POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi dei consumi e delle azioni di efficientamento energetico per le scuole della Città Metropolitana di Torino

Anno Accademico 2019/2020

Relatrice:
Prof.ssa Guglielmina Mutani

Candidato:
Salvatore Balacco

Sommario

1 Introduzione 1

1.1 Panoramica dei dati statistici sull'energia 4

1.1.1 Unione Europea 4

1.1.2 Italia 5

1.1.3 Piemonte 8

1.2 Excursus normativo sull'efficienza energetica degli edifici 10

2 Analisi dei consumi termici per riscaldamento 15

2.1 Descrizione generale della metodologia usata 17

2.2 Descrizione del campione di edifici 19

2.2.1 Città Metropolitana di Torino 19

2.2.2 Comune di Torino 24

2.3 Raccolta dei dati 26

2.3.1 Dati di consumo 26

2.3.2 Dati climatici 30

2.4 Firma energetica 32

3 Consumi energetici prima della riqualificazione 35

3.1 Città Metropolitana di Torino 37

3.1.1 Correlazione dei consumi con il volume lordo riscaldato 45

3.1.2 Individuazione delle correlazioni tra il consumo e le altre grandezze 47

3.2 Comune di Torino 61

3.3 Grafico dei quadranti - ante 65

4 Analisi dei risparmi 68

4.1 Riqualificazione impiantistica – Città Metropolitana di Torino 68

4.1.1 Consumi post-riqualificazione 70

4.1.2 Determinazione dei risparmi 73

4.1.3 Individuazione delle correlazioni 83
4.2 Riqualificazione globale – Comune di Torino 87
4.2.1 Interventi su involucro e impianti – risparmio globale 88
4.2.2 Interventi sugli impianti 90
4.2.3 Interventi sull'involucro edilizio 92
4.3 Grafico dei quadranti – post 95
5 Contratti di fornitura energetica 97
5.1 Comune di Torino – fornitura gas naturale 98
5.1.1 Definizione dei corrispettivi 99
5.2 Città Metropolitana di Torino – soglie massime di consumo 100
5.3 Città Metropolitana di Torino – CONSIP SIE 3 103
5.3.1 Obiettivi di risparmio energetico 104
5.3.2 Definizione dei corrispettivi 106
5.4 Stima dei risparmi conseguenti ai cambi di contratto 107
6 Considerazioni finali 114
7 Allegati 121
8 Bibliografia 165

Indice delle figure

Fig. 1-Consumo lordo di energia nell'UE per fonte energetica dal 1990 al 2017 (Fonte: Eurostat) [27] 4

Fig. 2-Consumo finale di energia per settore, UE, dal 1990 al 2017 (Fonte :Eurostat) [27] 5

Fig. 3-Consumo finale di energia per fonte energetica, Italia (Elaborazione personale di dati IEA) [28] 6

Fig. 4-Consumo finale di energia per settore, Italia (Elaborazione personale di dati IEA) [28] 6

Fig. 5-Consumo finale di gas naturale per settore, Italia (Elaborazione personale di dati IEA) [28] 7

Fig. 6-Ripartizione, per servizi energetici, del consumo del terziario (Elaborazione personale di dati IEA) [28] 8

Fig. 7-Suddivisione del consumo energetico finale per settore, Piemonte (Fonte:PEAR 2017 Piemonte) [29] 8

Fig. 8-Suddivisione dei consumi, per il settore civile, tra i vettori energetici, Piemonte (Fonte: PEAR 2017 Piemonte) [29] 9

Fig. 9-Rappresentazione delle zone climatiche italiane (Fonte: [8]) 11

Fig. 10-Limiti di esercizio impianti termici (Fonte: [6]) 12

Fig. 11-Suddivisione edifici Città Metropolitana per zona climatica 19

Fig. 12-Distribuzione degli edifici in base ai GG convenzionali 20

Fig. 13-Distribuzione degli edifici in base all'epoca di costruzione 21

Fig. 14-Distribuzione edifici in base al volume lordo riscaldato 21

Fig. 15- Distribuzione edifici in base a superficie disperdente 22

Fig. 16-Distribuzione edifici in base a rapporto S/V 22

Fig. 17-Suddivisione degli edifici per combustibile utilizzato, prima e dopo gli interventi 23

Fig. 18-Distribuzione edifici in base a rendimenti del sottosistema di generazione 24

Fig. 19-Esempio interfaccia banca dati metereologica ARPA Piemonte 30

Fig. 20-Esempio di firma energetica 34

Fig. 21-Esempio di grafico riportante i consumi mensili specifici di energia primaria in funzione della differenza di temperatura media mensile 36

Fig. 22- Consumi reali di energia primaria nell'anno di riferimento 38

Fig. 23- Consumi di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di ogni località . 39

Fig. 24- Consumi di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai i Gradi Giorno convenzionali di Torino 40

Fig. 25- Consumi specifici reali di energia primaria nell'anno di riferimento 41

Fig. 26- Consumi specifici di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di ogni località 42

Fig. 27- Consumi specifici di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino 42

Fig. 28- Correlazione tra il consumo di energia primaria e il volume lordo riscaldato 45

Fig. 29- Correlazione tra il consumo di energia primaria e il volume, distinta tra licei ed istituti tecnici 46

Fig. 30- Correlazione tra il consumo di energia primaria e il volume riscaldato - distinzione tra istituti e licei + misti 47

Fig. 31- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con il rapporto S/V 49

Fig. 32- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con ore di accensione settimanali 50

Fig. 33- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con epoca di costruzione 51

Fig. 34- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con rendimenti di generazione 51

Fig. 35- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con distanza dal centro di Torino in km 52

