessario un intervento di manutenzione che ne ristabilisca il corretto funzionamento.

### 3.2 Sviluppo e descrizione dei modelli

Al fine di poter fare un'analisi quanto più completa possibile, si è deciso di valutare l'andamento del funzionamento degli scambiatori negli anni strutturando il lavoro per step, mediante l'utilizzo di diversi modelli matematici sviluppati su MATLAB:



*Fig. 28 Schema dei modelli*

Gli input del modello sono:

- T1: temperatura di mandata del primario
- T2: temperatura di ritorno del primario
- T3: temperatura di mandata del secondario
- T4: temperatura di ritorno del secondario
- G: portata del circuito primario
- V: volumetrie utenze

In output avremo invece:

- Rette interpolanti di  $U \cdot A (\phi)$ , di tutte le utenze e di quelle manutenute;
- Variazione percentuale del coefficiente angolare delle rette interpolanti;

### 3.2.1 Modello per la creazione dei dati storici

Prima di poter effettuare un'analisi degli scambiatori presenti nella rete di teleriscaldamento, occorre diagrammarli per valutare il loro attuale stato di funzionamento. Come è noto, uno scambiatore nel tempo si degrada per via dello sporco che interessa il fascio tubiero, dovuto al deposito di calcare al loro interno. In tali condizioni la loro efficienza si riduce nel tempo al punto di renderne necessaria la pulizia o la sostituzione. Una corretta analisi presuppone lo studio dei loro dati caratteristici e la corrispondente variazione nel tempo, dovuta appunto al loro degrado funzionale.

Da qui l'idea di creare un modello che calcoli il parametro  $F*U*A$  e ne diagrammi l'andamento in funzione della potenza termica scambiata e del tempo. Per poter creare tale modello, per prima cosa sono stati richiesti ad IREN S.p.A. i valori relativi agli anni 2015, 2016 e 2017 delle temperature T1, T2, T3, T4, Test (temperatura esterna), di G e di V.

Occorre, però, precisare che poiché a Torino il teleriscaldamento ricopre i mesi da Gennaio ad Aprile e da Ottobre a Dicembre, i valori delle grandezze richieste saranno riferiti solamente a tali mesi che, per i tre anni presi in considerazione, si ha un ammontare di dati pari a 637 giorni.

I dati forniti sono stati prima pre-processati in modo tale da poter essere inseriti nel modello, e successivamente utilizzati nel seguente modo:

1. Come primo passo si sceglie il baricentro da analizzare così da caricare nel modello solo i dati relativi alle utenze di tale baricentro.
2. A questo punto, poiché i valori delle grandezze in analisi sono stati forniti con cadenza temporale, con periodo pari a 5 minuti, si può calcolare un unico valore medio giornaliero considerandolo durante lo stazionario pomeridiano. Per poter comprendere tale scelta, è bene osservare con attenzione la curva tipica della domanda giornaliera (vedi Fig.27) in cui si notano picchi di richiesta di energia durante le ore mattutine e serali e un andamento quasi costante durante le ore pomeridiane. Si considera quindi un valore di 0.05 come massima variazione rispetto alla media per valutare i valori stazionari, ottenendo così una riduzione della mole di dati in input al modello, che passa da 183456 valori a 637 (uno per ogni giorno considerato);

In alcuni casi tuttavia, è stato riscontrato un problema relativamente alla temperatura di ritorno del secondario: la T4. Essa non sempre risulta essere nota, dunque, deve essere calcolata mediante la funzione (3.1) che permette di ricavarla tramite il coefficiente  $\beta$ , che lega linearmente la T4 con le altre grandezze di input. Per potere verificare l'affidabilità della funzione e quindi del coefficiente, essa è stata applicata a tutti i casi di T4 nota ed è stato fatto un confronto tra il valore reale e quello ricavato dal modello (vedi paragrafo 5.1).

Il modello di calcolo messo a punto è il seguente:

$$T4 = \beta * Input [K] \quad (3.1)$$

Dove:

Input: T1, T2, T3, G, V;

3. Avendo adesso a disposizione tutti i valori necessari mediati, si valuta il nuovo parametro utile per l'analisi dello sporcamento degli scambiatori: UA. Ciò che si vuole dimostrare è che grazie a questi parametri è possibile visualizzare l'andamento e quindi il deterioramento nel tempo degli scambiatori. Quello che ci si aspetta dal monitoraggio dei valori di UA in funzione di  $\phi$  (flusso termico scambiato tra circuito primario e secondario all'interno dello scambiatore di calore della sottostazione) è una progressiva diminuzione dei valori di UA nel tempo, a dimostrazione del fatto che lo scambiatore riduce via via la propria efficienza.

L'efficienza calcolata attraverso il metodo  $\epsilon$ -NTU è, infatti, legata al parametro UA attraverso la seguente relazione:

$$\epsilon = \frac{1 - e^{-NTU(1-Z)}}{1 - Z e^{-NTU(1-Z)}} \quad (3.2)$$

Dove:

$$NTU = \frac{U \cdot A}{(\dot{m} \cdot c_p)_{min}} \quad (3.3)$$

$$Z = \frac{(\dot{m} \cdot c_p)_{min}}{(\dot{m} \cdot c_p)_{max}} \quad (3.4)$$

Noto quindi  $\phi$  e sapendo che per tale scambiatore si utilizzano il  $\Delta T_{m \log}$  e il metodo  $\epsilon$ -NTU, è possibile ricavare UA dall'equazione 3.5:

$$F \cdot U \cdot A = \frac{\phi}{\Delta T_{m \log}} \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (3.5)$$

Dove:

- F è il fattore correttivo che permette di passare da controcorrente ad altri tipi di scambiatori;
- $\Delta T_{m \log}$  è calcolato mediante:

$$\Delta T_{m \log} = \frac{(T_1 - T_3) - (T_2 - T_4)}{\log \left[ \frac{(T_1 - T_3)}{(T_2 - T_4)} \right]} \quad [K] \quad (3.6)$$

Tali calcoli vanno effettuati per ogni sottostazione appartenente al baricentro scelto che abbia un numero sufficiente di valori di tali parametri, ovvero che abbia i dati per un numero minimo di sette giorni.

A seguito di questo limite imposto, la tabella seguente mostra il numero totale delle sottostazioni presenti nel sistema e quelle che sono state effettivamente analizzate:

<b>BCT</b>	<b>SST totali</b>	<b>SST con UA sufficienti</b>
410	92	66
414	110	90
418	19	8

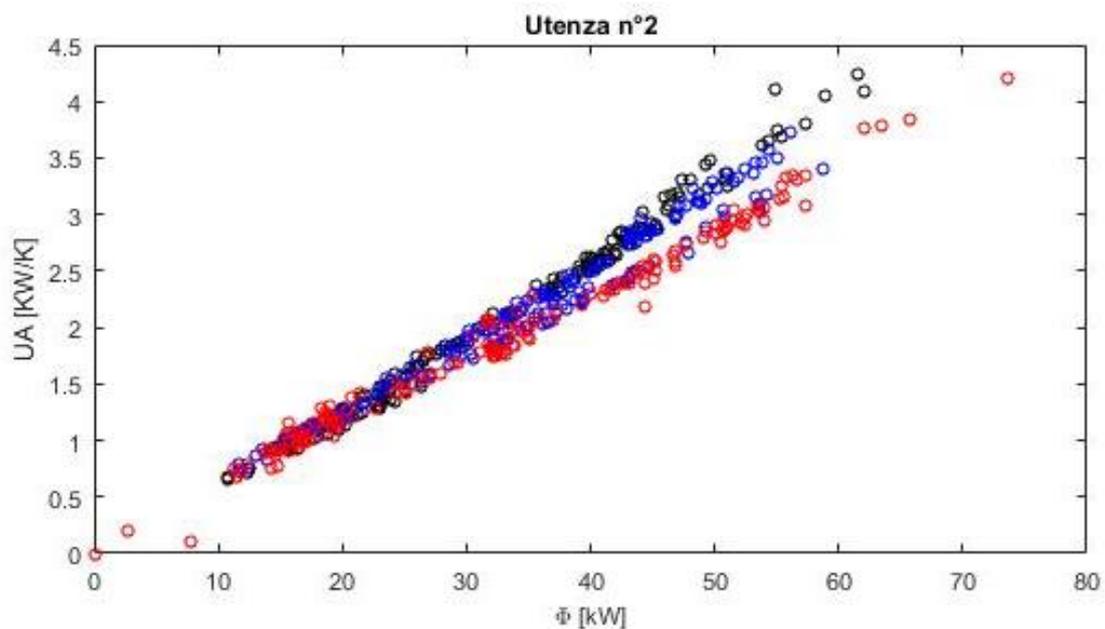
*Tabella 2. Confronto tra n° utenze totali e n° utenze realmente analizzate nel modello per la creazione dei dati storici*

Dopo aver calcolato tutti i valori, questi vengono salvati in matrici così da poter essere sempre disponibili e graficati in modo da poter farne una prima analisi qualitativa. A titolo di esempio vengono mostrate nelle figure seguenti due utenze per ogni baricentro, rappresentative di due macro gruppi in cui è possibile classificarle:

- La prima di ogni gruppo mostra l'anomalia di funzionamento, cioè un graduale deterioramento dello scambiatore così come ci si aspetta. Tale caratteristica è comune alla maggior parte delle sottostazioni di uno stesso baricentro;
- La seconda, invece, è rappresentativa dei pochi casi che sono in controtendenza, ovvero quei casi che mostrano un miglioramento delle prestazioni.

Nelle figure successive, sono mostrate le curve che rappresentano UA in funzione di  $\phi$  in cui si distinguono i valori con 3 colori differenti in base all'anno ai quali si riferiscono:

- in nero i dati relativi al 2015
- in blu quelli relativi al 2016
- in rosso quelli del 2017.



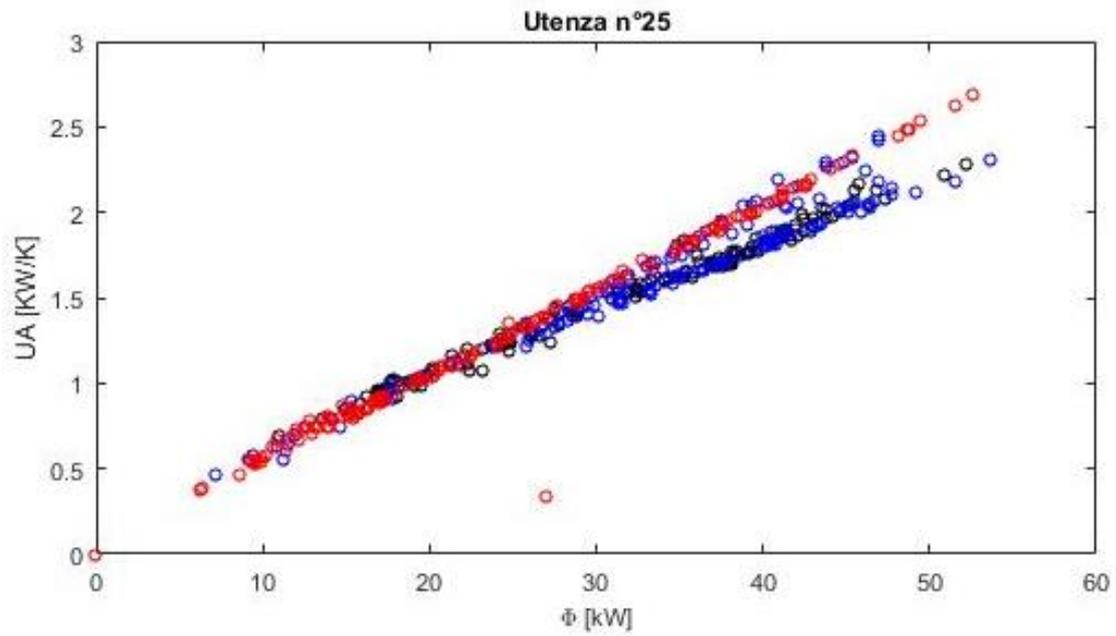
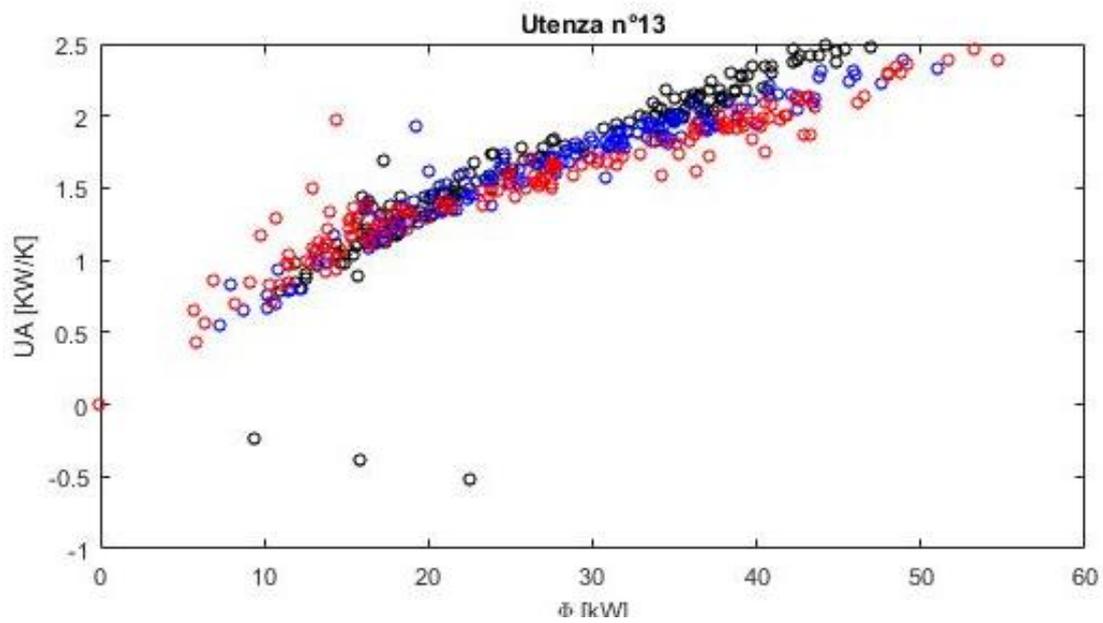


Fig. 29 BCT 410 utenza n°2 (a) n°25 (b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico  $\phi$  in kW.



