

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in INGEGNERIA ENERGETICA E NUCLEARE

Tesi di Laurea Magistrale

**Evoluzione dei fabbisogni energetici
delle utenze del teleriscaldamento
della Città di Torino**



Relatori:

prof. Vittorio Verda

ing. Elisa Guelpa

ing. Guido Maria Noce

firma dei relatori

.....
.....
.....

Candidato:

Flavio Mandrile

firma del candidato

.....

A.A. 2017/18

Sommario

Il lavoro di questa tesi ha come scopo lo studio dell'evoluzione dell'efficienza energetica del parco edilizio allacciato alla rete di teleriscaldamento della Città di Torino, gestita da IREN S.p.A., durante il periodo compreso tra la stagione 2005/06 e la stagione 2017/18.

Il metodo seguito consiste nell'analisi dello storico annuale, dell'energia venduta per solo riscaldamento, per un campione di oltre 5000 sottostazioni. Per ciascuna utenza, in ogni anno di attività, è stato calcolato un indice di prestazione energetica, ossia un consumo specifico per unità di volume, normalizzato tramite i gradi giorno stagionali. In base al valore di questo indicatore viene assegnata la classe di efficienza energetica corrispondente.

Analizzando l'andamento temporale delle grandezze globali del sistema, si è osservato il notevole aumento della volumetria attiva, accompagnato però da una sensibile riduzione dell'indice di prestazione energetica medio della rete, con un progressivo aumento delle sottostazioni caratterizzate da alta efficienza.

Tramite le coordinate delle utenze, si è potuta mappare l'evoluzione geografica della rete di teleriscaldamento, e dunque la sua espansione e diffusione all'interno del territorio torinese.

Infine, si sono combinati i risultati degli andamenti temporali, calcolati in precedenza, ai dati cartografici, per mostrare la distribuzione spaziale delle classi di efficienza. In questo modo è stato possibile visualizzare la graduale tendenza delle sottostazioni verso le categorie corrispondenti ad alte prestazioni energetiche.

Indice generale

Elenco delle figure	I
Elenco delle tabelle	IV
Elenco dei simboli.....	IV
Introduzione.....	1
Capitolo 1. IREN e la rete di teleriscaldamento della Città di Torino	3
1.1 IREN e IREN Energia	3
1.2 La rete di teleriscaldamento della Città di Torino	4
1.3 La rete di teleriscaldamento di Torino nel contesto del riscaldamento urbano italiano ...	7
Capitolo 2. Il modello di calcolo utilizzato	8
2.1 Classificazione energetica di riferimento	8
2.2 Classificazione energetica adottata.....	10
2.3 Schema di colori	11
2.4 Riassunto	12
Capitolo 3. Raccolta dei dati di input per il modello.....	13
3.1 Sottostazioni di scambio termico analizzate.....	13
3.2 Gradi Giorno.....	21
3.3 Consumo annuo di energia per il riscaldamento	23
3.4 Applicazione del modello.....	24

Capitolo 4. Risultati dell'analisi	25
4.1 Andamento delle grandezze globali nel tempo.....	25
4.2 Variazione complessiva dell'indice tra prima ed ultima stagione.....	32
4.3 Analisi delle utenze secondo la stagione di attivazione	34
4.4 Evoluzione temporale delle classi di efficienza energetica	44
4.5 Classe energetica di riferimento per l'alta efficienza	57
4.6 Trend futuri.....	58
4.7 Probabili cause degli andamenti rilevati.....	60
Capitolo 5. Espansione e distribuzione geografica della rete e dell'efficienza energetica	63
5.1 Base cartografica della Città di Torino.....	63
5.2 Introduzione alle mappe	66
5.3 Evoluzione della volumetria.....	66
5.4 Confronto tra volumetria e numero delle sottostazioni	74
5.5 Evoluzione delle classi di efficienza di energetica.....	77
5.6 Mappe dettagliate per la stagione 2017/18	83
5.7 Approfondimento – sottostazioni attivate nelle stagioni 2013/14 e 2016/17	86
Conclusioni	89
Bibliografia	92
Sitografia	93
Ringraziamenti	94

Elenco delle figure

Figura 1.1 – Logo di IREN S.p.A. [S1]	3
Figura 1.2 – Organigramma societario del gruppo IREN S.p.A.	4
Figura 1.3 – Centri di produzione dell’energia termica nella rete di Torino [S1]	5
Figura 1.4 - Impianto di Moncalieri (a sinistra) e Politecnico (a destra) [S1]	7
Figura 2.1 – Classificazione energetica degli edifici residenziali	9
Figura 2.2 – Distribuzione degli intervalli delle classi di efficienza energetica	12
Figura 3.1 - Rappresentazione relativa tra prima e ultima stagione	14
Figura 3.2 – Istogramma sulla volumetria delle sottostazioni	18
Figura 3.3 – Grafici a torta per rappresentare la scrematura delle sottostazioni	20
Figura 3.4 – Evoluzione GG misurati da IREN	22

Figura 4.1 – Evoluzione delle grandezze globali della rete, rappresentata come frazione relativa al valore assunto nella stagione iniziale (2005/06)	28
Figura 4.2 – Andamento dell'indice di prestazione energetica, sovrapposto agli intervalli corrispondenti alle classi di efficienza	29
Figura 4.3 – Delta EP totale per ogni sottostazione	33
Figura 4.4 – Delta EP totale, espresso in percentuale, per ogni sottostazione	33
Figura 4.5 – Confronto tra EP medio e quello delle SST attivate entro la stagione 2005/06... 36	
Figura 4.6 – Confronto tra EP medio e quello delle SST attivate nelle stag. 06/07 e 07/08 ... 36	
Figura 4.7 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2008/09 e 2009/10	37
Figura 4.8 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2010/11 e 2011/12	37
Figura 4.9 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2012/13 e 2013/14	38
Figura 4.10 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2014/15 e 2015/16	38
Figura 4.11 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2016/17 e 2017/18	39
Figura 4.12 – Evoluzione di EP medio della rete e delle sue quote relative	41
Figura 4.13 – Evoluzione percentuale delle quote relative al valore di EP medio della rete... 42	
Figura 4.14 – Andamento temporale della volumetria associata alle classi	47
Figura 4.15 – Andamento temporale della volumetria associata alle classi di efficienza energetica, espresso in percentuale	48
Figura 4.16 – Evoluzione classe E, percentuale in volume	51
Figura 4.17 – Evoluzione classe D, percentuale in volume	52
Figura 4.18 – Evoluzione classe C, percentuale in volume	53
Figura 4.19 – Evoluzione classi B, A ed A+, percentuale in volume	54
Figura 4.20 – Evoluzione classi B gold, A ed A+, numero di sottostazioni totale	55
Figura 4.21 – Evoluzione classi C silver, C gold e B silver, percentuale in volume	56
Figura 4.22 – Curve ottenute dalla regressione lineare dei dati calcolati	58
Figura 4.23 – Confronto tra EP medio e reddito netto in Piemonte	62

Figura 5.1 – Base cartografica della Città di Torino	65
Figura 5.2 – Distribuzione volumetria SST nella stagione 2005/06	67
Figura 5.3 – Distribuzione volumetria SST nella stagione 2017/18	67
Figura 5.4 – Distribuzione volumetria per le stagioni 2006/07, 2007/08 e 2008/09	70
Figura 5.5 – Distribuzione volumetria per le stagioni 2009/10, 2010/11 e 2011/12	71
Figura 5.6 – Distribuzione volumetria per le stagioni 2012/13, 2013/14 e 2014/15	72
Figura 5.7 – Distribuzione volumetria per le stagioni 2015/16 e 2016/17	73
Figura 5.8 – Confronto tra i due tipi di distribuzione, stagione 2005/06	75
Figura 5.9 – Confronto tra i due tipi di distribuzione, stagione 2017/18	76
Figura 5.10 – Distribuzione classi di efficienza nella stagione 2005/06	78
Figura 5.11 – Distribuzione classi di efficienza nella stagione 2017/18	78
Figura 5.12 – Distribuzione classi di efficienza energetica per le stagioni 2006/07, 2007/08 e 2008/09.....	79
Figura 5.13 – Distribuzione classi di efficienza energetica per le stagioni 2009/10, 2010/11 e 2011/12.....	80
Figura 5.14 – Distribuzione classi di efficienza energetica per le stagioni 2012/13, 2013/14 e 2014/15.....	81
Figura 5.15 – Distribuzione classi di efficienza per le stagioni 2015/16 e 2016/17	82
Figura 5.16 – Distribuzione SST di bassa efficienza nella stagione 2017/18	84
Figura 5.17 – Distribuzione SST ad altissima efficienza nella stagione 2017/18	85
Figura 5.18 – Mappa SST attivate nelle stagioni 2013/14 e 2016/17 con EP > EP medio	87

Elenco delle tabelle

Tabella 2.1 - Classificazione legge regionale	9
Tabella 2.2 - Classificazione energetica	12
Tabella 3.1 - Evoluzione complessiva della rete dal 2005/06 al 2017/18	14
Tabella 3.2 - Tipologie di fornitura contenute nella rete di teleriscaldamento	15
Tabella 3.3 - Scrematura SST	16
Tabella 3.4 - Divisione sottostazioni per tipo di utenza	17
Tabella 3.5 - Confronto tra campione di SST utilizzato e valori totali	19
Tabella 3.6 - Andamento GG misurati da IREN	23
Tabella 4.1 - Evoluzione delle grandezze globali della rete, in termini assoluti	26
Tabella 4.2 - Sottostazioni divise per stagione di attivazione	34
Tabella 4.3 - Sottostazioni attivate entro la stagione 2005/06	35
Tabella 4.4 - Sottostazioni attivate nelle varie stagioni del periodo analizzato	40
Tabella 4.5 - Evoluzione volumetrica classi di efficienza [milioni di m ³]	45
Tabella 4.6 - Evoluzione percentuale delle classi di efficienza energetica [% in volume].....	45
Tabella 4.7 - Evoluzione classi di efficienza [#SST]	46
Tabella 4.8 - Evoluzione percentuale delle classi di efficienza energetica [% su #SST]	46
Tabella 4.9 - Analisi valori di EP di riferimento	57
Tabella 5.1 – Limiti di coordinate della mappa.....	64
Tabella 5.2 – Numeri delle sottostazioni approfondite	86

Elenco dei simboli

- EP: Indice di prestazione energetica
- GG: Gradi Giorno
- SST: Sottostazione di scambio termico

Introduzione

Per l'ampiezza del bacino di utenza che serve e l'estensione delle sue strutture, la rete di teleriscaldamento della Città di Torino ricopre un ruolo di primo piano nel contesto del riscaldamento urbano non solo italiano, ma anche europeo.

Lo scopo di questa tesi è lo sviluppo di una metodologia per valutare l'evoluzione dell'efficienza energetica del parco edilizio dell'utenza servita a partire dallo storico annuale dei consumi, tramite un modello che possa essere applicato anche ad altri casi studio appartenenti a diverse realtà.

Nel primo capitolo viene brevemente presentata l'azienda che si occupa della fornitura dell'energia e della distribuzione del calore, IREN Energia, e, per inquadrare l'oggetto della tesi, è descritta la rete di teleriscaldamento di Torino, con un'attenzione particolare alle sue fasi storiche.

L'analisi inizia, nel Capitolo 2, con la presentazione del modello di calcolo seguito per lo studio dell'efficienza, la descrizione della classificazione energetica utilizzata ed il ragionamento che ne sta alla base.

Nel Capitolo 3 sono dunque analizzati tutti i passi che, a partire dai dati in input, hanno portato ai risultati. Viene esposta la modalità adottata per la selezione del campione di utenze rappresentativo di tutta la rete e la tecnica di normalizzazione dei consumi rispetto alle condizioni climatiche.

A partire dal Capitolo 4 inizia la presentazione dei risultati. Attraverso la correlazione di:

- numero di sottostazioni;
- volumetria attiva;
- energia venduta;
- indice di prestazione medio della rete;

si mostra l'evoluzione dell'utenza della rete di teleriscaldamento negli anni. In particolare, viene svolta un'analisi approfondita in base alla stagione di attivazione delle singole utenze per osservare il loro contributo sul sistema complessivo. Segue poi lo studio dell'andamento nel tempo delle classi di efficienza energetica e della loro frazione volumetrica relativa.

Il Capitolo 5, infine, si concentra sulla visualizzazione dell'espansione e della distribuzione geografica della rete, sovrapponendo i dati calcolati in tutta l'analisi precedente ad una base cartografica della Città di Torino. L'evoluzione dell'efficienza energetica del parco edilizio è visibile come sequenza di fotografie, una per ogni stagione termica.

Capitolo 1. IREN e la rete di teleriscaldamento della Città di Torino

1.1 IREN e IREN Energia

IREN S.p.A. è una holding italiana con sede a Reggio Emilia e poli operativi a Genova, Parma, Piacenza, Reggio Emilia, Torino, La Spezia e Vercelli.

La società opera nei settori di produzione e distribuzione dell'energia elettrica, dell'energia termica, tramite teleriscaldamento, del gas, della gestione dei servizi idrici integrati, delle energie rinnovabili, della raccolta e smaltimento dei rifiuti, dell'igiene urbana, ed in altri servizi tecnologici e ambientali di pubblica utilità.



Figura 1.1 – Logo di IREN S.p.A. [S1]

Il gruppo IREN propriamente detto nasce il 1° luglio 2010, ma affonda le sue radici all'inizio del secolo scorso, essendo costituito dalla fusione di IRIDE e ENÌA. Le due società a loro volta traevano origine da molteplici aziende municipali operanti nel settore elettrico, energetico e dell'acqua. IRIDE ed ENÌA erano state formate infatti, rispettivamente, nel 2006 da AEM Torino (nata nel 1907) e AMGA Genova (1922) e nel 2005 da AGAC Reggio Emilia (1962), AMPS Parma (1905) e TESA Piacenza (1972).

Quattro società interne gestiscono le attività del gruppo:

- IREN Energia (produzione di energia);
- IREN Mercato (approvvigionamento e vendita di energia e gas);
- IRETI (distribuzione di energia elettrica, gas e servizi idrici integrati);
- IREN Ambiente (raccolta, gestione, trattamento e smaltimento dei rifiuti, igiene urbana).

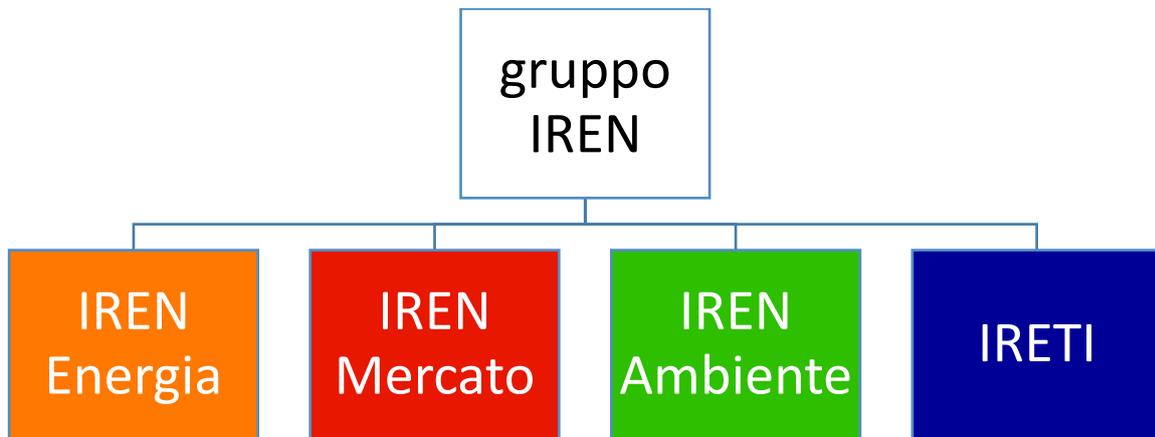


Figura 1.2 – Organigramma societario del gruppo IREN S.p.A.

IREN Energia è la società del Gruppo IREN che opera nella produzione di energia elettrica, nella generazione e fornitura di calore tramite la rete di teleriscaldamento, nel global service tecnologico, nell'illuminazione pubblica e artistica e nella gestione degli impianti semaforici.

1.2 La rete di teleriscaldamento della Città di Torino

La rete di teleriscaldamento di Torino è una delle più grandi in Europa e, attualmente, presenta queste caratteristiche¹:

- 60,3 milioni di m³ allacciati (il 57% della volumetria complessiva della città);
- 550 km di doppia tubazione;
- 600000 abitanti serviti;
- 1140 MW_e e 1766 MW_t di potenza installata
- Oltre 2000 GWh annui di energia immessa nei comuni di Torino, Nichelino e Moncalieri.

¹ Dati ricavati dal sito internet del gruppo IREN S.p.A.: www.gruppoiren.it [S1]

La produzione di energia avviene tramite i seguenti impianti:

- Impianti di cogenerazione:
 - Centrale di Moncalieri (800 MW_e e 520 MW_t), costituita dal 2° GT ed il 3° GT;
 - Centrale di Torino Nord (400 MW_e e 220 MW_t);
- Impianti di integrazione e riserva e di accumulo del calore:
 - Politecnico;
 - BIT;
 - Martinetto.

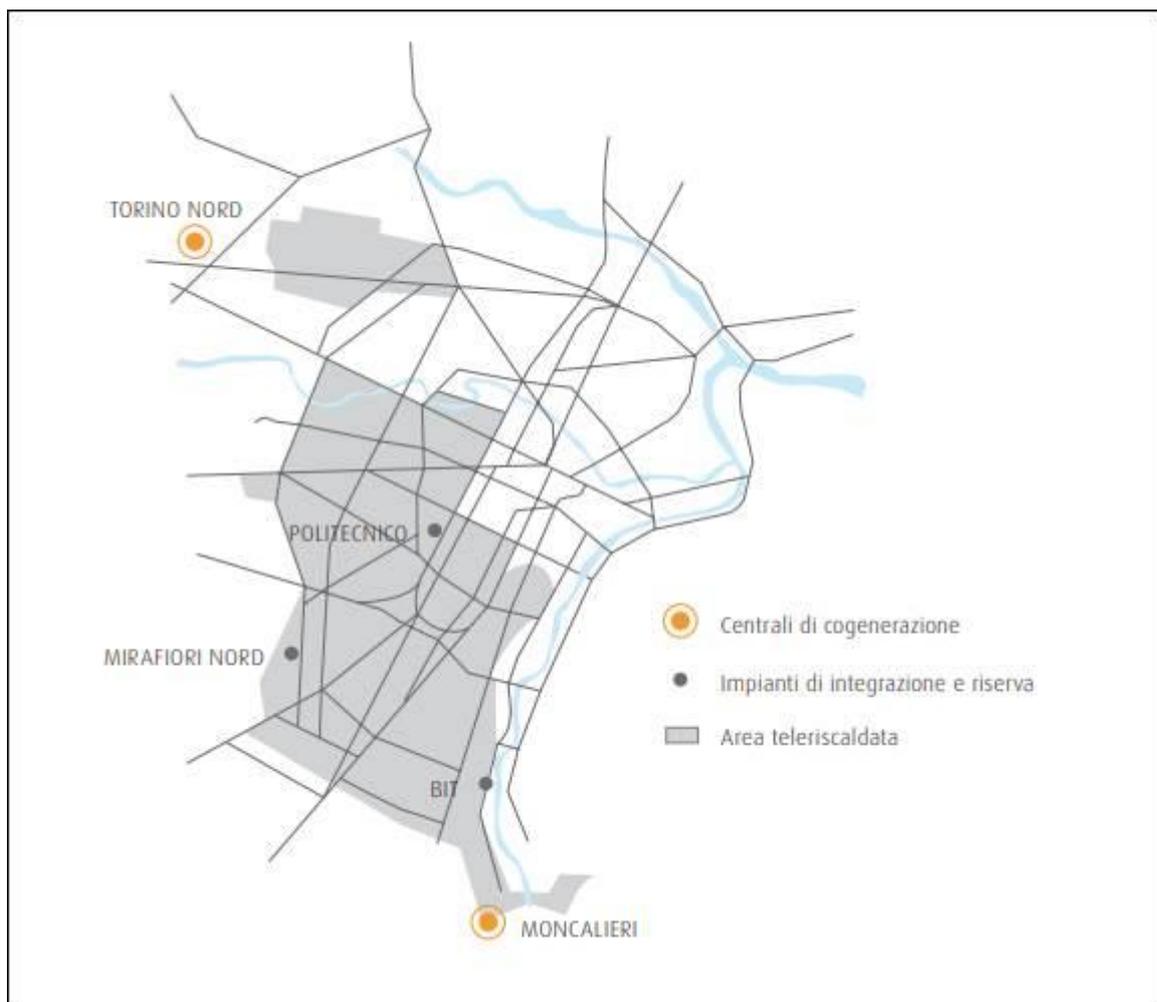


Figura 1.3 – Centri di produzione dell'energia termica nella rete di Torino [S1]

La storia della rete di Torino passa attraverso queste date fondamentali:

- 1953: Entra in servizio la centrale idro-termoelettrica di Moncalieri;
- 1982: Ingresso nel settore del teleriscaldamento con la realizzazione del primo impianto di cogenerazione nel quartiere Le Vallette;
- 1988: Il progetto di teleriscaldamento viene espanso al quartiere Mirafiori Nord;
- 1994: Ripotenziamento della centrale di Moncalieri e avvio del progetto di teleriscaldamento Torino Sud;
- 2005: Entra in servizio il 3° GT nella centrale di Moncalieri e in seguito (2008) viene rinnovato il 2° GT;
- 2011: Attivato il nuovo impianto cogenerativo di Torino Nord.

Parallelamente a queste ultime date si procede con l'ampliamento della rete.

Molti di questi avvenimenti, si vedrà, avranno un ruolo chiave nell'interpretare i risultati dell'analisi di questa tesi.

1.3 La rete di teleriscaldamento di Torino nel contesto del riscaldamento urbano italiano

La volumetria allacciata alla rete di teleriscaldamento, circa 60 milioni di m³, e l'energia termica erogata all'utenze, più di 2000 GWh, rendono Torino la città più teleriscaldata d'Italia.

Questa affermazione trova evidenza andando a confrontare i dati forniti da AIRU ("Associazione Italiana Riscaldamento Urbano") nell'annuario *"Il Riscaldamento Urbano"* (edizione 2017) [1], riferiti all'anno 2016 e relativi alle città italiane.

Le due città che seguono Torino (Milano e Brescia) si attestano entrambe sui 40 milioni di m³ allacciati, circa due terzi della volumetria torinese; il margine risulta ancora più netto in termini di energia termica: Milano e Brescia, sommate, non raggiungono i 2000 GWh di Torino.

Escludendo i due centri abitati successivi, Reggio Emilia (anch'essa gestita da IREN) e Verona, tutte le altre città d'Italia hanno una volumetria allacciata alla rete inferiore a 6 milioni di m³ e un valore di energia termica erogata che non supera i 200 GWh (per entrambe le grandezze, meno del 10% della rete di Torino).

Rapportando, infine, la città di Torino alle cifre globali delle città italiane teleriscaldate, si osserva come la rete torinese rappresenti circa un sesto della volumetria totale e quasi un quarto dell'energia termica fornita all'utenza.

Osservando questi semplici dati, appare chiaro quanto sia cruciale la rete di teleriscaldamento di Torino nel contesto del riscaldamento urbano in Italia.



Figura 1.4 - Impianto di Moncalieri (a sinistra) e Politecnico (a destra) [S1]

Capitolo 2. Il modello di calcolo utilizzato

L'obiettivo primario della tesi, come introdotto in precedenza, è sviluppare un modello per studiare l'evoluzione energetica della rete di teleriscaldamento della Città di Torino, ovvero dell'insieme delle utenze allacciate ad essa: analizzare il suo andamento nel tempo e la sua distribuzione geografica.

Tutta la analisi svolta si basa su una grandezza fisica di riferimento, rappresentante l'efficienza energetica: l'indice di prestazione energetica (chiamato da ora in poi "EP"), calcolato come nell'equazione seguente.

$$EP_i(j) = \frac{\text{Energia annua}_i(j)}{\text{Volumetria}_i} \cdot \frac{GG_{\text{Torino}}}{GG_{\text{anno}}(j)} \left[\frac{kWh}{m^3} \right]$$

Dove:

- Energia annua_i(j) [kWh]: consumo di energia termica per il riscaldamento, della sottostazione 'i' nella stagione 'j';
- Volumetria_i [m³]: volume riscaldato dell'utenza 'i';
- GG Torino: gradi giorno di riferimento per la Città di Torino, pari a 2617 [2];
- GG_{anno}(j): gradi giorno di riscaldamento misurati nella stagione termica 'j'.

Si tratta dunque di un consumo annuo di energia per unità di volume, normalizzato, tramite i gradi giorno, rispetto alle condizioni meteo variabili da una stagione termica all'altra. Logicamente, più il valore dell'indice è basso, più la sottostazione è stata efficiente.

2.1 Classificazione energetica di riferimento

Per agevolare la comprensione dei risultati del lavoro, è stata adottata una classificazione energetica da assegnare alle utenze, basata sul valore di EP.

Essa prende come riferimento normativo la Legge regionale della Regione Piemonte del 28 maggio 2007 n. 13, "Disposizioni in materia di rendimento energetico nell'edilizia" [3].

La classificazione, in particolare, viene presa dall'atto "Disposizioni attuative in materia di certificazione energetica degli edifici" ed è visibile nella figura 2.1.

 REGIONE PIEMONTE	
Classe A+:	$EP_{L To} < 27 \text{ kWh/m}^2$
Classe A:	$27 \text{ kWh/m}^2 \leq EP_{L To} < 44 \text{ kWh/m}^2$
Classe B:	$44 \text{ kWh/m}^2 \leq EP_{L To} < 82 \text{ kWh/m}^2$

Classe C:	$82 \text{ kWh/m}^2 \leq EP_{L To} < 143 \text{ kWh/m}^2$
Classe D:	$143 \text{ kWh/m}^2 \leq EP_{L To} < 201 \text{ kWh/m}^2$
Classe E:	$201 \text{ kWh/m}^2 \leq EP_{L To} < 249 \text{ kWh/m}^2$
Classe F:	$249 \text{ kWh/m}^2 \leq EP_{L To} < 300 \text{ kWh/m}^2$
Classe G:	$300 \text{ kWh/m}^2 \leq EP_{L To} \leq 435 \text{ kWh/m}^2$
NC:	$>435 \text{ kWh/m}^2$

Figura 2.1 - Classificazione energetica degli edifici residenziali

Poiché i valori di EP calcolati in questo lavoro sono per unità di volume, i limiti precedenti sono convertiti in $[\text{kWh/m}^3]$ dividendo ciascun termine per l'altezza convenzionale di 2,7 m.

La classificazione viene rappresentata come nella tabella 2.1.

Classe	EP $[\text{kWh/m}^3]$	
	Limite inferiore (compreso)	Limite superiore
A+	0	10
A	10	16,3
B	16,3	30,4
C	30,4	53,0
D	53,0	74,4
E	74,4	92,2
F	92,2	111,1
G	111,1	161,1
NC	161,1 (non compreso)	infinito

Tabella 2.1 - Classificazione legge regionale

2.2 Classificazione energetica adottata

Dopo un tentativo preliminare di analisi, è stato possibile verificare come più del 90% delle utenze si posizionasse nelle classi di efficienza B e C. Dato che questo comportamento viene mantenuto per tutte le stagioni termiche considerate, con picchi anche maggiori del 95%, la classificazione utilizzata dalla legge regionale perde di rilevanza, l'efficienza energetica rimane statica nel corso degli anni, non consentendo di osservare un'evoluzione apprezzabile, né in peggio, né in meglio.

È stata presa dunque la decisione di sviluppare una classificazione energetica differente, suddividendo in due frazioni (“Gold” e “Silver”) le classi B e C, dove si trova quasi la totalità delle utenze, e variando leggermente le altre categorie, ma mantenendo comunque la normativa regionale come riferimento.

Inoltre, sempre nell'analisi preliminare, si è osservato come le quattro classi di bassissima efficienza, da “E” a “NC”, non raggiungessero mai nemmeno mezzo punto percentuale della volumetria totale, neanche se sommate tra loro.

La scelta in questo caso è stata quella di unire queste categorie in una sola, di riferimento per le basse prestazioni energetiche, con l'etichetta “E”.

La classificazione adottata, infine, si basa su otto livelli: da “A+” ad “E”.

Prima di elencare le classi utilizzate, e i relativi limiti in termini di EP [kWh/m³], è necessario analizzare un ulteriore punto.

2.3 Schema di colori

Per la rappresentazione grafica, nelle mappe e nei plot, ad ogni classe è stato assegnato un colore, che la identifichi in modo chiaro ed univoco.

Lo schema è stato creato usando il sistema RGB (“Red, Green and Blue”), che costruisce tutti i colori tramite la combinazione di rosso, verde e blu in quantità variabili. Il rosso, il verde e il blu utilizzano 8 bit ciascuno, che hanno valori interi da 0 a 255.

Come punto di partenza, ancora una volta, è usato il riferimento legislativo e l’etichetta di classificazione energetica, con alcune modifiche.

Partendo dal fondo, alla categoria rappresentativa della bassissima efficienza, la classe “E”, viene assegnato il colore nero.

La classe “D” è di colore rosso.

Per la classe “C”, nelle sue frazioni “C silver” e “C gold” sono stati adottati, rispettivamente, il colore arancione ed il giallo.

Il livello “B silver” è di colore verde chiaro, mentre il “B gold” è verde foresta e la classe “A” è di colore verde scuro.

Infine, per permettere di distinguerla rispetto a tutte le altre, la classe “A+”, che rappresenta l’eccellenza assoluta in termini di efficienza energetica, viene indicata dal colore ciano.

2.4 Riassunto

Nella tabella 2.2 è riassunta la classificazione energetica adottata in questa tesi. Ogni classe è univocamente identificata da: un'etichetta che le dà il nome, un intervallo in termini di [kWh/m³] e un colore.

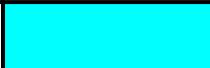
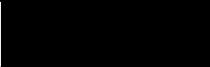
Classe	EP [kWh/m ³]		Colore	RGB Decimal Code		
	Lim. inferiore	Lim. superiore		Red	Green	Blue
A+	0,0	10,0		0	255	255
A	10,0	15,0		0	80	20
B gold	15,0	20,0		30	140	40
B silver	20,0	30,0		130	240	50
C gold	30,0	40,0		255	255	0
C silver	40,0	50,0		255	120	0
D	50,0	75,0		255	0	0
E	75,0	infinito		0	0	0

Tabella 2.2 - Classificazione energetica

Come si può osservare dalla figura 2.2, la distribuzione degli intervalli scelti per le classi di efficienza energetica è molto fine per EP inferiori a 50 kWh/m³, limite entro il quale si trovano ben sei categorie, mentre diventa sempre più grossolana oltre quel valore, dove ci si aspetta di trovare molte meno utenze.

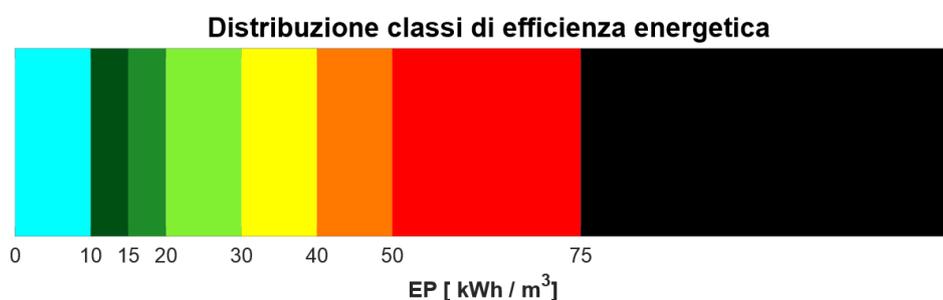


Figura 2.2 – Distribuzione degli intervalli delle classi di efficienza energetica

Capitolo 3. Raccolta dei dati di input per il modello

3.1 Sottostazioni di scambio termico analizzate

La fonte principale dei dati di input è lo storico dei consumi mensili in termini di energia venduta di tutti i clienti che siano state allacciate alla rete di teleriscaldamento a partire dalla stagione 2005/06 fino a quella corrente, 2017/18. Il file è stato estratto da CNRG, sistema interno al gruppo IREN che gestisce i dati di fatturazione dell'energia venduta alle utenze.