Fig. 36- Correlazione con P_{tot} - tutti gli edifici 54

Fig. 37- Correlazione con P'_{tot} - tutti gli edifici 55

Fig. 38- Correlazione con $P't_{ot}$ – tutti gli edifici di Torino 56

Fig. 39- Correlazione con distanza dal centro - edifici di Torino 57

Fig. 40- Correlazione con P'_{tot} - istituti tecnici 58

Fig. 41- Correlazione con ore di accensione settimanali - istituti tecnici 59

Fig. 42- Correlazione con P'_{tot} - istituti di Torino 60

Fig. 43- Correlazione con rapporto S/V - licei *61*
Fig. 44- Consumi reali di energia primaria nell'anno di riferimento - Comune *62*
Fig. 45- Consumi di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai GG convenzionali di Torino - Comune *62*
Fig. 46- Consumi specifici reali di energia primaria nell'anno di riferimento - Comune *63*
Fig. 47- Consumi specifici di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati con GG convenzionali di Torino- Comune *63*
Fig. 48- Esempio suddivisione quadranti *65*
Fig. 49- Grafico dei quadranti, consumi prima della riqualificazione normalizzati con GG D.P.R. Torino *66*
Fig. 50- Consumi reali di energia primaria nel 2018/19 ..... *72*
Fig. 51- Consumi di energia primaria del 2018/19, normalizzati rispetto ai GG convenzionali di Torino *72*
Fig. 52- Consumi specifici reali di energia primaria nel 2018/19 ..... *73*
Fig. 53- Consumi specifici di energia primaria nel 2018/19, normalizzati rispetto ai GG convenzionali di Torino *73*
Fig. 54- Risparmio reale di energia *75*
Fig. 55- Risparmio di energia, normalizzato con GG convenzionali di Torino *75*
Fig. 56- Risparmio reale di energia per unità di volume *76*
Fig. 57- Risparmio per unità di volume, normalizzato con GG convenzionali di Torino *76*
Fig. 58- Risparmio percentuale *77*
Fig. 59- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media *77*
Fig. 60- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media - istituti tecnici *78*
Fig. 61- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media - licei *78*
Fig. 62- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media - licei + misti *79*
Fig. 63- Correlazione di P'tot con i risparmi, tutti gli edifici di Città Metropolitana *84*
Fig. 64- Correlazione di P'_{tot} con i risparmi, edifici situati a Torino *85*
Fig. 65- Correlazione di P'_{tot} con i risparmi, istituti tecnici *86*
Fig. 66- Correlazione di P'_{tot} con i risparmi, istituti tecnici di Torino *86*
Fig. 67. Confronto tra consumi normalizzati prima e dopo la riqualificazione globale *88*
Fig. 68- Confronto tra consumi specifici normalizzati prima e dopo la riqualificazione globale *89*
Fig. 69-Confronto tra consumi normalizzati prima e dopo la riqualificazione impiantistica *91*
Fig. 70-Confronto tra consumi specifici normalizzati prima e dopo la riqualificazione impiantistica *91*
Fig. 71- Consumi normalizzati prima e dopo i vari interventi di riqualificazione *92*
Fig. 72- Consumi specifici normalizzati prima e dopo i vari interventi di riqualificazione *93*
Fig. 73- Grafico dei quadranti, consumi dopo la riqualificazione normalizzati con GG D.P.R Torino *95*
Fig. 74- Stima costi sostenuti dal Comune di Torino con l'applicazione di diversi contratti *113*

Indice delle tabelle

Tabella 1-Anno di costruzione e geometria, scuole Comune 25
Tabella 2- Anno termine lavori, scuole Comune 28
Tabella 3- Gradi Giorno convenzionali e reali delle località considerate dal 2014 al 2019 31
Tabella 4- Gradi Giorno reali di Torino dal 2011 al 2014 31
Tabella 5- Edifici con anno di riferimento diverso dal 2015/16 37
Tabella 6- Consumi specifici degli edifici più critici, normalizzati con GG D.P.R. TO 43
Tabella 7- Quadro riassuntivo dei consumi nell'anno di riferimento per tutti gli edifici di Città Metropolitana 44
Tabella 8- Logiche di attribuzione del punteggio di ogni variabile 53
Tabella 9- Coefficienti espressione P'_{tot} - tutti gli edifici 55
Tabella 10- Coefficienti espressione P'_{tot} – istituti tecnici 58
Tabella 11- H'_t e prestazioni dell'impianto prima della riqualificazione - Comune 64
Tabella 12- Elenco interventi su scuole di Città Metropolitana di Torino 69
Tabella 13- Quadro riassuntivo dei consumi del 2018/19 per tutti gli edifici di Città Metropolitana 71
Tabella 14- Risparmi percentuali medi 79
Tabella 15- Costi unitari dell'energia - Fonte: Città Metropolitana di Torino 80
Tabella 16- Quadro riassuntivo dei risparmi energetici ed economici per gli edifici di Città Metropolitana 81
Tabella 17- Risparmio totale energetico ed economico, Città Metropolitana 81
Tabella 18- Costi di investimento e tempi di ritorno, Città Metropolitana 82
Tabella 19- Coefficienti espressione P'_{tot} per risparmi, tutti gli edifici 84
Tabella 20- Coefficienti espressione P'_{tot} per risparmi, tutti gli edifici - mediana 84
Tabella 21- Coefficienti espressione P'_{tot} per risparmi, scuole di Torino 85
Tabella 22- Costi unitari dell'energia - Fonte: Fatture del Comune di Torino relative al 2019 89
Tabella 23- Risparmi riqualificazione globale 90
Tabella 24- Riepilogo risparmi riqualificazione globale 90
Tabella 25- Risparmi riqualificazione impianti 91
Tabella 26- Riepilogo risparmi riqualificazione impianti 92
Tabella 27- Risparmi riqualificazione involucro 93
Tabella 28- Riepilogo risparmi riqualificazione involucro 93
Tabella 29- Valori mediani di risparmio ottenuti 109
Tabella 30- Importi fornitura energetica per l'anno 2015/16, (Fonte: Città Metropolitana di Torino) 110
Tabella 31- Importi CONSIP SIE 3, (Fonte: Città Metropolitana di Torino) 110
Tabella 32- Offerte aggiuntive CONSIP SIE 3, (Fonte: Città Metropolitana di Torino) 111
Tabella 33- Confronto economico contratti, (Fonte: Città Metropolitana di Torino) 111
Tabella 34- Consumi e costi complessivi per riscaldamento del 2017/18, (Fonte: Comune di Torino) 112
Tabella 35- Risparmi ipotetici dopo l'applicazione del contratto con soglie di consumo 112
Tabella 36- Risparmi ipotetici in seguito ad adesione a convenzione simile a CONSIP SIE 3 112