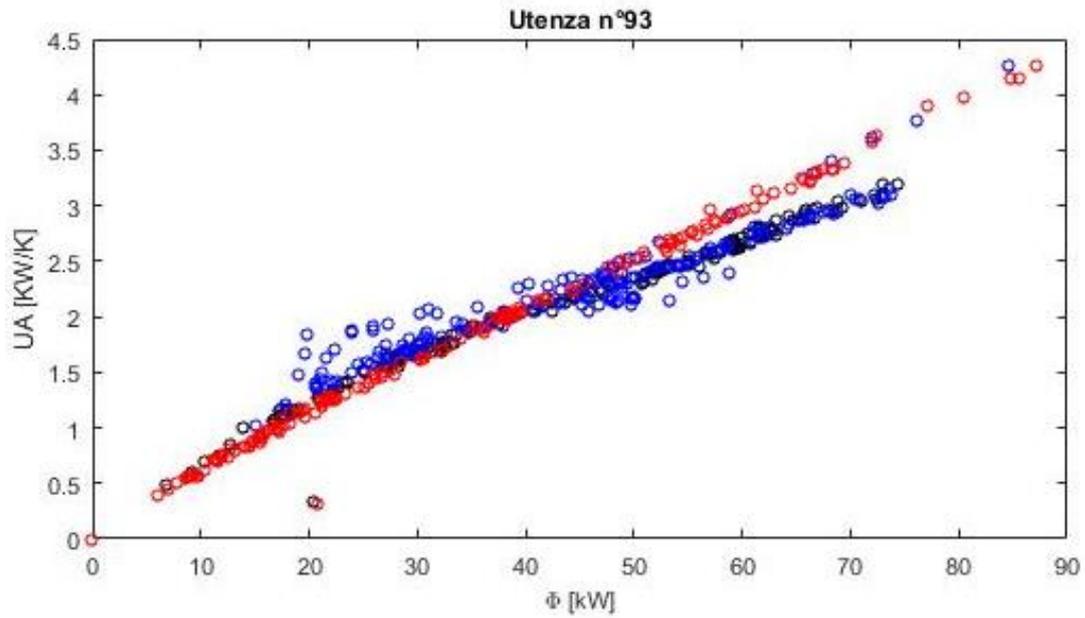
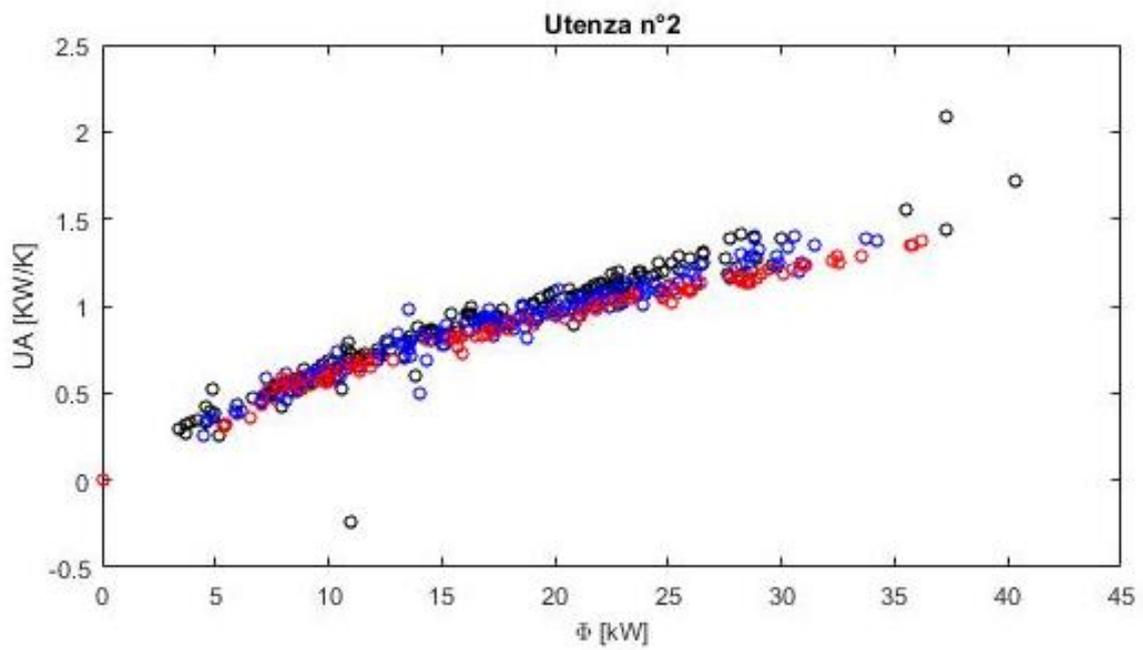


Fig. 30 BCT 414 utenza n°13 (a) n°23 (b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico  $\phi$  in kW.



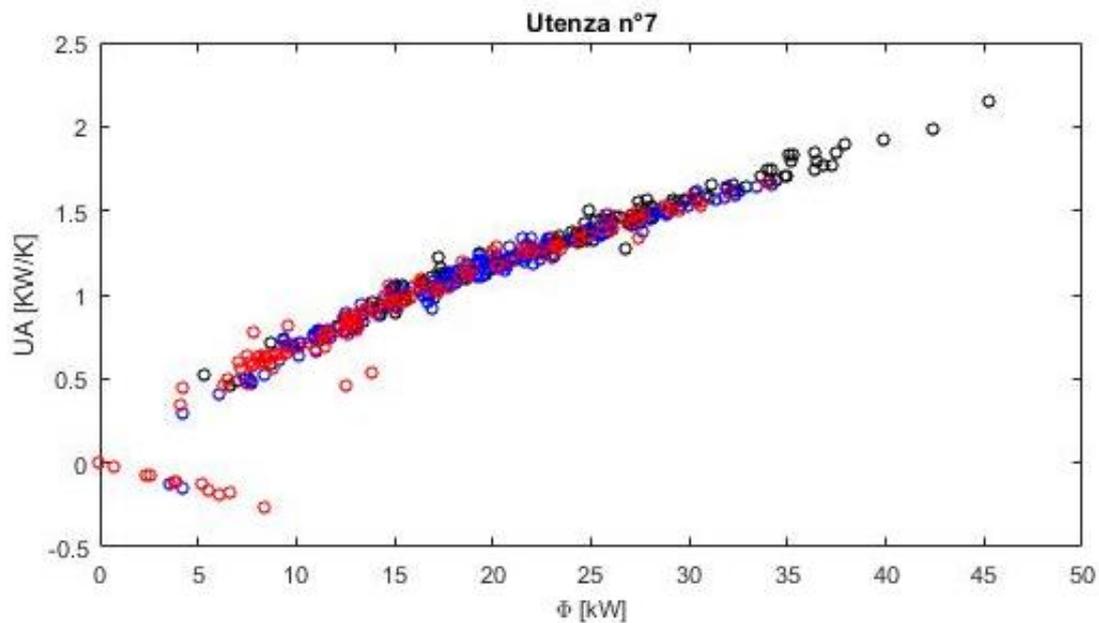


Fig. 31 BCT 418 utenza n°2 (a) n°7(b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico  $\phi$  in kW.

4. Non in tutte le utenze, tuttavia, risulta chiaro l'andamento delle curve e di conseguenza dei valori di UA, in quanto spesso risultano essere rappresentati nel piano in modo sparso o sovrapposti. Per poter avere un'analisi più dettagliata e precisa, vengono riportate in un grafico, attraverso la funzione "polyval", le rette di interpolazione avendo prima calcolato i coefficienti del polinomio della retta attraverso la funzione "polyfit". Di seguito vengono riportati i grafici di tali rette, per le stesse utenze precedentemente viste, così da poterne fare un primo confronto visivo. Allo stesso modo sull'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse i valori del flusso termico  $\phi$  in kW; anche per la distinzione dei tre periodi vengono utilizzati tre colori diversi: nero per il 2015, blu per il 2016 e rosso per il 2017.

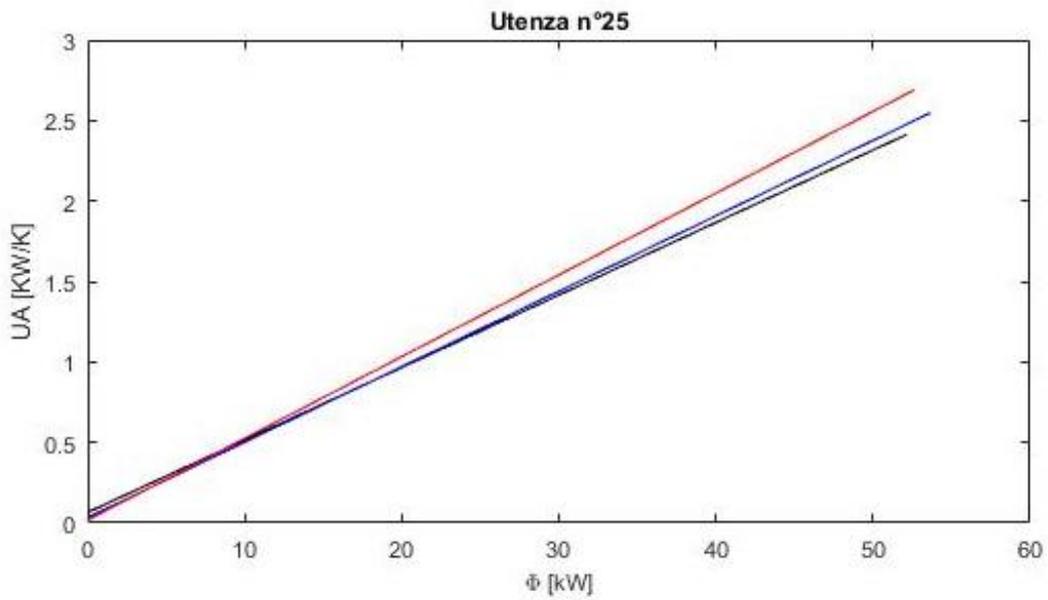
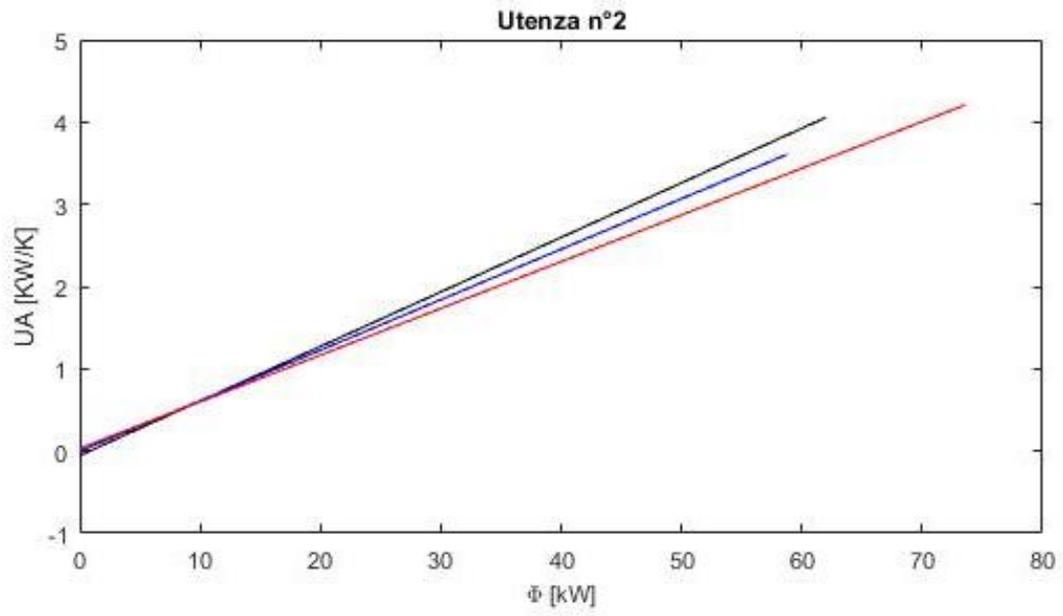


Fig. 32 Esempio rette di interpolazione per il BCT 410: utenza n°2 (a) n°25 (b).