L'altra fonte di dati è costituita dall'anagrafica completa della rete, ovvero l'insieme di tutte le informazioni che possono caratterizzare ciascuna utenza, tra cui le principali sono: baricentro, indirizzo, coordinate, volumetria, tipo di fornitura, tipo di utenza, stato del sistema e stato dell'utenza. Questi dati non presentano un'evoluzione, ma sono estratti da una "fotografia" della rete corrispondente al 23 marzo 2018.

La volumetria presente in anagrafica corrisponde al volume totale dei locali riscaldati dell'edificio, ovvero tutti quelli effettivamente dotati di elementi scaldanti. Questo dato viene fornito dagli amministratori, per ciascuna utenza, ed è contenuto nell'anagrafica della rete, espresso in m³.

Lo storico è stato preso come riferimento per estrarre la lista di tutte le sottostazioni e, insieme all'anagrafica della rete, per scegliere il campione con i requisiti adatti all'analisi di questa tesi.

Per prima cosa, però, i due file permettono di effettuare alcune considerazioni globali sulla rete e sulla sua evoluzione nelle ultime tredici stagioni.

Il numero totale di utenze è pari a 6165, con una volumetria complessiva allacciata che ammonta a circa 60,2 milioni di m³.

Nel periodo corrispondente alla prima stagione analizzata, 2005/06, le sottostazioni attive erano soltanto 2146, con un volume di 17,6 milioni di m³.

Durante il corso degli anni, alcune utenze sono state disattivate, per cui i valori corrispondenti alla stagione 2017/18 non coincidono esattamente con quelli globali visti precedentemente, ma sono leggermente inferiori, ovvero: 6122 sottostazioni e una volumetria di 59,3 milioni di m³.

L'energia venduta alla rete è passata da 1176,8 GWh (2005/06) a 1798,1 GWh (2017/18).

Nella tabella 3.1 si possono osservare i numeri citati e gli aumenti relativi rispetto alla stagione iniziale.

CNRG	2005/06	2017/18	Variazione relativa (%)
# SST	2146	6122	185%
Volumetria [milioni di m ³]	17,578	59,309	237%
Energia venduta [GWh/anno]	1176,8	1798,1	53%

Tabella 3.1 - Evoluzione complessiva della rete dal 2005/06 al 2017/18

Il numero di sottostazioni è quasi il triplo (2,85) del valore iniziale, mentre il volume è 3,37 volte più grande rispetto al 2005/06. L'energia venduta, invece, è aumentata soltanto di poco più del 50%. Questi diversi ordini di grandezza sono un primo segnale di quello che verrà determinato dai risultati dell'analisi, ovvero un sensibile miglioramento dell'efficienza energetica di tutto il parco edilizio (cfr. cap. 4 par. 1).

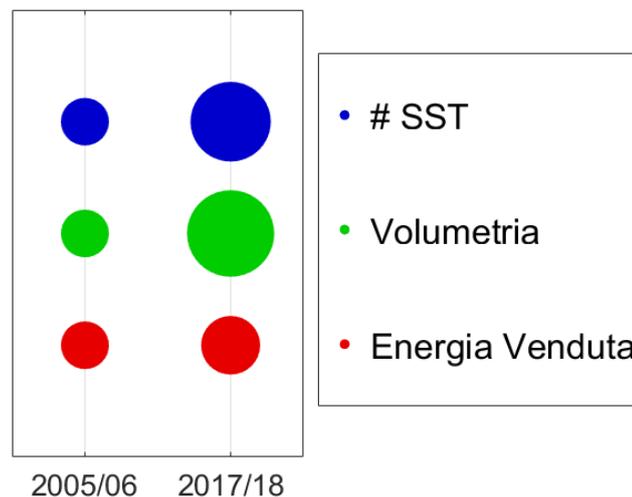


Figura 3.1 - Rappresentazione relativa tra prima e ultima stagione

Selezione campione di riferimento

Come è stato illustrato nel capitolo precedente, l'analisi per la valutazione dell'evoluzione dell'efficienza energetica è basata sui consumi annuali di energia per il riscaldamento.

Siccome il modello utilizzato, per sua natura, è semplificato, le sottostazioni con tipologia di fornitura contenente anche acqua calda sanitaria sono state eliminate dall'analisi, poiché altrimenti si sarebbero potuti ingenerare errori nell'estrazione dei consumi relativi alle sottostazioni per solo riscaldamento che potenzialmente avrebbero potuto creare risultati poco significativi o addirittura fuorvianti.

Il tipo di fornitura scelto per l'analisi è dunque "Riscaldamento 7 Mesi": vengono considerate 5438 sottostazioni, eliminando le restanti 727. Nella tabella 3.2 sono mostrate le varie tipologie presenti e il peso relativo di ciascuna sul totale.

	#SST	%	Volumetria [Mm ³]	%
Numero totale SST	6165	100%	60,157	100%
Riscaldamento 7 Mesi	5438	88%	42,930	71%
<i>Acqua Sanitaria</i>	15	0%	0,159	0%
<i>Riscaldamento + Sanitario</i>	277	4%	4,733	8%
<i>Riscaldamento 12 Mesi</i>	79	1%	0,922	2%
<i>Usi Globali</i>	22	0%	3,347	6%
<i>Usi Promiscui</i>	334	5%	8,066	13%

Tabella 3.2 – Tipologie di fornitura contenute nella rete di teleriscaldamento

Tra le 5438 sottostazioni, però, non tutte sono state utilizzate per il modello, alcune, infatti, presentavano problemi non compatibili con lo studio successivo. Principalmente, queste incompatibilità sono state generate da caratteristiche intrinseche della fonte dei dati.

Essendo CNRG un sistema di fatturazione dei consumi, esso viene utilizzato anche nei casi in cui si vogliono fornire dei conguagli alle utenze, assegnando valori di energia venduta negativi, dunque non fisici, ma dal significato monetario. Pur mantenendo un bilancio annuale di consumo positivo, non essendo in grado di determinare la stagione di riferimento per il conguaglio (se sia riferito a quella corrente oppure a quella precedente), per non rischiare di ottenere risultati falsati, le SST con almeno un consumo negativo (370) sono state scartate.

Per alcune tipologie di utenze, le forniture sono a forfait, dunque il consumo è stimato, non misurato. Le SST che presentano unicamente questo tipo di consumi (4) sono state scartate, in quanto non indicative per rappresentare l'evoluzione dell'efficienza energetica.

Altre SST sono state escluse perché aventi solo energie nulle (5), soltanto un'energia positiva (8) oppure perché contenenti regolari consumi estivi, dunque di acqua calda sanitaria (3).

Dopo questa analisi preliminare dello storico dei consumi, 390 utenze sono state scartate (tabella 3.3).

	# SST	%	Volumetria [Mm ³]	%
<i>Riscaldamento 7 Mesi</i>	5438	100%	42,930	100%
<i>Campione utilizzato</i>	5048	93%	38,080	89%
<i>Scartate</i>	390	7%	4,849	11%
- <i>Consumi negativi</i>	370			
- <i>Solo un'energia positiva</i>	8			
- <i>Solo energie nulle</i>	5			
- <i>Consumi di ACS</i>	3			

Tabella 3.3 – Scrematura SST

Analisi del campione di utenze scelto

A questo punto, la selezione è completa, e sono state individuate 5048 sottostazioni. L'insieme di queste utenze è molto eterogeneo e verrà analizzato nel prossimo paragrafo.

Con riferimento alla tabella 3.4, la tipologia di utenza dominante è quella del condominio, presente in 4795 unità, corrispondenti al 95% delle sottostazioni; sono inoltre presenti ben 123 edifici scolastici, tra asili nido, scuole materne, elementari, medie e superiori; seguono poi 44 utenze municipali e 40 case popolari (ATC).

Condominio	4795
Scuola materna	50
Municipale	44
ATC	40
Scuola elementare	33
Privato	28
Scuola media	20
Scuola superiore	14
Grande utenza	7
Altri istituti scolastici	5
Ospedale	4
Caserme	4
Asilo nido	1
Provincia	1
Carcere	1
Ambulatorio	1
Totale complessivo	5048

Tabella 3.4 – Divisione sottostazioni per tipo di utenza

Per quanto riguarda la località, i comuni di Grugliasco e Moncalieri sono rappresentati soltanto da una sottostazione ciascuno, mentre Nichelino da 208; tutte le utenze rimanenti sono a Torino.

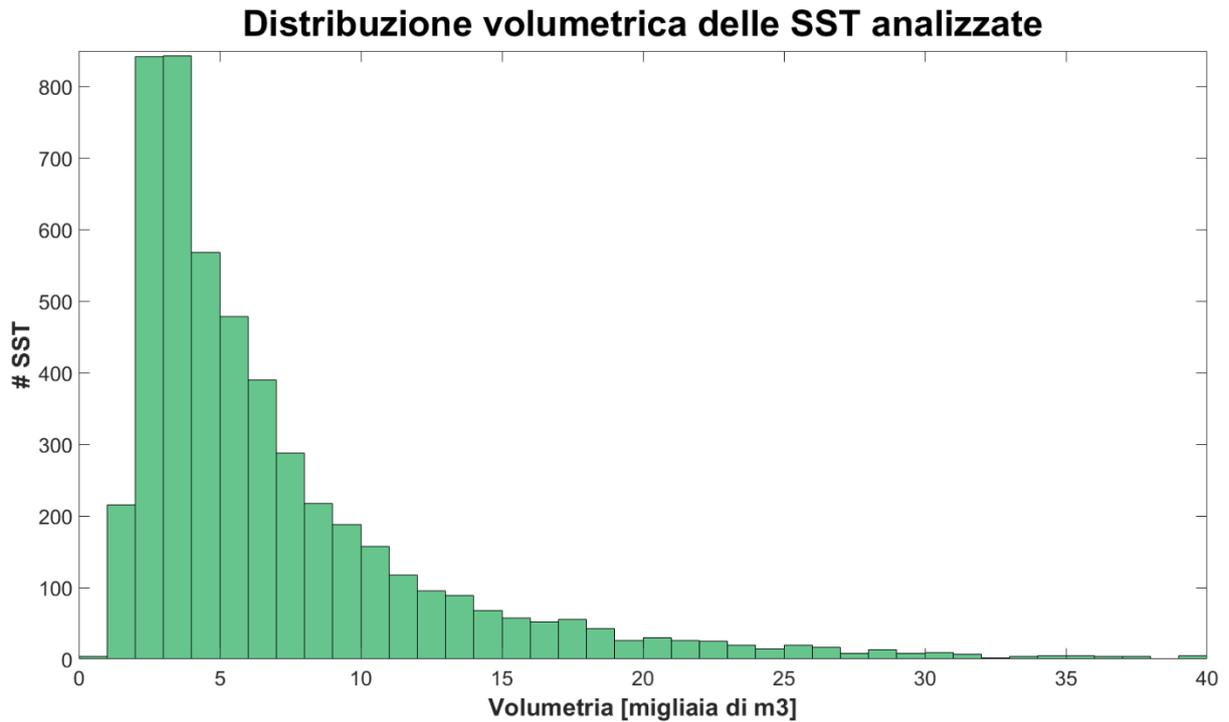


Figura 3.2 – Istogramma sulla volumetria delle sottostazioni

La distribuzione volumetrica delle sottostazioni è descritta dall'istogramma in figura 3.2. Come si può osservare, quasi la totalità delle utenze è caratterizzata da un volume inferiore a 10 migliaia di m³, per la precisione 4046 unità (80%). In particolare, i due picchi chiaramente individuabili sull'istogramma corrispondono alle 1704 sottostazioni (circa un terzo del totale) con volumetria compresa tra 2000 e 4000 m³. Per chiarezza, sono state escluse dal diagramma 31 “grandi utenze” dal volume superiore a 40 000 m³; tra queste, 5 superano i 100000 m³. La sottostazione assegnata alla volumetria più elevata in assoluto è quella corrispondente al Politecnico di Torino, che si occupa di riscaldare ben 900000 m³.

Efficacia del campione utilizzato

La domanda da porsi è: in vista di un'analisi sull'evoluzione dell'efficienza energetica della città, il campione di sottostazioni ottenuto è rappresentativo del comportamento globale della rete?

	#SST	%	Volumetria [Mm ³]	%
Numero totale SST	6165	100%	60,157	100%
Riscaldamento 7 Mesi	5438	88%	42,930	71%
Campione utilizzato	5048	82%	38,080	63%

Tabella 3.5 – Confronto tra campione di SST utilizzato e valori totali

Osservando la tabella 3.5, nella colonna della volumetria si potrebbe pensare che un campione di utenze che non copra i neanche i due terzi del volume allacciato alla rete non possa essere rappresentativo del suo andamento complessivo.

Ci sono due ragionamenti da fare. Per prima cosa, il modello utilizzato è applicabile esclusivamente a utenze che consumino energia per il solo riscaldamento, quindi il numero da prendere come riferimento non è 60, ma 42 milioni di m³. Relativamente a questo valore, la frazione scelta rappresenta l'89% della volumetria (cfr. tab. 3.3). Secondo, tra le 727 sottostazioni con i restanti tipi di fornitura, sono comprese molte utenze, quali ospedali, piscine, caserme, musei ed altri edifici pubblici, che singolarmente possono superare anche i 100000 m³. Esse, per loro natura, possono assumere comportamenti particolari e molto diversi dall'utenza standard della rete (ovvero il condominio) e andrebbero quasi trattate a parte: uniformarle al resto delle sottostazioni, anche se fosse possibile, non sarebbe propriamente corretto. L'insieme di queste "grandi utenze" fa vergere di parecchio i risultati dalla propria parte, per via della quota di volumetria che rappresenta, e potrebbe oscurare la varietà di comportamenti osservabili in sottostazioni più comuni come quelle scelte nel campione di riferimento. L'importanza di questo peso appare chiaramente dalla tabella 3.2, in cui si evince che "Usi Globali" e "Usi Promiscui", che rappresentano il 5% delle utenze, generino quasi il 20% del volume totale.

Per quanto riguarda invece il numero di sottostazioni, infatti, il campione scelto rappresenta la stragrande maggioranza del totale, superando l'80%, poiché contiene numerose utenze caratterizzate da volumetria relativamente bassa.

Il numero di sottostazioni scelto e i risultati generati dal modello, infine, sono dunque senza dubbio in grado di rappresentare il comportamento globale della rete di teleriscaldamento della Città di Torino, e la sua evoluzione negli anni.

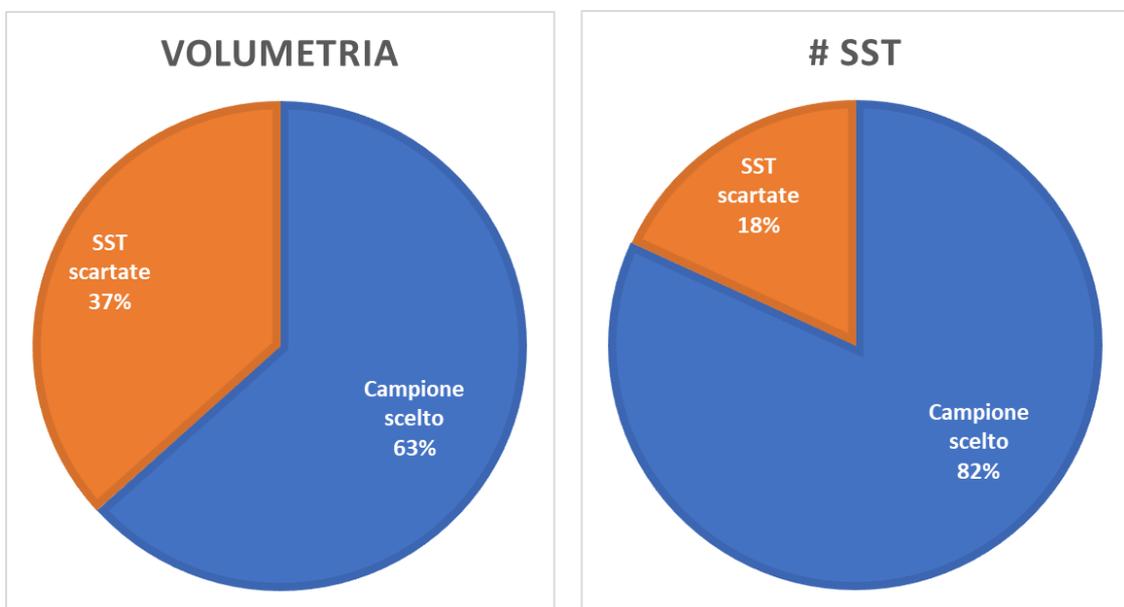


Figura 3.3 - Grafici a torta per rappresentare la scrematura delle sottostazioni

3.2 Gradi Giorno

I Gradi Giorno (GG), utilizzati nel modello per normalizzare i consumi per unità di volume rispetto alle condizioni meteo variabili da una stagione all'altra, sono “un parametro empirico utilizzato per il calcolo del fabbisogno termico di un edificio e rappresentano la somma delle differenze tra la temperatura dell'ambiente riscaldato (convenzionalmente 20°C) e la temperatura media esterna; la differenza è conteggiata solo se positiva” [S2]. La definizione di questa grandezza empirica deriva dal metodo di calcolo specificato dalla normativa UNI EN ISO 15927-6:2008 [4], come segue:

$$GG = \sum_{i=1}^n (T_0 - T_{me,i})^+$$

Dove:

- $T_0 = 20^\circ C$, temperatura ambiente convenzionale in Italia;
- n , numero di giorni del periodo convenzionale di riscaldamento;
- $T_{me,i}$, temperatura media esterna giornaliera del periodo convenzionale di riscaldamento;
- il simbolo ‘+’ sta ad indicare che nel calcolo si considerano solo le differenze positive di temperatura.

Il calcolo è effettuato per tutta la durata (‘n’) della stagione di riscaldamento, ovvero dal 15 ottobre al 15 aprile. Questo periodo convenzionale è determinato dalla fascia climatica assegnata al territorio, tramite il valore dei gradi giorni nel territorio, che, per la città di Torino è la fascia E [2].

I gradi giorno utilizzati in quest'analisi sono stati forniti da IREN, che affida la rilevazione ed il conseguente calcolo alla redazione della Rivista Nimbus®, Società Meteorologica Italiana Onlus (Collegio Carlo Alberto – Via Real Collegio 30, 10024 Moncalieri, TO).

Il metodo di calcolo utilizzato differisce da quello classico: in questo caso, ogni giorno vengono considerate quattro misurazioni di temperatura (il minimo, il massimo, la rilevazione alle 8:00 e quella alle 19:00); dunque la loro media aritmetica viene inserita come valore di “ $T_{me,i}$ ”.

Nella figura 3.4 è mostrata l'evoluzione temporale, per il periodo di tredici stagioni termiche compreso tra il 2005 ed il 2018, dei gradi giorno misurati dalla stazione meteorologica, con la sovrapposizione della linea orizzontale corrispondente al valore di riferimento per il territorio torinese, ovvero 2617 [2]. I valori esatti sono poi riportati nella tabella 3.6.

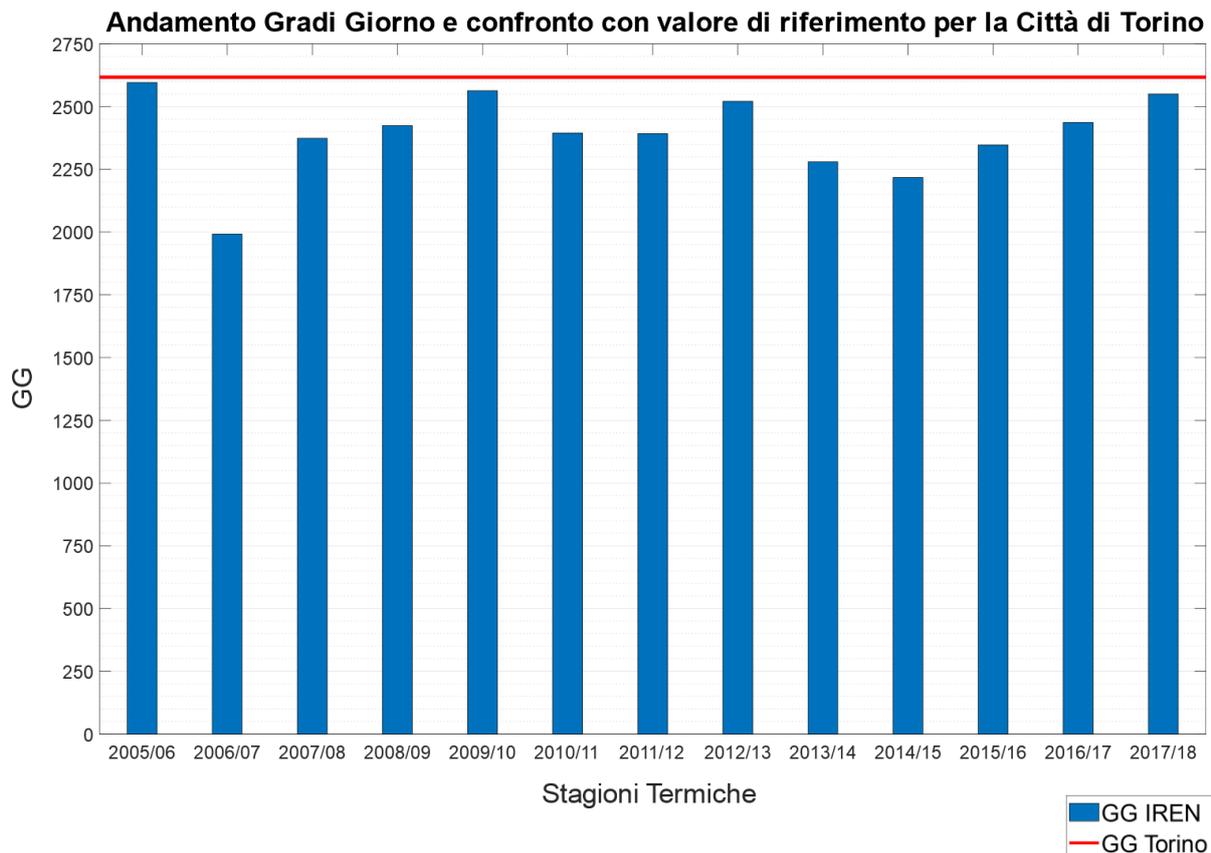


Figura 3.4 – Evoluzione GG misurati da IREN

Come possiamo osservare anche dal grafico, i gradi giorno rimangono per quasi tutto il periodo in un range di valori abbastanza limitato, compreso tra 2200 e 2600, con l'esclusione della stagione 2006/07, in cui è molto minore, ossia pari a 1992,1. Dalla definizione della grandezza, una stagione più fredda è caratterizzata da un valore di gradi giorno più elevato, di conseguenza quell'anno corrisponde invece a il più mite di tutto il periodo studiato.

Per come viene calcolato l'indice di prestazione energetica, se i gradi giorno sono inferiori rispetto al numero di riferimento (come si verifica per tutte le stagioni, in questo caso), il consumo specifico viene moltiplicato ad un numero maggiore di uno. Ciò perché ci si aspetta che durante una stagione non troppo fredda, la sottostazione sia più avvantaggiata nel

consumare meno energia. Al contrario, durante un inverno più rigido, è normale che sia necessario più calore per il riscaldamento, e dunque l'efficienza in quell'anno risulta meno penalizzata. In generale, più i gradi giorno sono bassi, più il valore di EP è aumentato dal prodotto del rapporto tra il valore costante di riferimento ed essi.

Stagione	GG
2005/06	2595,2
2006/07	1992,1
2007/08	2373,5
2008/09	2424,4
2009/10	2563,3
2010/11	2394,4
2011/12	2392,0
2012/13	2520,4
2013/14	2280,0
2014/15	2217,2
2015/16	2347,0
2016/17	2436,3
2017/18	2550,2

Tabella 3.6 - Andamento GG misurati da IREN

3.3 Consumo annuo di energia per il riscaldamento

Il consumo annuo di calore per il riscaldamento è stato calcolato sommando tutti i valori mensili di energia venduta, per ciascuna sottostazione, per ogni stagione termica di attività.

3.4 Applicazione del modello

Una volta individuato il campione di utenze da analizzare, in base ai semplici requisiti elencati all'inizio di questo capitolo, e dopo aver raccolto tutti i dati di input (energia annua, volumetria e gradi giorno), il modello si può applicare ad ogni sottostazione calcolando EP in ciascuna stagione di attività della stessa, e assegnando successivamente la classe di efficienza energetica corrispondente al valore dell'indice.

Come si può dedurre, il modello sviluppato è indipendente da caratteristiche, tecniche o territoriali, di questo sistema in particolare, e rimane infatti perfettamente generico ed applicabile ad altre reti di teleriscaldamento, purché si disponga di una serie di dati in input di simile qualità.

A questo punto, il valore di EP è stato calcolato per tutte le utenze, in tutte le stagioni di attività, e sono state assegnate le classi di efficienza energetica corrispondenti. Questa grande mole di dati è disordinata e di difficile interpretazione, nei prossimi capitoli i risultati saranno presentati in varie aggregazioni, per interpretare tramite essi l'evoluzione del sistema di utenze allacciate alla rete di teleriscaldamento di Torino.

I calcoli, le tabelle, i grafici e le mappe successive sono stati ottenuti utilizzando il software **MATLAB®** nella release **R2018a**².

² Licenza "CAMPUS-WIDE", MathWorks – Total Academic Headcount (TAH) via Politecnico di Torino

Capitolo 4. Risultati dell'analisi

4.1 Andamento delle grandezze globali nel tempo

Questo paragrafo presenta una valutazione complessiva dell'evoluzione temporale delle grandezze caratteristiche della rete.

Per ogni stagione sono stati calcolati:

- il numero delle utenze;
- la volumetria attiva;
- l'energia venduta globale;
- il rapporto tra i gradi giorni di riferimento e quelli misurati;
- l'indice di prestazione energetica (EP) medio, inteso come valore equivalente per rappresentare la rete di teleriscaldamento.

Il numero di sottostazioni attive per ogni anno è calcolato sommando tutte le utenze che abbiano registrato consumi non nulli in quella stagione; e, corrispondentemente, la volumetria e l'energia venduta sommando rispettivamente i volumi e i consumi annuali di ciascuna di esse.

Infine, l'indice EP medio della rete, per la stagione 'j', è stato calcolato come dalla definizione di media aritmetica con 'n' elementi discreti, ossia per le 'n' sottostazioni attive nella stagione termica considerata ('#SST_j')

$$\overline{EP} (stag. j) = \frac{1}{\#SST_j} \cdot \sum_{i=1}^{\#SST_j} EP_i(stag. j) \quad \left[\frac{kWh}{m^3} \right]$$

I risultati sono visibili nella tabella 4.1.

<i>Grandezze globali</i>	# SST attive	Volumetria attiva [Mm ³]	Energia venduta [GWh/stag.]	GG Torino / GG anno n	EP medio della rete [kWh/m ³]	Classe energetica equivalente
2005/06	1564	15,36	628,92	1,008	43,6	C silver
2006/07	1992	19,94	597,66	1,314	42,7	C silver
2007/08	2219	22,50	792,74	1,103	42,0	C silver
2008/09	2222	22,57	825,80	1,079	42,5	C silver
2009/10	2624	24,48	944,73	1,021	41,7	C silver
2010/11	3017	26,31	946,80	1,093	41,4	C silver
2011/12	3677	30,36	1075,65	1,094	40,8	C silver
2012/13	4155	33,07	1160,57	1,038	38,1	C gold
2013/14	4347	34,16	1046,98	1,148	36,7	C gold
2014/15	4457	34,73	1009,56	1,180	35,7	C gold
2015/16	4531	35,14	1052,26	1,115	34,7	C gold
2016/17	4791	36,67	1101,80	1,074	33,3	C gold
2017/18	5034	37,97	1141,33	1,026	31,8	C gold

Tabella 4.1 – Evoluzione delle grandezze globali della rete, in termini assoluti

Come verrà ripetuto anche in seguito, è necessario ricordare che la lista di sottostazioni attive durante la stagione 2005/06 fa riferimento a tutte le utenze collegate alla rete di teleriscaldamento di Torino fino a quel momento, ovvero per tutto il periodo che va dall'inizio della sua storia al primo anno dell'analisi, ed ancora operative; tale insieme riunisce dunque utenze molto eterogenee, poiché attivate in periodi anche parecchio diversi tra loro, con le più vecchie risalenti agli anni '80 (cfr. cap. 1 par. 3).

Di conseguenza, i valori calcolati per quella stagione (numero di sottostazioni attive, volumetria allacciata, energia venduta ed indice di prestazione energetica medio) costituiscono un'ottima base di riferimento per evidenziare l'evoluzione successiva della rete e delle sue utenze.

L'interpretazione dei dati globali, quindi, diventa molto più immediata ed efficace se essi vengono rapportati ai valori assunti nella stagione iniziale. Il grafico dell'evoluzione temporale di queste frazioni è riportato nella pagina successiva (figura 4.1).