1 Introduzione

Una delle più grandi sfide che l'uomo contemporaneo si trova ad affrontare oggigiorno è sicuramente legata alla riduzione degli impatti ambientali dannosi, causati da attività antropiche, che stanno modificando in maniera drastica il clima e l'ecosistema in ogni parte del mondo; ciò si traduce nell'attuazione di un processo di transizione energetica che riduca la dipendenza dai combustibili fossili, che si avviano verso l'esaurimento, e che ne razionalizzi l'uso in maniera efficiente. La scarsa attenzione che in passato era dedicata ai temi ecologici e ambientali e lo sfruttamento incontrollato delle risorse hanno reso urgente un cambio di rotta a livello globale. Il mutamento del sistema energetico in atto, tuttavia, potrebbe non procedere abbastanza rapidamente da permettere di contenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2 °C rispetto ai livelli preindustriali, cosi come previsto nella COP21 di Parigi. L'Europa, in particolare, si è impegnata per ridurre di almeno il 40 % le emissioni di gas climalteranti entro il 2030, rispetto ai livelli del 1990 [1].

Nel mese di dicembre 2019 inoltre, l'Unione Europea ha reso nota una strategia, soprannominata "Il Green Deal Europeo", che mira alla decarbonizzazione degli Stati Membri, alla loro sostenibilità economica ed ambientale e all'uso efficiente delle risorse energetiche. Tra i vari aspetti analizzati nel documento [2], si sottolinea il ruolo fondamentale dell'efficientamento energetico degli edifici pubblici e privati, responsabili di circa il 40 % del consumo di energia primaria dell'Unione e del 36 % delle emissioni di gas serra [3], per il raggiungimento degli obiettivi preposti.

L'efficienza energetica è dunque uno dei pilastri su cui si fonda il processo di miglioramento del mondo dell'energia verso un futuro più sostenibile, ecologico e sicuro. Il ruolo dell'efficienza energetica, aspetto che accomuna tutti gli ambiti del mondo dell'energia, è fortemente ribadito dal Presidente di ENEA nella prefazione al "Rapporto Annuale Efficienza Energetica" del 2019 [3].

Anche in Italia, uno dei settori finali più energivori, ma che offre maggiori opportunità di risparmio energetico è sicuramente quello legato al mondo degli edifici residenziali e del terziario. Gran parte del consumo di energia primaria di un edificio è dovuta, nella quasi totalità dei casi, alla climatizzazione degli ambienti; in particolare, per quanto riguarda i consumi di energia termica, la climatizzazione invernale rappresenta il servizio che

richiede il maggior fabbisogno di energia . L'aspetto chiave per la riduzione dei consumi di energia termica degli edifici è la progettazione attenta dell'involucro edilizio e dei sistemi impiantistici ivi installati. Tuttavia, almeno in Italia, l'idea di una progettazione dell'edificio anche dal punto di vista energetico è un concetto relativamente recente, risalente a pochi decenni fa. Inoltre, la maggior parte degli edifici italiani è stata costruita in epoche in cui l'attenzione per questi aspetti era pressoché nulla. La riqualificazione degli edifici esistenti rappresenta, pertanto, un'opportunità di risparmio energetico rilevante e da tenere assolutamente in considerazione per migliorare la situazione del sistema energetico nazionale.

Questo lavoro di tesi si concentra sugli aspetti legati all'efficienza e al risparmio energetico degli edifici nell'ambito della Pubblica Amministrazione. In particolare, gli edifici in questione sono alcuni istituti scolastici del Comune di Torino e di Città Metropolitana di Torino. Gli edifici scolastici italiani sono circa 55000 e la maggior parte di questi, circa il 60%, risalgono a prima dell'emanazione della prima legge sull'efficienza energetica degli edifici del 1976 [4]. Inoltre, circa l'87 % delle scuole italiane sono riscaldate con l'uso di combustibili fossili [4]. Per tali motivi si è scelto di concentrare il lavoro sugli edifici scolastici pubblici.

Lo studio si focalizza sull'analisi dei consumi termici per il riscaldamento degli ambienti e sui risparmi energetici ottenuti, in seguito a vari interventi di riqualificazione effettuati, per 32 scuole pubbliche di Città Metropolitana e 6 scuole pubbliche del Comune di Torino. L'obiettivo è quello di quantificare i risparmi reali ottenuti in seguito a vari interventi di riqualificazione, al fine di fornire alle amministrazioni uno strumento per la stima dei risparmi ottenibili da futuri interventi su edifici simili a quelli analizzati. Dato l'elevato numero di edifici da analizzare e considerata l'impossibilità di conoscere alcuni dati degli edifici, non è stato possibile effettuare un audit energetico dettagliato di ogni scuola.

La trattazione parte dall'analisi generale dei consumi antecedenti la riqualificazione; si è cercato di correlare i consumi termici degli edifici con le grandezze principali da cui dipendono, costruendo un modello semplificato, basato sulla sovrapposizione degli effetti, che permettesse di capire l'influenza di ogni variabile sui consumi per il riscaldamento. La caratterizzazione dei consumi di ogni edificio è stata effettuata anche attraverso lo strumento della firma energetica.

Successivamente, sono stati analizzati i consumi post-riqualificazione e i conseguenti risparmi energetici, opportunamente normalizzati per tener conto delle diverse condizioni climatiche; questa analisi è stata effettuata per gli edifici di Città Metropolitana e del Comune di Torino, in modo da stimare gli effetti dovuti alle misure di efficientamento energetico sia sull'impianto, sia sull'involucro degli edifici. Anche per i risparmi si è provato a correlare i valori ottenuti con le grandezze caratteristiche di ogni edificio.

Infine, viene presentata una disamina riguardante i contratti di fornitura energetica utilizzati, nel corso degli anni – fino a quello attualmente in vigore - dai due enti pubblici citati precedentemente. Basandosi su dati storici di consumo, sono stati stimati i potenziali risparmi energetici che potrebbero conseguire semplicemente dal cambio della tipologia di contratto, risultando dunque azioni di efficientamento energetico a costo quasi nullo.