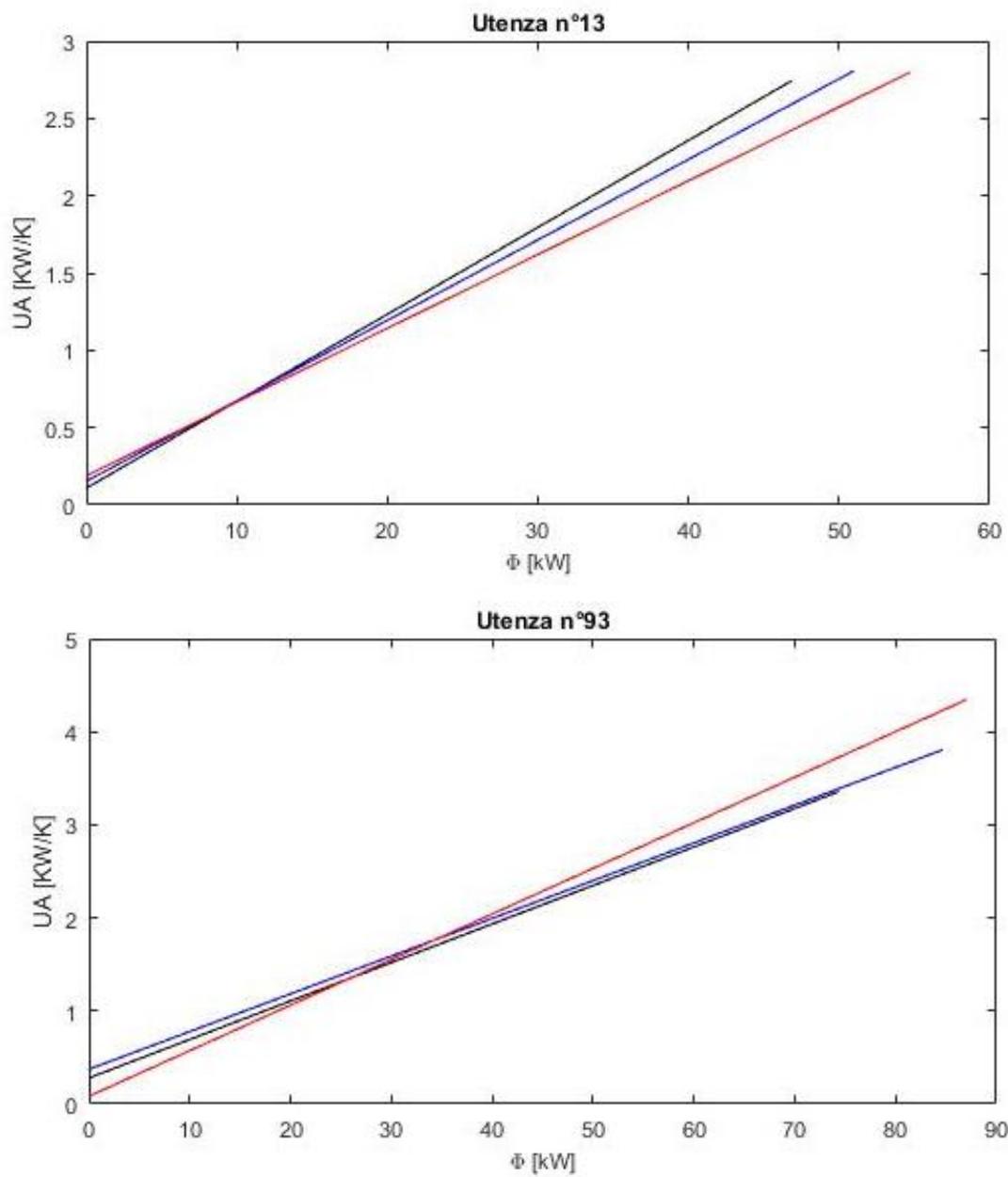


Fig. 33 Esempio rette di interpolazione per il BCT 414: utenza n°13 (a) n°93 (b).

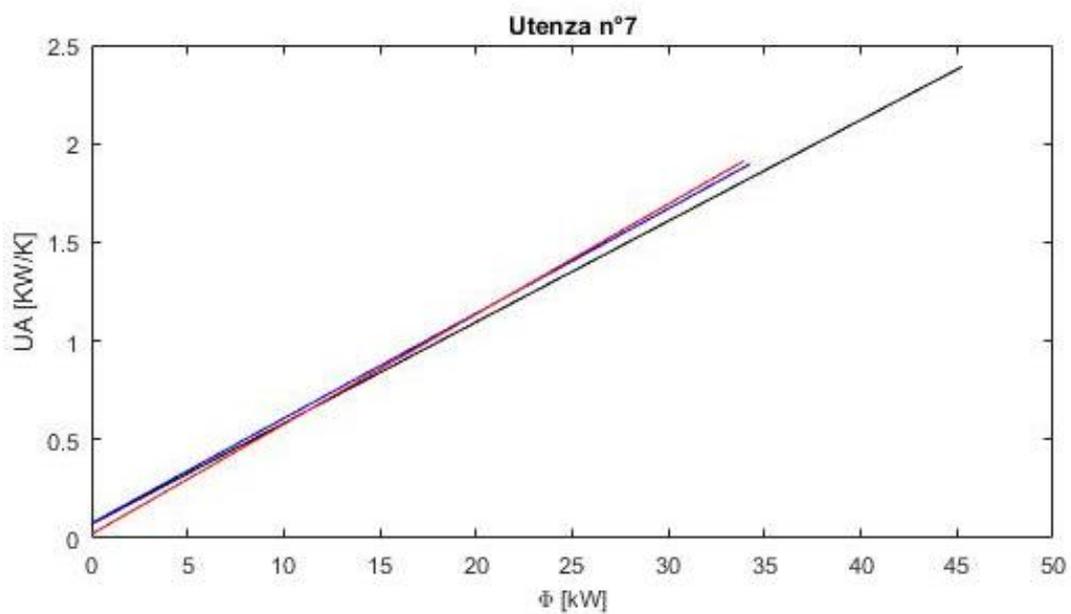
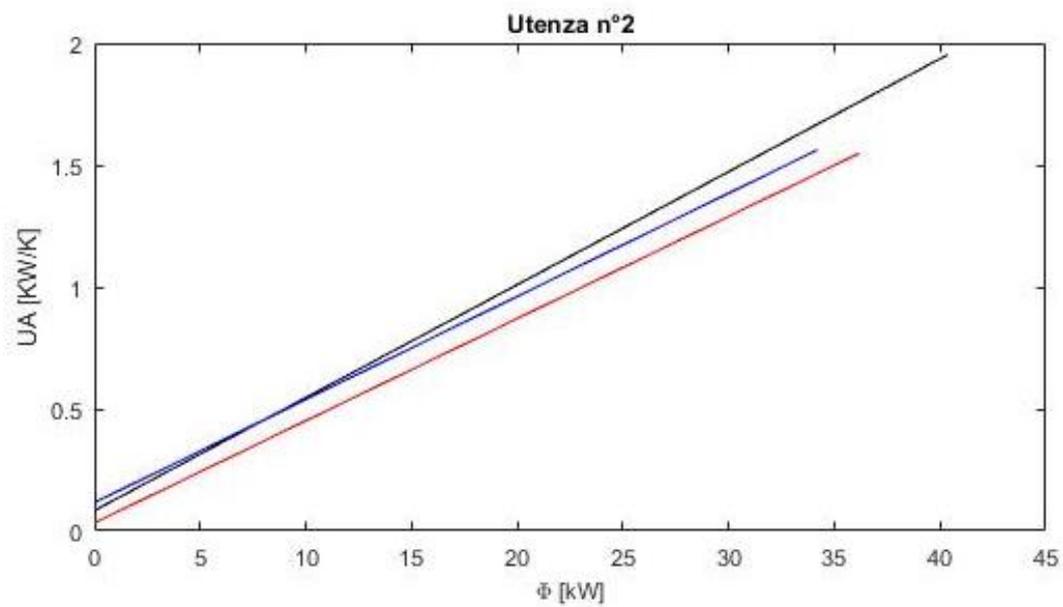


Fig. 34 Esempio rette di interpolazione per il BCT 418: utenza n°2 (a) n°7 (b).

Per una maggiore chiarezza espositiva, si riportano nella tabella seguente i valori dei coefficienti angolari di tali rette. Da questa si può facilmente osservare che i coefficienti

tendono a diminuire il proprio valore nel primo gruppo di utenze analizzate, così come ci si aspettava, invece tendono ad aumentare nel secondo gruppo di utenze.

<b>BCT</b>	<b>Utenza</b>	<b>Coefficiente Angolare 2015</b>	<b>Coefficiente Angolare 2016</b>	<b>Coefficiente Angolare 2017</b>
<b>410</b>	2	0,065	0,061	0,057
	25	0,046	0,048	0,051
<b>414</b>	13	0,059	0,058	0,052
	93	0,045	0,047	0,051
<b>418</b>	2	0,049	0,047	0,043
	7	0,053	0,056	0,057

*Tabella 3: coefficienti angolari delle rette interpolanti delle utenze prese ad esempio*

5. Infine, si riportano nella tabella seguente e per le utenze prima viste, le variazioni percentuali negli anni dei coefficienti angolari così calcolate:

$$\text{variazione } 2015 - 2016 = \frac{x_{2015} - x_{2016}}{x_{2016}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

$$\text{variazione } 2016 - 2017 = \frac{x_{2016} - x_{2017}}{x_{2017}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

$$\text{variazione } 2015 - 2017 = \frac{x_{2015} - x_{2017}}{x_{2017}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

<b>BCT</b>	<b>Utenza</b>	<b>Variazione 15/16 [%]</b>	<b>Variazione 16/17 [%]</b>	<b>Variazione 15/17 [%]</b>
<b>410</b>	2	6,4	6,7	13,6
	25	-2,5	-7	-10
<b>414</b>	13	3,9	8,3	12,5
	93	-2,5	-7,9	-10,3
<b>418</b>	2	3,9	9,2	13,5
	7	-5,9	-0,7	-6,6

*Tabella 4: variazione percentuale dei coefficienti angolari delle rette interpolanti delle utenze prese ad esempio*

Quest'ultima tabella, conferma il trend precedentemente descritto, secondo cui si evidenzerebbe un'anomalia funzionale a carico del primo gruppo di utenze. Tutte queste, infatti, presentano una variazione percentuale sempre positiva e ciò significa che già dal secondo anno le prestazioni dello scambiatore risultano peggiorate, così come ci si aspetta dal naturale degrado. Il secondo gruppo di utenze, invece, presenta un andamento in controtendenza, ovvero una variazione percentuale sempre negativa sintomo del fatto che lo scambiatore abbia ricominciato a funzionare come da progetto e ciò si giustificerebbe con un intervento esterno o un errore nella misurazione ed elaborazione dei dati.

Lo scopo dell'analisi delle anomalie è proprio quello di analizzare le possibili utenze che necessitano di una pulizia mettendole in correlazione con le sottostazioni i cui scambiatori siano stati già sottoposti a manutenzione.

### **3.2.2 Modello per l'analisi delle anomalie e degli interventi di manutenzione**

Tale modello ha lo scopo di mettere in relazione i dati relativi agli interventi di manutenzioni effettuati e quelli legati alle anomalie analizzate nei risultati del modello per la creazione dei dati storici.

Una prima considerazione va fatta sul concetto di manutenzione/pulizia degli scambiatori di una rete di teleriscaldamento. Nel caso studio di Torino, gli scambiatori utilizzati possono essere suddivisi in due gruppi: quelli con potenza maggiore di 500kW e quelli con potenza minore di 500kW. La differenza sostanziale consiste nel fatto che gli scambiatori con potenza maggiore di 500kW, vengono aperti e puliti nel caso in cui essi non siano più in grado di scambiare la potenza termica a loro richiesta; quelli invece con potenza nominale inferiore a 500 kW, vengono direttamente sostituiti in quanto non è possibile pulirli da eventuali agenti di sporco. Questi ultimi, infatti, sono i cosiddetti “SALDOBRASATO” in quanto le parti che lo compongono sono saldate le une con le altre e non è possibile più separarle una volta montate.

Avendo chiarito tali concetti di base, si procede alla descrizione del modello. Esso, grazie al confronto tra i dati storici precedentemente calcolati e i dati relativi alla manutenzione, permette di analizzare e verificare sia se vi è stato un effettivo miglioramento delle performance dello scambiatore a seguito della manutenzione sia se, viceversa, la causa di tale trend si possa attribuire o meno alla manutenzione effettuata.

Grazie alla collaborazione con IREN Energia S.p.A., sono stati ricevuti i dati relativi agli interventi di manutenzione effettuati nelle sottostazioni dei baricentri in analisi negli anni 2015 2016 e 2017. Nella tabella seguente vengono riportati i dati relativi a:

- Numero baricentro;
- denominazione delle sottostazioni;
- data di intervento;
- descrizione del tipo di intervento.

**BCT 410:**

Data.	Descrizione	Sede tecnica
06/2016	SOSTITUZIONE E RIGENERAZIONE S22 37P	BCT 410-SST 8
12/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO XB51L-108 350K	BCT 410-SST 18
11/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO CB30-70M 100KW	BCT 410-SST 25
09/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO HL2-86 200KW	BCT 410-SST 40
01/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO HL1-52	BCT 410-SST 73

*Tabella 5: Dati manutenzione BCT 410.*

**BCT 414:**

Data.	Descrizione	Sede tecnica
06/2016	SOSTITUZIONE SCAMBIATORE M10-M CON GBS 760 L-70 KW400	BCT 414-SST 54
02/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO CB30-100M 120KW	BCT 414-SST 73
02/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO TS E35 150KW	BCT 414-SST 101
12/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO CB30-10M 120KW	BCT 414-SST 93
04/2016	SOSTITUZIONE SALDOBTRASATO XB51-80L 250KW	BCT 414-SST 91

*Tabella 6: Dati manutenzione BCT 414.*

## BCT 418:

Data.	Descrizione	Sede tecnica
05/2016	SOSTITUZIONE E RIGENERAZIONE M10-B 169P	BCT 418-SST 12
02/2016	SOSTITUZIONE E RIGENERAZIONE S22 81P	BCT 418-SST 15
11/2016	SOSTITUZIONE E RIGENERAZIONE S22 81P	BCT 418-SST 15

*Tabella 7: Dati manutenzione BCT 418.*

Osservando tali tabelle, si può notare che per tutti i baricentri nessuna sottostazione è stata pulita e che solo poche sono state interessate dalla sostituzione dello scambiatore, inoltre, tali sostituzioni sono state eseguite quasi esclusivamente nella seconda metà del 2016.

Realizzando un paragone tra il numero delle utenze mantenute e il numero delle utenze che presentano un andamento migliorativo delle prestazioni si ha che:

- nel caso del BCT 410, 29 utenze su 92 presentano la variazione del coefficiente angolare negativo, ma solo 5 di queste hanno avuto manutenzione. Inoltre, fra queste 5, solo di 1 si hanno dati sufficienti per poterle graficare e analizzare;
- nel caso del BCT 414, invece, 26 utenze su 110 sono in controtendenza, ma fra le 5 sottostazioni interessate dalla manutenzione, solo di 4 sottostazioni si hanno sufficienti dati;
- Infine, nel caso del BCT 418, 3 utenze su 19 presentano tale controtendenza, ma per nessuna di quelle che hanno subito manutenzione si hanno sufficienti dati.