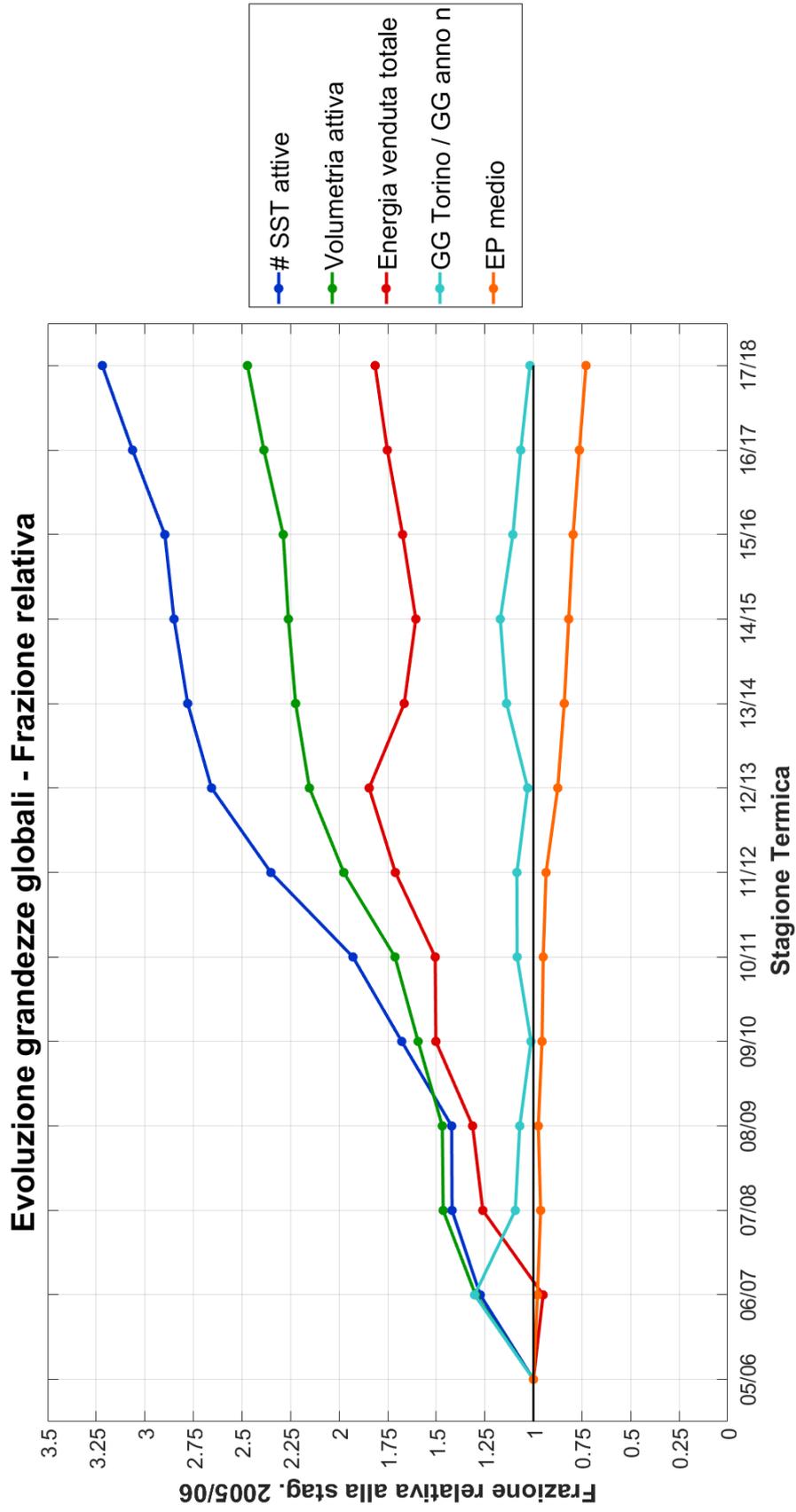


Figura 4.1 – Evoluzione delle grandezze globali della rete, rappresentata come frazione relativa al valore assunto nella stagione iniziale (2005/06)

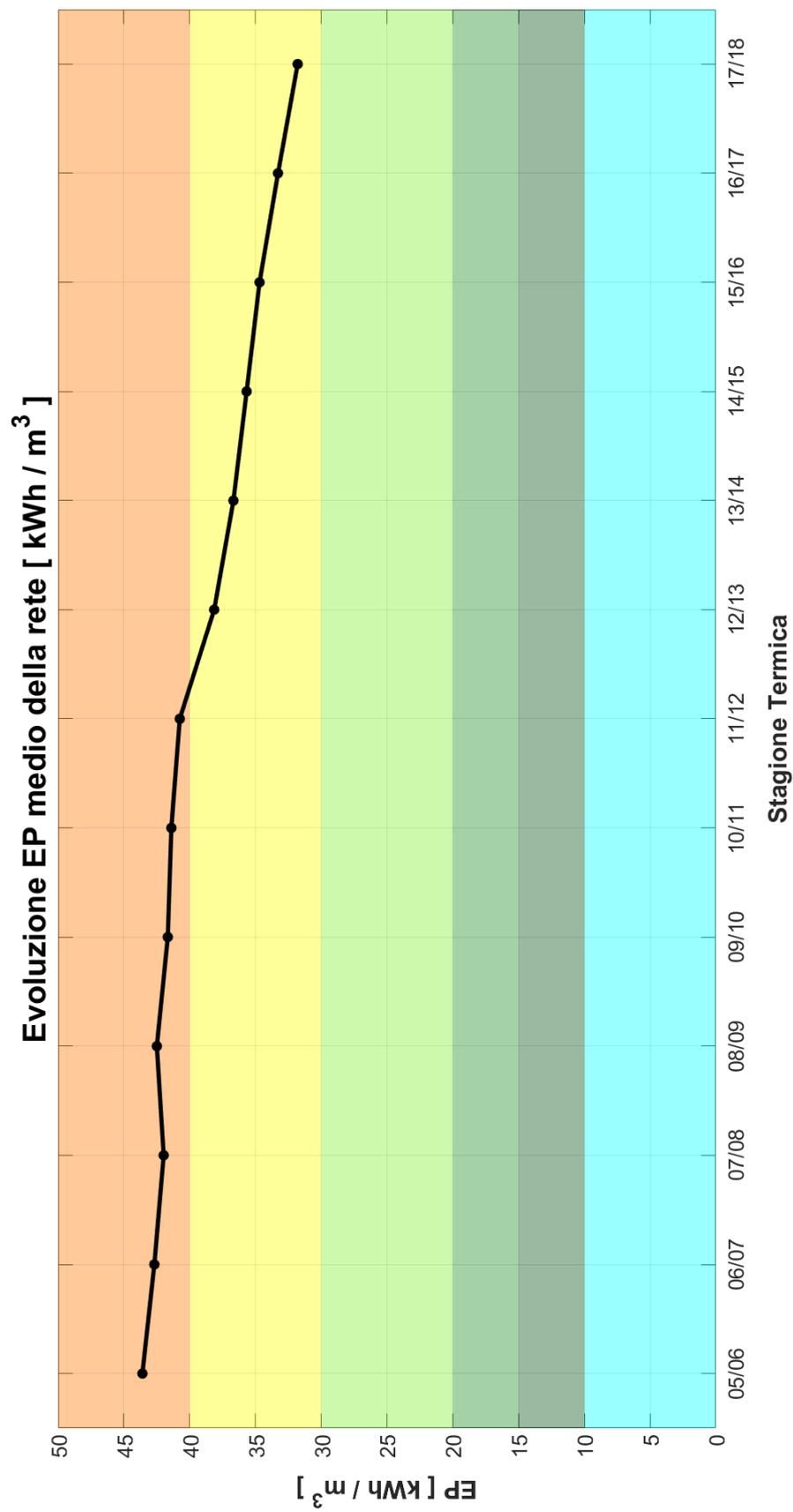


Figura 4.2 – Andamento dell'indice di prestazione energetica, sovrapposto agli intervalli corrispondenti alle classi di efficienza

Sia il numero di sottostazioni (**curva blu**) che la volumetria attiva (**curva verde**) hanno un andamento monotono crescente, e saranno descritte parallelamente. Dal 2006/07 al 2008/09 entrambe sono caratterizzate da una pendenza molto ridotta, quasi orizzontale, segno che, escluso il periodo tra primo e secondo anno, in queste tre stagioni non siano state collegate molte nuove utenze (come si vedrà nel dettaglio nel paragrafo 4.3). Dal 2010 in poi l'espansione della rete diventa invece evidente, quasi inarrestabile: in pochi anni si passa dal 50% di sottostazioni in più rispetto al 2005/06 fino ad arrivare al 200%, e a superarlo.

In questa porzione di grafico, però, si inizia ad osservare un allontanamento reciproco delle due curve: mentre la pendenza della linea blu corrispondente al numero di unità rimane abbastanza costante ed elevata, quella della linea verde relativa alla volumetria diminuisce, ritornando quasi orizzontale. Questo comportamento “matematico” è interpretabile come una tendenza strategica dei gestori della rete ad allacciare sempre nuove utenze, ma con volumi progressivamente ridotti, e dipende anche dalla “disponibilità di potenza” residua nelle diverse zone.

Le due curve, in ogni caso, raggiungono i massimi di incremento in maniera sincronizzata; questi picchi di pendenza si verificano in tre intervalli di tempo individuabili sull'asse orizzontale: dopo la prima stagione, poi nel periodo compreso tra il 2010/11 e il 2012/13, e infine negli anni più recenti dell'analisi, ossia dal 2015/16 alla stagione corrente. Le ultime due tappe, in particolare, sono fondamentali nello sviluppo storico della rete, che cambia notevolmente dal punto di vista territoriale, la sua diffusione infatti diventa quasi capillare (cfr. Capitolo 5) ed anche dal punto di vista dell'efficienza energetica.

Rimanendo su quest'ultimo tema, l'attenzione viene ora spostata sulla curva dell'energia venduta (**linea rossa**). Escluso il passaggio da prima a seconda stagione, l'andamento di questa grandezza è molto simile a quello della volumetria, con la differenza che in questo caso viene raggiunto un massimo assoluto, precisamente durante la stagione 2012/13, seguito da un periodo a pendenza negativa, prima che quest'ultima ritorni positiva a partire dal 2014, per terminare nell'ultimo anno con un valore molto vicino al picco assoluto. Il comportamento caratteristico di questa grandezza, differente dai due visti in precedenza, è un

primo segnale che permette di immaginare i risultati successivi in termini di efficienza energetica.

La curva dei gradi giorno (in **color celeste**), per sua natura, non segue alcun tipo di andamento particolare.

Per il modo in cui viene calcolato questo rapporto, un anno più freddo ha un valore che tende all'unità. Nel periodo studiato, le stagioni più rigide sono la prima, la 2009/10, la 2012/13 e l'ultima.

Al contrario, l'anno più mite in assoluto, ossia quella caratterizzata dal valore minimo dei gradi giorno, è la stagione 2006/07; ciò costituisce la causa del singolare comportamento rilevato per l'energia venduta in quell'anno, durante il quale questa grandezza diminuisce, nonostante il numero di sottostazioni attivate e la corrispondente volumetria aumentino notevolmente. In generale, i gradi giorno si mantengono comunque attorno ad un range di valori non troppo dispersivo, come si può osservare dalla curva.

Infine, l'EP medio della rete (**curva arancione**) ha un andamento monotono decrescente, ovvero verso prestazioni energetiche migliori. La sua evoluzione è mostrata in termini assoluti nella figura 4.2. L'indice, nella stagione più recente, assume un valore pari al 73% di quello iniziale, con pendenza negativa media di circa -2% all'anno. Sovrapponendo gli intervalli corrispondenti alle diverse classi di efficienza, si osserva come l'EP medio, che partiva circa a metà della classe "C silver" (43,6 kWh/m³), la attraversi completamente, entrando in C gold a partire dalla stagione 2012/13. L'ultimo valore di EP medio calcolato (31,8 kWh/m³), infine, è molto vicino al limite superiore della classe "B silver", e, vista la pendenza sorprendentemente quasi costante che verificatasi dal 2012, è quasi certo ci entrerà in tempo molto breve.

4.2 Variazione complessiva dell'indice tra prima ed ultima stagione

L'andamento dell'indice di prestazione energetica equivalente della rete converge indubbiamente verso valori più bassi, ossia in direzione di un'efficienza migliore. L'obiettivo di questa sezione è quello di analizzare l'EP medio nei dettagli, e di cercare quali siano le componenti del parco edilizio che tendano a migliorare il suo valore e quali invece a peggiorarlo.

Per prima cosa, sono state considerate tutte le sottostazioni attive per più di una stagione (ovvero fino a quelle installate nel 2016/17), e, per ciascuna di esse, è stata calcolata la differenza in termini di EP tra la stagione di attivazione e l'ultima. In questo modo, un valore negativo implica un aumento di efficienza energetica.

I risultati sono stati ordinati in modo decrescente e plottati sia in termini di variazione assoluta (figura 4.3) che percentuale (figura 4.4).

Come è possibile osservare dalla linea nera verticale, posizionata nell'ascissa corrispondente al cambiamento di segno, la maggioranza assoluta delle sottostazioni (4133 utenze) è migliorata in efficienza, mentre soltanto 671 unità (13,29%) sono peggiorate, con una volumetria corrispondente di 4,387 milioni di m³ (11,52% del totale).

Da questi grafici, però, non è possibile distinguere tra sottostazioni più recenti o più vecchie.

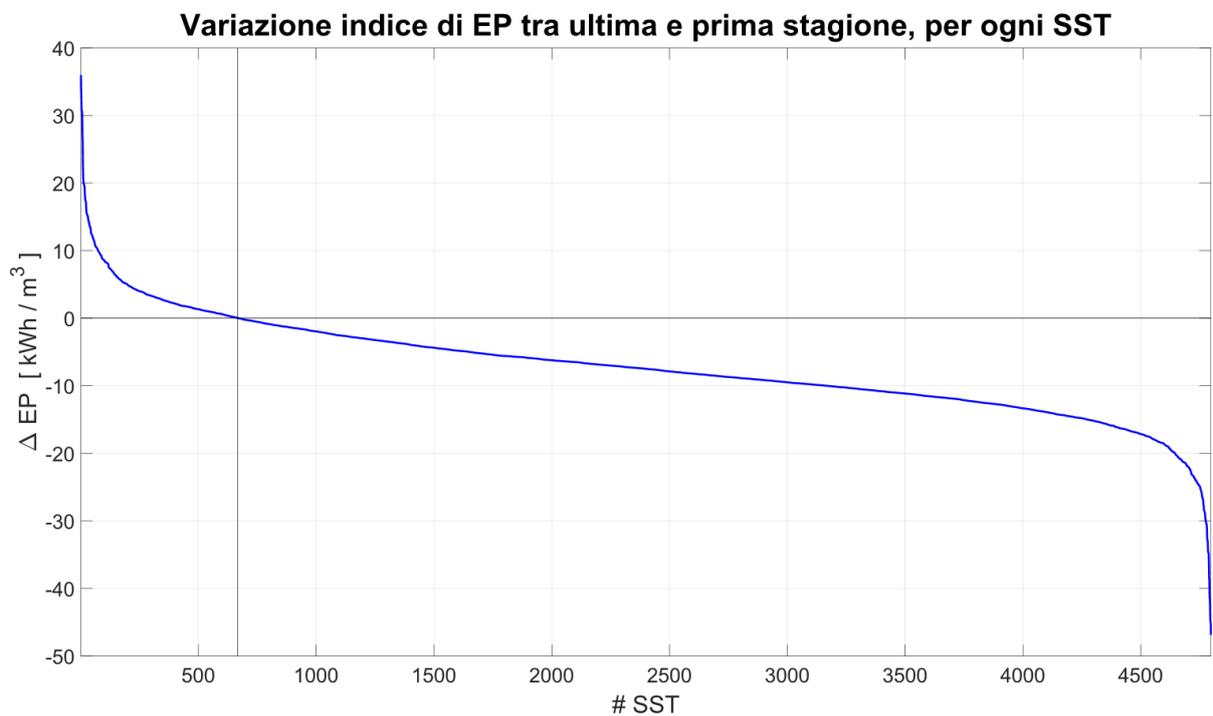


Figura 4.3 – Delta EP totale per ogni sottostazione

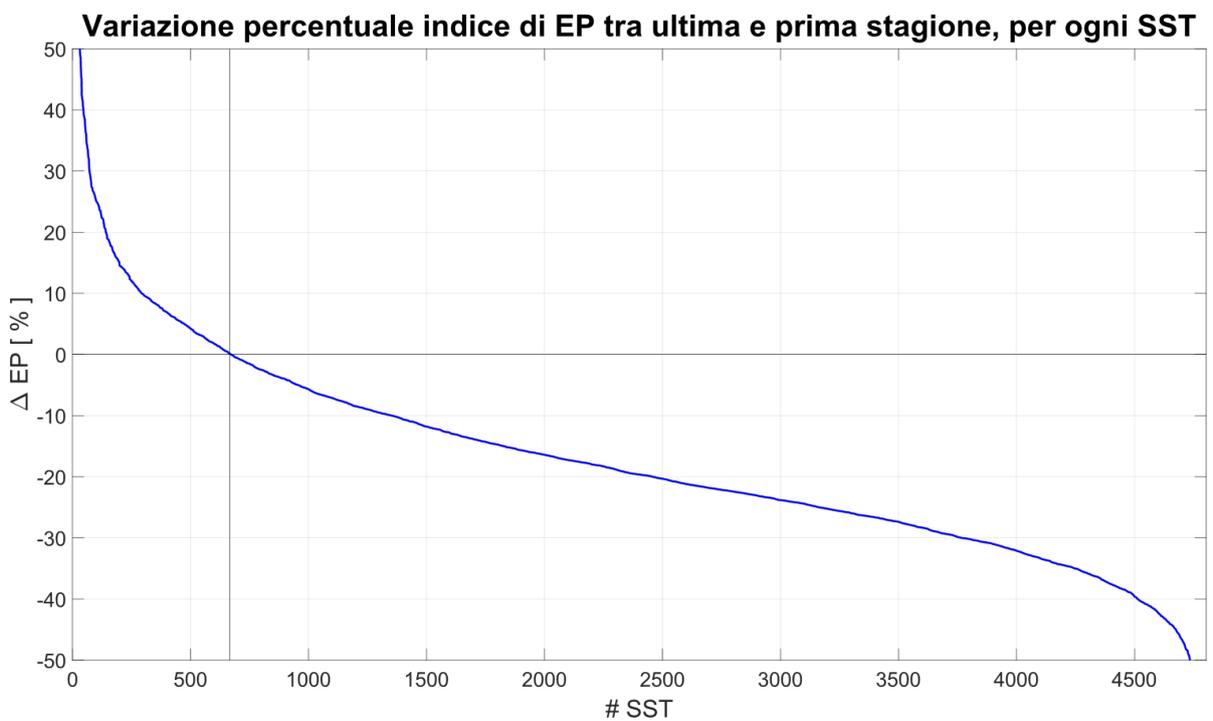


Figura 4.4 – Delta EP totale, espresso in percentuale, per ogni sottostazione

4.3 Analisi delle utenze secondo la stagione di attivazione

Il focus dell'analisi è stato spostato verso la differenziazione delle utenze in base all'anno di attivazione. Nella tabella 4.2 sono elencate le sottostazioni attivate e le rispettive volumetrie, per ogni stagione. Sommando il numero delle utenze, si vedrà che è inferiore a 5048, sono state escluse da questa analisi (e trattate a parte) 15 SST con accensioni intermittenti.

Stagione di attivazione	# SST attivate	Volumetria [Mm3]
2005/06	1554	15,294
2006/07	427	4,569
2007/08	228	2,539
2008/09	4	0,105
2009/10	403	1,933
2010/11	392	1,794
2011/12	658	4,041
2012/13	478	2,715
2013/14	193	1,125
2014/15	112	0,577
2015/16	79	0,425
2016/17	261	1,548
2017/18	244	1,301
TOTALE	5033	37,966

Tabella 4.2 – Sottostazioni divise per stagione di attivazione

Il punto di partenza è l'analisi delle sottostazioni attive nel 2005/06. Si ricordi che in questa categoria sono comprese tutte le utenze installate entro quell'anno, dunque sono incluse quelle attivate nelle stagioni precedenti. Delle 1554 sottostazioni, infatti, soltanto 238 sono state costruite negli anni 2000. Sono inoltre presenti le utenze appartenenti alle zone storiche della rete di teleriscaldamento: 15 sottostazioni del quartiere Vallette, risalenti al 1982, e 45 di Mirafiori Nord, installate nel 1988. Rimangono infine altre 1256 utenze allacciate negli anni '90, principalmente nella zona di Torino Sud (in cui se ne contano 1203).

	# SST	%
Le Vallette	15	1%
Mirafiori Nord	45	3%
Anni '90	1256	81%
Anni '00	238	15%
TOTALE	1554	100%

Tabella 4.3 – Sottostazioni attivate entro la stagione 2005/06

Fatta questa premessa, è logico non aspettarsi prestazioni energetiche complessivamente buone da questa larga frazione di sottostazioni. Il grafico nella figura 4.5 conferma questa previsione. L'EP medio delle unità attivate entro la stagione 2005/06 (curva blu) è infatti sempre maggiore di quello medio della rete globale (curva nera).

La prova chiarissima del fatto che questa porzione di utenze faccia da peso verso una prestazione energetica globale minore si trova osservando le due stagioni immediatamente successive alla prima: nonostante la volumetria aggiunta alla rete non copra nemmeno la metà di quella precedente al 2006 (circa 7 milioni di m³ complessivi nei due anni contro i 15 iniziali), l'indice EP medio risulta comunque discretamente inferiore. Tale ruolo di "peso" si manterrà poi per tutte le stagioni successive.

Nelle pagine che seguono, dalla figura 4.5 alla 4.11, sono rappresentate queste tipologie di confronto per tutte le 13 stagioni fino alla 2017/18, in cui la curva ovviamente degenera in un punto singolo.

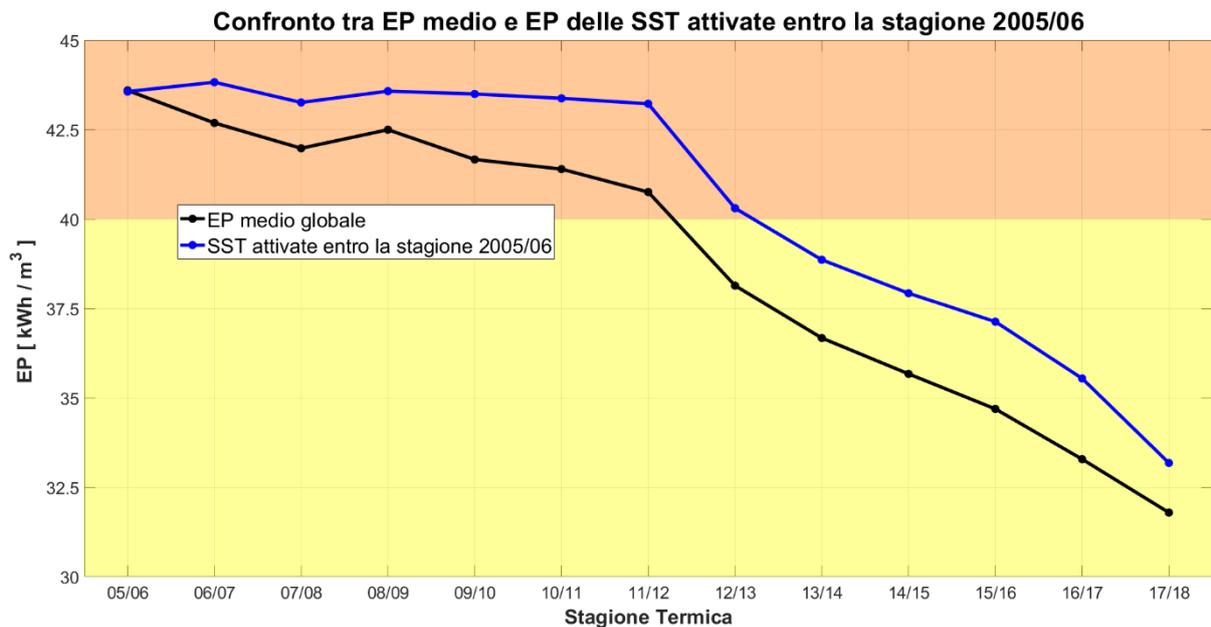


Figura 4.5 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate entro la stagione 2005/06

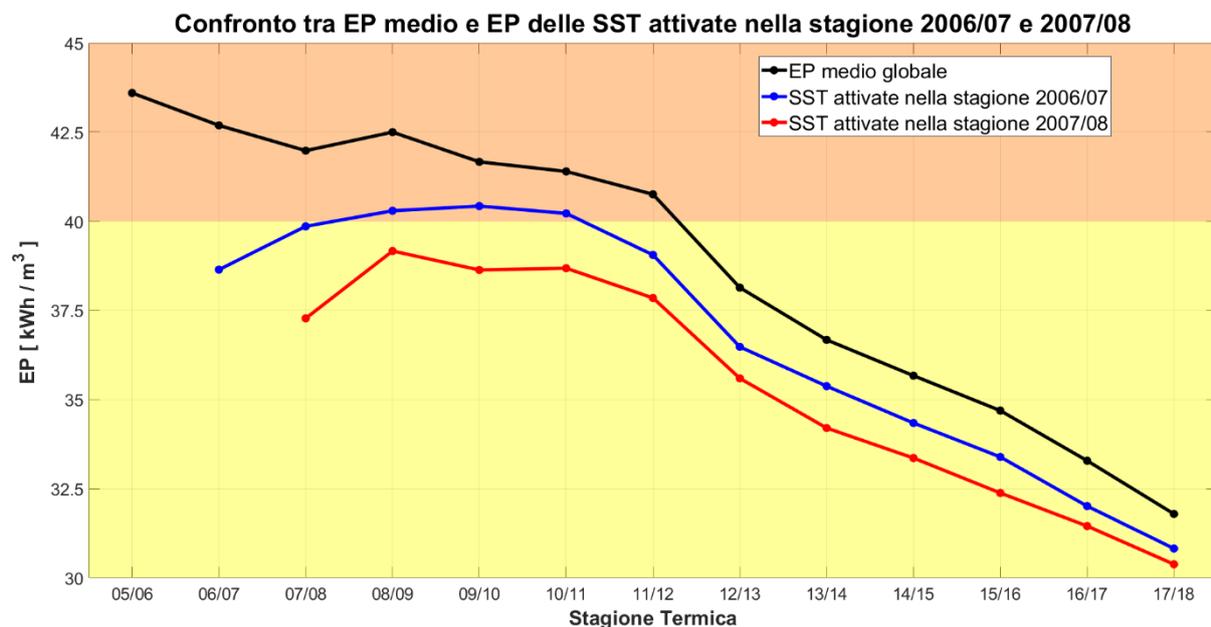


Figura 4.6 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2006/07 e 2007/08

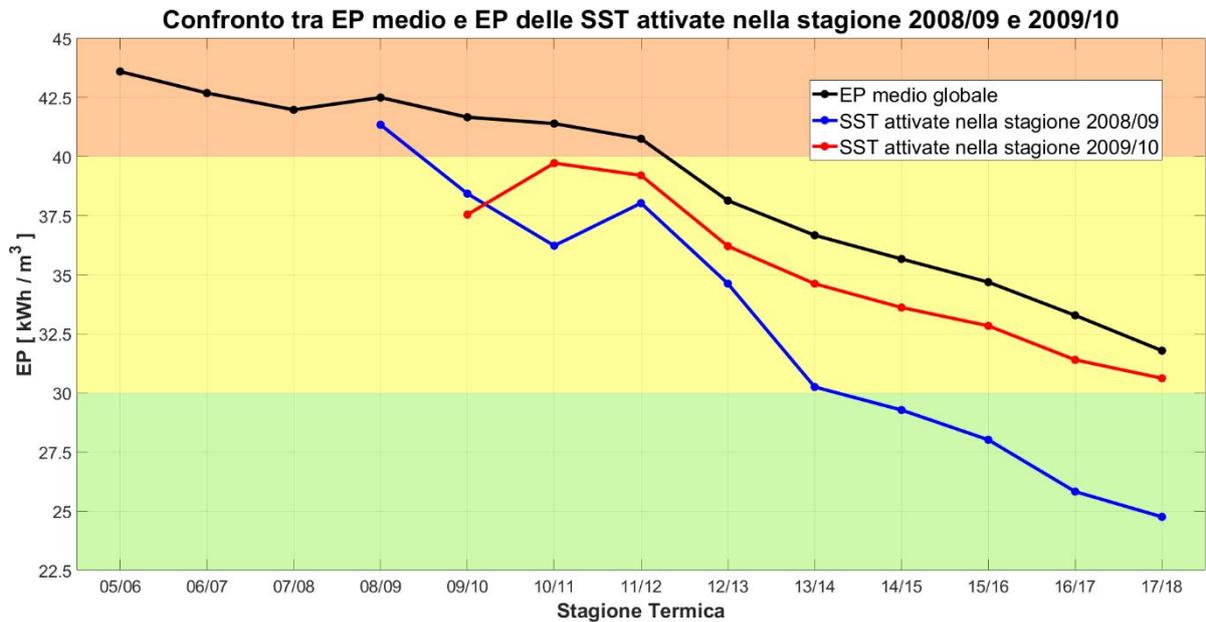


Figura 4.7 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2008/09 e 2009/10

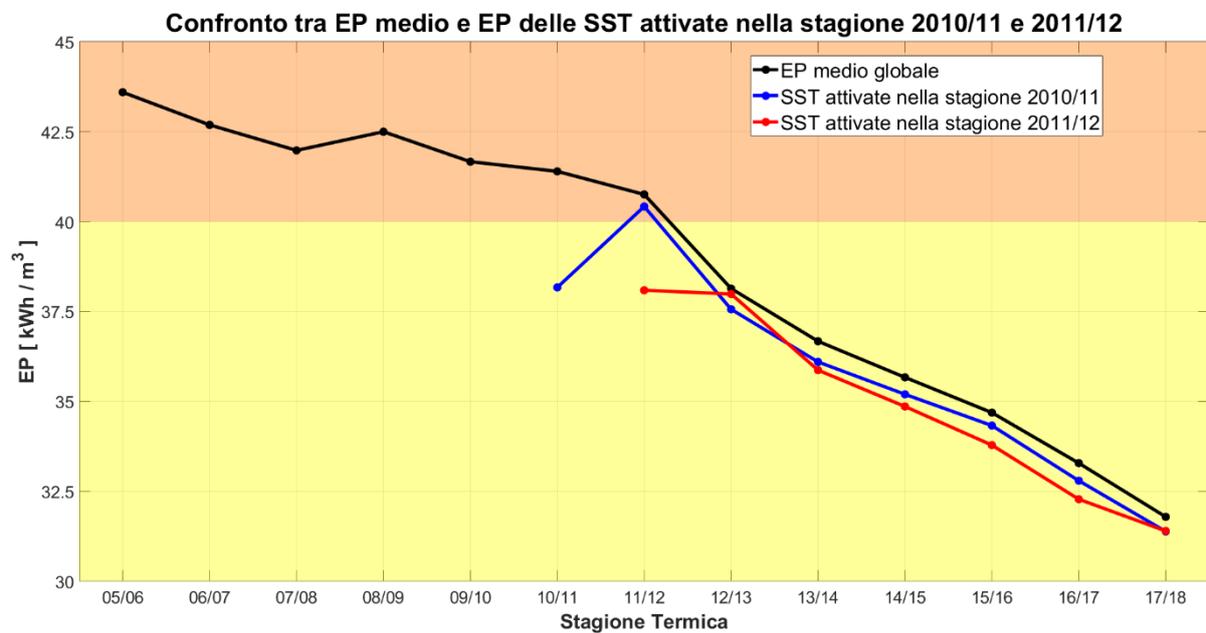


Figura 4.8 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2010/11 e 2011/12

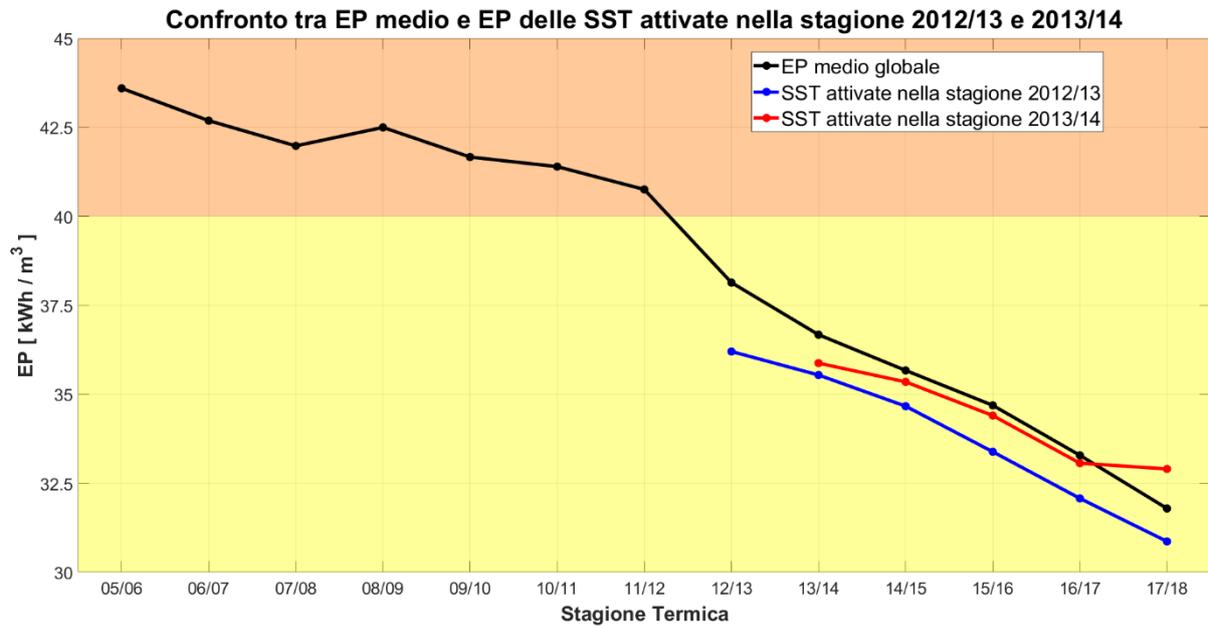


Figura 4.9 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2012/13 e 2013/14