1.1 Panoramica dei dati statistici sull'energia

La situazione energetica attuale europea, con riferimento soprattutto agli usi finali dell'energia ricavata da risorse energetiche fossili, può essere fotografata con una serie di dati statistici, tratti dagli studi di autorevoli agenzie ed enti nazionali ed internazionali, che sono di seguito riportati e commentati.

1.1.1 Unione Europea

Nonostante il percorso intrapreso dall'Unione Europea verso la decarbonizzazione e la riduzione della dipendenza dai combustibili fossili, l'uso di tali risorse energetiche è ancora fondamentale per garantire il soddisfacimento della domanda energetica dei vari settori.

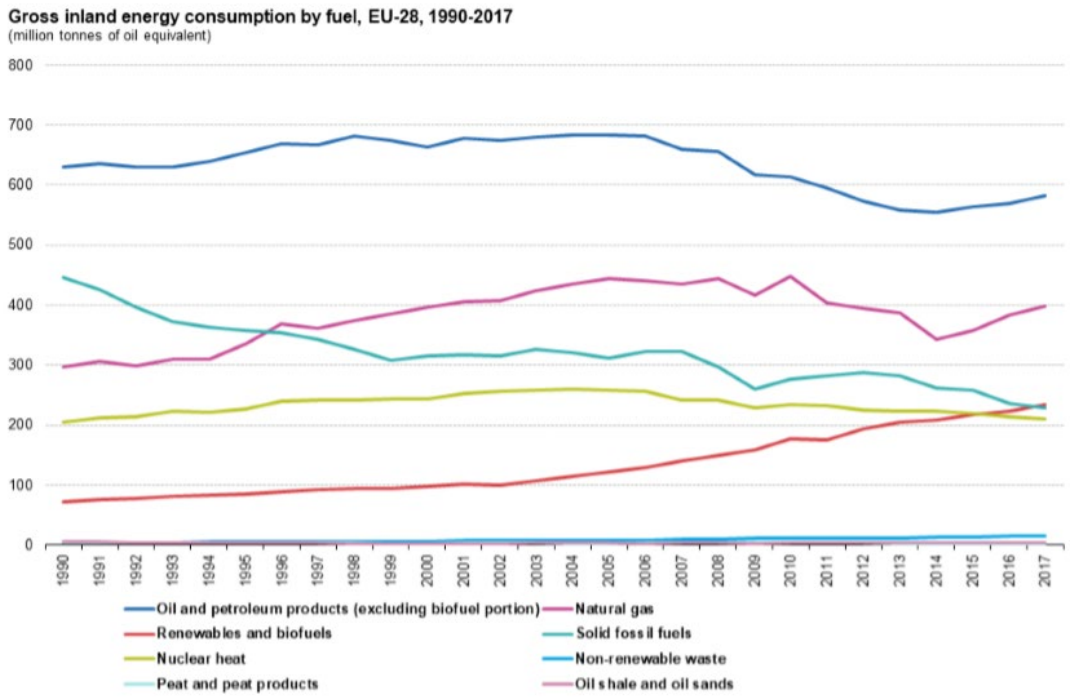


Fig. 1-Consumo lordo di energia nell'UE per fonte energetica dal 1990 al 2017 (Fonte: Eurostat) [27]

La figura 1 mostra l'andamento del consumo lordo energetico europeo, espressa in *Mtep* (Mega tonnellate equivalenti di petrolio), dal 1990 al 2017; si nota una netta dominanza dei combustibili fossili nel mix energetico, con particolare riferimento al petrolio e al gas naturale, mostrati addirittura in crescita per il 2017. Il grosso uso di combustibili quali gas naturale e petrolio è la causa principale dell'immissione in atmosfera di inquinanti quali l'anidride carbonica ed altre sostanze climalteranti. È confortante tuttavia la tendenza, in costante aumento, all'uso delle fonti rinnovabili e dei biofuels.

L'andamento dell'uso finale di energia per settore, a livello europeo, è rappresentato in figura 2; i dati sono espressi in *Mtep*. Il temine "Uso finale" esclude il consumo del settore energetico stesso, sia per la trasformazione che per altri usi.

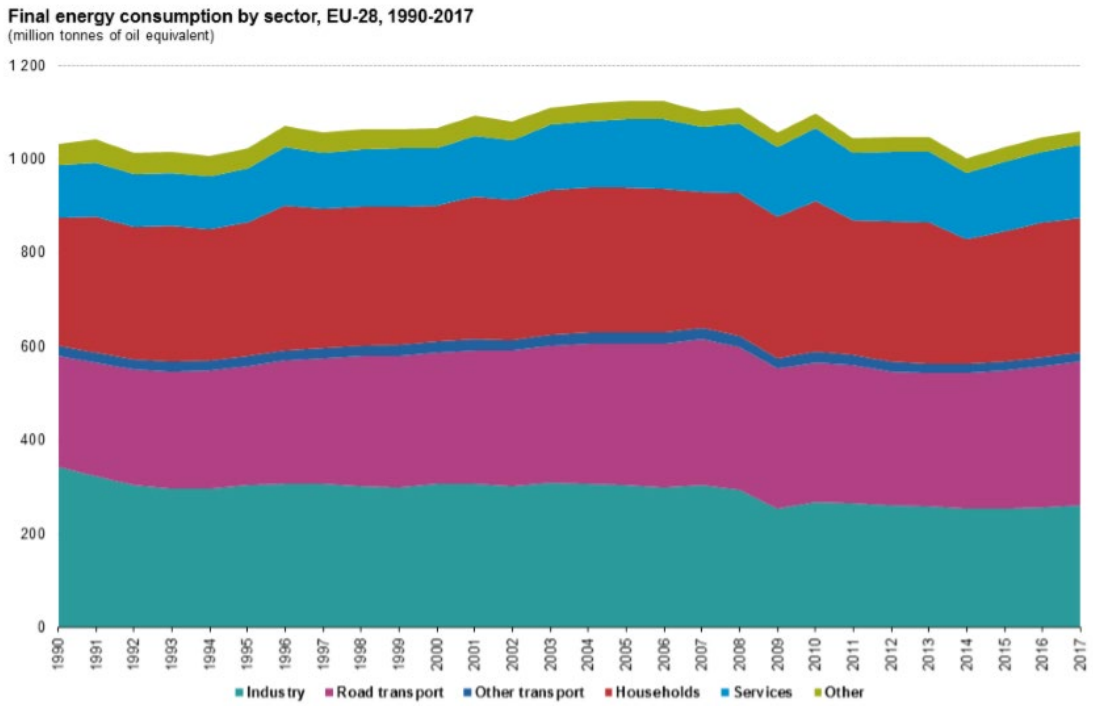


Fig. 2-Consumo finale di energia per settore, UE, dal 1990 al 2017 (Fonte :Eurostat) [27]