Il modello per l'analisi delle anomalie e degli interventi di manutenzione funziona nel seguente modo:

1. Dai dati presentati in tabella e forniti in formato excel, si estrapola la sola colonna che riporta i nomi delle sottostazioni e si crea un vettore contenente i soli numeri con i quali esse vengono denominate;

2. Si ripete lo stesso passaggio, ma con i valori estrapolati dai file forniti da IREN contenente i dati usati per il modello per la creazione dei dati storici;
  
3. Il modello elabora quindi un confronto tra i due vettori e prende in considerazione solo quelle utenze per le quali è stata fatta manutenzione e per le quali si hanno anche sufficienti dati:

<b>BCT</b>	<b>Utenza in comune</b>
<b>410</b>	SST 25
<b>414</b>	SST 54 SST 73 SST 93 SST 101
<b>418</b>	-

*Tabella 8: Differenza tra nome utenza e nome sottostazione*

4. Dopo che sono state individuate le utenze che presentano entrambe le condizioni, il modello costruisce un vettore in cui viene riportata la data esatta in cui è stato effettuato l'intervento di manutenzione e ne calcola i giorni totali dall'inizio dell'analisi. Tale dato risulterà utile per suddividere il periodo totale di analisi in 2 parti: pre e post pulizia.

# Capitolo 4

## Risultati del modello per l'analisi delle anomalie e degli interventi di manutenzione

Una volta ultimato il modello che analizza gli interventi di manutenzione, vengono rappresentati in un grafico i valori di FUA precedentemente calcolati con il modello per la creazione dei dati storici, in funzione del flusso  $\varphi$ , relativamente alle sole utenze per cui si hanno sufficienti dati storici e che sono state interessate da interventi di pulizia o sostituzione dello scambiatore di calore.

È possibile quindi realizzare un confronto tra i grafici in cui sono riportate le curve e le rette interpolanti distinguendo: da una parte quelli in cui i dati vengono divisi nei tre anni, dove si evidenziano in nero i valori relativi al 2015, in blu quelli relativi al 2016 e in rosso quelli relativi al 2017, dall'altra parte quelle in cui i dati sono divisi nei 2 periodi pre e post manutenzione, dove in nero vengono riportati i valori riferiti al periodo pre pulizia e in verde al post. Inoltre, nei seguenti grafici sull'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K e sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico  $\varphi$  in kW.

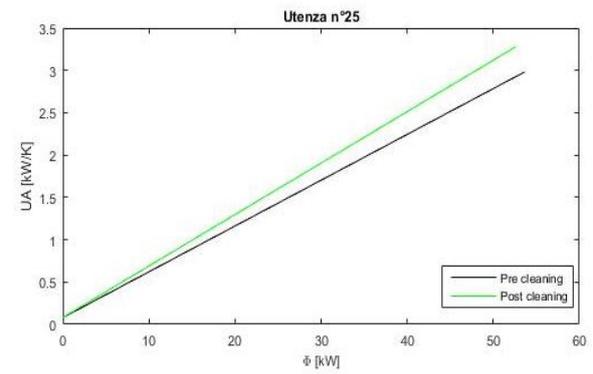
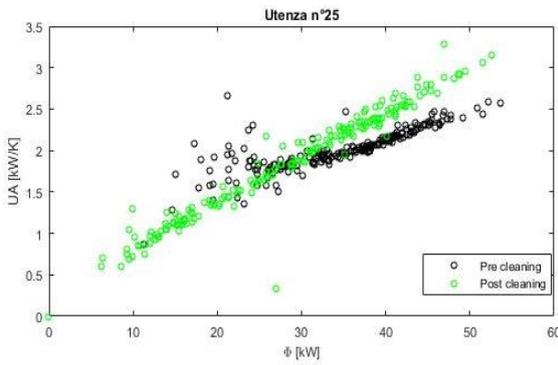
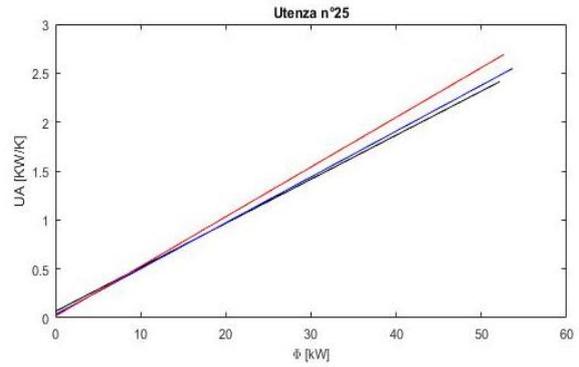
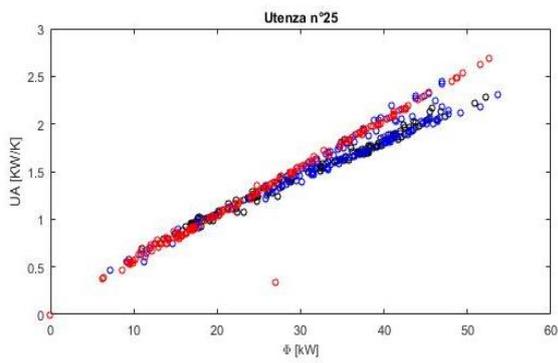


Fig. 35 confronto dati BCT 410: utenza n°25.

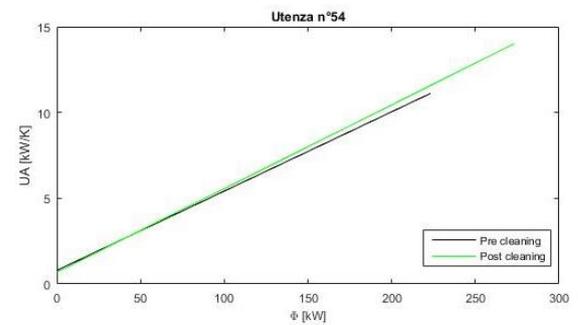
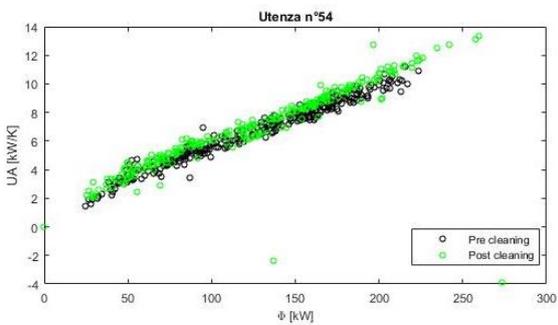
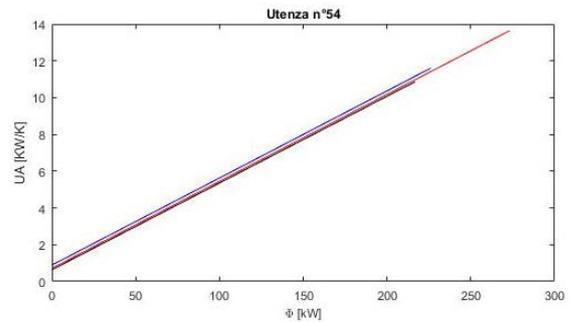
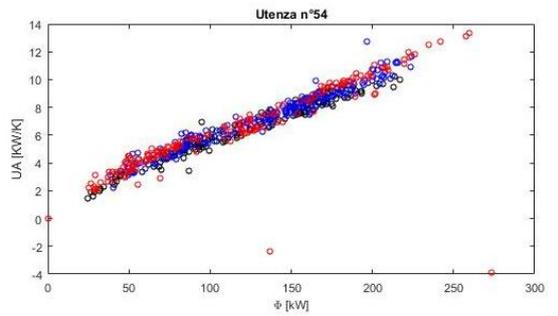


Fig. 36 Confronto dati BCT 414: utenza n°54

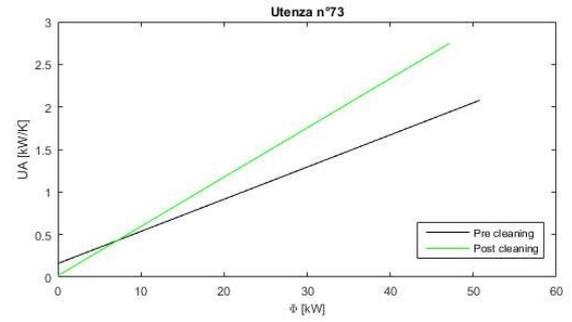
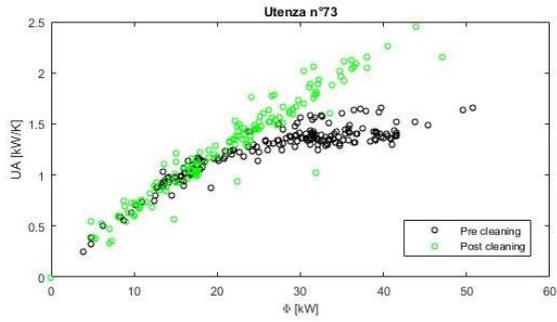
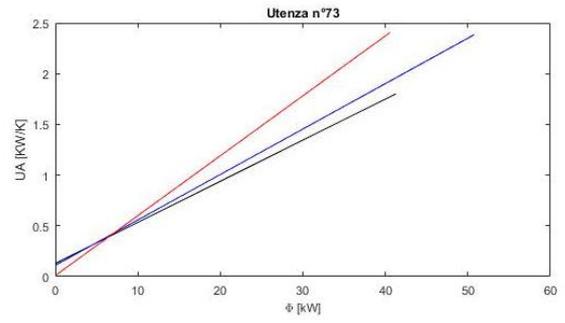
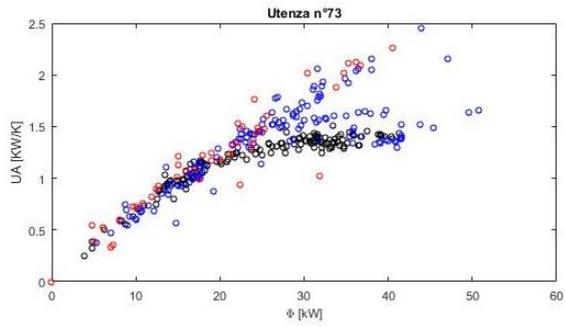


Fig. 37 Confronto dati BCT 414: utenza n°73

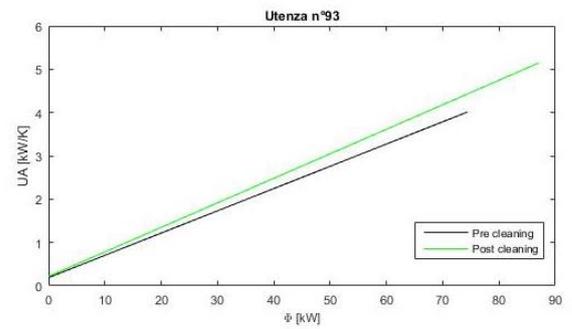
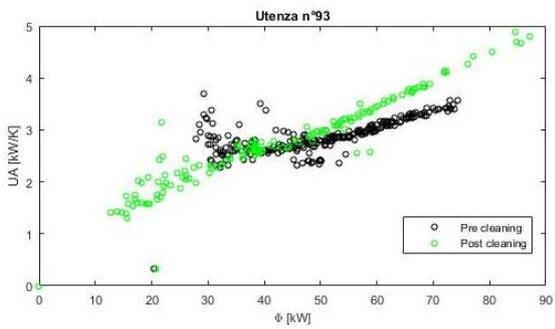
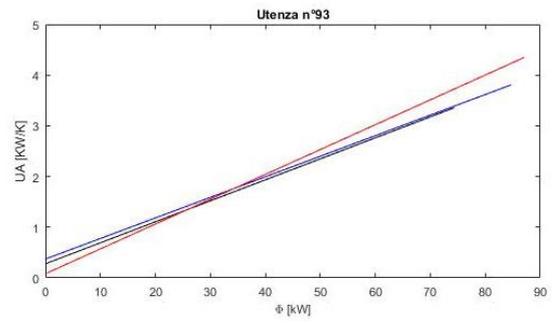
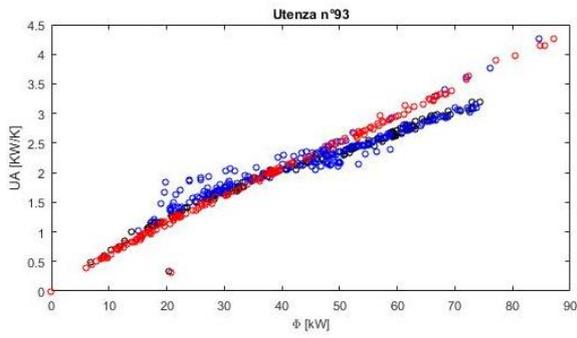