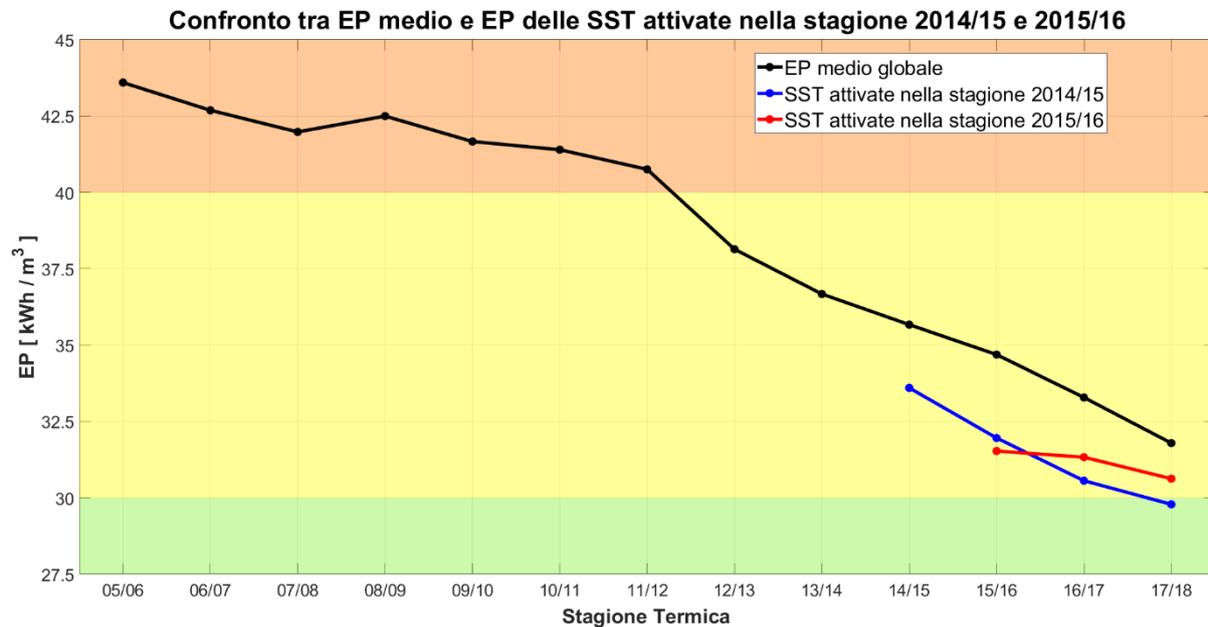


Figura 4.10 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2014/15 e 2015/16

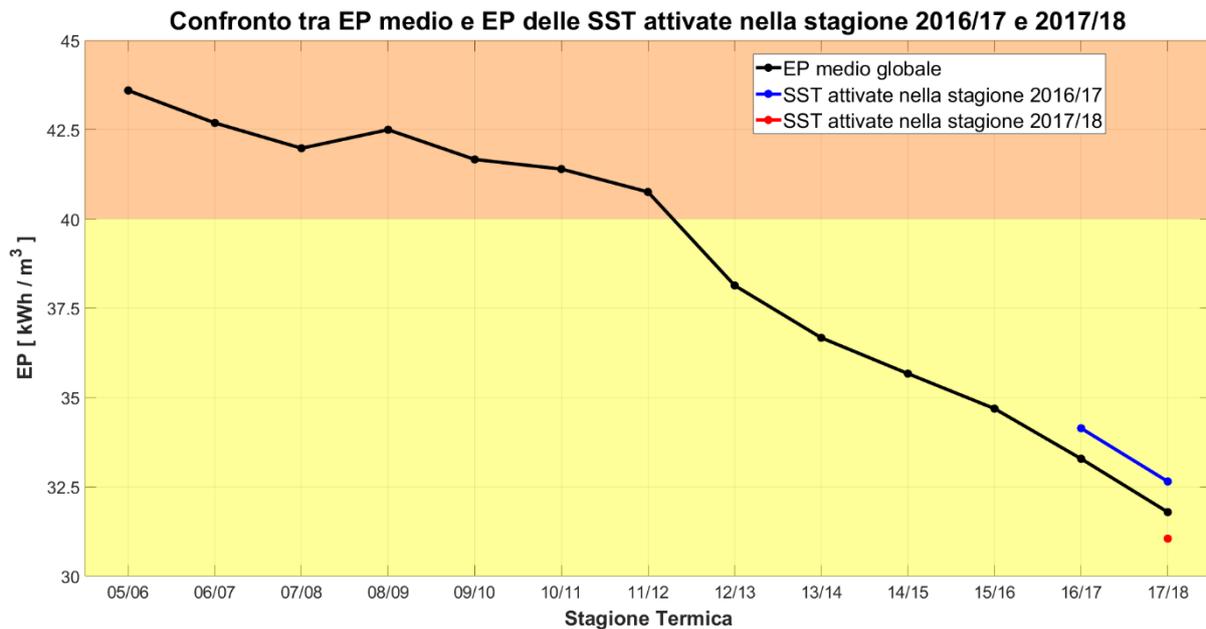


Figura 4.11 – Confronto tra EP medio globale e quello delle SST attivate nelle stagioni 2016/17 e 2017/18

Osservando questi grafici si può notare come in tutte le 12 stagioni successive alla prima, le prestazioni energetiche siano migliori rispetto alla media della rete, tranne per le 193 SST attivate nel periodo 2013/14, ma con efficienze peggiori soltanto nell'anno corrente, e per le 261 utenze allacciate nella stagione 2016/17, sorprendentemente per entrambi i loro anni di attività. Può interessante approfondire l'analisi di queste unità, cercando di capire le ragioni di tale comportamento, e ciò sarà affrontato nel paragrafo finale del Capitolo 5.

Se queste figure sono state capaci di fornire indicazioni sulla qualità delle sottostazioni installate nelle varie stagioni lungo tutto il periodo, non sono però in grado di evidenziare quale sia il ruolo quantitativo di ciascuna nel formare il valore totale. Per esempio, le 4 SST attivate nel 2008/09, che hanno prestazioni energetiche ottime, costituiscono sicuramente un peso irrilevante sull'efficienza della rete.

Per quantificare il contributo che le SST attivate in una stagione hanno sull'EP medio globale della rete è sufficiente usare, molto semplicemente, la stessa definizione di media aritmetica:

$$\overline{EP}(\text{stagione } j) = \frac{1}{\#SST_{\text{attive } j}} \cdot \sum_{i=1}^{\#SST_{\text{attive } j}} EP_i(\text{stagione } j)$$

Per valutare le quote che formano l'EP medio per ciascuna delle 13 stagioni considerate, l'operatore sommatoria viene separato in 'i' termini, con 'i' che va da 1 (stag. 2005/06) a 'j', e ogni i-esimo addendo sarà costituito da:

- a numeratore, la somma degli EP, per la stagione 'j', delle sottostazioni attivate nella stagione 'i',
- a denominatore, il numero di sottostazioni totali attive durante la stagione 'j'.

Si riportano in seguito le quote percentuali a formare il valore di EP medio nella stagione 2017/18:

SST attivate nella stagione	# SST attivate	Volumetria attivata [Mm3]	Quota sull'EP medio 2017/18
2005/06	1554	15,29	32,2%
2006/07	427	4,57	8,2%
2007/08	228	2,54	4,3%
2008/09	4	0,11	0,1%
2009/10	403	1,93	7,7%
2010/11	392	1,79	7,7%
2011/12	658	4,04	12,9%
2012/13	478	2,71	9,2%
2013/14	193	1,12	4,0%
2014/15	112	0,58	2,1%
2015/16	79	0,42	1,5%
2016/17	261	1,55	5,3%
2017/18	244	1,30	4,7%

Tabella 4.4 – Sottostazioni attivate nelle varie stagioni del periodo analizzato

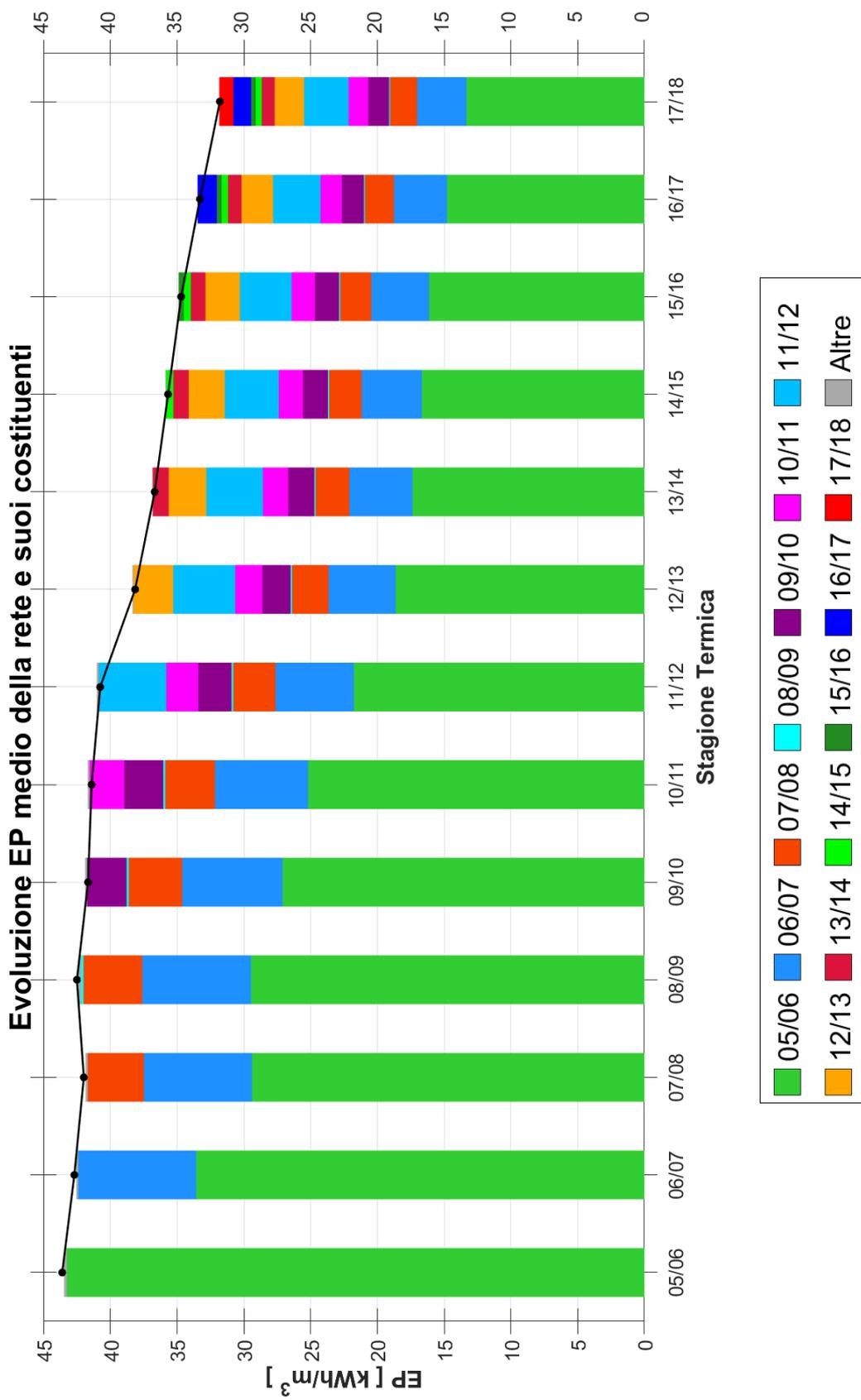


Figura 4.12 – Evoluzione di EP medio della rete e delle sue quote relative

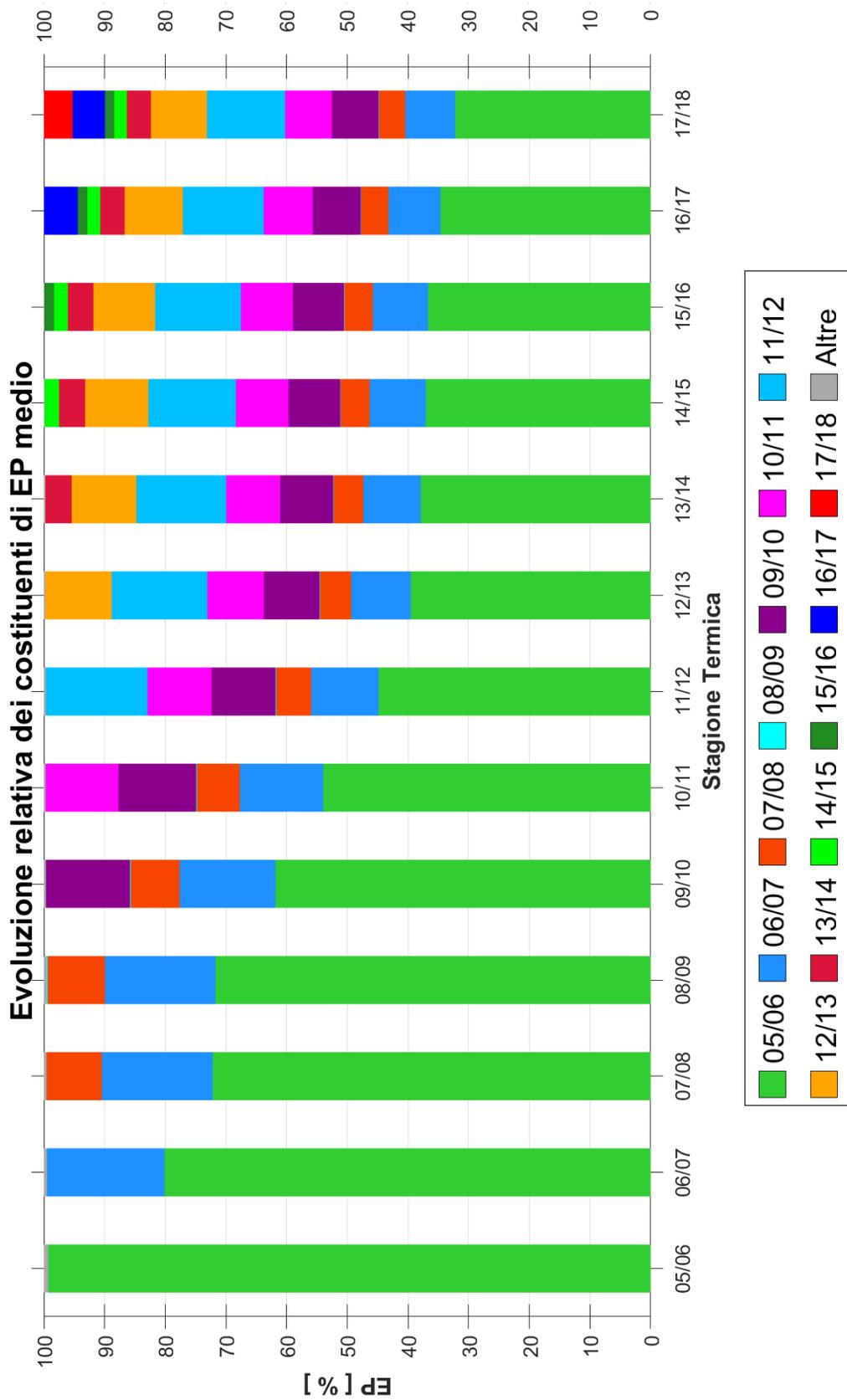


Figura 4.13 – Evoluzione percentuale delle quote relative al valore di EP medio della rete

Analizzando i grafici in figura 4.12 e 4.13, appare molto chiaro quanto sia pesante il contributo delle sottostazioni “vecchie”, che scende sotto il 50% soltanto dopo il 2011, ma rimane comunque ancora quasi un terzo del totale nell’ultima stagione.

Questo è giustificato anche dal fatto che le 1554 utenze attivate entro il 2005/06 rappresentano ancora circa il 40% della volumetria totale. Risulta evidente anche da queste rappresentazioni come il periodo tra il 2009 e il 2013 abbia rivoluzionato la rete, portando tanti nuovi edifici meno energivori.

I rettangoli grigi molto sottili che si intravedono sulla cima di alcune barre (citati nella legenda come “Altre”) costituiscono il contributo delle 15 sottostazioni ad accensione intermittente, citate in precedenza, che sono state trattate a parte.

4.4 Evoluzione temporale delle classi di efficienza energetica

Dopo lo studio degli andamenti delle grandezze globali della rete, l'attenzione si sposta sull'evoluzione temporale delle classi di efficienza energetica associate a ciascuna utenza.

Analisi complessiva

L'analisi inizia da un punto di vista complessivo, e i risultati vengono mostrati nelle seguenti rappresentazioni:

- Tabelle 4.5 e 4.6, con i valori della volumetria, associata a ciascuna classe di efficienza, rispettivamente in termini assoluti ed in frazioni relative;
- Tabelle 4.7 e 4.8, con lo stesso significato delle precedenti, ma calcolate sul numero di sottostazioni, invece che sul volume;
- Figure 4.14 e 4.15, rappresentanti graficamente gli andamenti temporali corrispondenti all'evoluzione della volumetria.

Classi	05/ 06	06/ 07	07/ 08	08/ 09	09/ 10	10/ 11	11/ 12	12/ 13	13/ 14	14/ 15	15/ 16	16/ 17	17/ 18
A+	0,0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
A	0,0	0,9	0,9	0,9	1,0	0,0	1,0	1,0	1,3	1,3	1,4	1,4	1,2
B gold	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	1,1	0,2	0,5	0,4	0,4	0,8	0,9	1,1
B silver	0,7	0,9	1,4	1,3	1,3	1,6	2,3	4,2	6,3	7,7	9,1	11,6	14,2
C gold	5,5	8,1	9,0	7,9	9,7	10,3	13,1	15,9	15,7	16,0	15,6	16,1	17,3
C silver	6,9	7,4	8,4	9,4	9,5	10,3	10,4	9,3	8,4	7,4	6,6	5,2	2,9
D	1,7	2,0	2,1	2,4	2,4	2,6	2,8	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,7
E	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Tot.	15,4	19,9	22,5	22,6	24,5	26,3	30,4	33,1	34,2	34,7	35,1	36,7	38,0

Tabella 4.5 – Evoluzione volumetrica classi di efficienza [milioni di m3]

Classi	05/ 06	06/ 07	07/ 08	08/ 09	09/ 10	10/ 11	11/ 12	12/ 13	13/ 14	14/ 15	15/ 16	16/ 17	17/ 18
A+	0%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
A	0%	5%	4%	4%	4%	0%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	3%
B gold	3%	1%	1%	1%	1%	4%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	3%
B silver	5%	4%	6%	6%	5%	6%	8%	13%	19%	22%	26%	32%	37%
C gold	36%	41%	40%	35%	39%	39%	43%	48%	46%	46%	44%	44%	46%
C silver	45%	37%	37%	42%	39%	39%	34%	28%	25%	21%	19%	14%	8%
D	11%	10%	9%	10%	10%	10%	9%	5%	4%	4%	3%	3%	2%
E	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 4.6 – Evoluzione percentuale delle classi di efficienza energetica [% in volume]

Classi	05/ 06	06/ 07	07/ 08	08/ 09	09/ 10	10/ 11	11/ 12	12/ 13	13/ 14	14/ 15	15/ 16	16/ 17	17/ 18
A+	0	3	4	2	2	5	3	5	8	8	9	8	11
A	3	5	8	5	8	5	11	12	21	23	33	33	35
B gold	3	10	10	13	15	16	22	37	60	63	91	109	127
B silver	56	65	115	108	121	157	243	528	832	1078	1275	1635	2002
C gold	500	833	877	768	1125	1283	1691	2063	2037	2041	2009	2162	2322
C silver	738	775	897	980	999	1165	1262	1212	1116	1011	898	666	432
D	249	284	292	329	338	369	423	282	256	220	203	166	90
E	15	17	16	17	16	17	22	16	17	13	13	12	15
Tot.	1564	1992	2219	2222	2624	3017	3677	4155	4347	4457	4531	4791	5034

Tabella 4.7 – Evoluzione classi di efficienza [#SST]

Classi	05/ 06	06/ 07	07/ 08	08/ 09	09/ 10	10/ 11	11/ 12	12/ 13	13/ 14	14/ 15	15/ 16	16/ 17	17/ 18
A+	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
A	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%
B gold	0%	1%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	3%
B silver	4%	3%	5%	5%	5%	5%	7%	13%	19%	24%	28%	34%	40%
C gold	32%	42%	40%	35%	43%	43%	46%	50%	47%	46%	44%	45%	46%
C silver	47%	39%	40%	44%	38%	39%	34%	29%	26%	23%	20%	14%	9%
D	16%	14%	13%	15%	13%	12%	12%	7%	6%	5%	4%	3%	2%
E	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tabella 4.8 – Evoluzione percentuale delle classi di efficienza energetica [% su #SST]

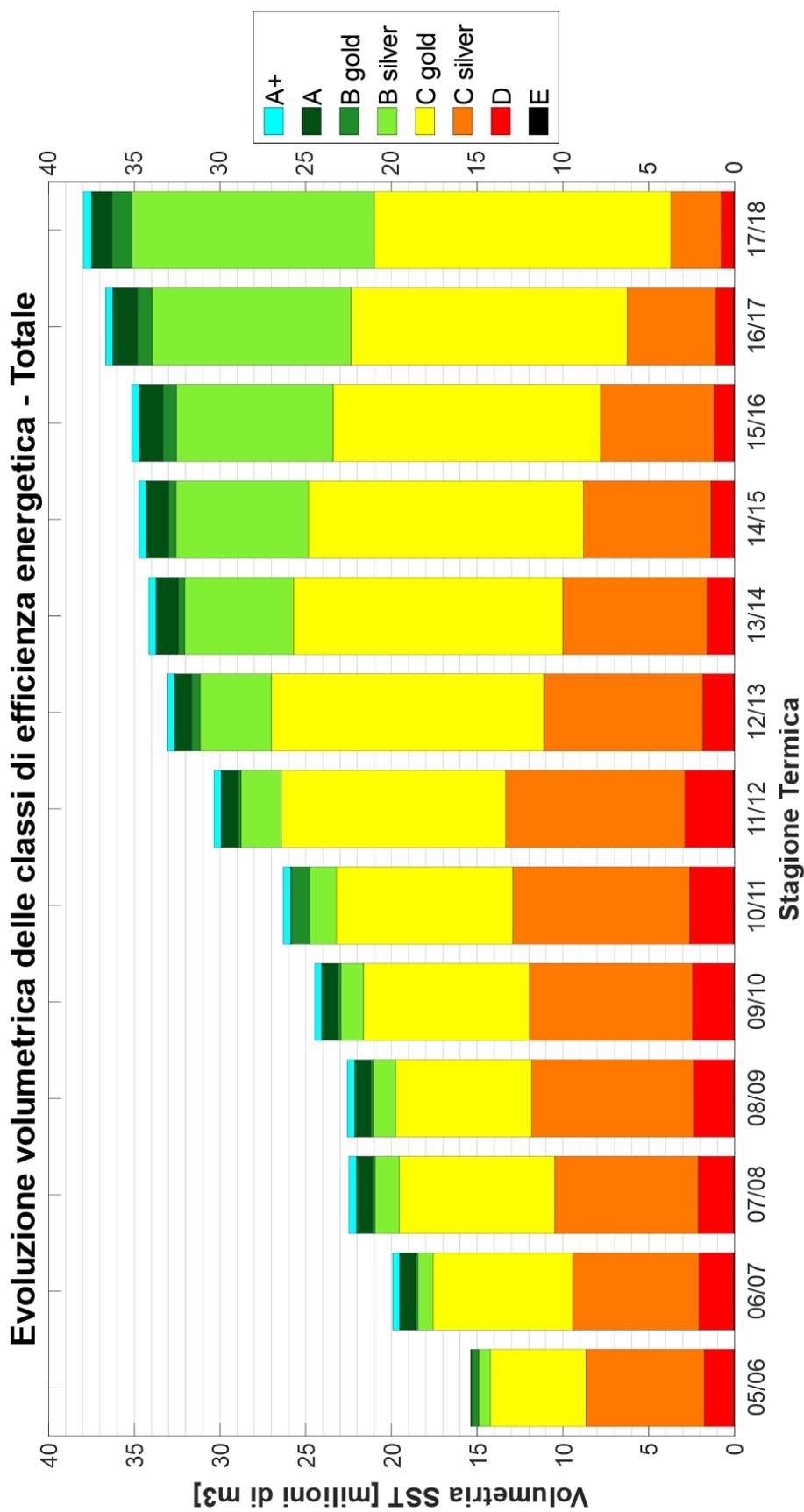


Figura 4.14 – Andamento temporale della volumetria associata alle classi di efficienza energetica

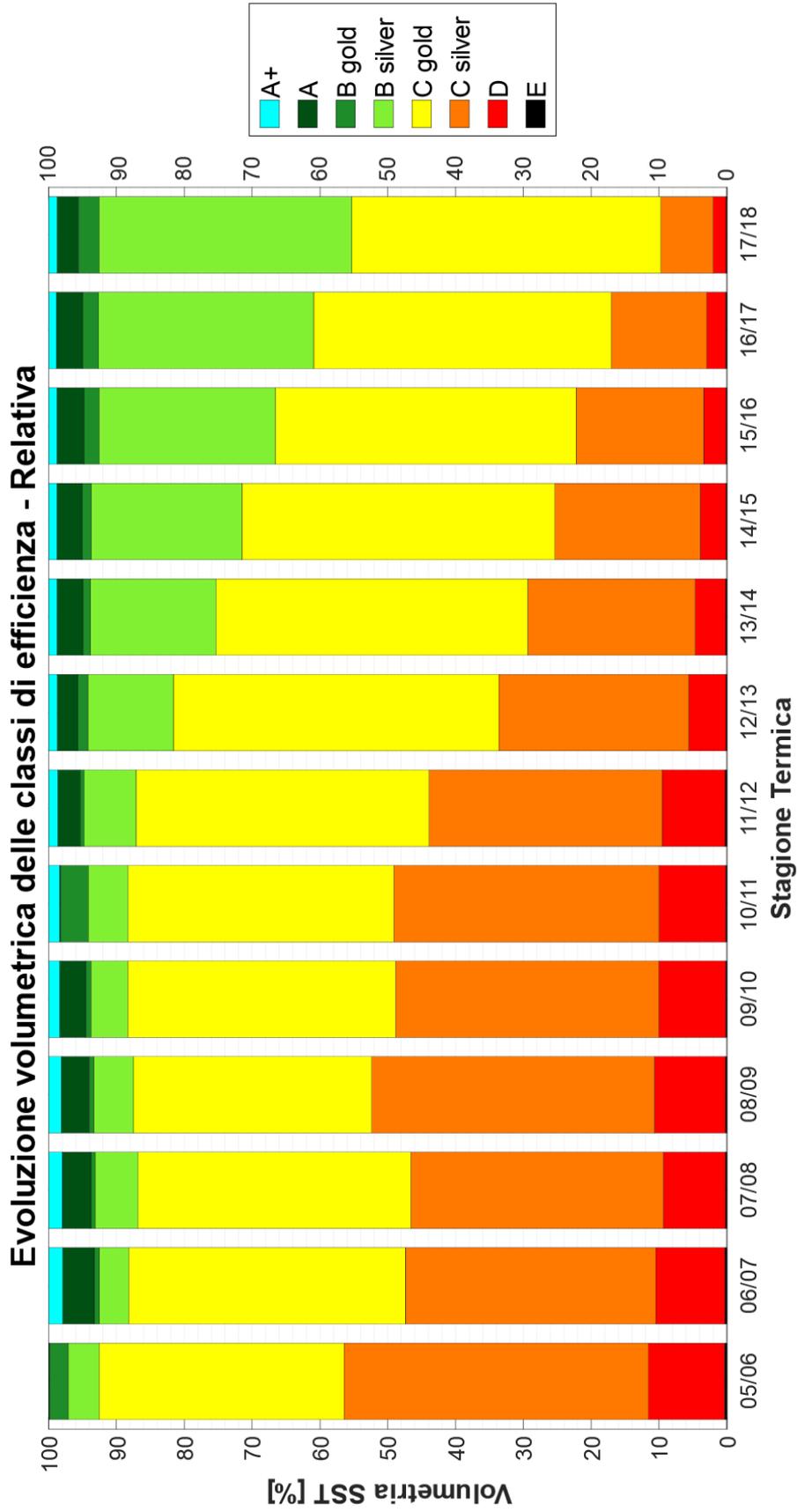


Figura 4.15 – Andamento temporale della volumetria associata alle classi di efficienza energetica, espresso in percentuale

Osservando i grafici si possono osservare due comportamenti diversi: prima e dopo il 2012.

Nelle prime sei stagioni la classe “C” è quella assolutamente dominante sul totale, con una percentuale in volume che si attesta attorno all’80%, divisa all’incirca equamente tra “Silver” (arancione, tra 40 e 50 kWh/m³) e “Gold” (giallo, tra 30 e 40 kWh/m³). Il restante 20% della volumetria è spartito dalle classi più efficienti (da “B” ad “A+”) e da quelle a più alto EP, principalmente la “D” (tra 50 e 75 kWh/m³). Per queste prime sei stagioni, apparentemente, sembra non esserci un’evoluzione dell’efficienza, o, meglio: nonostante la rete cresca in volumetria, la distribuzione nelle varie classi rimane costante.

Gli anni a partire dalla stagione 2011/12, che, come già detto in precedenza, sono cruciali per l’espansione della rete, vedono una redistribuzione tra le classi “C”, in cui la porzione in giallo (“C gold”) schiaccia velocemente quella arancione (“C silver”), il tutto accompagnato da un corrispondente aumento della classe “B silver” (colore verde chiaro, tra 20 e 30 kWh/m³). La classe “D” tende invece a sparire, mentre le alte efficienze sembrano occupare una frazione di volumetria della rete per lo più costante.

Osservando le tabelle, è interessante rilevare come le classi “C gold” e “C silver”, nelle due stagioni dal 2009 al 2011, occupino quasi esattamente la stessa quota (39%). In seguito, la categoria più efficiente prende la maggioranza sul totale e la mantiene fino alla stagione corrente. Al termine del periodo considerato, la classe “B silver” ha preso una porzione importante di volumetria (37%).

La classe “E”, che racchiude le sottostazioni ad elevato consumo specifico (EP superiore a 75 kWh/m³), non si vede mai nei due grafici, segno della sua irrilevanza sul comportamento della rete. Le tabelle lo confermano: analizzando le righe corrispondenti alla classe “E”, si può notare come tale categoria non raggiunga neanche un punto percentuale della volumetria totale, e le sottostazioni associate rappresentino un numero esiguo (15, nell’ultima stagione).

Di conseguenza, e fortunatamente, il contributo delle utenze a bassissima efficienza sull’evoluzione energetica complessiva è trascurabile.

Poiché questa categoria non ha limiti superiori, si può affermare con certezza che la totalità delle utenze all'interno della rete di teleriscaldamento di Torino si attesti su un consumo specifico inferiore a 75 kWh/m³.

A questo punto, si possono fare osservazioni più precise andando a isolare le varie classi di efficienza energetica e studiando nel dettaglio l'evoluzione temporale della loro frazione volumetrica sul totale.

Escludendo la classe "E", per tutte le categorie analizzate si possono osservare due comportamenti notevolmente diversi: uno prima, e uno dopo il 2012; come nel caso dell'andamento complessivo.

Bassissima efficienza – Classe “E” (oltre 75 kWh/m³)

Come si può osservare dalla figura 4.16, la classe “E”, corrispondente a bassissima efficienza, ossia per EP superiori a 75 kWh/m³, non arriva a raggiungere mai nemmeno mezzo punto percentuale della volumetria totale.

Inoltre, visti i numeri ridotti, non è possibile visualizzare un andamento temporale particolare, ma è visibile una tendenza alla decrescita.

Come è stato detto in precedenza, queste sottostazioni sono irrilevanti nel comportamento della rete. Nello specifico, per tutto il periodo considerato, 54 utenze diverse hanno presentato consumi specifici superiori a 75 kWh/m³.