Dalla statistica sull'uso di energia per settore mostrata in figura, si nota come i settori dominanti siano quello industriale e quello dei trasporti su strada. Tuttavia, una grossa quota del consumo finale di energia europeo è rappresentata, con continuità dagli anni '90 al 2017, dagli edifici residenziali privati e dal settore terziario, la cui maggior parte del consumo energetico è riconducibile comunque al settore edilizio. Viene pertanto ribadita la necessità e l'importanza della riduzione del peso degli edifici nel bilancio dei consumi energetici della Comunità Europea.

1.1.2 Italia

La situazione del sistema energetico italiano rispecchia per molti aspetti il quadro europeo. Il consumo finale di energia in Italia, suddiviso per risorsa energetica, vede sempre dominare i combustibili fossili, con un uso però molto limitato del carbone. Parallelamente a quanto descritto in precedenza per l'Unione Europea, i prodotti petroliferi e il gas naturale sono le fonti energetiche largamente più utilizzate, come

raffigurato nell'immagine sottostante. Dal 2005 in poi, si nota un decremento costante del consumo legato ai prodotti petroliferi e, in maniera più leggera, del gas naturale; tuttavia, il consumo nazionale legato al gas naturale è tornato a risalire dal 2015 in poi.

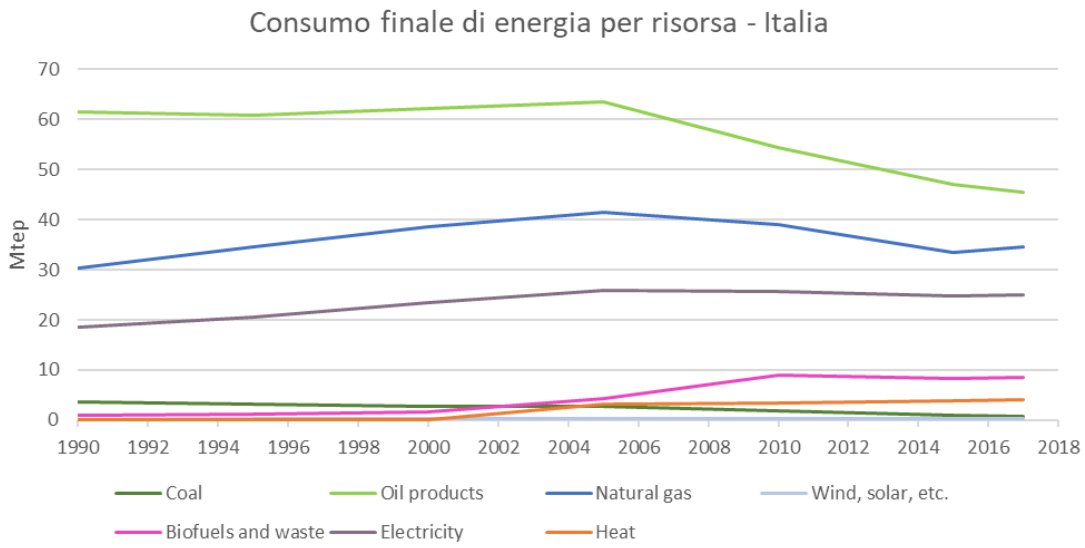


Fig. 3-Consumo finale di energia per fonte energetica, Italia (Elaborazione personale di dati IEA) [28]

La suddivisione del consumo finale di energia per settori, come già mostrato a livello europeo in figura 2, denota la netta supremazia di tre settori: il ramo dei trasporti, la produzione industriale e il settore residenziale. Si può notare tuttavia un rilevante aumento dei consumi del settore "servizi" dal 1990 ai giorni nostri.

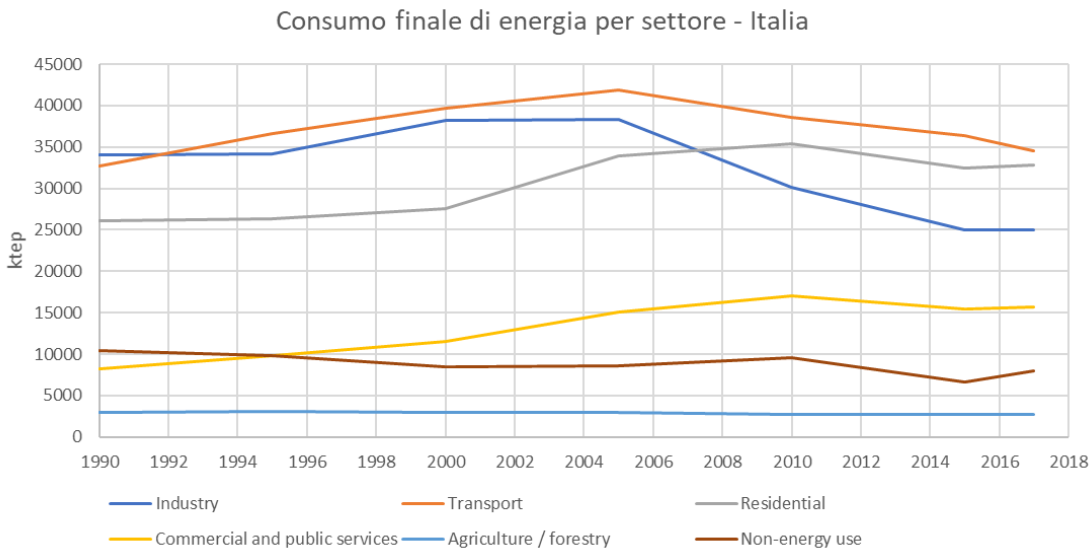


Fig. 4-Consumo finale di energia per settore, Italia (Elaborazione personale di dati IEA) [28]

Per quanto riguarda il consumo italiano di gas naturale per settore, considerato a parte in quanto è il combustibile largamente più utilizzato per la climatizzazione invernale degli edifici analizzati in questa tesi, la situazione è rappresentata nella figura seguente.