Fig. 38 Confronto dati BCT 414: utenza n°93

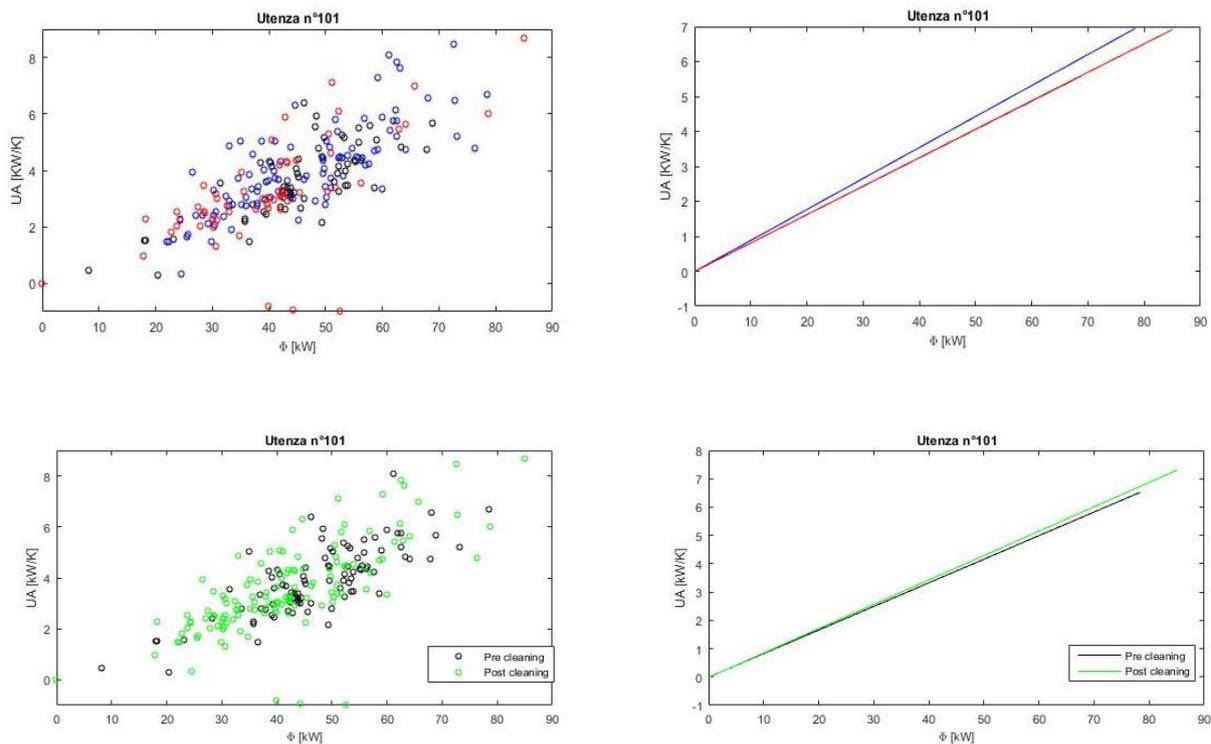


Fig. 39 confronto dati BCT 414: utenza n°101

Da quanto sopra mostrato, gli andamenti delle rette di interpolazione seguono il trend che ci si aspettava. Ai fini dell'analisi, si riportano nella tabella seguente i valori delle variazioni percentuali del coefficiente angolare delle rette, riguardanti i tre anni considerati per le sole utenze oggetto di studio.

BCT	Utenza	Variazione 15/16 [%]	Variazione 16/17 [%]	Variazione 15/17 [%]
<b>410</b>	25	-2,5	-7	-10
<b>414</b>	54	-3,9	1,8	-2,13
	73	-8	-19,3	-25,8
	93	-2,5	-7,9	-10,3
	101	-8,4	9	-0,11
<b>418</b>	-	-	-	-

Tabella 9: variazione percentuale dei coefficienti delle rette interpolanti.

Come si può notare, esse appartengono tutte al secondo gruppo di utenze viste nel capitolo precedente, ovvero quelle utenze che mostrano una variazione percentuale negativa a dimostrazione del fatto che dal 2016 esse presentano un miglioramento delle proprie prestazioni. Questo inizialmente, aveva fatto presupporre che si trattasse di un errore, ma poiché la retta in verde, ovvero quella relativa al post manutenzione, risulta avere un coefficiente angolare maggiore rispetto a quella in nero, si può affermare che in tali casi il cambiamento di trend è sicuramente dovuto a un intervento esterno di manutenzione. A supporto di tale tesi, si considerano ancora una volta le tabelle relative agli interventi di manutenzione. (vedi tabelle 5, 6, 7). Come già precedentemente osservato, infatti, tutti gli interventi sono stati effettuati nella seconda metà del 2016 e ciò coincide esattamente al periodo in cui si comincia a notare il miglioramento delle prestazioni dello scambiatore.

#### **4.1 Valore guida per la programmazione della pulizia degli scambiatori**

Dopo avere analizzato tutte le utenze sottoposte a manutenzione, è necessario fare un confronto con tutte le altre utenze che presentano sia un numero sufficiente di dati, sia l'anomalia di funzionamento dello scambiatore, ma per le quali l'azienda non ha provveduto a una pulizia.

Si procede quindi con un'analisi quantitativa dei valori di variazione percentuale del coefficiente angolare relativo alle rette di pre e post manutenzione allo scopo di fornire un valore limite comune a tutte le utenze, oltre al quale si reputa necessario far intervenire la squadra di manutenzione.

Per attuare tale analisi si riporta di seguito la tabella dei valori di tali variazioni percentuali relative al pre e post manutenzione, per le sole utenze sottoposte a pulizia:

<b>BCT</b>	<b>Utenza</b>	<b>Variazione pre e post manutenzione [%]</b>
<b>410</b>	25	-10
<b>414</b>	54	-4,5
	73	-23
	93	-10,1
	101	-4

*Tabella 10. Variazione percentuale dei coefficienti delle rette interpolanti relative al pre e post manutenzione*

Da questa, si nota che la maggior parte delle utenze presenta una variazione percentuale superiore al 10% e che solo due utenze presentano un valore inferiore.

Si può quindi concludere che a valle dei risultati ottenuti con l'applicazione dei modelli descritti finora, uno scambiatore necessita di un intervento di pulizia se la variazione percentuale delle rette di interpolazione supera la soglia del 10%. Nei casi in cui la variazione risulta invece essere minore, un eventuale intervento di manutenzione non si presume essere necessario.

È possibile verificare questo risultato, prendendo in considerazione tutti i valori relativi alle utenze che presentano anomalia e per le quali non è stata fatta una pulizia dello scambiatore. Si nota, infatti, che per la maggior parte di queste il valore della variazione risulta essere inferiore al 10%, così come l'analisi aveva previsto.

## **4.2 Il nuovo ruolo della variazione di temperatura**

Al fine di avere un'ulteriore conferma del miglioramento generale dello scambiatore avvenuto a seguito della manutenzione, sono stati anche riportati gli andamenti del  $\Delta T = T_3 - T_2$  distinguendo sempre i due periodi pre e post manutenzione. Si ricorda che la  $T_2$  è la temperatura di ritorno del lato primario e la  $T_3$  è la temperatura di mandata del lato secondario.

Come è noto, se lo scambiatore è sporco non scambia calore in modo efficiente e ciò si ripercuote sulle temperature T2 e T3, e di conseguenza sulla loro differenza.

Prima della manutenzione questa differenza si attesta su un valore quasi sempre negativo, a dimostrazione del fatto che non avviene scambio e che l'utenza riceve l'acqua calda a temperatura minore rispetto a quella di progetto, necessaria per mantenere la temperatura dell'edificio a quella di set point.

Nel periodo post manutenzione, invece, questo  $\Delta T$  aumenta e si attesta su valori quasi sempre positivi o nulli al massimo, in quanto lo scambiatore essendo più efficiente, riesce a scambiare una maggiore quantità di calore. Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di T3-T2 in K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico  $\phi$  in kW. In nero sono rappresentati i valori pre manutenzione, in verde quelli post.

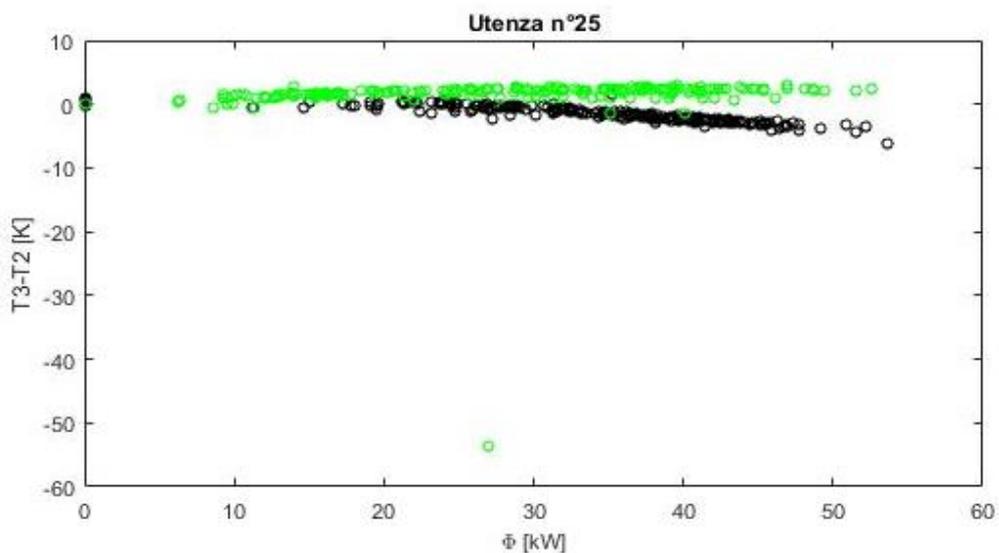


Fig. 40 BCT 410: utenza n°25.