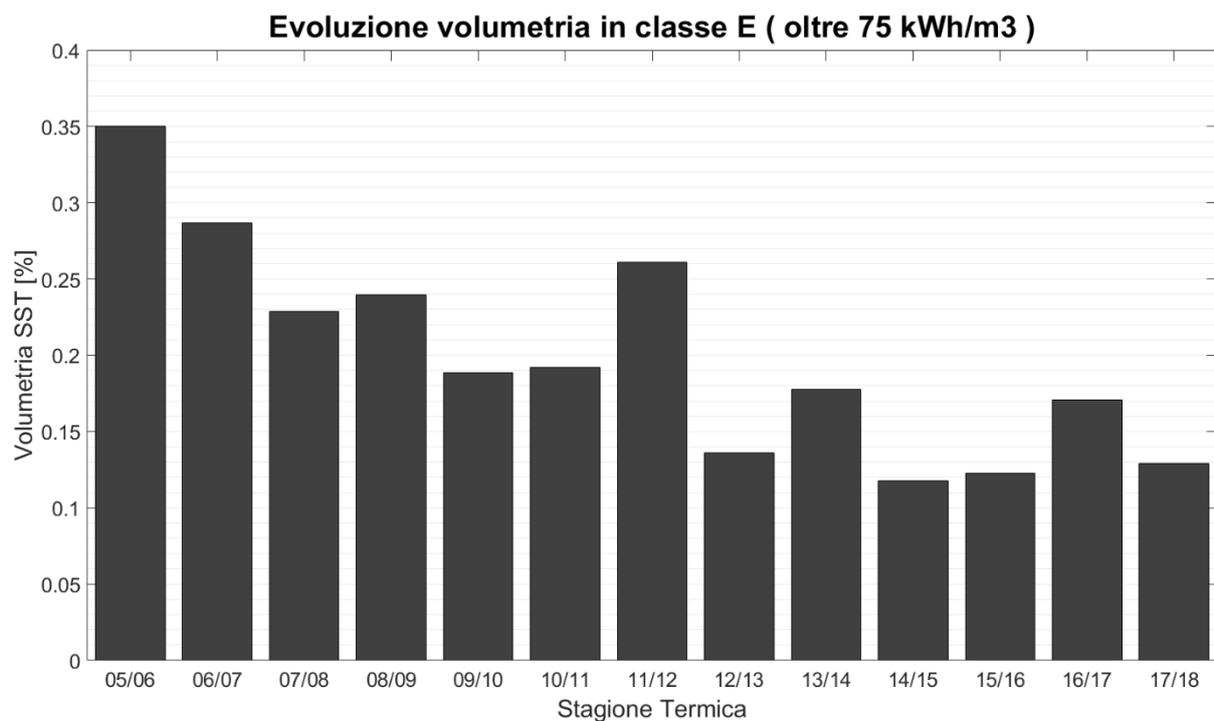


Figura 4.16 – Evoluzione classe E, percentuale in volume

Bassa efficienza – Classe “D” (tra 50 e 75 kWh/m³)

La classe “D” rappresenta la categoria di riferimento per le sottostazioni a bassa efficienza, ossia con EP compreso tra 50 e 75 kWh/m³.

L’evoluzione temporale presenta due comportamenti distinti.

Per le prime sette stagioni del periodo analizzato, la classe “D” occupa una frazione rilevante della volumetria totale, ed è caratterizzata da un andamento all’incirca costante, mantenendosi nella fascia compresa tra il 9% e l’11%.

Dopo il 2012 vi è una netta discontinuità ed il valore quasi dimezza, passando al 5%. In seguito, la sua importanza diminuisce ulteriormente, per terminare poco sotto il 2% nella stagione 2017/18.

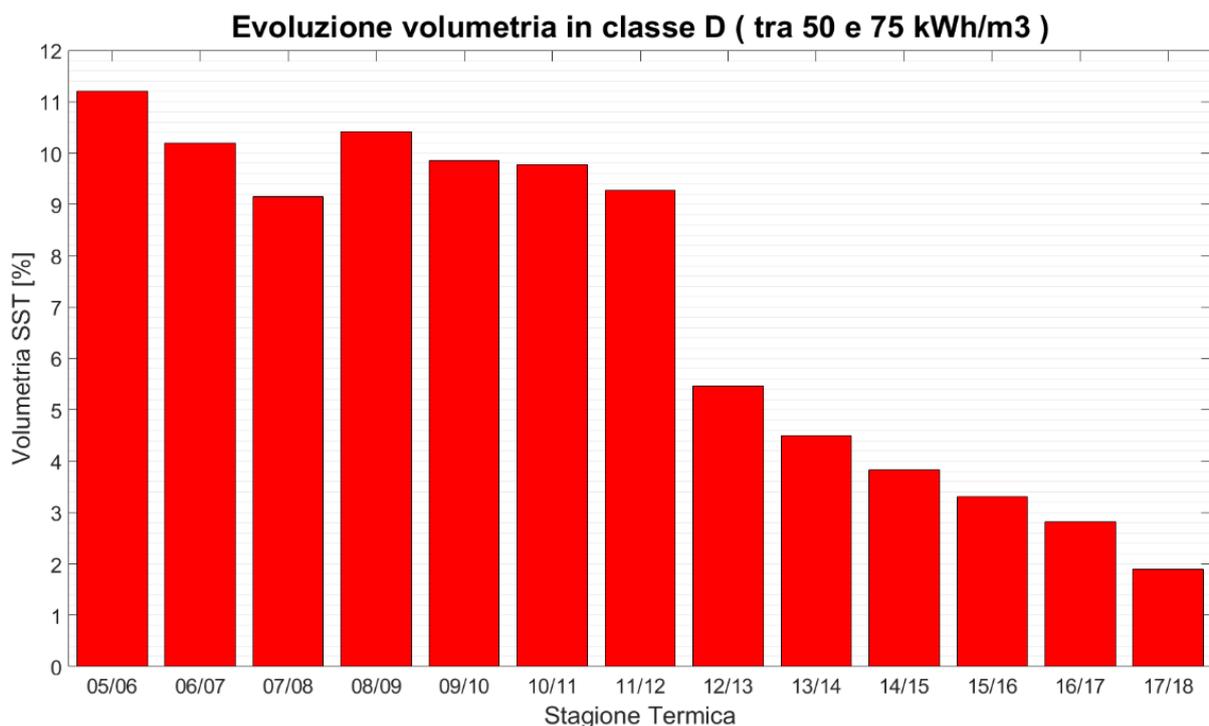


Figura 4.17 – Evoluzione classe D, percentuale in volume

Media efficienza – Classe “C” (tra 30 e 50 kWh/m³)

La volumetria associata alla classe “C” costituisce la maggioranza assoluta per tutto il periodo considerato. Quindi, più della metà delle sottostazioni ha un consumo specifico compreso tra 30 e 50 kWh/m³, come prevedibile dall’andamento dell’EP medio visto in precedenza.

Due variazioni importanti, però, sono visibili dal grafico in figura 4.18.

La prima è complessiva: la percentuale occupata rimane attorno all’80% fino al 2012, poi scende progressivamente fino ad arrivare a poco più del 50% nella stagione corrente.

La seconda è relativa: la classe “C” si distribuisce sempre di più verso la sua versione più efficiente (“Gold”, tra 30 e 40 kWh/m³), schiacciando verso il basso l’altra, che nel 2017/18 occupa meno dell’8% della volumetria totale della rete (nella prima stagione era il 45%).

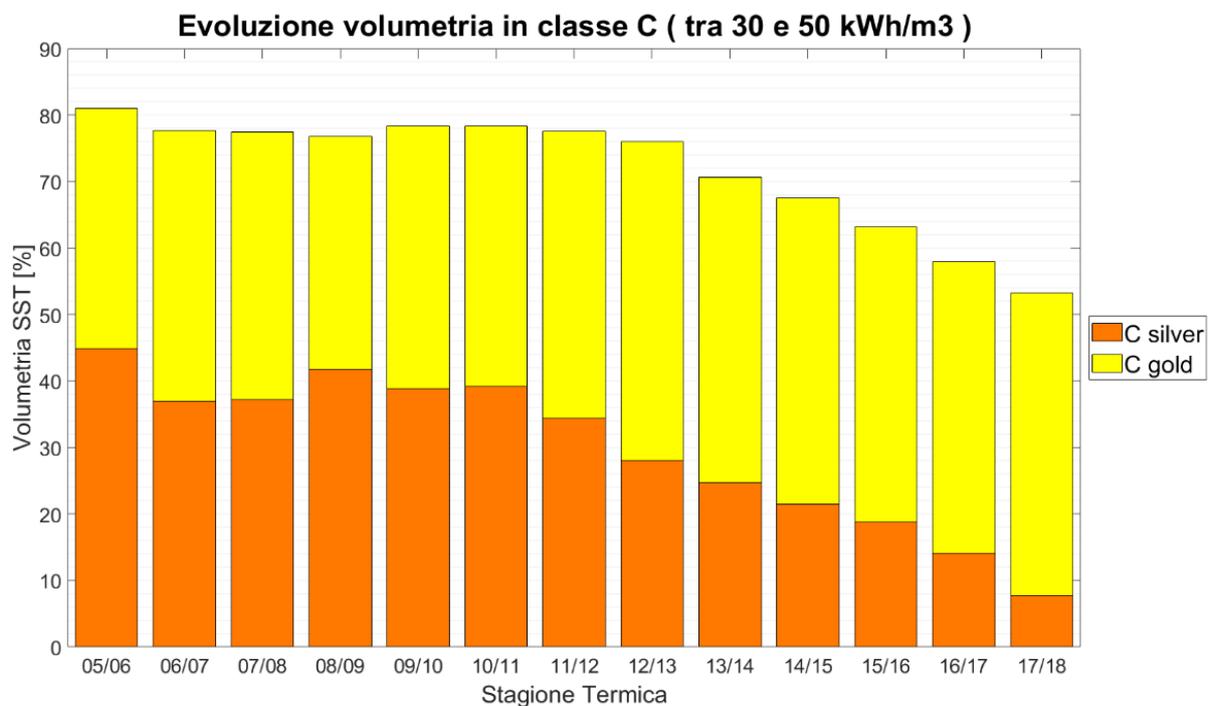


Figura 4.18 – Evoluzione classe C, percentuale in volume

Alta efficienza – Classi “B”, “A” ed “A+” (fino a 30 kWh/m³)

Le classi ad alta efficienza (EP inferiore a 30 kWh/m³) hanno occupato una volumetria limitata per le prime 7 stagioni del periodo, rimanendo all'interno dell'intervallo tra il 10 ed il 15%.

Dopo il 2012 si osserva una crescita rapidissima e caratterizzata da una pendenza all'incirca costante, fino a raggiungere un valore poco inferiore al 45%. Questo comportamento è dovuto quasi esclusivamente all'aumento del peso della classe “B silver”, che, unito all'analoga crescita della classe “C gold” vista in precedenza, è il responsabile della diminuzione osservata per le classi “C silver” e “D”, che molto velocemente si sono ridotte a percentuali poco rilevanti.

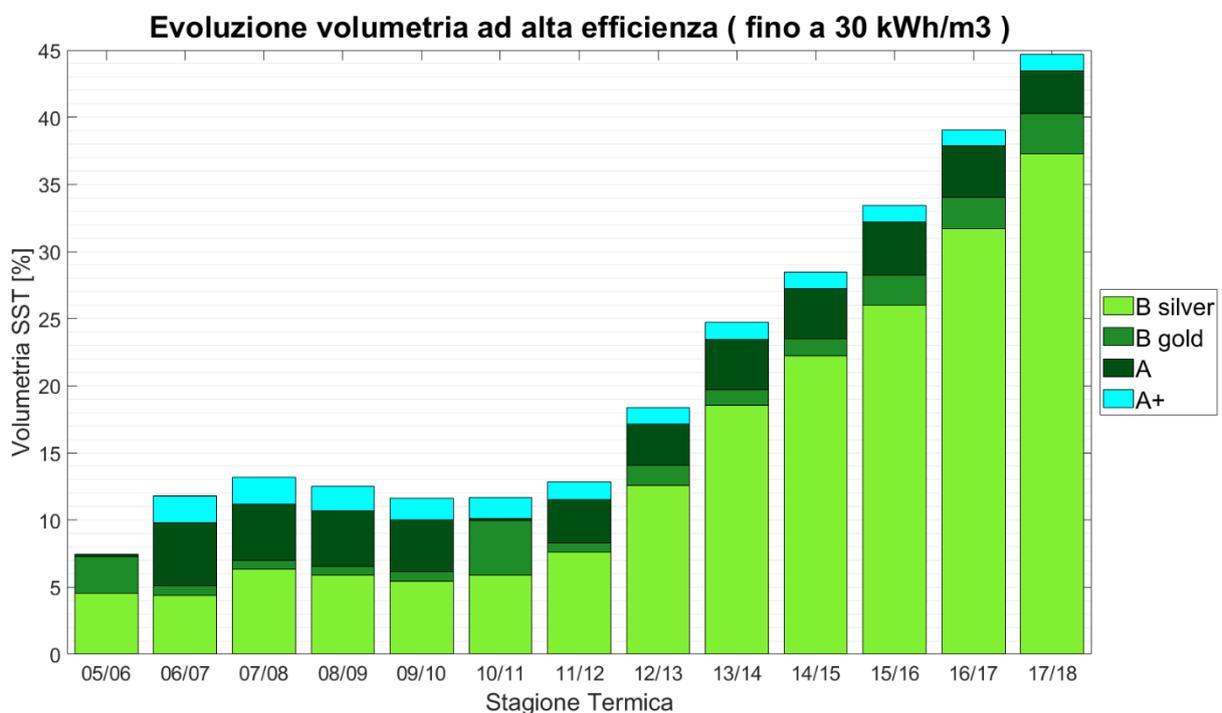


Figura 4.19 – Evoluzione classi B, A ed A+, percentuale in volume

Altissima efficienza – Classi “B gold”, “A” ed “A+” (fino a 20 kWh/m³)

Siccome in tutte le figure viste in precedenza la volumetria associata alle classi “B gold”, “A” ed “A+” è sempre sembrata costante e dunque apparentemente statica, si ritiene opportuna un’analisi più dettagliata. Nella figura 4.20 viene rappresentata l’evoluzione di queste categorie ad altissima efficienza (EP inferiore a 20 kWh/m³), non più in termini di frazione volumetrica, bensì come numero complessivo di sottostazioni.

In questa raffigurazione, la crescita delle utenze è apprezzabile: le 173 unità contate nella stagione 2017/18 sono circa 10 volte quelle presenti nel 2006/07 (18 sottostazioni) e circa 5 volte quelle attive nel periodo 2011/12 (36).

La considerazione che si può fare, unendo questa figura a ciò che si è visto in precedenza nei grafici volumetrici, è che la crescita del numero di sottostazioni ad altissima efficienza sia comunque rilevante e molto veloce, togliendo questa categoria da una realtà marginale, ma che le nuove unità aggiunte sono caratterizzate da una volumetria ridotta, in accordo con la tendenza osservata per gli andamenti globali nella figura 4.1.

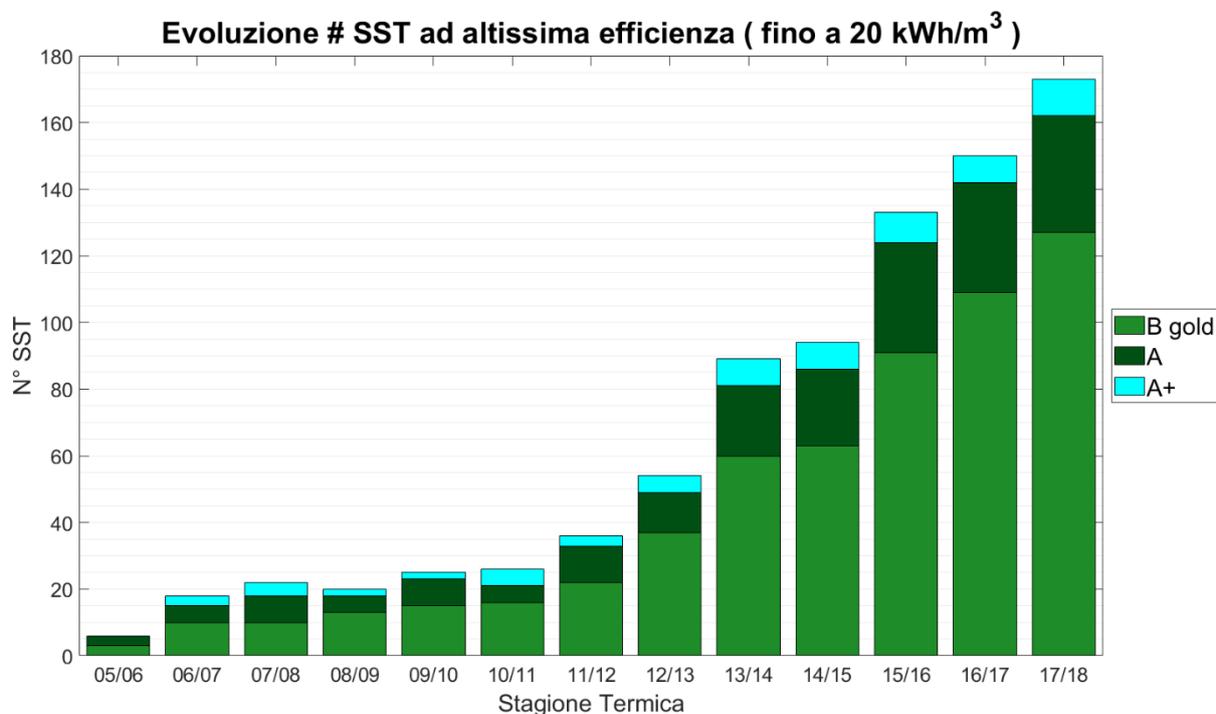


Figura 4.20 – Evoluzione classi B gold, A ed A+, numero di sottostazioni totale

In particolare, 264 sottostazioni diverse hanno avuto, almeno una volta in tutto il periodo considerato, un consumo specifico inferiore a 20 kWh/m³, di cui 78 sono ricadute nelle classi “A” ed “A+”, ossia con EP minore di 15 kWh/m³.

Classi principali – Classi “C” e “B silver” (tra 20 e 50 kWh/m³)

Per concludere questo paragrafo, vengono rappresentate sullo stesso grafico le percentuali in volume delle tre classi di efficienza principali, ossia “B silver”, “C gold” e “C silver”. Questa figura è praticamente identica alla 4.15, che includeva tutte le otto categorie. La somma delle tre barre di quest’ultimo plot, infatti, non è mai inferiore all’85% e, nelle ultime sei stagioni, al 90%. La quota mancante al 100% prima era occupata principalmente dalla classe “D”, mentre adesso dalle tre categorie ad alta efficienza.

In questo grafico è possibile visualizzare chiaramente il fenomeno descritto in precedenza, ossia la diminuzione della classe “C silver” (tra 40 e 50 kWh/m³) e la rapida ascesa della classe “B silver” (tra 20 e 30 kWh/m³).

Non si commette un errore grossolano ad affermare che la totalità delle sottostazioni della rete di teleriscaldamento di Torino abbia un consumo specifico compreso tra 20 e 50 kWh/m³.

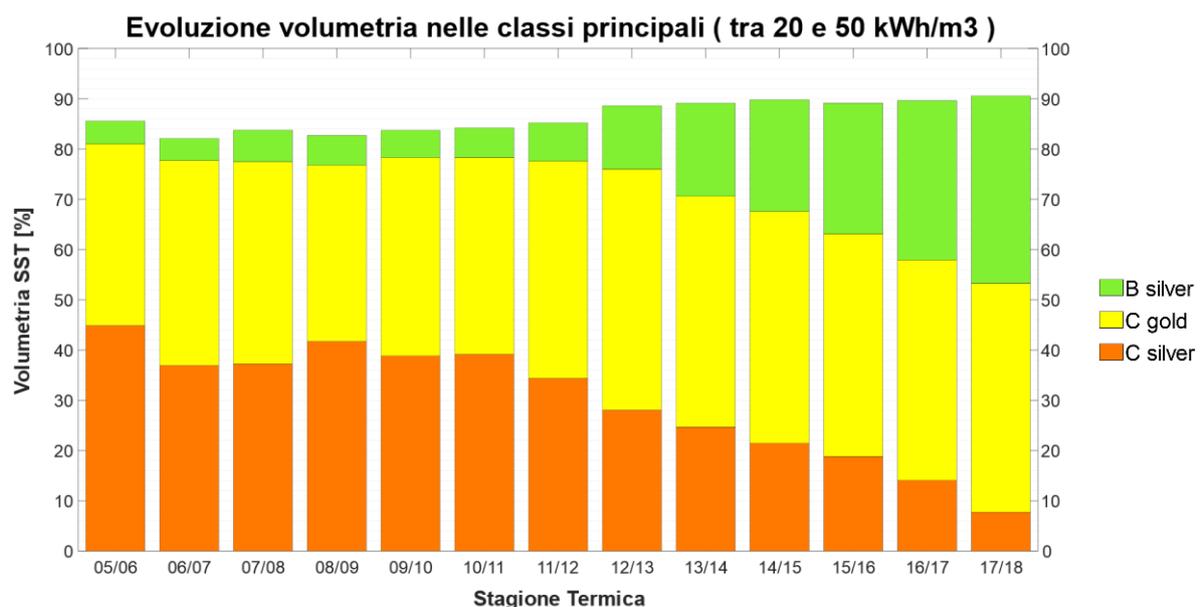


Figura 4.21 – Evoluzione classi C silver, C gold e B silver, percentuale in volume

4.5 Classe energetica di riferimento per l'alta efficienza

L'analisi dell'evoluzione temporale delle grandezze globali ha permesso di osservare come l'indice di prestazione energetica medio della rete stia per raggiungere la soglia dei 30 kWh/m³ (limite superiore della classe "B silver"). Questo paragrafo si prefigge di fare alcuni ragionamenti attorno a questo valore, che verrà considerato come standard di riferimento di "alta efficienza" per gli edifici già esistenti.

Come si è visto in precedenza, al termine della stagione 2017/18, le sottostazioni collocate nelle classi da "B silver" ad "A+" (corrispondenti ad EP inferiori a 30 kWh/m³) occupano una porzione leggermente inferiore della metà della rete.

In particolare, si tratta di:

- 2175 sottostazioni su 5034 (43,2%);
- 17 milioni di m³ su 38 (44,7%).

Durante la stagione 2017/18, se il restante 55,3% di volumetria con classe inferiore a "B silver" avesse un indice di prestazione energetica pari esattamente a 30 kWh/m³, l'energia venduta dai gestori della rete ammonterebbe a 1015 MWh, che, rispetto ai 1141 MWh reali, porterebbe ad una riduzione di energia venduta notevole, pari a circa il -11%. Questa perdita di incassi liberebbe però potenza dalle centrali di produzione, utilizzabile per nuovi potenziali clienti.

Lo stesso tipo di analisi si può effettuare anche con altri valori di EP, in particolare: 15, 20 e 25 kWh/m³. I risultati sono esposti nella tabella 4.9.

Soglia EP [kWh/m³]	# SST al di sopra della soglia	Volumetria al di sopra della soglia [%]	Variazione energia venduta [%]
15	4988	95,6	-52,0
20	4861	92,6	-36,8
25	4313	82,7	-22,4
30	2859	55,3	-11,1

Tabella 4.9 – Analisi valori di EP di riferimento

4.6 Trend futuri

Fino a questo momento l'analisi è stata effettuata guardando allo storico della rete di teleriscaldamento, ma, con i risultati ottenuti, si può provare a immaginarne l'evoluzione futura.

L'evoluzione dell'indice di prestazione energetica equivalente è caratterizzata da un andamento monotono decrescente, senza alcun tipo di flesso o deviazione, per tutto il periodo studiato. Di conseguenza, con gli strumenti posseduti, non ci sono ragioni per pensare che l'EP medio cominci a salire, ma sembrerebbe probabile che a breve il suo andamento raggiunga un asintoto orizzontale, per un valore compreso tra 20 e 30 kWh/m³.

Per quanto riguarda invece la distribuzione relativa delle classi di efficienza, nelle ultime otto stagioni si può notare una crescita quasi lineare della frazione di volumetria occupata dalle sottostazioni comprese tra le categorie "C gold" e "A+" (cfr. figure 4.14 e 4.15). L'evoluzione temporale è stata approssimata da una curva di "best fit" tramite il metodo semplificato della regressione lineare.

I risultati sono visibili nella figura 4.22. Poiché la classe "B silver" è stata presa come soglia minima per definire le sottostazioni ad alta efficienza (cfr. cap. 4 par. 5), l'andamento delle utenze con EP inferiore a 30 kWh/m³ è stato isolato e trattato parallelamente (curva blu).

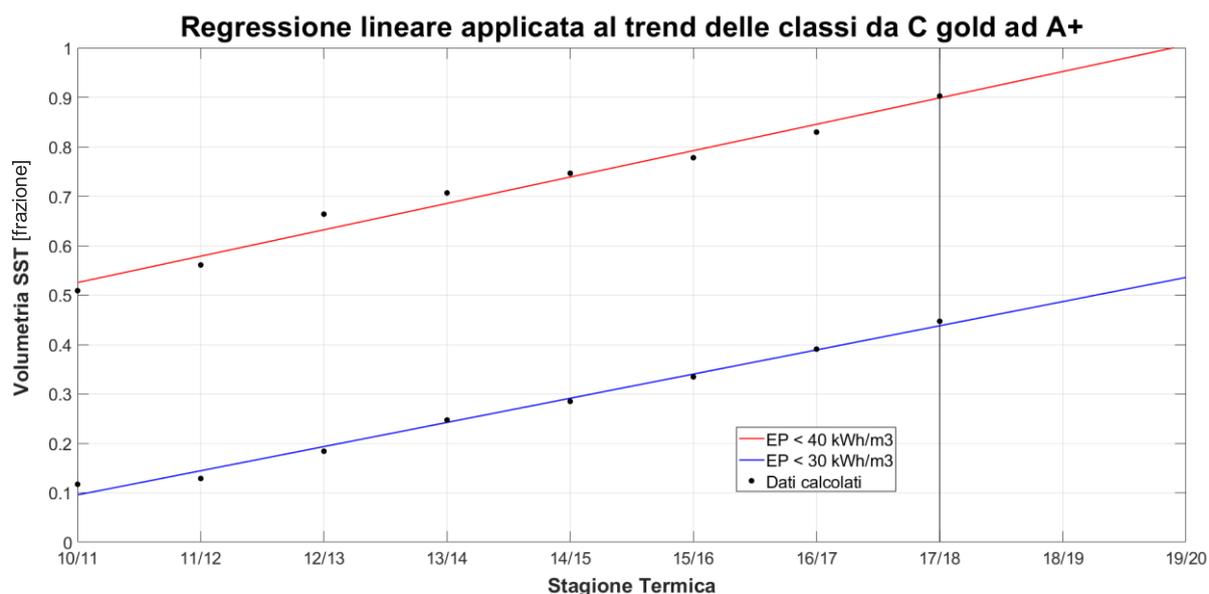


Figura 4.22 – Curve ottenute dalla regressione lineare dei dati calcolati

Il modello usato è molto semplice, ma è notevole come i punti calcolati siano effettivamente ben rappresentati da una linea retta.

Avendo a disposizione pochi dati (uno all'anno), l'analisi del trend futuro è stata molto cautelativa e si è limitata esclusivamente ai prossimi due anni.

Sebbene il raggiungimento del 100% da parte della curva rossa non sia ovviamente realistico, questo grafico ci permette di verificare ancora una volta come, in pratica, la totalità delle sottostazioni allacciate alla rete di Torino abbia EP inferiore a 40 kWh/m³. Il raggiungimento di questo risultato ha avuto una fase decisiva negli otto anni che sono trascorsi dalla stagione 2011/11 (in cui la frazione occupata era circa il 50%) alla stagione 2017/18 (circa il 90%).

Il resto della volumetria si posizionerà molto probabilmente nella fascia tra 40 e 50 kWh/m³ (classe "C silver"); le categorie peggiori, invece, sempre più schiacciate dalle altre, assumeranno un ruolo marginale, ma è irrealistico pensare che spariscano completamente.

Passando ad analizzare la curva blu, sembrerebbe probabile che entro due anni più della metà della volumetria della rete avrà un consumo specifico minore di 30 kWh/m³.

4.7 Probabili cause degli andamenti rilevati

L'evoluzione temporale dell'indice di EP medio della rete di teleriscaldamento è, per tutto il periodo analizzato, decrescente e, dunque, in direzione di una prestazione energetica migliore. Inoltre, le classi di alta efficienza hanno subito un incremento molto rapido e significativo, raggiungendo quasi la maggioranza sul totale, a discapito delle categorie meno efficienti, che stanno progressivamente diventando meno rilevanti.

Dopo aver analizzato l'EP medio e le classi nel dettaglio, e da tutti i punti di vista che sono sembrati più significativi, questo paragrafo finale sarà invece dedicato a motivare gli andamenti rilevati, cercando le ragioni da un punto di vista non solo tecnico, ma anche economico e sociale.

Viene scartato immediatamente un effetto dovuto ad una variazione della temperatura media nel corso degli anni: l'evoluzione temporale dei gradi giorno (cfr. figura 4.1) è evidentemente priva di alcun tipo di andamento; e, pur essendoci state alcune stagioni più svantaggiate rispetto alle altre, non è stata una causa di tipo climatico a generare la diminuzione dell'EP medio.

Suddividendo le utenze in funzione della stagione di attivazione (cfr. paragrafo 4.3), si è osservato come quelle antecedenti al 2006 fossero caratterizzate da prestazioni energetiche peggiori, comportandosi come ancora nei confronti dell'EP equivalente della rete, per tutto il periodo analizzato. È normale che gli edifici più vecchi, realizzati secondo norme e metodi ormai obsoleti siano più svantaggiati rispetto a quelli costruiti nell'ultimo decennio, in cui gli studi e le tecniche relative al risparmio energetico hanno compiuto notevoli passi avanti. Particolare attenzione, infatti, è stata concentrata sulla dispersione degli involucri edilizi e sull'efficienza dei vari tipi di corpi scaldanti.

Non solo la tecnica, ma anche le politiche comunitarie e italiane potrebbero essere tra le cause principali dei miglioramenti osservati nell'efficienza energetica della Città di Torino. In questo caso, si fa riferimento all'introduzione delle valvole termostatiche e all'obbligo della contabilizzazione del calore negli edifici pubblici e privati. Questi due concetti sono stati per la prima volta espressi nella Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio *sull'efficienza energetica* [5], entrata in vigore il 4 dicembre 2012 e recepita dallo stato italiano, tramite il D. Lgs. 4 luglio 2014, n.102 [6].

Il periodo di emanazione di queste leggi coincide con quello in cui, nei grafici osservati in questo capitolo, gli andamenti hanno un'accelerazione verso prestazioni energetiche migliori.

Dal punto di vista economico-sociale, invece, le stagioni analizzate comprendono gli anni di massima crisi economica per l'Italia. La riduzione della disponibilità economica e una maggiore attenzione alle spese per il riscaldamento possono essere tra le cause principali della riduzione dei consumi.

Per supportare questa analisi non soltanto in maniera qualitativa, ma anche quantitativa, è stata utilizzata una grandezza economica di riferimento presente nella banca dati dell'Istituto nazionale di statistica (ISTAT).

In particolare, vengono confrontati gli andamenti dell'indice di prestazione energetica equivalente della rete con quello del reddito netto medio annuale delle famiglie in Piemonte. I dati fanno parte di un progetto, gestito in collaborazione tra il Parlamento europeo ed Eurostat, denominato "*Statistics on Income and Living conditions*" (*EU-SILC*) [S3].

Per affiancare le due grandezze, che ovviamente hanno due unità di misura completamente diverse, sono state calcolate le frazioni relative al corrispondente valore assunto a fine 2006.

Poiché purtroppo la serie di dati sul reddito termina con l'anno 2015, il confronto non può essere fatto fino alla stagione corrente. I risultati sono visibili nella figura 4.23.