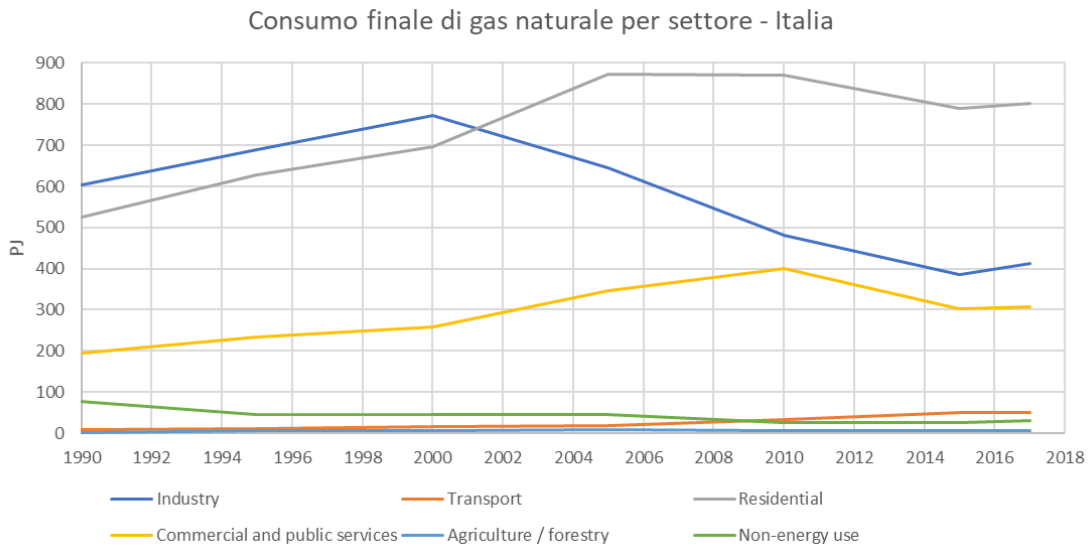


Fig. 5-Consumo finale di gas naturale per settore, Italia (Elaborazione personale di dati IEA) [28]

Il gas naturale, i cui consumi sono espressi in figura in *PJ*, è il combustibile largamente più utilizzato in Italia per i fabbisogni del settore residenziale e industriale. L'altro settore preponderante è quello del terziario, che negli ultimi sette anni ha ridotto in maniera sostanziale il gap che vi era nei confronti del settore industriale. Il fabbisogno energetico del settore residenziale e del terziario è, in gran parte, legato alla climatizzazione invernale degli edifici. L'immagine che segue indica come la quota maggiore di energia richiesta dagli edifici sia dovuta al riscaldamento invernale. Per ogni anno dal 2000 al 2017, la quota "riscaldamento" è nettamente maggiore rispetto al fabbisogno di energia richiesto per la climatizzazione estiva e per l'illuminazione; pertanto, il miglioramento dell'efficienza energetica di un edificio passa innanzitutto dalla riduzione del fabbisogno di energia richiesto per la climatizzazione invernale.

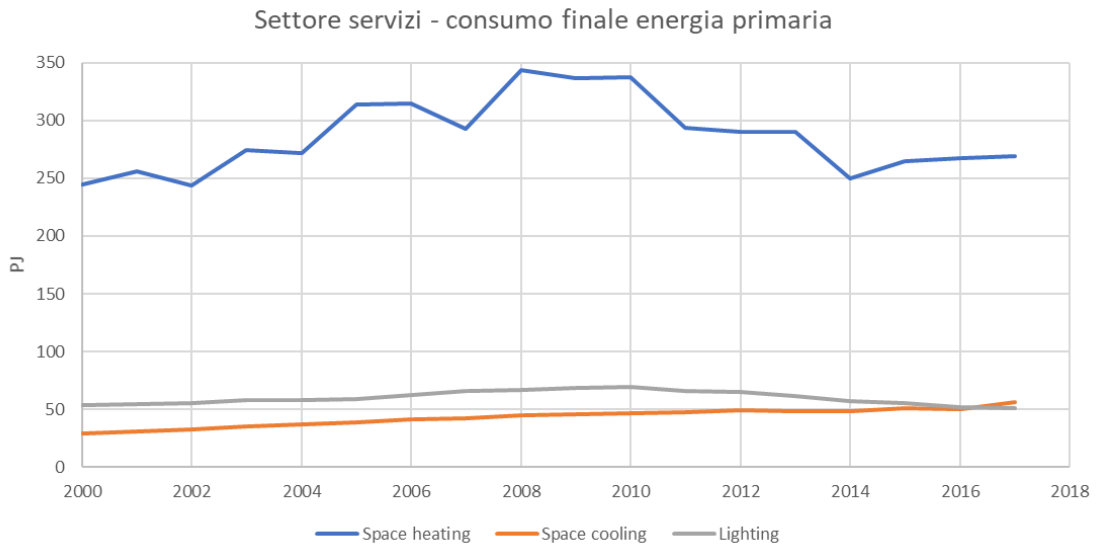


Fig. 6-Ripartizione, per servizi energetici, del consumo del terziario (Elaborazione personale di dati IEA) [28]

1.1.3 Piemonte

Poiché tutti le scuole analizzate in questo documento si trovano in Piemonte, si è deciso di riportare brevemente anche alcuni indicatori significativi del sistema energetico regionale.

La prima informazione riguarda l'uso finale di energia, espresso in *ktep*, diviso per settore, con dati aggiornati al 2014.