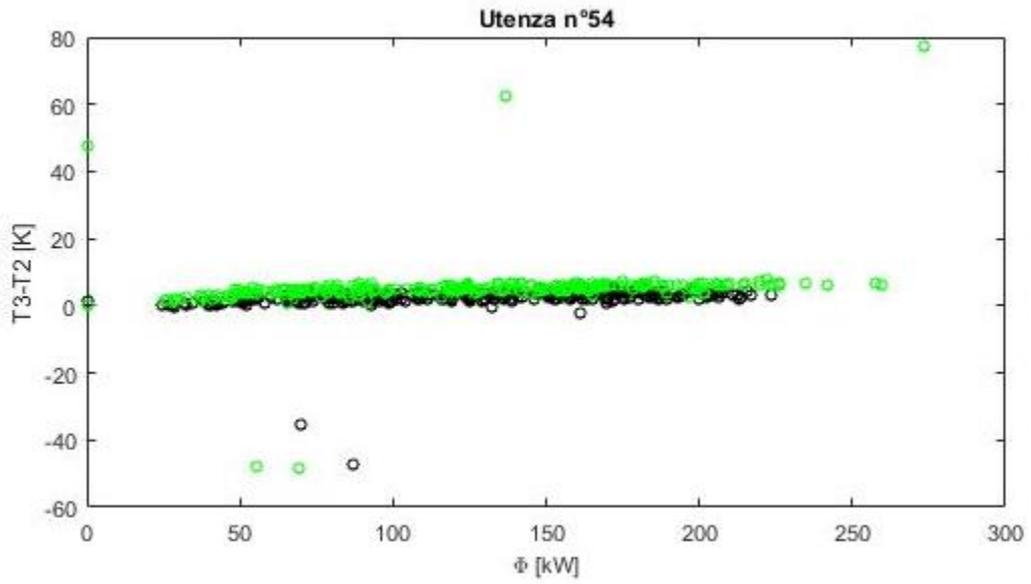


Fig. 41 BCT 414: utenza n°54

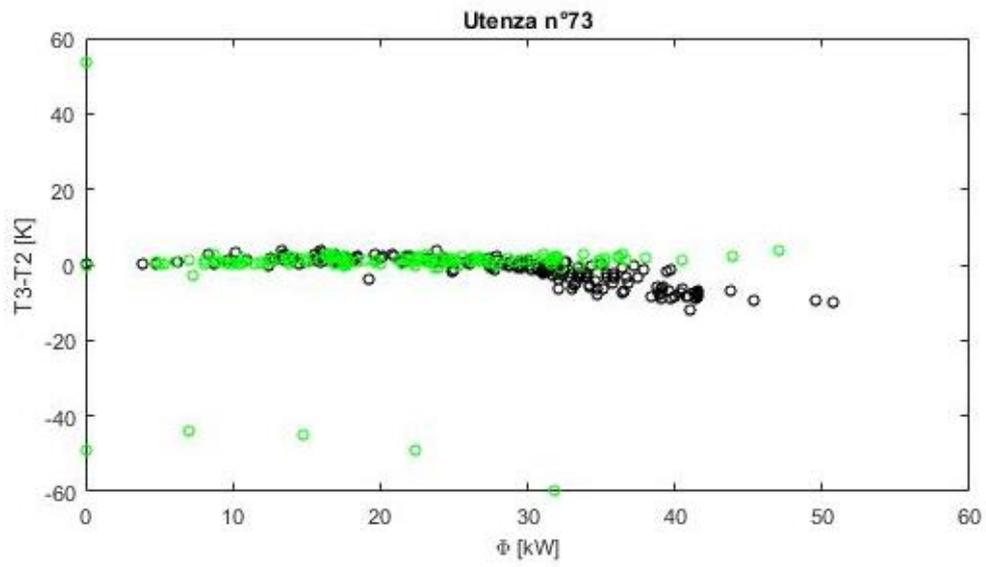


Fig. 42 BCT 414: utenza n°73

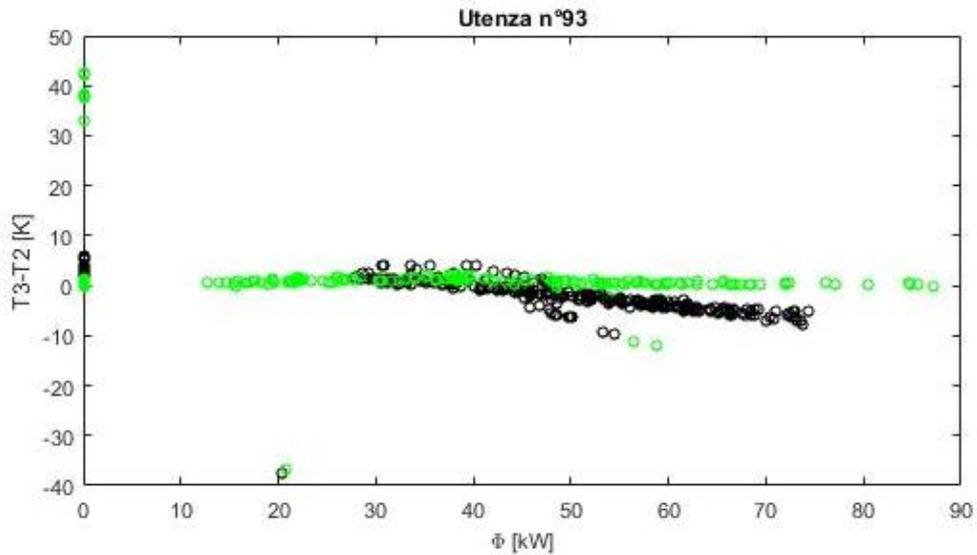


Fig. 43 BCT 414: utenza n°93

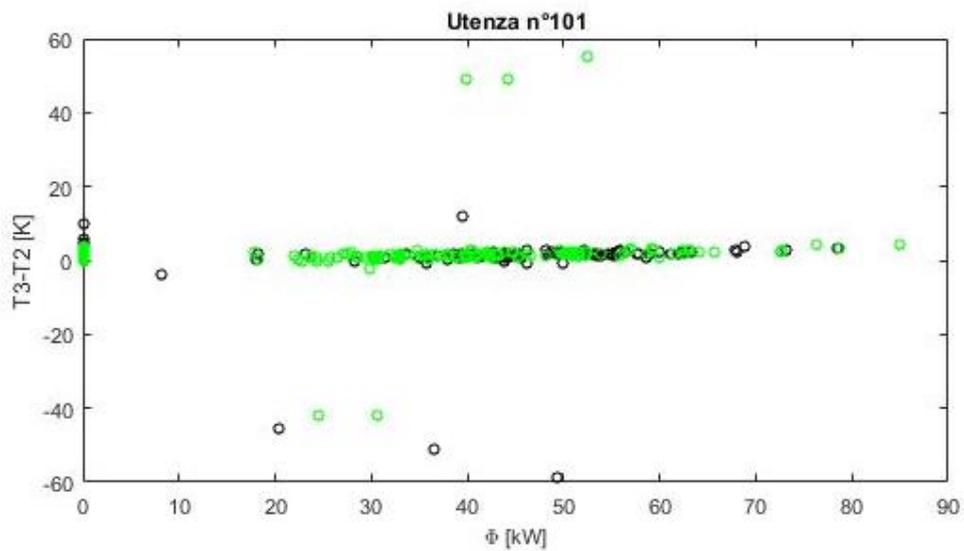


Fig. 44 BCT 414: utenza n°101

Riportare e analizzare la differenza di temperatura, è un passo fondamentale per capire se e come il metodo attuale di monitoraggio degli scambiatori possa essere migliorato o sostituito con il monitoraggio del nuovo parametro FUA proposto in questo lavoro.

Fino ad ora, infatti, la differenza di temperatura tra T2 e T3 è stata l'unica grandezza utilizzata per identificare le anomalie, ma l'osservazione istantanea di tale parametro non permette una rapidità di intervento e una pianificazione della manutenzione perché essa non è indicativa di

un malfunzionamento generale dello scambiatore, ma si limita appunto a una valutazione istantanea e pertanto non rappresentativa del reale stato di funzionamento.

Si può pensare, allora, di valutare i valori medi giornalieri di tali temperature e analizzare l'andamento nel tempo della loro differenza. Tuttavia, già da una prima analisi qualitativa delle figure precedenti, si può constatare che questa strada non è percorribile in quanto con tale metodo non è sempre possibile vedere una netta distinzione tra i valori assunti dalle temperature nel periodo precedente la manutenzione e quelli assunti nel periodo successivo così come lo è stato per il parametro FUA. La valutazione dell'andamento temporale di tale differenza, può solo essere pensato come una conferma di ciò che viene riscontrato nell'analisi attraverso il modello presentato, infatti si può notare che nel caso di utenze in cui la variazione percentuale del coefficiente angolare delle rette di interpolazione risulta molto piccola, anche la variazione della differenza di temperatura è altrettanto piccola o addirittura nulla.

Si può quindi indicare di non sostituire il metodo al momento utilizzato, basato sulla valutazione istantanea della variazione di temperatura, ma di affiancarlo all'analisi temporale della grandezza FUA.

Il primo metodo, può essere utile per tenere sempre sotto controllo le temperature all'interno degli scambiatori, il secondo invece, può essere utile per un'analisi più a lungo termine, che possa permettere di agire sull'organizzazione delle manutenzioni e che quindi possa far diminuire il numero degli allarmi giornalieri.

# Capitolo 5

## Verifica e confronto dei modelli

Per potere verificare i risultati ottenuti, si è deciso di analizzare il coefficiente angolare delle rette interpolanti nel caso di manutenzione e la sua variazione percentuale, e di operare un confronto tra questi.

Per fare ciò occorre implementare il secondo modello con un ulteriore algoritmo che permetta di calcolare e salvare in una matrice i valori di tali coefficienti. Anche in questo caso, è stata utilizzata la funzione polyfit che richiede in input i valori del polinomio calcolati mediante la funzione polyval.

Si riportano nelle tabelle seguenti i valori dei coefficienti ottenuti in tal modo:

<b>BCT</b>	<b>Utenza</b>	<b>Coeff. Ang. 2015</b>	<b>Coeff. Ang. 2016</b>	<b>Coeff. Ang. 2017</b>	<b>Coeff. Ang. Pre manutenzione</b>	<b>Coeff. Ang. Post manutenzione</b>
<b>410</b>	25	0,046	0,048	0,051	0,046	0,051
<b>414</b>	54	0,05	0,052	0,051	0,05	0,053
	73	0,044	0,048	0,059	0,043	0,056
	93	0,045	0,047	0,051	0,05	0,056
	101	0,081	0,089	0,081	0,082	0,086

*Tabella 11: confronto tra coefficienti angolari delle rette interpolanti suddivisi per i diversi periodi e per le sole utenze mantenute.*

<b>BCT</b>	<b>Utenza</b>	<b>Variazione 15/16 [%]</b>	<b>Variazione 16/17 [%]</b>	<b>Variazione 15/17 [%]</b>	<b>Variazione pre e post manutenzione [%]</b>
<b>410</b>	25	-2,5	-7	-9,4	-9,6
<b>414</b>	54	-3,9	1,8	-2,13	-4,5
	73	-8	-19,3	-25,8	-23
	93	-2,5	-7,9	-10,3	-9,5
	101	-8,4	9	-0,11	-4

*Tabella 12: Confronto tra variazioni percentuale dei coefficienti angolari delle rette interpolanti suddivisi per i diversi periodi e per le sole utenze mantenute.*

Si nota immediatamente che i coefficienti angolari relativi alle rette di pre e post manutenzione corrispondono quasi perfettamente ai valori relativi al 2015 (anno in cui lo scambiatore risulta meno efficiente) e al 2017 (anno in cui lo scambiatore risente positivamente della manutenzione appena effettuata), pertanto il modello può essere considerato valido.

Stessi risultati si riscontrano analizzando la tabella 12. Anche in questo caso infatti, per la gran parte delle utenze, le variazioni percentuali tra il periodo pre-manutenzione e quello post manutenzione coincidono quasi esattamente con la massima variazione percentuale negativa tra due diversi anni.

## 5.1 Analisi sensitività di T4

Per dimostrare che la funzione per ricavare la T4 sia attendibile e che quindi tutti i modelli siano fondati su una solida base di partenza, si procede facendo un confronto tra le rette di interpolazione per le utenze i cui valori di T4 sono noti.

Si ricavano quindi per ogni utenza due rette, una a partire dai valori di UA calcolati con le T4 reali e l'altra a partire dai valori di UA calcolati con le T4 ricavate grazie alla funzione 3.1 del modello per la creazione dei dati storici descritto nel cap.3. Si riportano quindi di seguito le rappresentazioni grafiche di tali rette per alcune utenze prese a riferimento e significative per tutte le utenze di quel baricentro.

In particolare vengono riportate in nero, le rette calcolate mediante le T4 reali e in rosso le rette ricavate dai dati a partire dalle T4 calcolate mediante il modello precedentemente descritto.

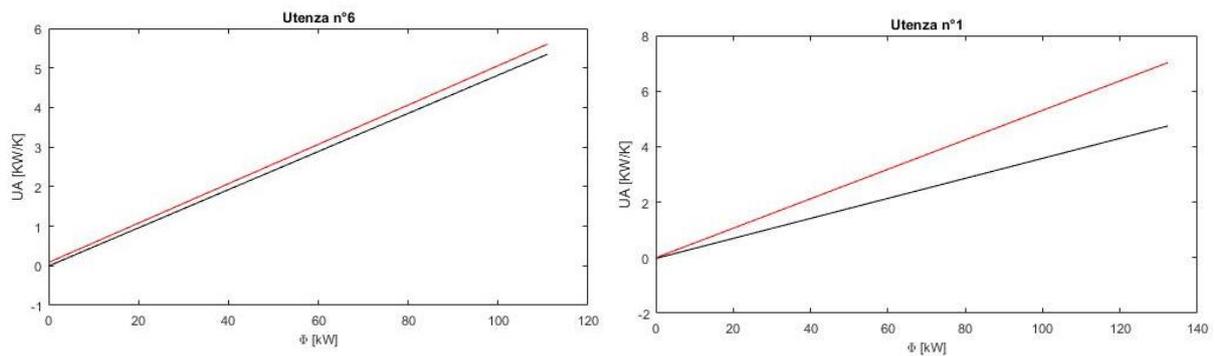


Fig. 45 BCT 410 esempio utenza n° 6 e n°1

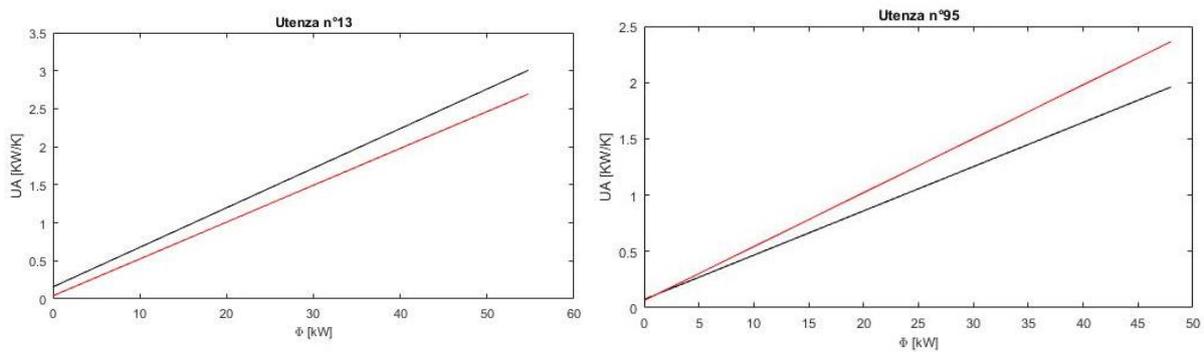


Fig. 46 BCT 414 esempio utenza n° 13 e n°95

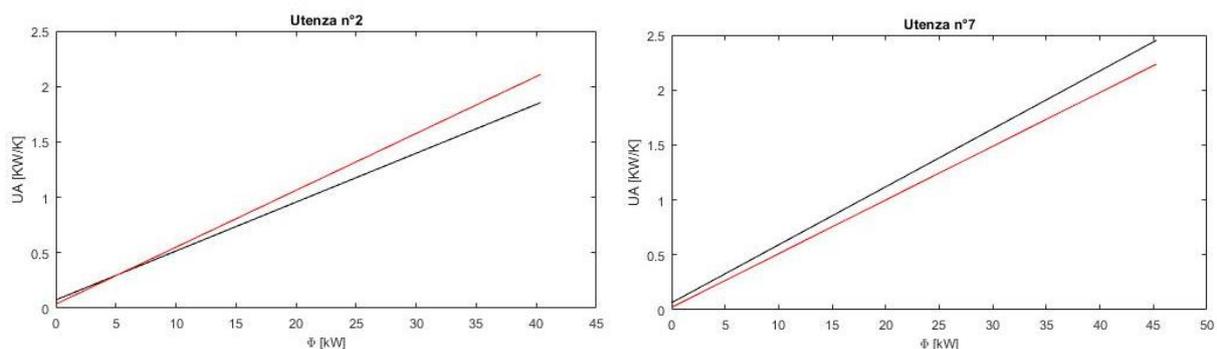


Fig. 47 BCT 418 esempio utenza n° 2 e n°7

Come si nota già da una prima analisi qualitativa nella maggior parte dei casi le rette non si discostano molto tra loro, ma la differenza tra i valori reali e quelli calcolati dal modello varia da caso a caso come si vedrà di seguito.

A supporto di tale tesi, vengono quindi ricavati i valori dei coefficienti angolari e la loro variazione percentuale, ricordando però, che non per tutte le utenze è possibile applicare tale analisi in quanto la T4 non è sempre nota. Si riportano nella tabella seguente, per ogni baricentro, il numero totale di utenze analizzate suddivise per entità di errore percentuale: errore minore del 10%, errore tra il 10 e il 20% ed errore oltre il 20%.

BCT	N° totale utenze analizzate	N °utenze con Errore < 10%	N °utenze con Errore < 20%	N °utenze con Errore > 20%
410	33	8	6	19
414	79	38	25	16
418	8	3	3	2

Tabella 13. Nnumero utenze analizzate per analisi sensitività T4

I dati ricavati permettono di dimostrare che:

- per ben il 41 % delle utenze l'errore percentuale è inferiore al 10 %;

- per il 28% l'errore risulta maggiore del 10% ma minore del 20%;
- infine per il restante 30% delle utenze, l'errore risulta maggiore del 20% fino ad alcuni casi in cui supera anche il 60%.

Si può quindi concludere che sebbene il 70% di utenze presenta un errore percentuale di scarsa entità, rimane ancora un 30% di utenze per cui tale modello non è rappresentativo del reale andamento della T4, pertanto lo studio necessita di ulteriori analisi e sviluppi.