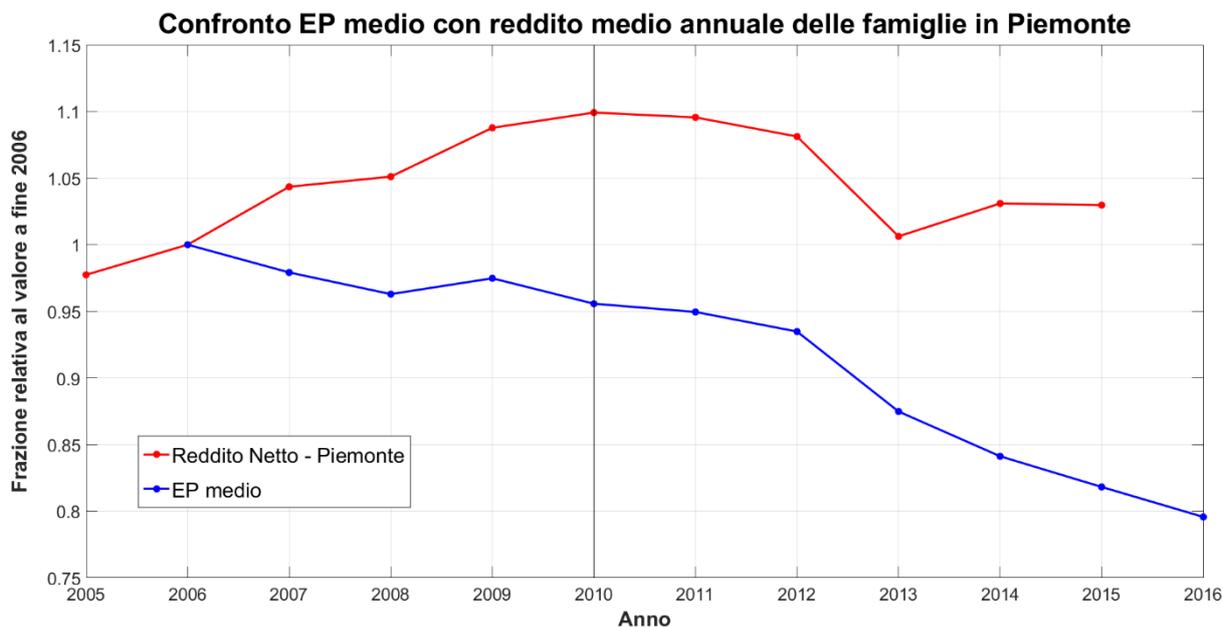


Figura 4.23 – Confronto tra EP medio e reddito netto in Piemonte

La figura 4.23 conferma quanto ipotizzato in precedenza: gli anni dal 2010 al 2013 sono quelli in cui si è sentito il maggior effetto della crisi economica in Piemonte. Il reddito medio annuale delle famiglie (linea rossa), infatti, stava costantemente crescendo per tutto il periodo a partire dal 2005, finché non ha raggiunto un picco nel 2010 (evidenziato dalla linea nera verticale) e poi è ritornato in tre anni al valore assunto nel 2006. È notevole la somiglianza di questa curva con quella dell'EP medio della rete durante questo periodo.

Rimanendo sempre sugli aspetti sociali, si può immaginare come, per le molte utenze allacciate negli ultimi tredici anni, il passaggio al nuovo tipo di fornitura di energia tramite teleriscaldamento, insieme alla novità dell'obbligo della contabilizzazione del calore, abbia necessitato di un comprensibile periodo di adattamento, il quale però ha rapidamente portato ad una maggiore sensibilità verso i propri consumi energetici, anche una volta superato il periodo di massima crisi economica (cfr. figura 4.23, dopo l'anno 2013), tendendo alla loro riduzione a parità di comfort termico, aspetto fondamentale nel processo di conseguimento di efficienze migliori.

Capitolo 5. Espansione e distribuzione geografica della rete e dell'efficienza energetica

Una delle informazioni più importanti raccolte nell'anagrafica della rete di teleriscaldamento è la localizzazione di ciascuna utenza, espressa sia come indirizzo che coordinate (longitudine e latitudine).

Questi dati, uniti ad una base cartografica di Torino, sono in grado di rappresentare l'evoluzione energetica della rete di teleriscaldamento non solo in termini di andamento temporale, come visto finora, ma anche di distribuzione (ed espansione) geografica nel territorio torinese.

5.1 Base cartografica della Città di Torino

La base cartografica utilizzata come sfondo nelle mappe ha come fonte il Geoportale del Comune di Torino, il quale ha predisposto e reso disponibile per lo scarico un file di progetto contenente una serie di livelli informativi tematizzati. Un'altra serie di dati, riguardanti le ferrovie, è stata invece estratta dal Geoportale della Regione Piemonte³.

Tra tutte le opzioni a disposizione, sono stati selezionati i seguenti layer di riferimento:

- Cartografia di base
 - o Carta di sintesi
 - Isolati (definiti dal loro perimetro)
 - Parchi (in verde)
 - Fiumi (in celeste)
- Dati Viabilità
 - Metropolitana – Linea (in rosso)
 - PPR – Ferrovie (tavv. P2-P4-P5-P6) – Linea (in nero)

Alcuni edifici di riferimento sono stati aggiunti manualmente come poligoni, e sono:

³ La titolarità piena ed esclusiva dei dati e servizi pubblicati ed in scarico sul Geoportale sono della Città di Torino e della Regione Piemonte (Licenziante), ai sensi della Legge 633/41 e s.m.i. – “Protezione del diritto d'autore e di altri diritti connessi al suo esercizio”. La Città di Torino e la Regione Piemonte autorizzano la libera e gratuita consultazione, estrazione, riproduzione e modifica dei dati in esso/a contenuti da parte di chiunque (Licenziatario) vi abbia interesse per qualunque fine, purché nel rispetto dei termini della Licenza "Creative Commons public license" Attribuzione - 2.5 (Italia).

- Politecnico di Torino – Sede Centrale (in blu)
- IREN S.p.A. – Sede (in blu)

La base cartografica è stata estratta utilizzando i seguenti software:

- **Quantum GIS (QGIS)**, nella sua versione 2.18.23, con licenza Open Source⁴;
- **Inkscape**, nella sua versione 0.92.3, con licenza Open Source⁵;
- **GIMP**, ovvero “**GNU Image Manipulation Program**”, nella sua versione 2.10.6, sempre con licenza Open Source⁶.

La porzione di mappa interessata dall’analisi sulla rete di teleriscaldamento è stata individuata, in termini di coordinate, dal seguente rettangolo:

	Minimo	Massimo
Longitudine (asse x)	7,605 °	7,685 °
Latitudine (asse y)	44,990 °	45,110 °

Tabella 5.1 – Limiti di coordinate della mappa

I limiti sono stati scelti a partire dai valori estremi riscontrati nelle coordinate delle utenze.

Il sistema di riferimento utilizzato, comune sia alle coordinate delle sottostazioni che ai dati geografici della Città di Torino, è WGS 84 (EPSG:4326). Il World Geodetic System 1984 è un sistema di coordinate standard usato in cartografia e navigazione satellitare, elaborato nel 1984 e aggiornato alla sua ultima versione nel 2004 [S4] [S5].

L’unità di misura utilizzata per esprimere gli angoli è il grado sessadecimale.

Nella pagina successiva è riportata (figura 5.1) la base cartografica della Città di Torino utilizzata.

⁴ GNU General Public License Version 2

⁵ GNU General Public License Version 2

⁶ GNU General Public License Version 3

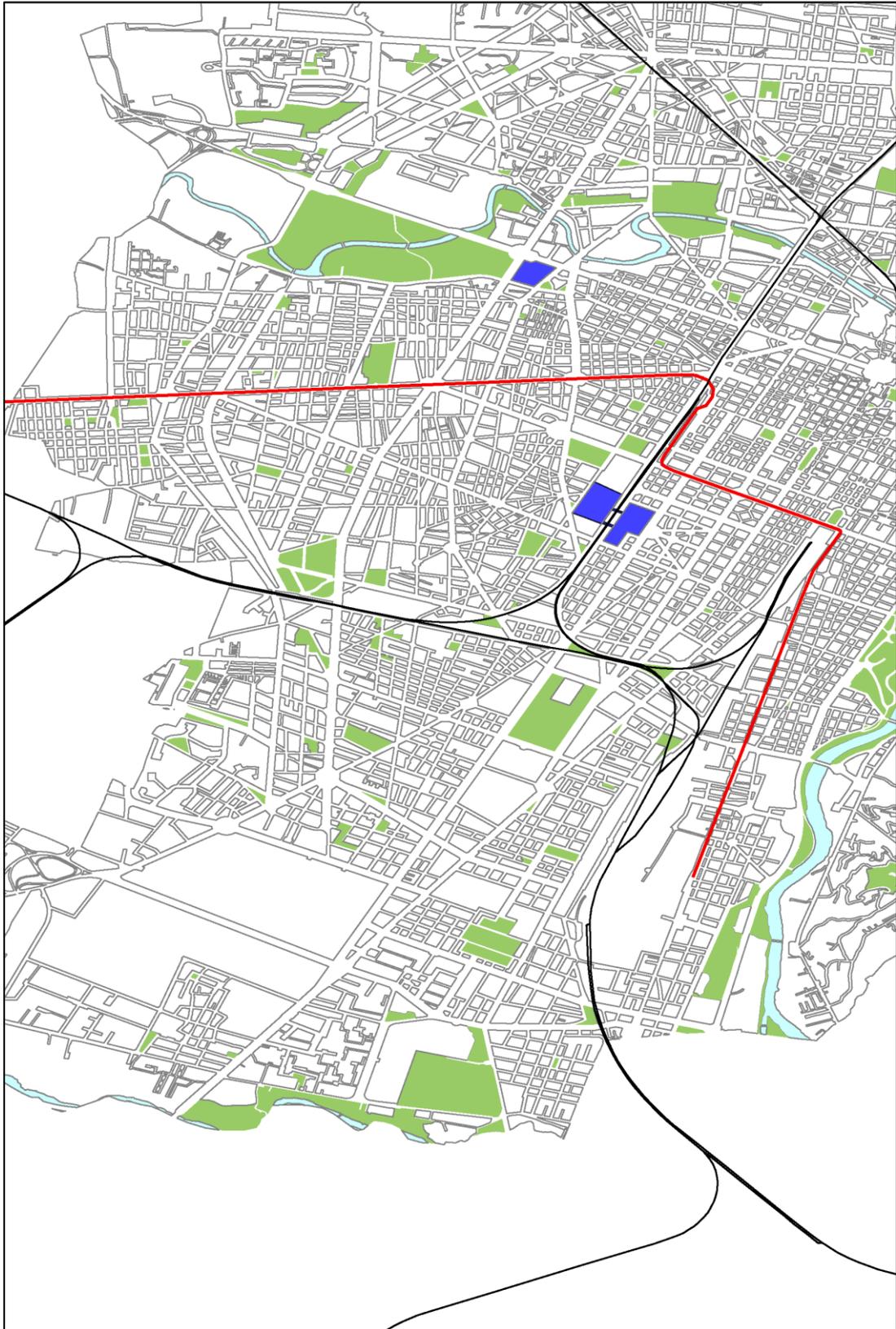


Figura 5.1 – Base cartografica della Città di Torino

5.2 Introduzione alle mappe

Per presentare in maniera comprensibile i dati a disposizione sulle sottostazioni, si è scelto di non rappresentarle come punti singoli disposti sulla mappa, visto che, con più di 5000 unità, si sarebbero create moltissime sovrapposizioni e i risultati sarebbero stati di difficile (se non impossibile) lettura.

La scelta allora è ricaduta sulla divisione del territorio analizzato tramite un reticolo. Ogni quadrato di questa griglia ha un lato di 2 millesimi di grado; le dimensioni sono espresse come variazione di angolo, siccome tutti i dati si trovano in questa unità di misura, ma, per avere un'idea, mediamente l'area spazzata è di $0,1 \text{ km}^2$ (ovvero circa 150 m in orizzontale per 750 m in verticale).

Ciascun quadrato è stato poi considerato come una sottostazione equivalente, di volumetria pari alla somma dei volumi delle utenze comprese nei limiti di coordinate imposti dai suoi quattro lati.

5.3 Evoluzione della volumetria

Come prima cosa i dati geografici sono stati utilizzati per osservare la distribuzione e l'espansione nel territorio del parco edilizio allacciato alla rete di teleriscaldamento.

Nelle mappe che seguono, per ciascuna stagione, i quadrati sono stati colorati più o meno intensamente in base alla densità di volumetria attiva presenti al loro interno. La scala di colori utilizzata è riportata a fianco.

L'analisi è stata eseguita in termini di volume, anche per aiutare la comprensione delle successive mappe sulle classi di efficienza energetica: la rappresentazione è solo grafica, i risultati quantitativi sono già stati presentati (cfr. Capitolo 4), ma, per evitare di essere tratti in inganno, bisogna ricordare che i quadrati, nonostante siano tutti geometricamente identici, contengono volumi diversi.

Nelle figure 5.2 e 5.3 è presentato il confronto tra la mappa relative alla stagione iniziale e quella relativa all'anno corrente.

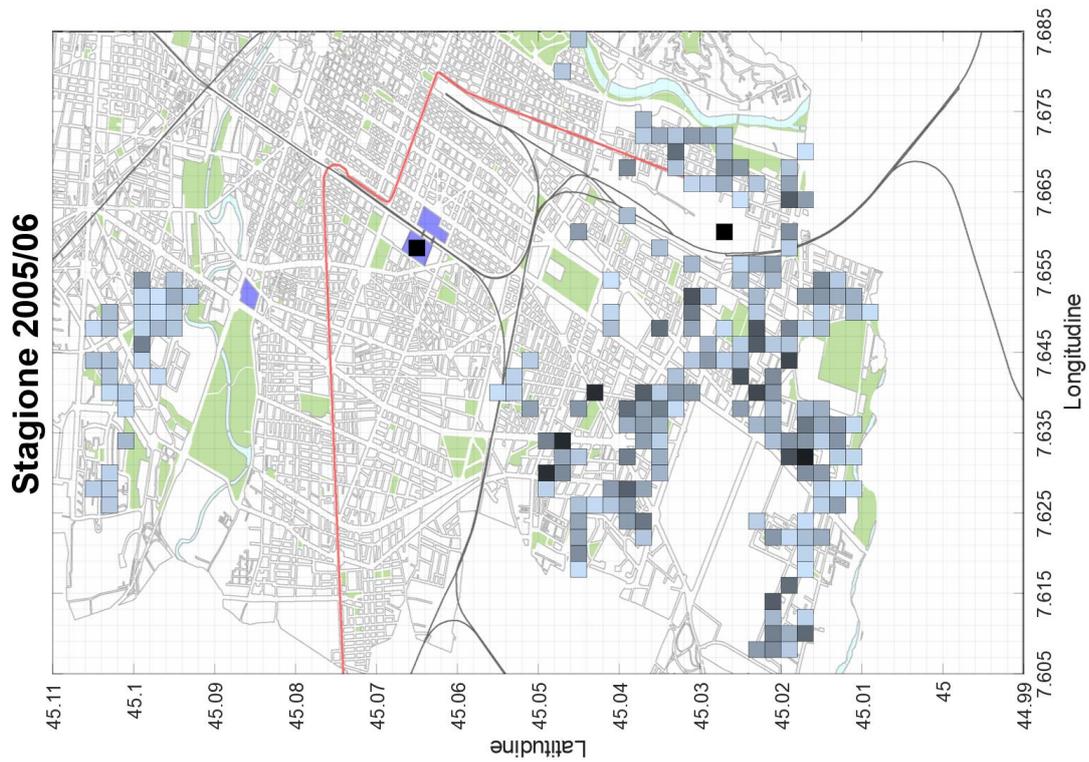
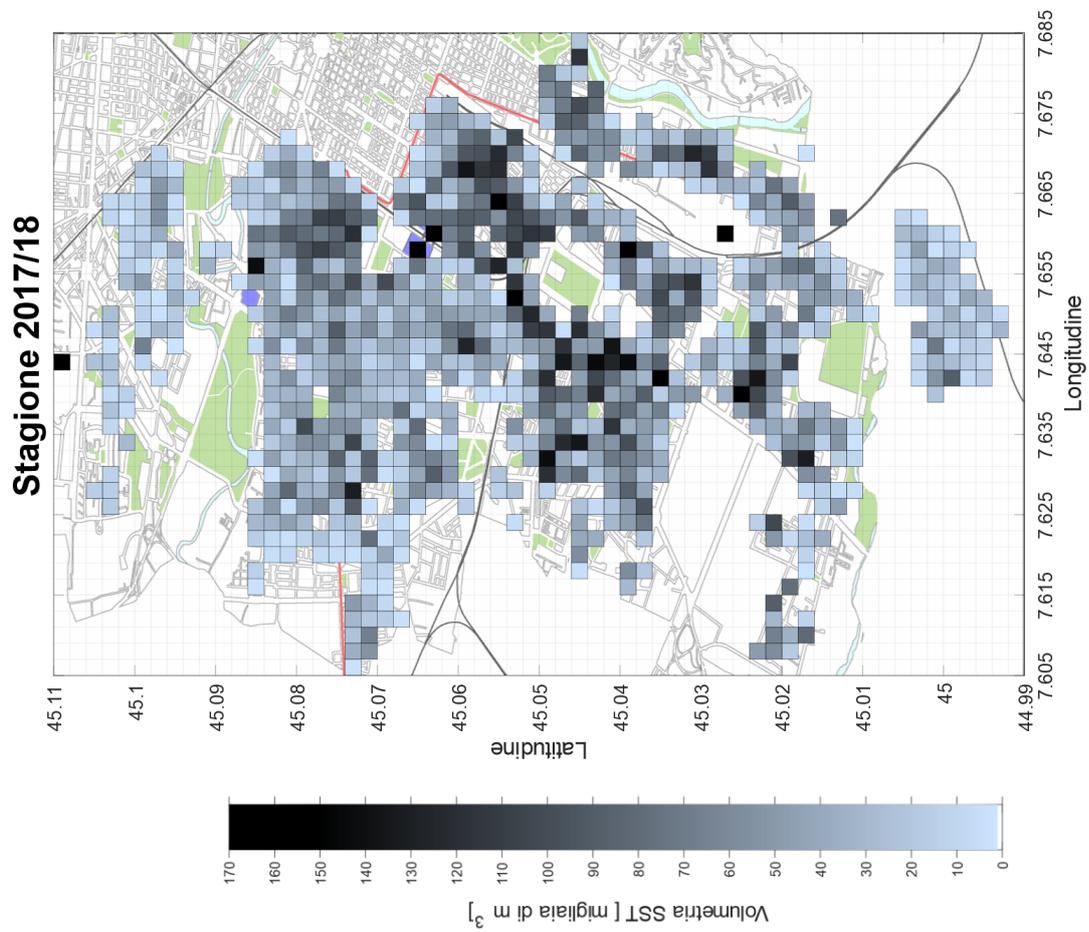


Figura 5.3 – Distribuzione volumetria SST nella stagione 2017/18

Figura 5.2 – Distribuzione volumetria SST nella stagione 2005/06

Osservando la figura 5.2 sulla stagione 2005/06, si possono identificare immediatamente le zone storiche della rete di teleriscaldamento citate nei precedenti capitoli:

- Le Vallette, porzione staccata dal resto, a nord;
- i due quartieri di Mirafiori Sud e Nord, rispettivamente sotto e sopra il grande rettangolo bianco che rappresenta l'omonimo stabilimento;
- la zona di Torino Sud (Lingotto, Nizza Millefonti, Filadelfia).

Si può individuare la presenza della sottostazione presso il Politecnico, caratterizzata da una volumetria molto elevata.

Nel primo anno dell'analisi, la rete è delimitata a est dal fiume Po e a sud dal Sangone: non sono infatti ancora coinvolti i comuni di Nichelino e Moncalieri.

Analizzando ora la figura 5.3 sulla stagione 2017/18, ci si trova di fronte ad una situazione completamente diversa. L'evoluzione della rete è stata così capillare nel territorio della città che ad un primo sguardo si fatica a distinguere i quartieri nel dettaglio come in precedenza.

A sud, per latitudini inferiori a $45,01^\circ$, è evidente l'espansione nei comuni di Nichelino e Moncalieri, che formano una regione compatta.

La porzione a nord della Dora si è allargata verso est fino al quartiere Madonna di Campagna; ma è al di sotto di questo fiume che si può apprezzare la grandissima diffusione della rete di teleriscaldamento, soprattutto confrontandola con quella nella figura 5.2.

Tutti i quartieri del centro sono stati allacciati, in particolare, andando da nord verso sud:

- la Circoscrizione 4 (Parella, Campidoglio e San Donato);
- la Circoscrizione 3 (Borgo San Paolo, Cenisia, Pozzo Strada, Cit Turin) spingendosi verso ovest fino al comune di Grugliasco;
- il quartiere Crocetta (Circoscrizione 1), con altissima densità;
- la Circoscrizione 8, con l'espansione in San Salvario seguendo il fiume Po in parallelo verso nord, oltre alla già citata zona di Torino Sud (Nizza Millefonti, Lingotto e Filadelfia);

- il quartiere di Santa Rita, che si contraddistingue per la più alta densità di volumetria allacciata, insieme a Crocetta;
- infine, Mirafiori Sud e Nord, in cui la situazione non differisce molto da quella nella stagione 2005/06.

Nella condizione attuale, le uniche frazioni della mappa che non sono oscurate da quadrati sono: fiumi, parchi, i due grandi rettangoli corrispondenti agli stabilimenti FCA di Mirafiori, la collina, il centro storico (che si distingue chiaramente perché delimitato dalla linea rossa della metropolitana) e sia a sud che ad ovest, le campagne. Tutte zone che, per ovvi motivi, o per ragioni tecnico-economiche, come per il centro storico e la collina, non costituiscono utenze potenziali per il teleriscaldamento.

Ovviamente, la raffigurazione semplificata fornita tramite la griglia nasconde molteplici edifici sotto uno stesso quadrato, quindi un certo spazio per aumentare la diffusione della rete è ancora presente, aumentando la densità di volumetria nelle zone già raggiunte.

Si può osservare anche questo fenomeno di addensamento, oltre alla più evidente espansione della rete, nelle figure da 5.4 a 5.7, che presentano le fotografie per gli anni dal 2006/07 al 2016/17.

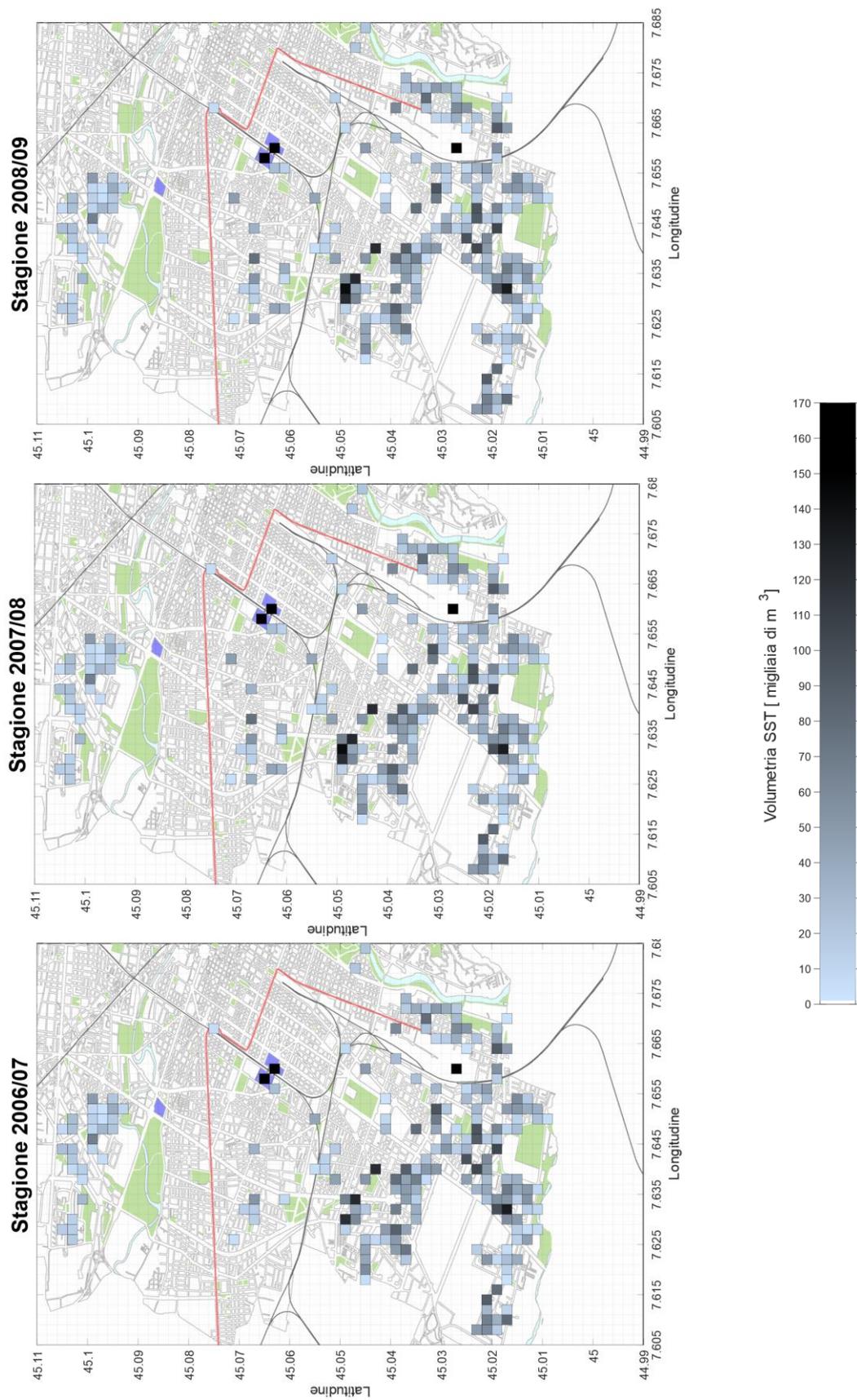


Figura 5.4 – Distribuzione volumetria per le stagioni 2006/07, 2007/08 e 2008/09

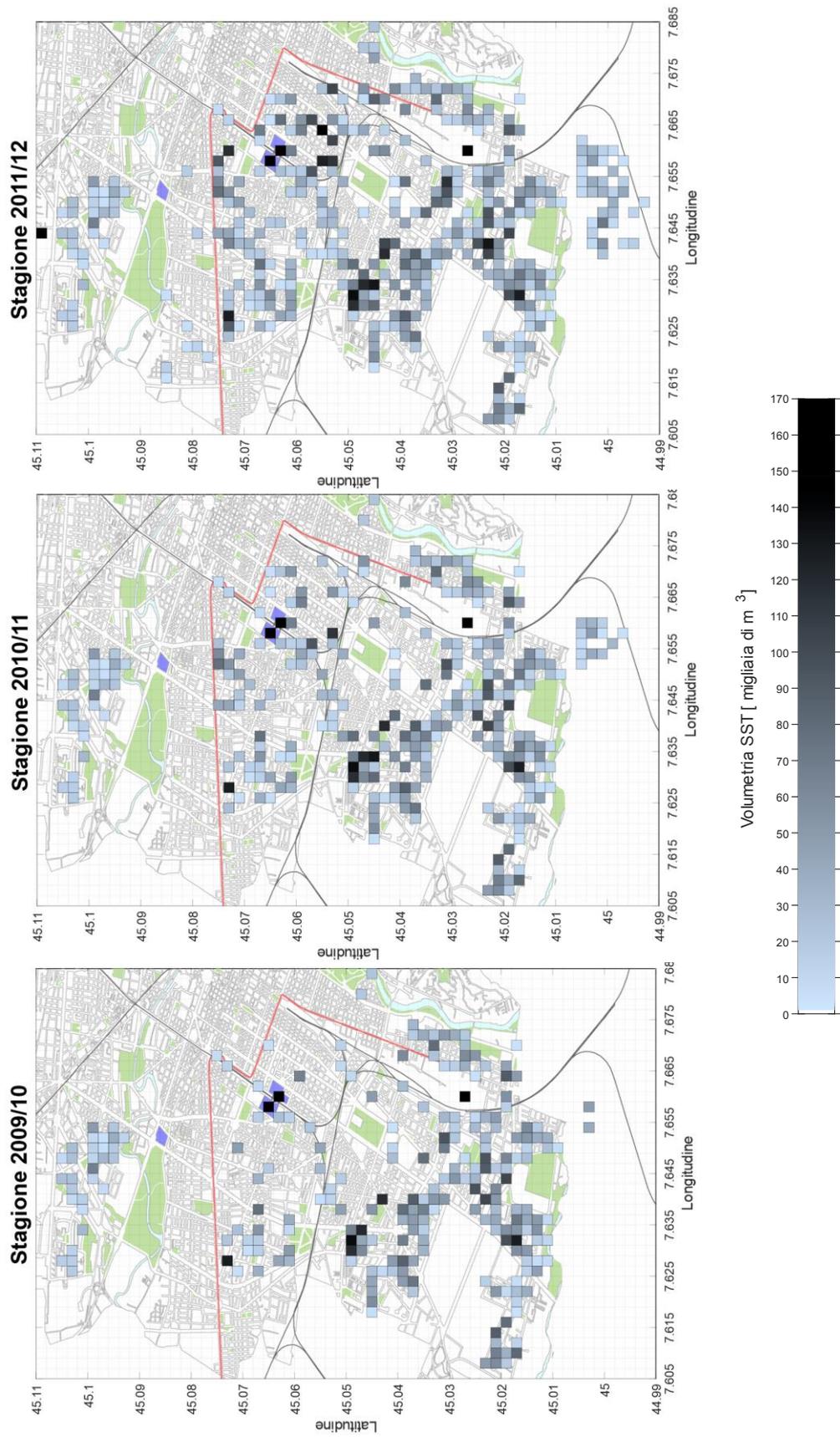


Figura 5.5 – Distribuzione volumetrica per le stagioni 2009/10, 2010/11 e 2011/12