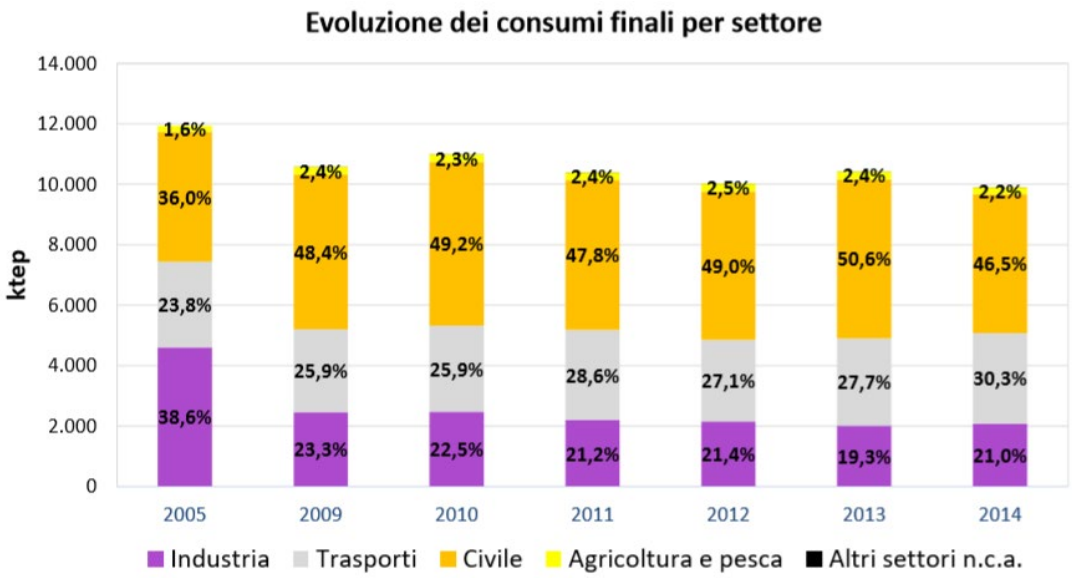


Fig. 7-Suddivisione del consumo energetico finale per settore, Piemonte (Fonte:PEAR 2017 Piemonte) [29]

Il settore civile, inteso come l'insieme degli edifici residenziali e non, sia pubblici che privati, è il responsabile della maggior parte - circa la metà, per gli anni che vanno dal 2009 al 2014 – del consumo energetico finale della regione Piemonte. Pur non avendo a disposizione dati aggiornati ad anni successivi al 2014, dal grafico appena illustrato si evince chiaramente come gli investimenti nell'efficientamento energetico degli edifici piemontesi siano l'azione prioritaria da attuare per raggiungere traguardi ragguardevoli nel campo del risparmio energetico e della riduzione di emissioni nocive.

All'interno del settore civile, che dunque comprende anche le scuole pubbliche oggetto di questo lavoro, la maggior parte del fabbisogno energetico è soddisfatto grazie all'impiego di gas naturale, correlatamente al fatto che la maggior quota di consumo energetico di un edificio, come già specificato, è dovuta al riscaldamento invernale.

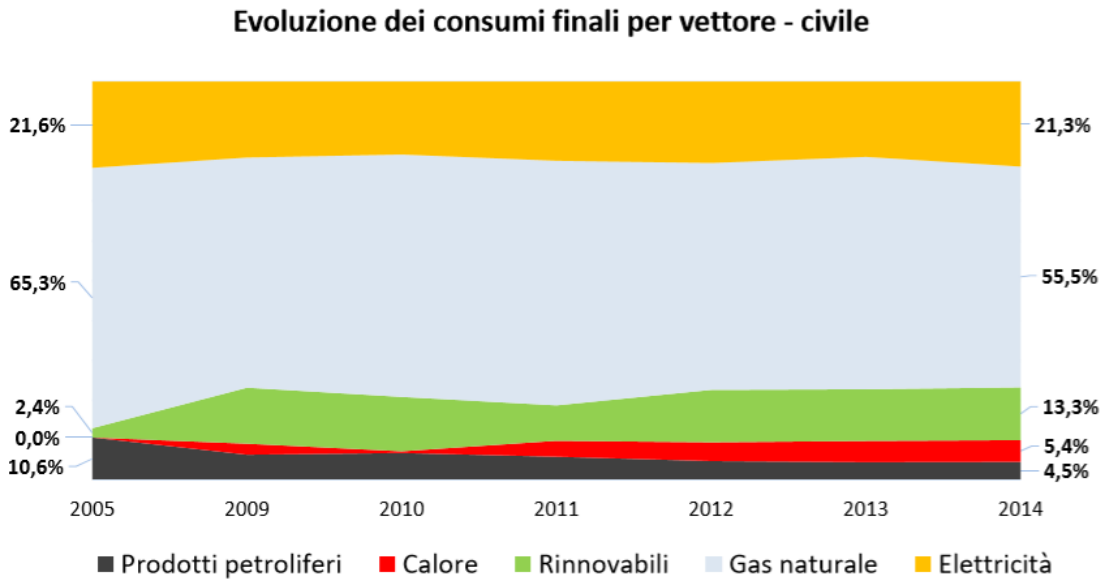


Fig. 8-Suddivisione dei consumi, per il settore civile, tra i vettori energetici, Piemonte (Fonte: PEAR 2017 Piemonte) [29]

Nel 2014, il 55,5 % del fabbisogno energetico piemontese era soddisfatto dal gas naturale. La situazione negli anni successivi potrebbe essere cambiata leggermente, ma comunque il ruolo del gas rimane preponderante. La crescita della quota calore, che era nulla al 2005, è dovuta probabilmente alla diffusione delle reti di teleriscaldamento urbano nella regione.

1.2 Excursus normativo sull'efficienza energetica degli edifici

L'attenzione verso il problema della progettazione energetica degli edifici è un argomento relativamente recente; si è iniziato a pensare a come poter ridurre il fabbisogno di energia degli edifici da metà anni '70, in corrispondenza, probabilmente, della crisi energetica del 1973. L'aumento improvviso dei prezzi del petrolio e dei suoi derivati ha costretto i paesi europei a pensare ad una serie di misure - tra cui l'efficientamento energetico degli edifici - per ridurre i consumi di combustibile.