Un successivo approfondimento dovrà infatti puntare a migliorare la funzione in modo da diminuire significativamente la percentuale di utenze il cui errore supera il 20%.

Alla luce dei risultati ottenuti, si reputa opportuno studiare gli errori percentuali delle utenze per cui sono noti gli interventi di manutenzione, al fine di comprendere se lo scostamento tra la T4 reale e quella calcolata possa invalidare le conclusioni ottenute nel modello per l'analisi delle anomalie e degli interventi di manutenzione.

<b>BCT</b>	<b>Utenza</b>	<b>Errore</b>
<b>410</b>	25	Non valutabile
<b>414</b>	54	0,9 %
	73	0,66 %
	93	Non valutabile
	101	69 %

*Tabella 14. Analisi sensitività di T4 per utenze analizzate nel modello manutenzione*

Dall'analisi dei dati in tabella, risulta che due di esse non sono valutabili in quanto la T4 reale non è nota, per altre due utenze l'errore è minore dell'1%, invece per la sola utenza 101 l'errore è molto grande e raggiunge infatti il 69%.

## 5.2 Utenze con miglioramento delle prestazioni non giustificato da manutenzione

Grazie ai modelli fino ad ora presentati è stato possibile dare una giustificazione valida a quelle utenze che non presentavano anomalia di funzionamento, ma presentavano dei valori di UA in progressiva crescita nel tempo, in controtendenza con il naturale deterioramento dello scambiatore e delle sue prestazioni.

Adesso però si vuole riportare l'attenzione a quelle utenze il cui miglioramento non ha ancora una spiegazione. I dati di alcune di queste utenze sono riportati nelle figure seguenti, dove nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico  $\phi$  in kW. In nero sono rappresentati i valori del 2015, in blu del 2016 e in rosso del 2017.

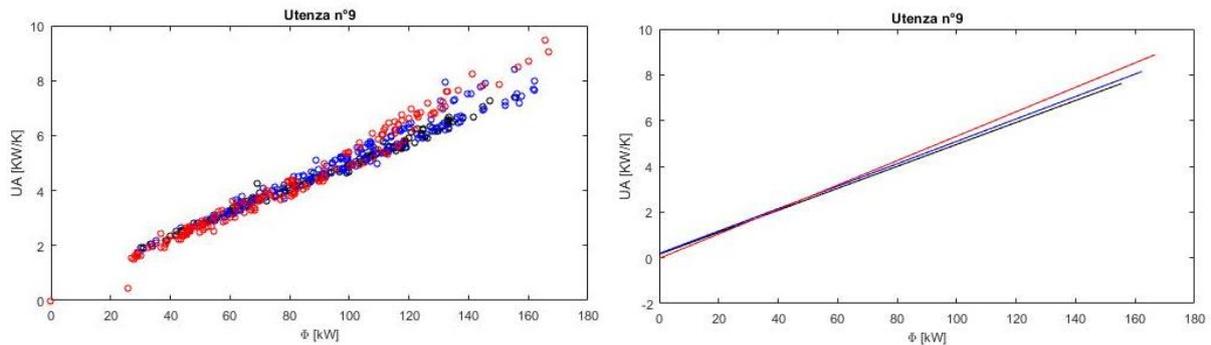


Fig. 48 BCT 410 utenza n° 9

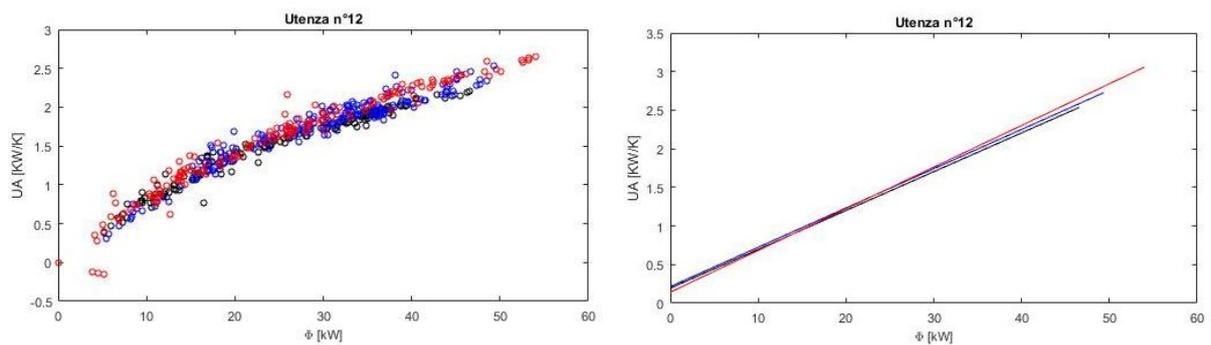


Fig. 49 BCT 414 utenza n° 12

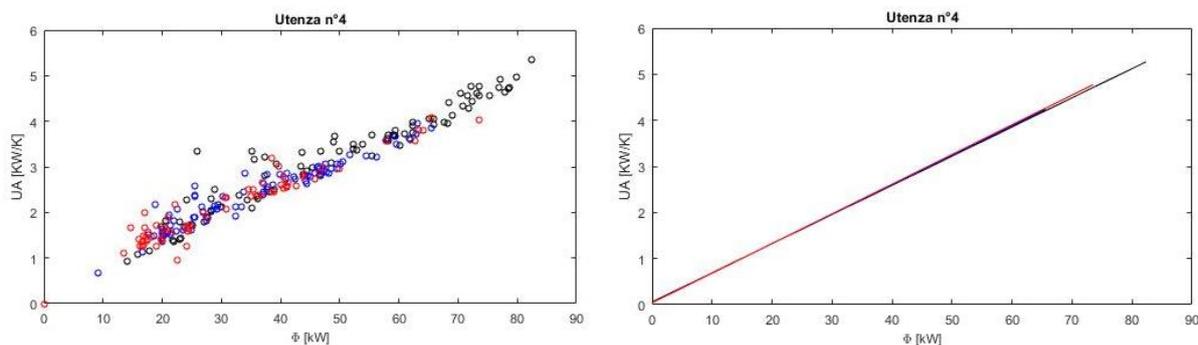


Fig. 50 BCT 418 utenza n° 4

Tutte queste utenze, possono essere identificate grazie all'analisi della variazione percentuale del coefficiente angolare. Se infatti, uno dei valori risulta essere negativo e l'utenza non è stata sottoposta a nessun intervento di pulizia, allora questa viene inserita in questo nuovo gruppo di sottostazioni in cui rientrano:

- nel caso del BCT 410, 24 utenze su 92;
- nel caso del BCT 414, invece, 21 utenze su 110;
- nel caso del BCT 418, 3 utenze su 19.

Per completezza si riporta di seguito la tabella dei valori di tali variazioni percentuali relativamente alle solo utenze prima prese ad esempio:

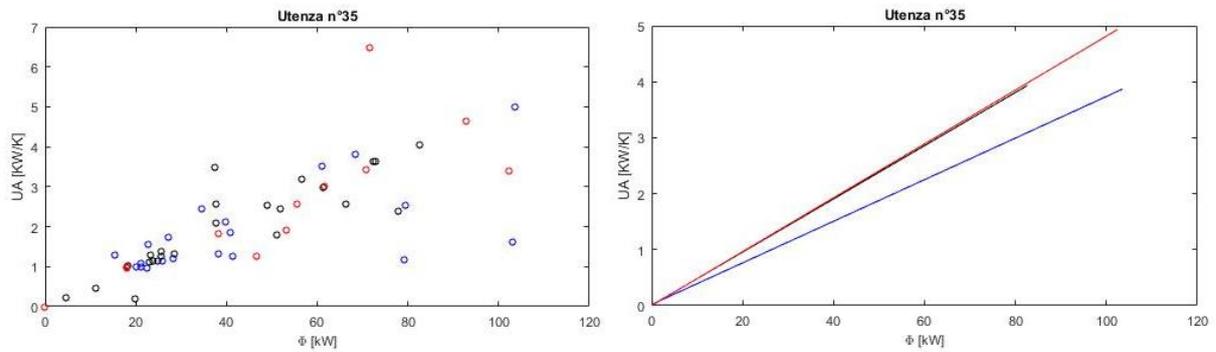
Baricentro	Utenza	Variazione 15/16 [%]	Variazione 16/17 [%]	Variazione 15/17 [%]
410	9	-2,73	-5,15	-7,73
414	12	-2,94	-1,42	-4,32
418	4	-3,43	0,39	-3,04

Tabella 15: variazione percentuale del coefficiente angolare per utenze con anomalia non giustificata

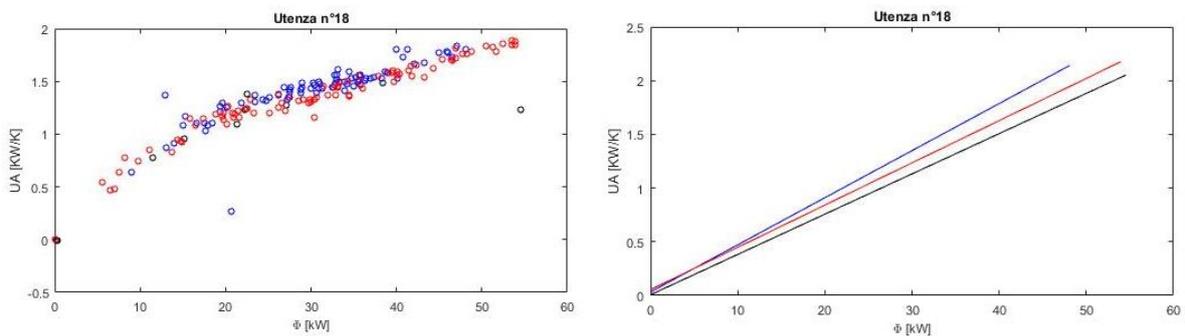
Per tutte queste utenze occorre quindi cercare la causa di tale andamento.

In alcuni casi la spiegazione potrebbe risiedere nel fatto che il valore del numero minimo di giorni che si è scelto per considerare l'analisi plausibile (sette), non sia sufficiente o meglio che

tale limite debba essere applicato ad ogni anno. Accade infatti di ritrovare grafici di utenze che presentano pochi dati e perlopiù relativi ad un solo anno, come ad esempio le utenze riportate nelle figure seguenti, che alterano la corretta analisi di tali scambiatori:



*Fig. 51 Esempio anomalia con pochi dati in input. BCT 410 utenza n°35*



*Fig. 52 Esempio anomalia con pochi dati in input. BCT 414 utenza n°18*

Per ovviare a tale problema, si potrebbe pensare di migliorare il modello aumentando il numero di giorni minimo che rende plausibile l'analisi o creando una nuova funzione che elimini dall'analisi tutte quelle utenze i cui dati non sono proporzionalmente suddivisi nei diversi anni.

Negli altri casi si può verosimilmente presumere che vi sia una mancanza di dati relativi alle operazioni di manutenzione, che in ogni caso non si ritiene essere state necessarie in quanto la variazione percentuale si attesta sempre sotto al limite trovato al paragrafo 4.1 pari al 10%.

# Capitolo 6

## Conclusioni e sviluppi futuri

Lo scopo del presente lavoro di tesi è stato l'analisi dei parametri caratteristici degli scambiatori di calore e l'individuazione di una strategia di monitoraggio applicabile in maniera generale a un qualsiasi baricentro della rete di teleriscaldamento di Torino, per poter ottenere una riorganizzazione del piano manutenzioni.

Al fine di valutare il funzionamento di uno scambiatore di calore, è stata utilizzata la grandezza  $FUA(\phi)$ . Ciò che si è dimostrato è stato che un'analisi di tale parametro, può essere affiancato alla grandezza finora usata, ovvero la differenza di temperatura  $T3-T2$ , dove  $T3$  è la temperatura di mandata del secondario e  $T2$  è la temperatura di ritorno del primario.

Come è naturale pensare, lo scambiatore nel tempo si degrada e riduce le sue prestazioni, fino ad un punto oltre al quale risulta necessario intervenire mediante operazione di pulizia o sostituzione. Però, in tale analisi sopraggiungono diversi problemi, come la quantità irrisoria di dati e la soggettività degli utenti, che rendono difficile la generalizzazione del modello proposto, il quale pone nella variazione percentuale del coefficiente angolare della retta interpolante dei dati storici, il parametro decisivo da utilizzare per l'analisi di tutta la rete torinese.

Un altro punto che va sottolineato è che dall'analisi delle utenze, sono risultati diverse tipologie di scambiatori con diverso andamento temporale delle prestazioni. Se da un lato vi sono utenze che seguono il naturale decorso del tempo e che quindi presentano l'anomalia di funzionamento, dall'altro vi sono utenze che nel tempo hanno incrementato la propria efficienza. Il modello presentato si è occupato di analizzare tutte quelle sottostazioni il cui lo scambiatore presenta l'anomalia di funzionamento, ma per le quali è stato effettuato un intervento di manutenzione. Tuttavia, non tutte le utenze che presentano l'anomalia sono state sottoposte a pulizia, pertanto si è cercato di individuare un valore limite della variazione percentuale della pendenza delle rette di interpolazione dei dati storici, oltre al quale si ritiene necessario eseguire la manutenzione. Tale valore è pari al 10%.

Infine, un altro possibile sviluppo del modello, potrebbe essere quello di analizzare e valutare dal punto di vista economico ed ambientale i benefici apportati da una corretta gestione della manutenzione. Infatti, si può affermare che non solo una pulizia è assolutamente necessaria per ristabilire il corretto scambio di calore e il corretto funzionamento della rete, ma che un piano di manutenzioni ben organizzato può apportare un beneficio in termini economici ed ambientali.