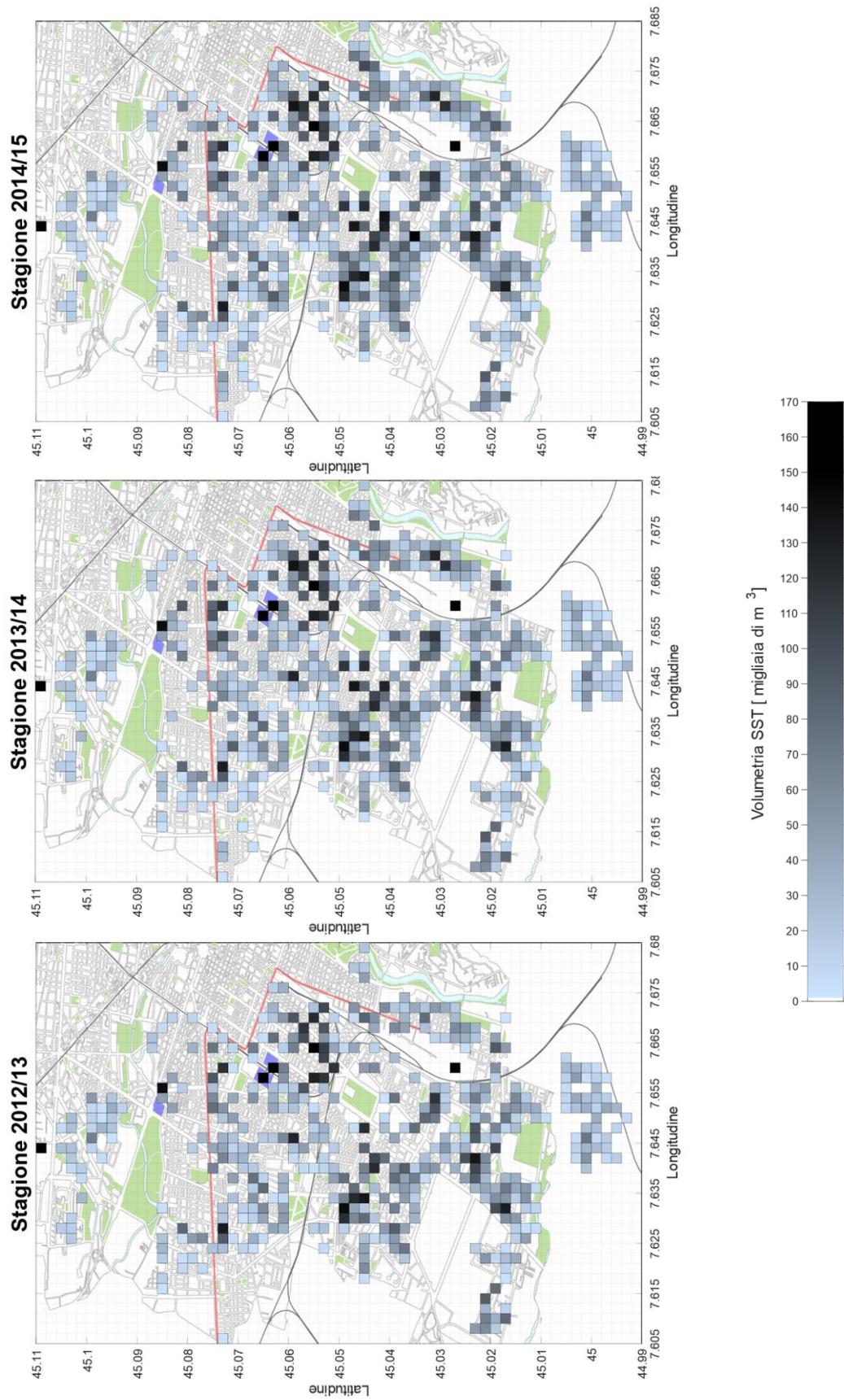


Figura 5.6 – Distribuzione volumetria per le stagioni 2012/13, 2013/14 e 2014/15

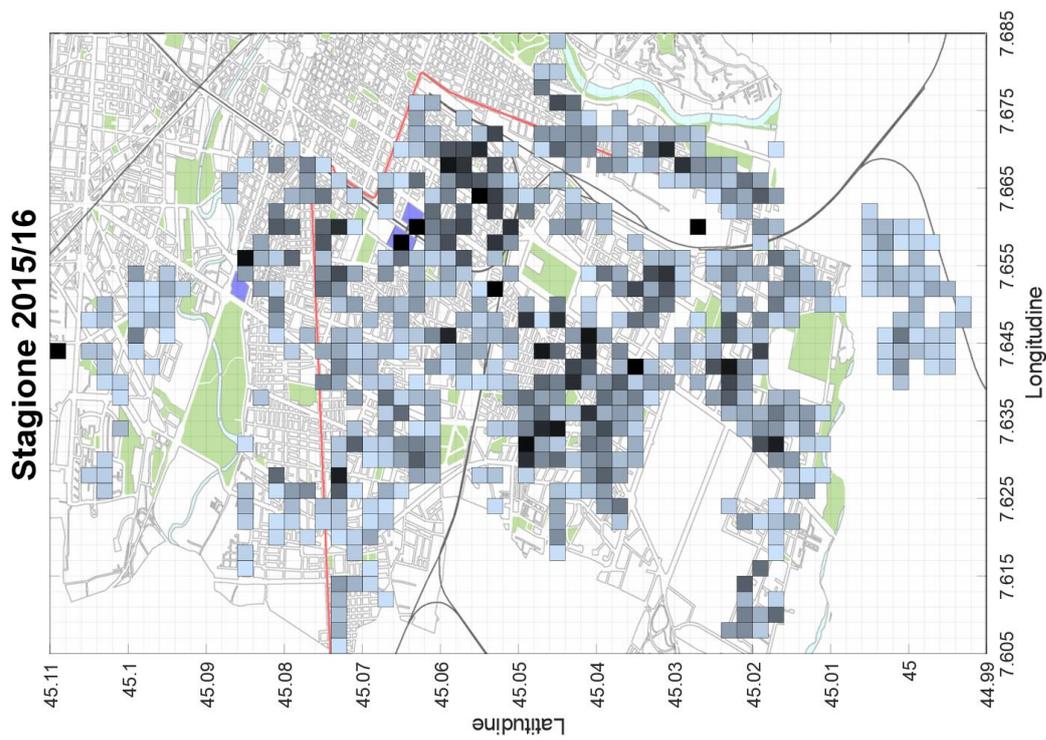
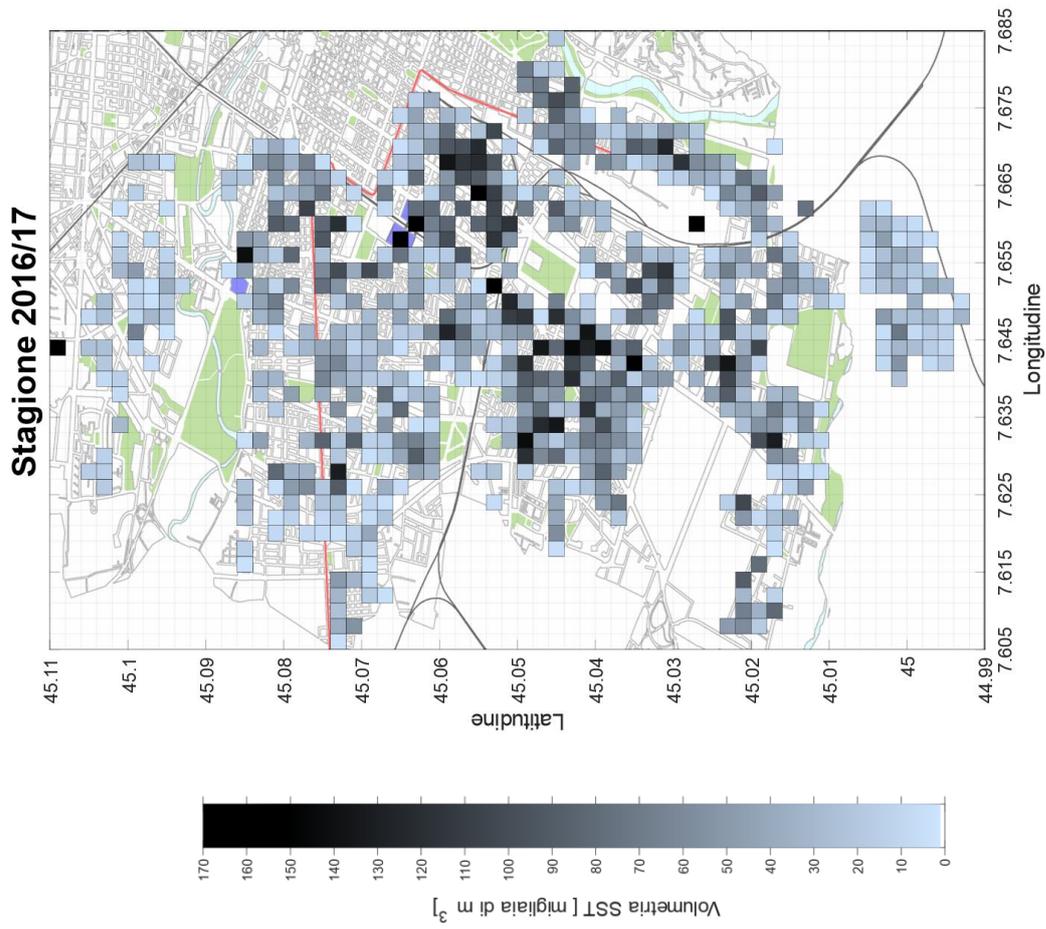


Figura 5.7 – Distribuzione volumetria per le stagioni 2015/16 e 2016/17

5.4 Confronto tra volumetria e numero delle sottostazioni

In questo paragrafo, per poter fare un confronto, la diffusione della rete di teleriscaldamento viene mostrata anche visualizzando sulla mappa il numero di sottostazioni contenute dentro ciascun quadrato del reticolo. La densità delle utenze nei vari quartieri, infatti, non è riconoscibile da una distribuzione basata sulla concentrazione della volumetria, in quanto si può essere ingannati dalle singole utenze con volume molto elevato (come ad esempio il Politecnico).

Il confronto è riportato per la prima (figura 5.8) e per l'ultima stagione (figura 5.9) del periodo analizzato.

Dal punto di vista del numero delle sottostazioni, la distribuzione iniziale delle utenze sembra abbastanza uniforme, con una concentrazione leggermente più elevata a Torino Sud, mentre nella stagione 2017/18 si riconoscono alcuni addensamenti notevoli. In particolare: i quartieri di San Donato, Santa Rita e Crocetta.

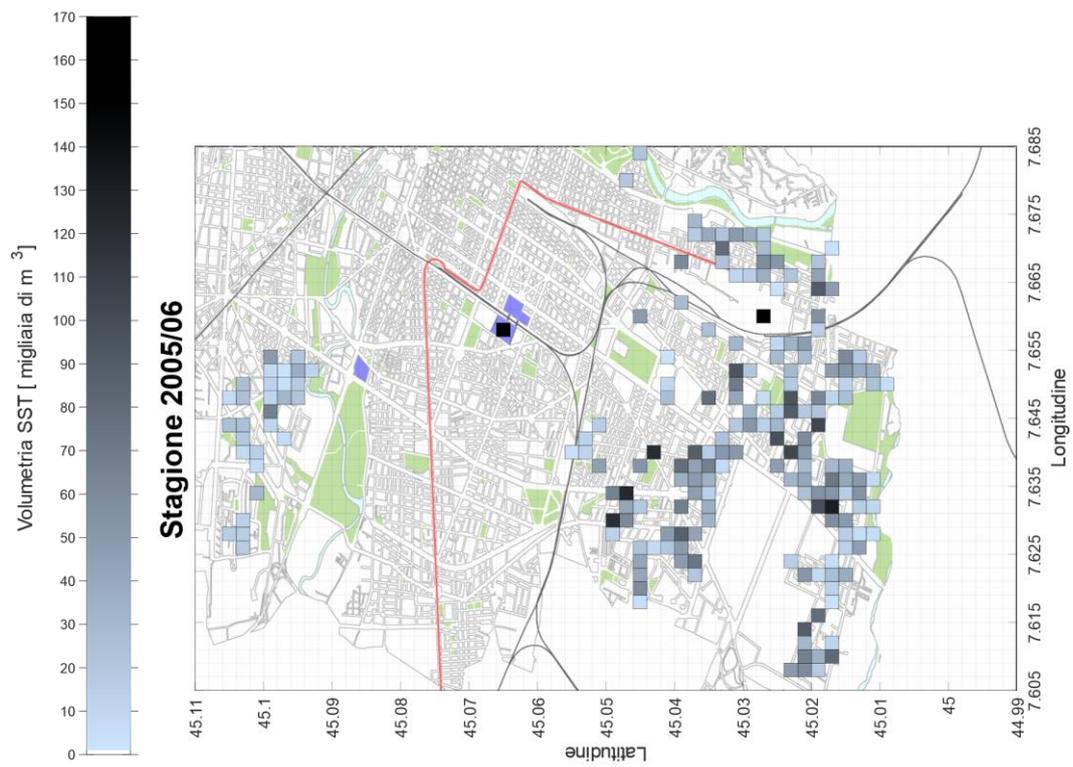
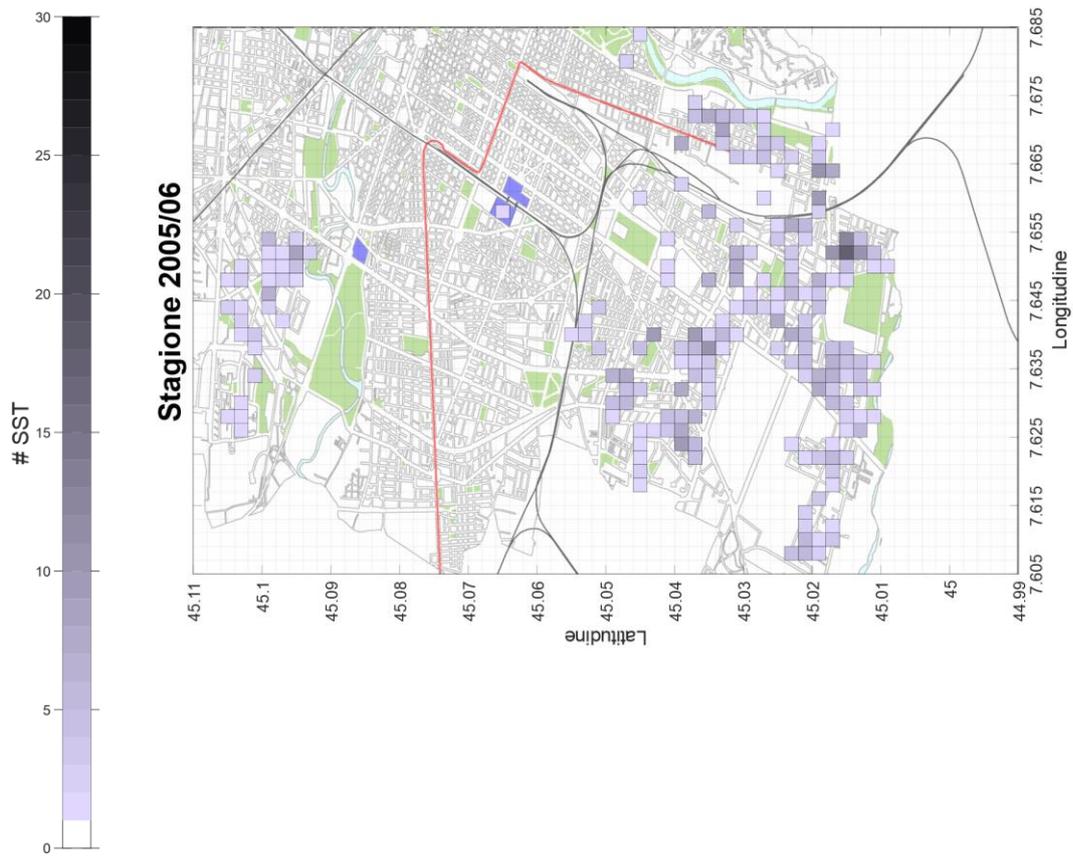


Figura 5.8 – Confronto tra i due tipi di distribuzione, stagione 2005/06

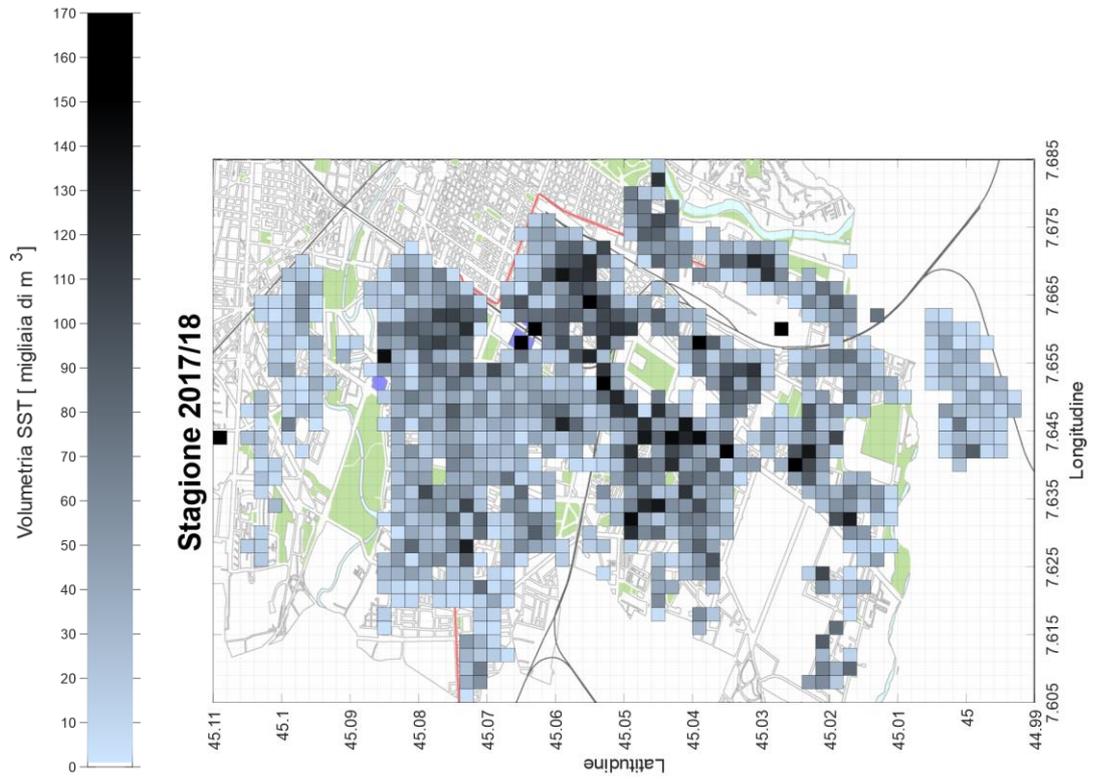
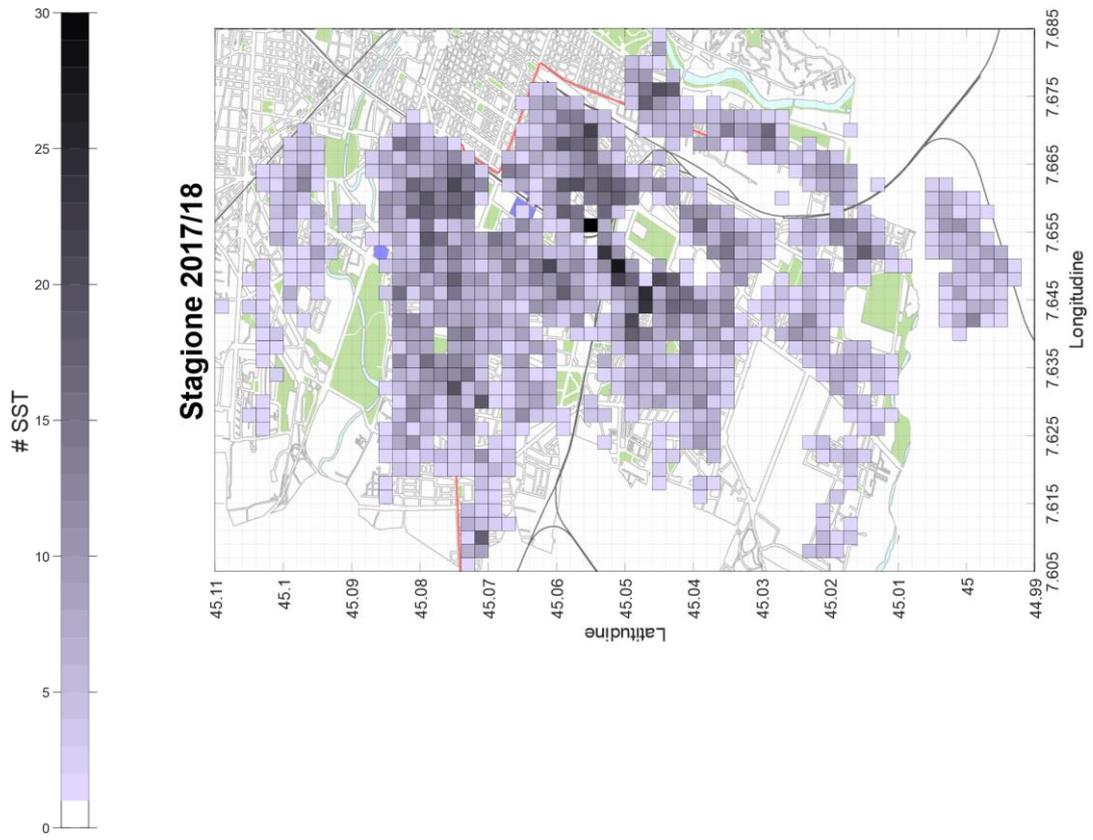


Figura 5.9 – Confronto tra i due tipi di distribuzione, stagione 2017/18

5.5 Evoluzione delle classi di efficienza di energetica

Per fornire una rappresentazione grafica dell'evoluzione temporale e della distribuzione geografica dell'efficienza energetica, per ogni stagione del periodo considerato, è stato calcolato un indice di EP equivalente per ciascun i-esimo quadrato del reticolo, contenente 'n' sottostazioni attive nella stagione j-esima, come media pesata sul volume:

$$\overline{EP}_{i,j} = \frac{\sum_{z=1}^n \text{Energia}_{z,j}}{\sum_{z=1}^n \text{Volumetria}_z} \cdot \frac{GG_{\text{Torino}}}{GG_j} \quad \left[\frac{kWh}{m^3} \right]$$

Ovviamente, i quadrati della griglia senza utenze al loro interno sono stati tralasciati.

In seguito al calcolo, è stato assegnato il colore corrispondente alla classe di efficienza energetica per il valore di EP ottenuto.

Nelle figure dal numero 5.10 al 5.15, dopo un confronto tra prima e ultima stagione, sono rappresentate le distribuzioni per tutto il periodo considerato.

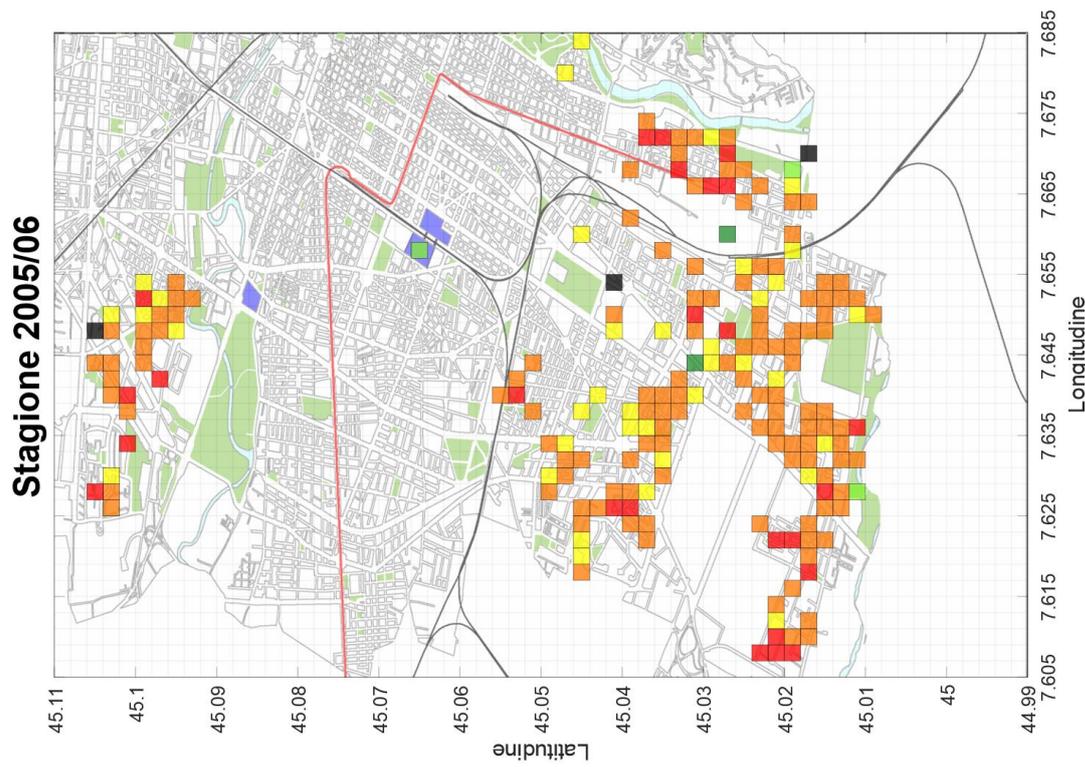
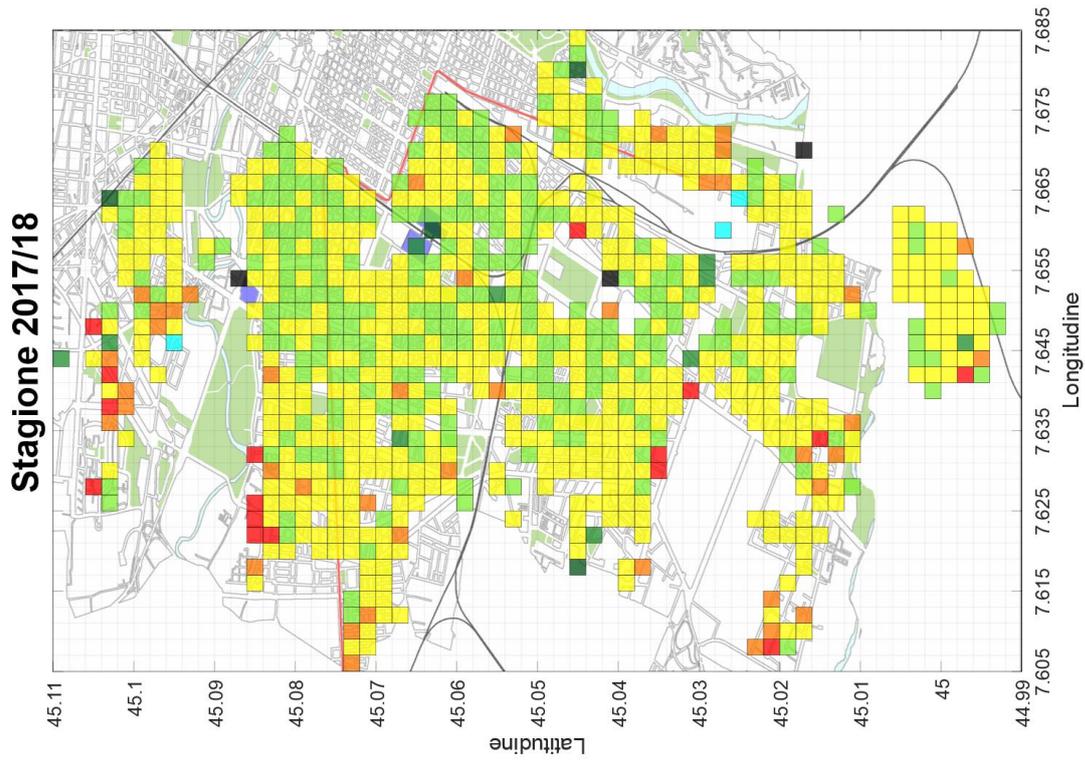


Figura 5.11 – Distribuzione classi di efficienza nella stagione 2017/18

Figura 5.10 – Distribuzione classi di efficienza nella stagione 2005/06

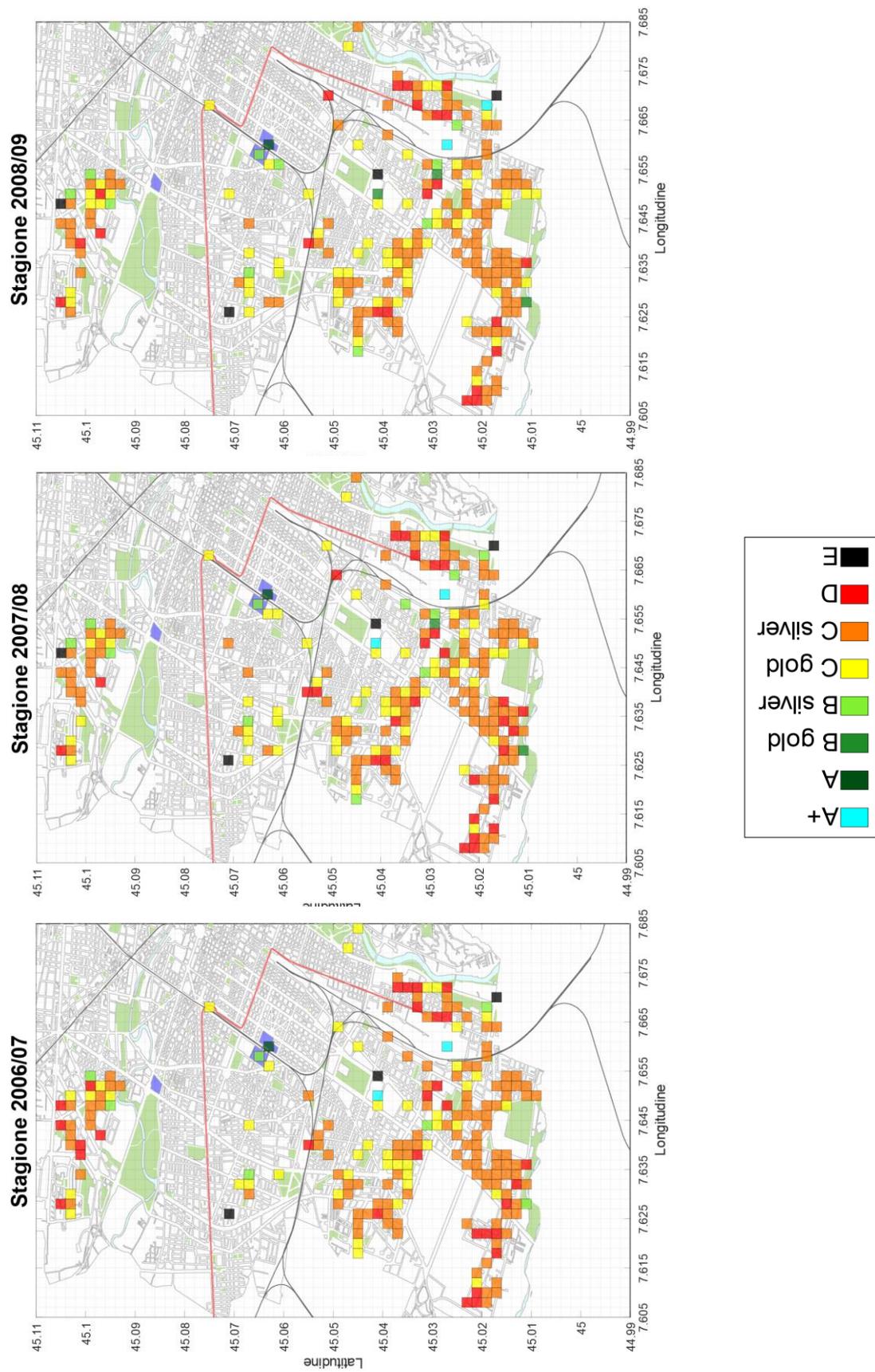


Figura 5.12 – Distribuzione classi di efficienza energetica per le stagioni 2006/07, 2007/08 e 2008/09

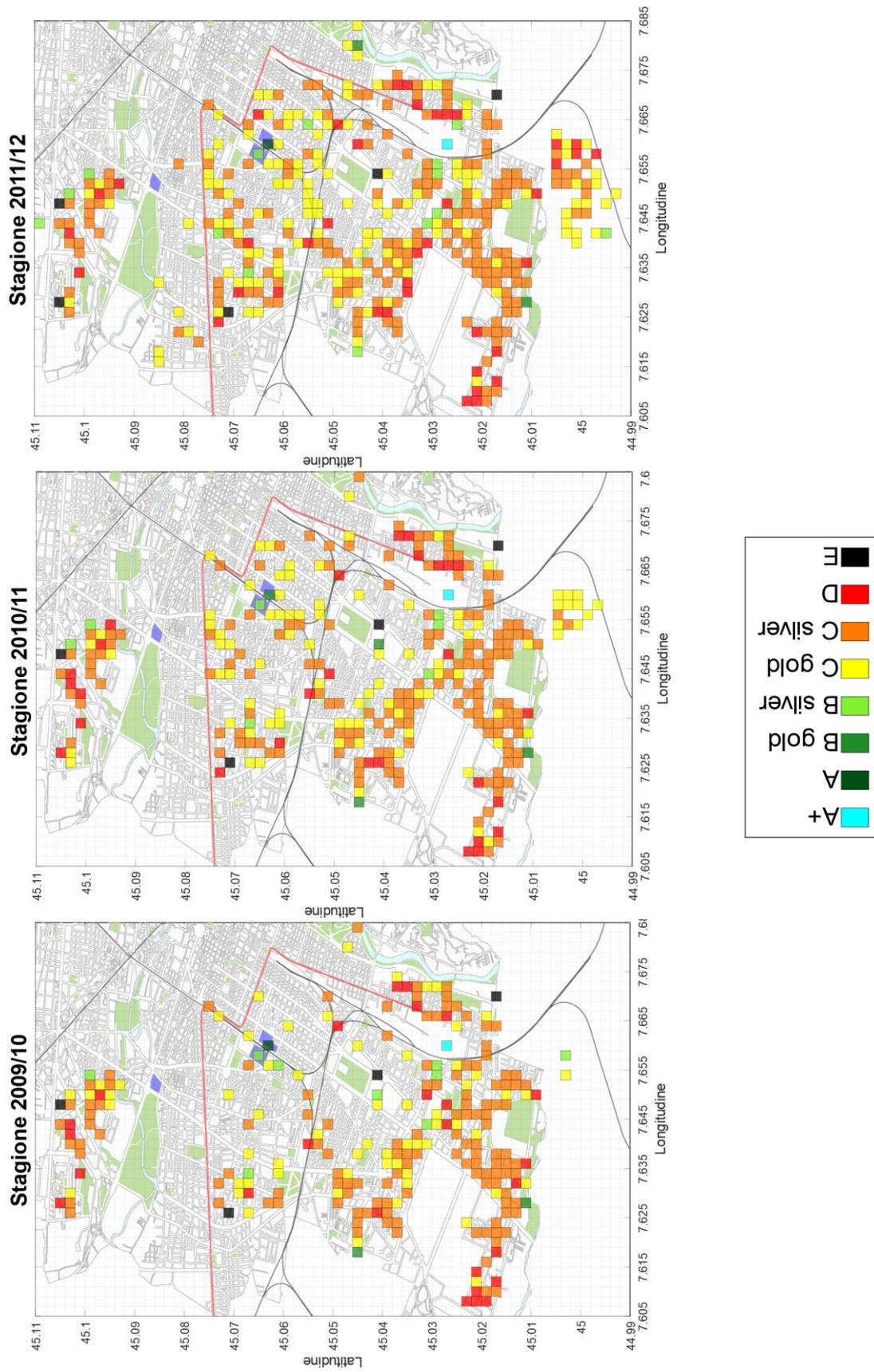


Figura 5.13 – Distribuzione classi di efficienza energetica per le stagioni 2009/10, 2010/11 e 2011/12

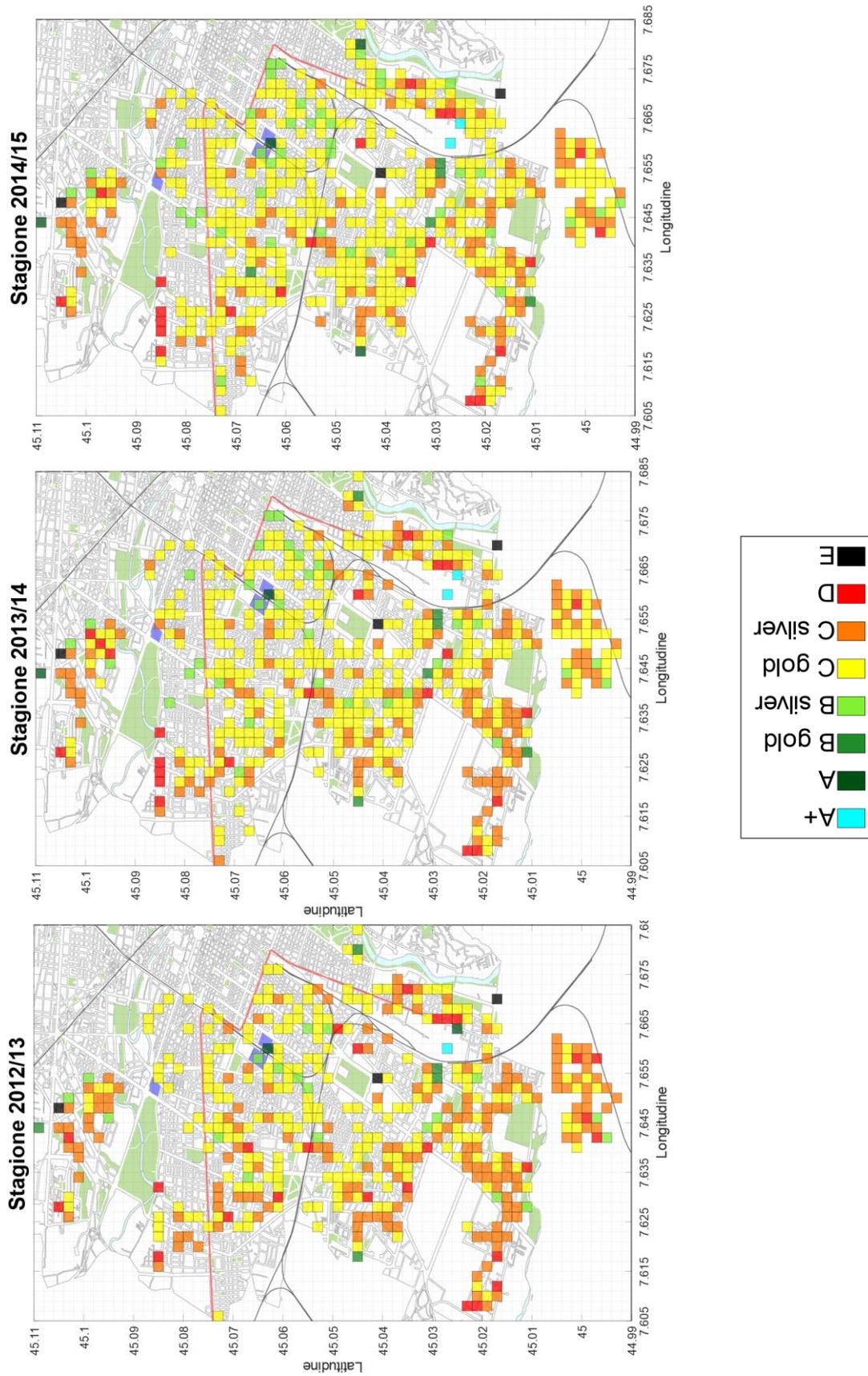


Figura 5.14 – Distribuzione classi di efficienza energetica per le stagioni 2012/13, 2013/14 e 2014/15

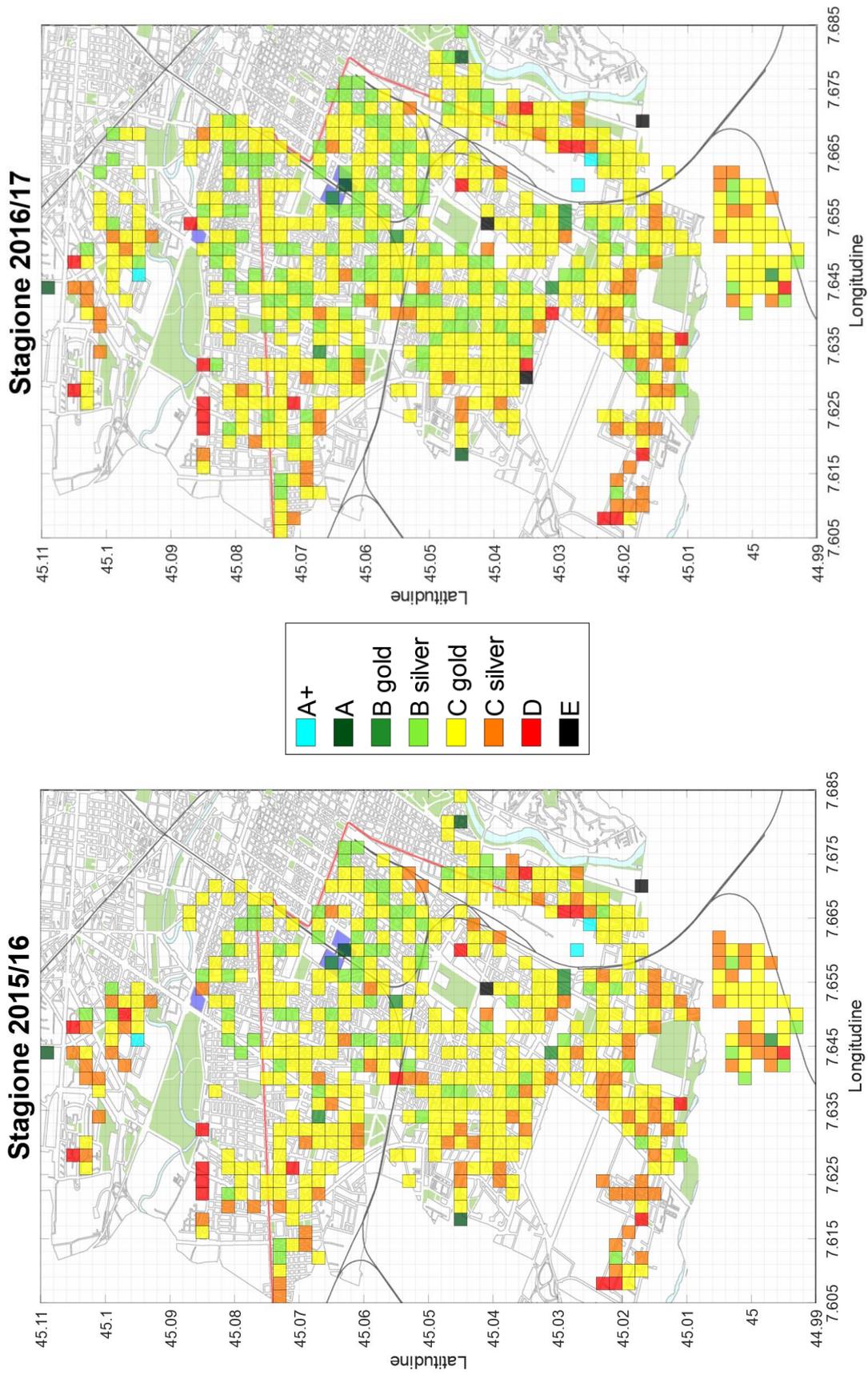


Figura 5.15 – Distribuzione classi di efficienza per le stagioni 2015/16 e 2016/17

Analizzando le immagini in sequenza temporale si trova conferma di quanto affermato nel capitolo precedente: per le prime sette stagioni, il colore dominante è l'arancione, corrispondente alla classe "C silver" (tra 40 e 50 kWh/m³), dal 2012 in poi esso viene sovrastato dal giallo, ossia dalla classe "C gold" (tra 30 e 40 kWh/m³).

Nelle ultime quattro stagioni, inoltre, si può osservare un progressivo aumento del colore verde chiaro, ovvero della classe "B silver" (tra 20 e 30 kWh/m³). Nella figura 5.11, le porzioni verdi della mappa occupano una frazione rilevante del totale, in particolare nelle zone centrali della Città.

5.6 Mappe dettagliate per la stagione 2017/18

Nel seguente paragrafo viene analizzata nel dettaglio la stagione 2017/18.

In queste mappe, siccome i numeri rappresentati sono notevolmente inferiori ai casi precedenti, non viene più rappresentata una griglia equivalente, bensì le singole sottostazioni.

Prima di procedere è importante specificare che nelle figure presentate, le coordinate dei punti sono state leggermente alterate per il rispetto della privacy degli utenti.

Basse Efficienze – Classi D ed E (oltre 50 kWh/m³)

Nella figura 5.16 sono rappresentate le 105 sottostazioni corrispondenti alle classi “D” ed “E”.

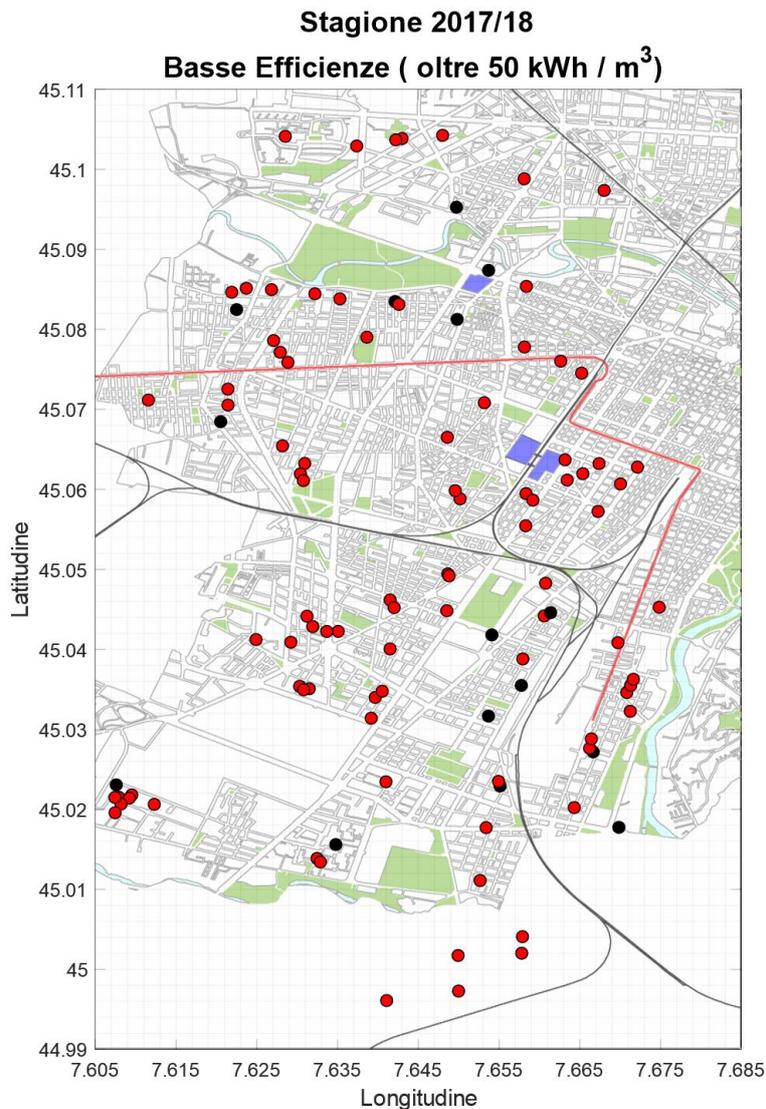


Figura 5.16 – Distribuzione SST di bassa efficienza nella stagione 2017/18

Apparentemente, le zone più interessate da questo tipo di sottostazioni sono quelle periferiche, con una concentrazione particolarmente rilevante a Mirafiori Sud e Nord e nelle zone settentrionali attorno alla Dora. Il quartiere Crocetta, che, si vedrà a breve, si distingue per numero di sottostazioni ad alta efficienza, contiene anche un numero non indifferente di utenze di classe “D”.

Altissime Efficienze – Classi “B gold”, “A” ed “A+” (fino a 20 kWh/m³)

Nella figura 5.17 vengono mostrate le 173 sottostazioni assegnate alle classi “B gold”, “A” ed “A+”.

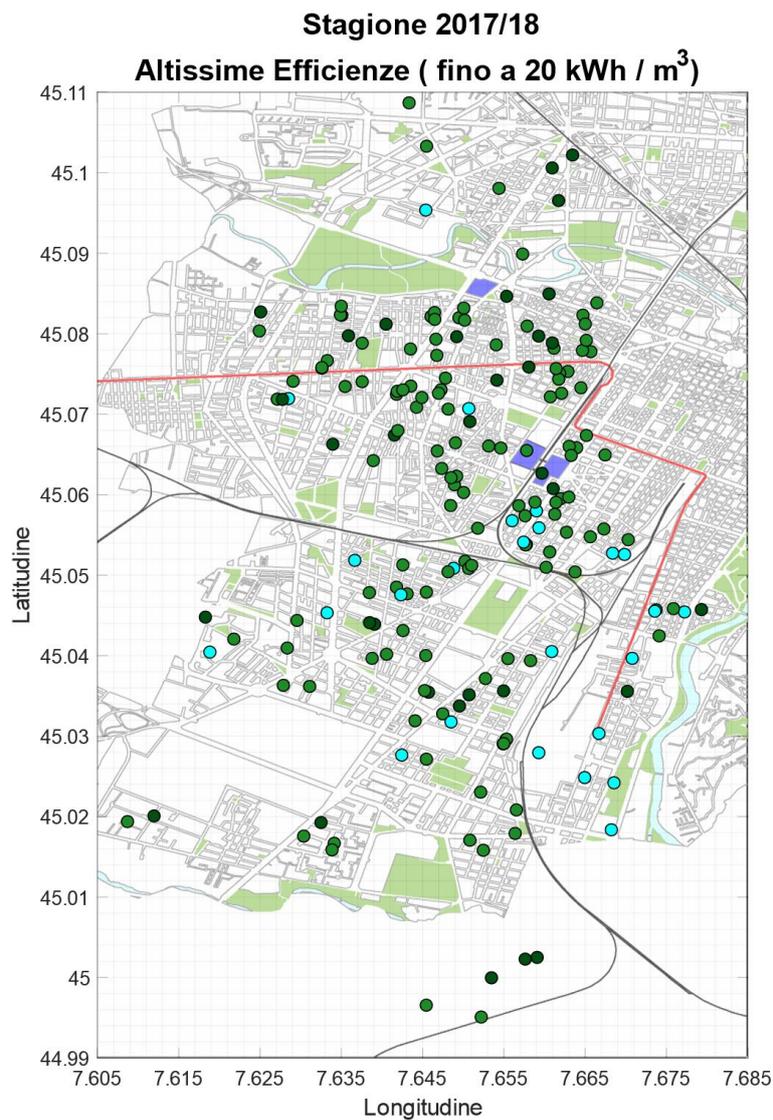


Figura 5.17 – Distribuzione SST ad altissima efficienza nella stagione 2017/18

Ogni frazione della mappa contiene almeno una di queste utenze ad altissima efficienza, ma si può osservare una netta concentrazione verso le zone del centro, in particolare i quartieri della Circoscrizione 4 (Parella, Campidoglio e San Donato) seguiti da quelli di Crocetta e Santa Rita.

5.7 Approfondimento – sottostazioni attivate nelle stagioni 2013/14 e 2016/17

Nel paragrafo 4.3 dello scorso capitolo, quando le sottostazioni sono state analizzate differenziando in base all'anno di attivazione, era stato evidenziato come, escluse le utenze antecedenti al 2006, gli unici gruppi aventi prestazioni energetiche peggiori rispetto al valore medio della rete fossero quelli corrispondenti alle unità installate nelle stagioni 2013/14 e 2016/17.

Utilizzando le mappe, in questo paragrafo si vogliono mostrare proprio queste sottostazioni, con lo scopo di supportare i gestori della rete nell'individuazione dei punti di maggior efficacia per eventuali investimenti in cappotti, poiché questo trend potrebbe essere legato al tipo di edilizia di base

Per escludere dall'analisi alcuni casi di “rumore”, sono state considerate soltanto le sottostazioni con efficienza energetica peggiore, rispetto al valore equivalente della rete, non solo durante la stagione corrente, ma anche in quella precedente, la 2016/17.

I numeri considerati in questo approfondimento sono riportati nella tabella 5.2. È interessante osservare come più di un terzo (37,7 %) delle sottostazioni attivate nelle due stagioni analizzate siano caratterizzate da prestazioni mediocri rispetto alla media.

	SST attivate nel 2013/14	SST attivate nel 2016/17	Totale
# SST totale	193	261	454
# SST con EP>EP medio in entrambe le ultime stagioni	69	102	171

Tabella 5.2 – Numeri delle sottostazioni approfondite

SST attivate nelle stag. 13/14 e 16/17 con EP > EP medio

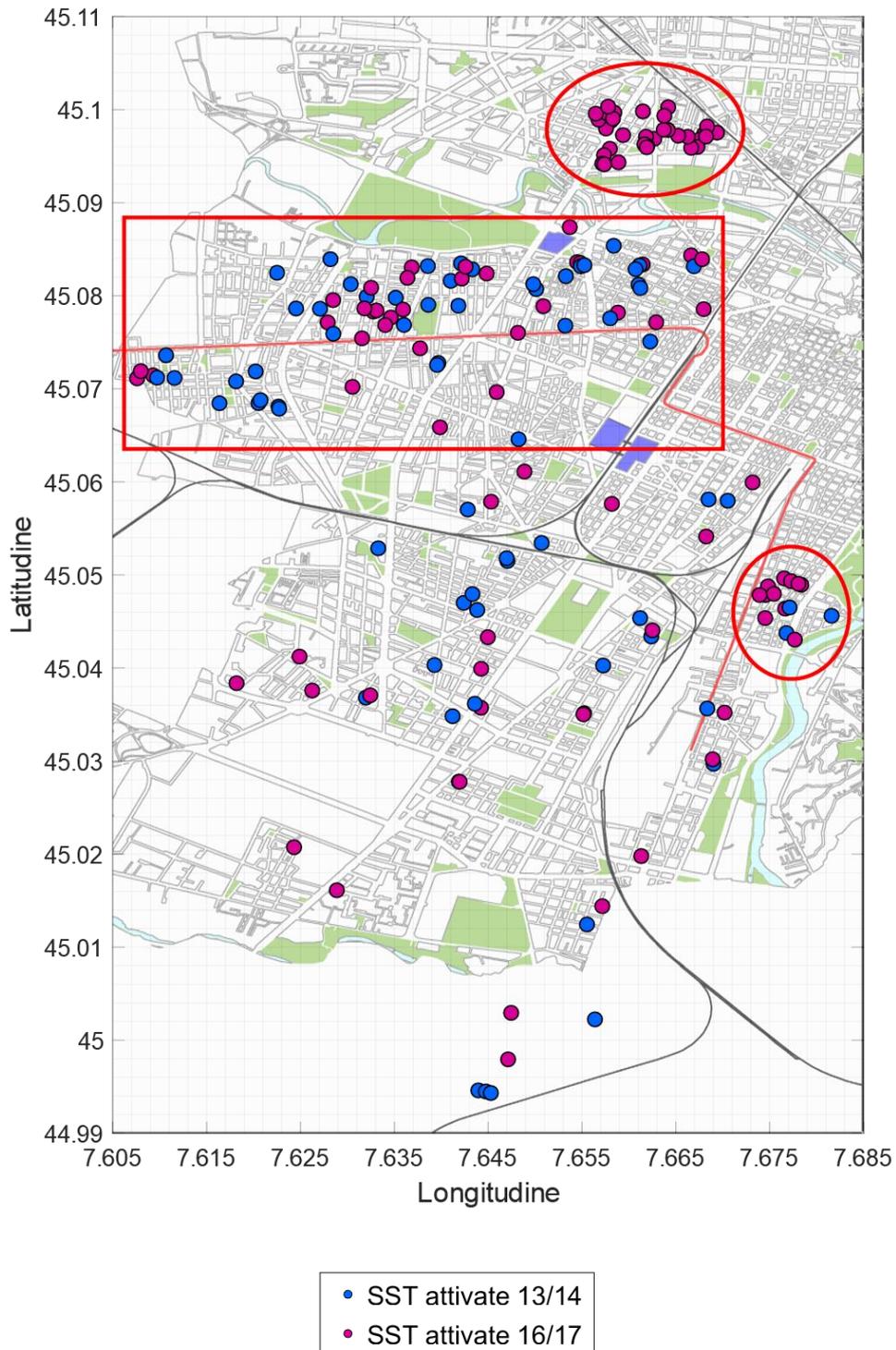


Figura 5.18 – Mappa SST attivate nelle stagioni 2013/14 e 2016/17 con EP > EP medio

Nella mappa in figura 5.18 si può osservare la distribuzione di queste utenze nel territorio della città.

Da un primo sguardo, si possono notare tre concentrazioni in particolare, evidenziate sul grafico da due elissi ed un rettangolo rossi.

Quella situata a nord, nel quartiere Madonna di Campagna, contiene ben 33 sottostazioni, tutte attivate nella stagione 2016/17. La seconda si trova a sud-est, nella zona statistica corso Dante – ponte Isabella, e comprende 14 unità. Vi sono infine ben 74 sottostazioni “poco performanti” distribuite nell’ampia fascia, a sud del fiume Dora, che va dal quartiere Parella a San Donato, individuata dal rettangolo rosso, con netta maggioranza di utenze allacciate nella stagione 2013/14.

Conclusioni

Il lavoro effettuato è volto allo sviluppo di una metodologia di analisi dell'evoluzione dei fabbisogni energetici delle utenze allacciate alla rete di teleriscaldamento di Torino.

L'indice numerico adottato per rappresentare l'efficienza energetica, denominato EP in analogia all'indice di Prestazione Energetica comunemente utilizzato in edilizia, consiste nel consumo di energia per il riscaldamento per unità di volume riscaldato, normalizzato, tramite i gradi giorno, alle variazioni climatiche. Si tratta di un parametro classico nell'analisi dell'efficienza energetica di un edificio che, pur con approssimazioni nelle modalità di calcolo, è confrontabile con gli indici di efficienza energetica adottati a livello normativo. Al contempo rappresenta uno dei principali indici progettuali adottati dagli operatori del settore, in quanto è correlato tanto alla determinazione dei ricavi di vendita quanto alle grandezze tecniche necessarie al dimensionamento delle componenti.

Primo risultato dell'analisi è stato il calcolo dell'indice EP medio della rete. Tale valore, a livello cittadino risulta in progressiva riduzione e si attesta oggi intorno a 30 kWh/m³/anno. Dal confronto con gli indici energetici usualmente utilizzati in edilizia corrisponderebbe indicativamente ad una "Classe C", ma nella sua determinazione potrebbe essere viziato da una non perfetta valorizzazione delle volumetrie edificate che, seppur formalmente riferite alle sole parti scaldate, potrebbero in realtà frequentemente comprendere anche aree comuni o misure vuoto per pieno. Ciononostante, bisogna ricordare che il focus principale di questa tesi è studiare l'evoluzione dell'efficienza, non il suo valore assoluto.

Dall'analisi della distribuzione di frequenza, si nota che non sono rari edifici con valori da 15 a 50 kWh/m³/anno, ad indicare una considerevole disorganicità del parco edilizio analizzato.

Per semplificare la rappresentazione dei risultati, si è recuperato dalla normativa il principio della distinzione in classi energetiche. La ripartizione, ai fini di evidenziare i fenomeni caratteristici, è stata adattata al parco edilizio studiato, con una concentrazione maggiore verso la zona in cui si trova il maggior numero di sottostazioni.

Il modello sviluppato, in ogni caso, rimane indipendente dalle peculiarità della rete di teleriscaldamento di Torino, sia dal punto di vista tecnico che geografico, ed è dunque applicabile ad altri casi studio, a condizione di disporre di una serie di dati in input di simile qualità e dettaglio.

In sostanza, una volta calcolato EP per tutte le utenze, in tutte le stagioni di attività, ed assegnate le classi corrispondenti, i risultati sono stati presentati tramite diverse aggregazioni, che possono essere raggruppate in due categorie principali di analisi, tra loro complementari: l'evoluzione temporale e quella geografica.

La prima tipologia, in particolare, ha mostrato l'andamento temporale dell'indice di prestazione energetica medio della rete, caratterizzato da una costante decrescita per tutto il periodo delle tredici stagioni esaminate. Inoltre, lo studio della distribuzione della volumetria associata alle classi di efficienza ha rivelato un comportamento caratteristico: a partire dal 2012, gli indici delle sottostazioni si sono progressivamente concentrati verso categorie migliori (principalmente nella fascia di EP compresa tra 20 e 40 kWh/m³), mentre quelle poco performanti si sono ridotte ad un numero molto limitato.

Inserire i risultati sulla mappa della città ha completato la comprensione di questo processo. Attraverso la geolocalizzazione dell'evoluzione dell'efficienza energetica sono emerse aree ove gli interventi di efficientamento risultano maggiormente capillari.

Per ampliare lo studio si indicano alcuni possibili sviluppi.

La priorità dovrebbe essere quella di trovare un modo per inserire, almeno in parte, le sottostazioni a fornitura "mista", ora escluse a priori dall'analisi (nel caso della rete di Torino esse sono circa una su sei e rappresentano circa il 30% della volumetria servita totale). Il modello andrebbe adattato per estrarre la quota corrispondente all'acqua calda sanitaria dal valore globale di energia venduta, per mantenere l'analisi sempre sui consumi di calore per il riscaldamento.

Un secondo sviluppo potrebbe orientare l'attenzione sull'analisi dei clienti potenziali al fine di modulare le attività commerciali in relazione al fabbisogno attuale e alla sua evoluzione attesa.

A tal proposito, si è capito come le prestazioni energetiche di ogni utenza dipendano dall'anno di costruzione dell'edificio e dalla tipologia edilizia di base. In fase di censimento per potenziali clienti in nuovi territori, si potrebbero estrarre informazioni a riguardo e di conseguenza determinare con maggior precisione le stime di fabbisogno e la loro evoluzione nel tempo.

Bibliografia

[1] AIRU, ASSOCIAZIONE ITALIANA RISCALDAMENTO URBANO, *Il riscaldamento urbano: annuario 2017*, Milano (MI), Editrice Alkes, 2017;

[2] D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, in materia di "*Regolamento per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia*", Allegato A – “Tabella dei gradi/giorno dei Comuni italiani raggruppati per Regione e Provincia” e s.m.i.;

[3] L.R. 28 maggio 2007, n. 13, in materia di “*Disposizioni in materia di rendimento energetico nell’edilizia*”;

[4] UNI EN ISO 15927-6:2008, "*Prestazione termoigrometrica degli edifici - Calcolo e presentazione dei dati climatici - Parte 6: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno)*";

[5] Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012, “*sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE*”;

[6] D. Lgs. 4 luglio 2014, n. 102, in materia di “*Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE*”

Sitografia

- [S1] www.gruppoiren.it, Gruppo IREN S.p.A.
- [S2] www.arpa.piemonte.it, ARPA Piemonte, sezione *Rischi naturali Piemonte*
- [S3] dati.istat.it, Banca dati dell'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT)
- [S4] www.nga.mil, National Geospatial-Intelligence Agency
- [S5] www.epsg.io, Coordinate Systems Worldwide
- [S6] www.geoportale.comune.torino.it, Geoportale del Comune di Torino
- [S7] www.geoportale.piemonte.it, Geoportale della Regione Piemonte
- [S8] www.mathworks.com, MATLAB Documentation

Ringraziamenti

Desidero ringraziare il prof. Vittorio Verda e l'ing. Elisa Guelpa per la disponibilità avuta nel guidarmi in questa tesi, e in particolare per avermi fatto appassionare al lavoro che stavo sviluppando.

Un ringraziamento speciale all'ing. Guido Noce, alla dott.ssa Luisa Debernardi e all'ing. Sonia Bertocci, i quali, fin dal primo incontro in azienda, mi hanno subito fatto sentire a mio agio, nella mia prima vera esperienza fuori dalla “comfort zone” che l'ambiente scolastico rappresenta per uno studente. Durante ogni riunione, email o confronto, mi hanno sempre trasmesso entusiasmo e grandissima fiducia nelle mie capacità.

Il ringraziamento prosegue con una dedica a tutte le persone che mi hanno accompagnato, passo dopo passo, durante gli anni universitari.

Ai miei genitori: questa tesi rappresenta finalmente il completamento di un lungo percorso, in cui voi siete sempre stati al mio fianco, dando tutti voi stessi, ogni giorno, in tutti gli aspetti e le difficoltà che si sono presentate.

A Celeste, a cui piace definirsi la mia “tifosa numero uno”, ma che in realtà è molto di più. Impossibile da esprimere a parole quanto tu sia stata importante per me durante questa carriera universitaria. Punto di riferimento sempre presente, in grado di capirmi, e in particolare, di spronarmi a mettermi in gioco, a superare gli ostacoli e i momenti difficili.

Alla mia famiglia, che in questi cinque anni mi ha sempre supportato, facendo il tifo per me pur essendo lontani. Una dedica particolare va a chi mi ha seguito da più lontano di tutti, e che purtroppo ha potuto assistere solo all'inizio di questa esperienza, ma che in realtà è sempre stato con me per tutta la durata del viaggio.

Alla mia seconda famiglia, gli amici di sempre, su cui si può sempre contare: quando c'è bisogno di confrontarsi, di sfogarsi, di essere consolati, di ridere o semplicemente di non pensare a niente.

Ultimi ma non per importanza: ai compagni di “poli”, che mi hanno sopportato per quasi cinque anni, e che ringrazio per aver contribuito a trasformare la quotidianità della routine di uno studente in un periodo unico ed indimenticabile della mia vita.