Uno dei dati ricavati dal modello è stato, infatti, l'incredibile miglioramento delle prestazioni dello scambiatore a seguito dell'intervento di manutenzione; nel caso dell'utenza n°73 del BCT 414, ad esempio, si è verificato un incremento del 25%. Questo significa che se viene scambiata una quantità di calore minore rispetto a quella di progetto, la restante parte si va a disperdere nell'ambiente e di conseguenza non si avrà più il risparmio economico e di energia primaria atteso; si ricorda, infatti, che il principio di esistenza del teleriscaldamento è basato sull'utilizzo del calore di scarto prodotto dalle centrali elettriche diminuendone così le perdite e aumentandone il rendimento.

# Lista delle figure

<i>Fig. 1 Andamento Temperatura globale nel corso degli anni. Fonte[NASA] .....</i>	<i>1</i>
<i>Fig. 2 Emissioni di CO2 mondiali per combustibile basate sui bilanci energetici dell'International Energy Agency dal 1971 al 2013 in Mt. Nella quota “Other” sono inclusi rifiuti industriali e urbani non riciclabili.....</i>	<i>2</i>
<i>Fig. 3 Adesione mondiale al protocollo di Kyoto. Fonte[“Rete Clima: informazione ed azione per la sostenibilità ed il contrasto al cambiamento climatico”] .....</i>	<i>3</i>
<i>Fig. 4 Paesi membri dell'OECD. Fonte [Australian Government, Department of Foreign Affairs and Trade].....</i>	<i>5</i>
<i>Fig. 5 Struttura generale di una rete di teleriscaldamento. Fonte [Bio-resource Technology] .....</i>	<i>7</i>
<i>Fig. 6 Le fonti del teleriscaldamento. Fonte [http://www.sportelloenergia-terredacqua.it/schede-azioni/] .....</i>	<i>8</i>
<i>Fig. 7 Schema di un sistema di teleriscaldamento .....</i>	<i>10</i>
<i>Fig. 8 Efficienza energetica di un sistema convenzionale. Fonte [Enea].....</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 9 Efficienza energetica di un sistema cogenerativo. Fonte [Enea].....</i>	<i>11</i>
<i>Fig. 10 Esempio di potenza termica richiesta per un'utenza del teleriscaldamento in un giorno tipico invernale (a) e annuale (b). Fonte [15].....</i>	<i>12</i>
<i>Fig. 11 Posa della rete di teleriscaldamento. Fonte [21] .....</i>	<i>13</i>
<i>Fig. 12 sezione di una tubazione.....</i>	<i>14</i>
<i>Fig. 13 Rete di distribuzione ad anello .....</i>	<i>16</i>
<i>Fig. 14 Rete di distribuzione ad albero.....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 15 Rete di distribuzione Magliata.Fonte [16] .....</i>	<i>17</i>
<i>Fig. 16 P&amp;I di una sottostazione tipo per la rete TLR di Torino. Fonte IREN Energia S.p.A</i>	<i>18</i>

<i>Fig. 17 Il pompaggio in una rete di TLR. Fonte [16]</i> .....	20
<i>Fig. 18 Vendite di calore per TLR per le altre nazioni europee. Fonte [13]</i> .....	21
<i>Fig. 19 Popolazione servita dal teleriscaldamento in vari Paesi a fine 2012. Fonte [13]</i> .....	22
<i>Fig. 20 Teleriscaldamento in Italia. Fonte [legambiente-Airu]</i> .....	23
<i>Fig. 21 Potenziali di sviluppo del teleriscaldamento in Italia nei prossimi anni. Fonte [legaambiente-Airu]</i> .....	24
<i>Fig. 22 Rete Teleriscaldamento Torino. Fonte [IREN Energia, Copertura di Torino, impianti di Torino, luglio 2017] Come si può osservare in figura, sono presenti anche impianti di integrazione e riserva del Martinetto, del Politecnico e del BIT. Le aree evidenziate corrispondono all'area attualmente teleriscaldata a Torino.</i> .....	26
<i>Fig. 23 Esempio di curva cumulata del carico termico</i> .....	28
<i>Fig. 24 Andamento volumetria teleriscaldata ed estensione delle reti in Italia</i> .....	29
<i>Fig. 25 Schema semplificato della sottostazione di scambio e dei terminali di riscaldamento. Fonte [25]</i> .....	31
<i>Fig. 26 Andamento delle temperature in uno scambiatore di calore controcorrente</i> .....	34
<i>Fig. 27 Esempio di potenza termica richiesta per un'utenza del teleriscaldamento in un giorno tipico invernale.</i> .....	35
<i>Fig. 28 Schema dei modelli</i> .....	36
<i>Fig. 29 BCT 410 utenza n°2 (a) n°25 (b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico <math>\phi</math> in kW.</i> .....	41
<i>Fig. 30 BCT 414 utenza n°13 (a) n°23 (b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico <math>\phi</math> in kW.</i> .....	42
<i>Fig. 31 BCT 418 utenza n°2 (a) n°7(b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico <math>\phi</math> in kW.</i> .....	43

<i>Fig. 32 Esempio rette di interpolazione per il BCT 410: utenza n°2 (a) n°25 (b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico <math>\phi</math> in kW.....</i>	<i>44</i>
<i>Fig. 33 Esempio rette di interpolazione per il BCT 414: utenza n°13 (a) n°93 (b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico <math>\phi</math> in kW.....</i>	<i>45</i>
<i>Fig. 34 Esempio rette di interpolazione per il BCT 418: utenza n°2 (a) n°7 (b). Nell'asse delle ordinate si leggono i valori di UA in kW/K, sull'asse delle ascisse si leggono i valori del flusso termico <math>\phi</math> in kW.....</i>	<i>46</i>
<i>Fig. 35 confronto dati BCT 410: utenza n°25.....</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 36 Confronto dati BCT 414: utenza n°54.....</i>	<i>54</i>
<i>Fig. 37 Confronto dati BCT 414: utenza n°73.....</i>	<i>55</i>
<i>Fig. 38 Confronto dati BCT 414: utenza n°93.....</i>	<i>55</i>
<i>Fig. 39 confronto dati BCT 414: utenza n°101.....</i>	<i>56</i>
<i>Fig. 40 BCT 410: utenza n°25.....</i>	<i>59</i>
<i>Fig. 41 BCT 414: utenza n°54.....</i>	<i>60</i>
<i>Fig. 42 BCT 414: utenza n°73.....</i>	<i>60</i>
<i>Fig. 43 BCT 414: utenza n°93.....</i>	<i>61</i>
<i>Fig. 44 BCT 414: utenza n°101.....</i>	<i>61</i>
<i>Fig. 45 BCT 410 esempio utenza n° 6 e n°1 .....</i>	<i>65</i>
<i>Fig. 46 BCT 414 esempio utenza n° 13 e n°95 .....</i>	<i>65</i>
<i>Fig. 47 BCT 418 esempio utenza n° 2 e n°7 .....</i>	<i>66</i>
<i>Fig. 48 BCT 410 utenza n° 9.....</i>	<i>68</i>
<i>Fig. 49 BCT 414 utenza n° 12.....</i>	<i>68</i>
<i>Fig. 50 BCT 418 utenza n° 4.....</i>	<i>69</i>

*Fig. 51 Esempio anomalia con pochi dati in input. BCT 410 utenza n°35..... 70*

*Fig. 52 Esempio anomalia con pochi dati in input. BCT 414 utenza n°18..... 70*

# Lista delle tabelle

<i>Tabella 1. N° utenze totali presenti nei BCT della rete di teleriscaldamento di Torino.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabella 2. Confronto tra n° utenze totali e n° utenze realmente analizzate nel modello per la creazione dei dati storici.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabella 3: coefficienti angolari delle rette interpolanti delle utenze prese ad esempio .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabella 4: variazione percentuale dei coefficienti angolari delle rette interpolanti delle utenze prese ad esempio .....</i>	<i>48</i>
<i>Tabella 5: Dati manutenzione BCT 410.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabella 6: Dati manutenzione BCT 414.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabella 7: Dati manutenzione BCT 418.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabella 8: Differenza tra nome utenza e nome sottostazione .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabella 9: variazione percentuale dei coefficienti delle rette interpolanti.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabella 10: Variazione percentuale dei coefficienti delle rette interpolanti relative al pre e post manutenzione.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabella 11: confronto tra coefficienti angolari delle rette interpolanti suddivisi per i diversi periodi e per le sole utenze mantenute.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabella 12: Confronto tra variazioni percentuale dei coefficienti angolari delle rette interpolanti suddivisi per i diversi periodi e per le sole utenze mantenute.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabella 13. Nnumero utenze analizzate per analisi sensitività T4.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabella 14. Analisi sensitività di T4 per utenze analizzate nel modello manutenzione.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabella 15: variazione percentuale del coefficiente angolare per utenze con anomalia non giustificata.....</i>	<i>69</i>

# Bibliografia

- [1] «IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.»  
<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>
- [2] <http://www.consilium.europa.eu/it/policies/climate-change/international-agreements-climate-action>, archivi ufficiali del Consiglio dell'Unione europea.
- [3] Center for Climate and Energy Solutions, *Outcomes of the U.N. Climate Change Conference in Paris (COP21)*. 2015.
- [4] Schmidheiny, Stephan. *Changer de cap*, Dunod, Paris, 1992.
- [5] <https://www.ilfattoquotidiano.it/longform/eni-con-litalia/lenergia-da-fonti-rinnovabili>
- [6] V. Verda and F. Colella, “Primary energy savings through thermal storage in district heating networks,” *Energy*, 2011.
- [7] Commissione Europea, Bruxelles, 16.02.2016, COM (2016) 51 final, “Una strategia dell’UE in materia di riscaldamento e raffreddamento”.
- [8] I. Bottio, N.M. Caminiti, F. Gangale, M. Stefanoni, T. Magnelli, “Teleriscaldamento e sistemi energetici integrati”
- [9] R. Angelini, “Ruolo e futuro del teleriscaldamento, policy europee ed applicazione in Italia”, Milano, 24 Ottobre 2017
- [10] Behnaz Rezaie e Marc A. Rosen, «District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements», *Applied energy*, 2012.
- [11] International Energy Agency (IEA), «IEA Energy Technology Perspectives 2015». 2015.
- [12] Associazione Italiana Riscaldamento Urbano (AIRU) e Legambiente, *Il teleriscaldamento in Italia: Stato attuale e potenzialità di sviluppo*. 2014.
- [13] Euroheat&Power, *District heating and cooling: Country by country 2015 Survey*. 2016.
- [14] Associazione Italiana Riscaldamento Urbano (AIRU) e Legambiente, *Il teleriscaldamento in Italia: Stato attuale e potenzialità di sviluppo*. 2014.
- [15] [https://www.ilteleriscaldamento.eu/teleriscaldamento\\_schede\\_tecniche](https://www.ilteleriscaldamento.eu/teleriscaldamento_schede_tecniche)
- [16] V. Verda, “Dispense del corso Complementi di Energetica”, 2016.
- [17] «Google, DigitalGlobe».

- [18] Gruppo Hera, «Dossier n. 5: Teleriscaldamento, quando il calore diventa green», apr-2013.
- [19] Lifegate, “Green city e teleriscaldamento. Gli esempi in Europa”
- [20] Dr. Viatcheslav Puzakov e Vasilii Polivanov, «Country by country 2013 Survey: RUSSIA». Euroheat&Power.
- [21] D.M. 24 ottobre 2005, Direttive per la regolamentazione dell’emissione dei certificati verdi alle produzioni di energia di cui *all’articolo 1, comma 71, della L.23 agosto 2004 n.239*.
- [22] IREN Energia, «1982-2012: 30 Anni di Teleriscaldamento a Torino».
- [23] Servizio Qualità dell'Aria e Risorse Energetiche, “Studio sul teleriscaldamento in Provincia di Torino, Stato di fatto e potenzialità di sviluppo”. Rapporto finale 2006
- [24] DIMMER Collaboration, «D1.4 Energy saving potential: report on existing technologies and methodologies». mag-2015.
- [25] IREN Group, <<A Torino il teleriscaldamento intelligente controllato da remoto>>, Maggio 2014
- [26] “Conduzione e manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti termici e di climatizzazione presso gli edifici di proprietà o nella disponibilità del Comune di Torino e del Gruppo IREN – LOTTI 1/2015 e 2/2015”

# Ringraziamenti

Ringrazio il mio relatore, Prof. Vittorio Verda, e in particolare la mia correlatrice, l'Ing. Elisa Guelpa che mi hanno permesso di svolgere questo lavoro di tesi sotto la loro supervisione e mi hanno aiutata ogni qualvolta ne avessi bisogno, dedicandomi tempo prezioso in questi mesi.

Un ringraziamento particolare va ai miei genitori e ai miei nonni, che hanno sempre creduto in me, dandomi il supporto necessario e la forza di superare tutte le difficoltà. Ringrazio mia sorella Daniela che è stata per me fonte di coraggio e di ispirazione. Mettendo da parte le sue difficoltà, è sempre stata pronta a darmi parole di conforto nei momenti per me più tristi. Ringrazio profondamente Luca, con il quale abbiamo affrontato mille ostacoli ma che, nonostante tutto, è sempre stato capace di farmi sentire la sua vicinanza e il suo sostegno guidandomi e aiutandomi nei momenti più bui. A loro devo tutto.

Un ringraziamento speciale va a mia cugina Maria Rosa, sempre disponibile ad ascoltare i miei problemi, a darmi consigli di vita e a farmi sempre vedere il lato positivo delle cose.

Ringrazio i miei amici e colleghi, con i quali ho trascorso momenti di questa esperienza che non dimenticherò mai. In particolare ringrazio Nino che ormai è quasi diventato un fratello per me, mi ha fatto sentire a casa anche quando casa era lontana e in tutte le difficoltà è sempre stato pronto ad aiutarmi e a sollevarmi il morale.

Infine, desidero ringraziare le mie coinquiline Alessia, Marta e Stefania, grazie alle quali sono molto cresciuta in questi anni. Loro saranno per sempre legate a tutti i miei ricordi di questa esperienza torinese.