Legge n. 373/1976

In seguito all'austerity del 1973, in Italia viene emanata la *Legge n.373/1976,* che segna l'inizio di una nuova epoca per quanto riguarda la progettazione edilizia. Tale documento, infatti, introduce per la prima volta una serie di provvedimenti atti a migliorare la prestazione energetica degli edifici. Tra i punti salienti della legge si ricordano:

- Introduzione del concetto di "Gradi Giorno" e suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche
- Vincoli sull'isolamento termico per la progettazione dell'involucro edilizio
- Vincoli sull'utilizzo e la progettazione degli impianti termici, tra cui: limitazione della temperatura massima dell'acqua circolante negli impianti termici e introduzione di un sistema di regolazione oltre una certa potenza del generatore di calore

Legge n. 10/1991

La *Legge n.10/1991* emana una serie di provvedimenti al fine di migliorare l'efficienza energetica, promuovere l'uso razionale dell'energia e garantire la salvaguardia dell'ambiente nei settori a più elevata intensità energetica. Per quanto riguarda il settore edilizio, viene posta l'attenzione sulle modalità progettuali e di gestione del sistema edificio-impianto. La legge in questione prevede anche degli incentivi economici atti a ridurre il costo d'investimento di interventi che migliorino l'efficienza energetica dell'edificio. Vengono inoltre introdotti dei limiti da rispettare per i rendimenti minimi dei sottosistemi impiantistici e per i valori di isolamento termico di pareti esterne e solai, specificati nel successivo *D.P.R. 412/1993*. Nel settore della Pubblica Amministrazione, si impone l'obbligo di soddisfare una parte del fabbisogno energetico degli edifici con

tecnologie che usino fonti energetiche rinnovabili; inoltre, la logica preponderante nella costruzione dei nuovi edifici si orienta anzitutto all'uso efficiente delle risorse energetiche e al risparmio che ne consegue.

D.P.R. n. 412/1993

In attuazione dell'art. 4 della *Legge n. 10/1991*, il Decreto del Presidente della Repubblica qui citato specifica i valori limite da rispettare dei requisiti indicati nella Legge 10. Tra gli aspetti più importanti del Decreto, vi è sicuramente la definizione del criterio per la suddivisione del territorio nazionale in zone climatiche, effettuata in base ai Gradi Giorno.

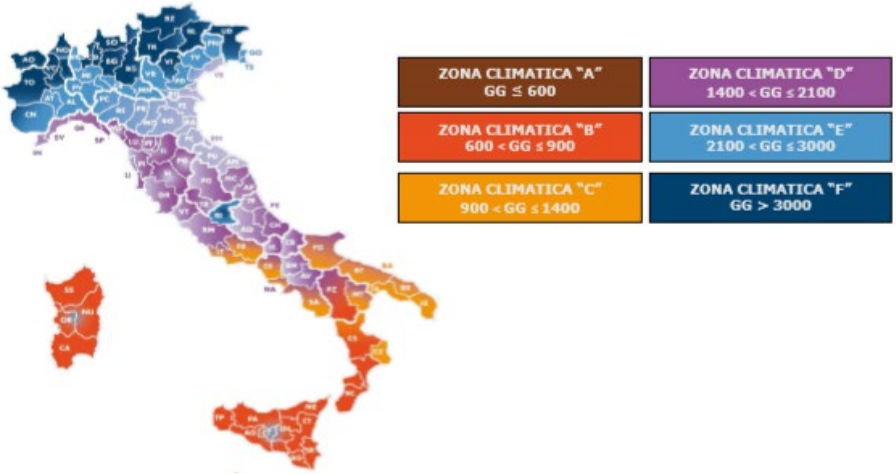


Fig. 9-Rappresentazione delle zone climatiche italiane (Fonte: [8])

Un'altra importante classificazione introdotta dal Decreto è quella effettuata in base alla destinazione d'uso degli edifici; gli edifici scolastici di ogni livello, oggetto dello studio presentato in questa tesi, appartengono alla categoria "E.7". La temperatura interna media di progetto per questa categoria è di 20°C.

Come già sottolineato in precedenza, il documento in questione specifica i limiti di isolamento e i rendimenti minimi dei sottosistemi che devono essere utilizzati nella fase di progettazione degli edifici. Viene inoltre introdotto il "Libretto di centrale" per i generatori di calore con potenza superiore ai 35 kW.

La definizione delle zone climatiche comporta l'introduzione dei limiti di esercizio degli impianti termici per il riscaldamento invernale, specificati nella seguente figura.

Zona A: ore 6 giornaliere dal 1 dicembre al 15 marzo;
Zona B: ore 8 giornaliere dal 1 dicembre al 31 marzo;
Zona C: ore 10 giornaliere dal 15 novembre al 31 marzo;
Zona D: ore 12 giornaliere dal 1 novembre al 15 aprile;
Zona E: ore 14 giornaliere dal 15 ottobre al 15 aprile;
Zona F: nessuna limitazione.

Fig. 10-Limiti di esercizio impianti termici (Fonte: [6])

EPBD (Direttiva 2002/91/CE)

La Direttiva della Comunità Europea sull'efficienza energetica degli edifici – Energy Performance of Buildings Directive – rappresenta uno dei pilastri della normativa in questo campo. La Direttiva introduce una metodologia di calcolo della performance energetica degli edifici, con riferimento ai vari servizi che possono esservisi presenti; un'attenzione particolare è rivolta alla climatizzazione invernale, principale responsabile del consumo energetico di un edificio. Tra gli altri aspetti rilevanti della Direttiva si ricordano:

- Definizione di requisiti minimi per l'energy performance per gli edifici esistenti che vengono riqualificati e per quelli di nuova costruzione
- Introduzione della certificazione energetica degli immobili
- Obbligatorietà dell'ispezione regolare degli impianti termici, al fine di ridurre i consumi energetici e le emissioni di biossido di carbonio

D. Lgs. n. 192/2005 e s.m.i.

L'attuazione della Direttiva Europea in Italia avviene con l'emanazione del Decreto Legislativo 192 del 2005. I punti salienti del provvedimento son indicati di seguito.

- Indicazione dei valori limite degli indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale in base alla zona climatica e al rapporto S/V
- Indicazione dei valori limite della trasmittanza termica dei componenti opachi e trasparenti
- Promozione dell'uso di risorse di energia rinnovabile
- Definizione dei criteri guida per la procedura di certificazione energetica

- Programmazione di un action plan per l'aumento degli edifici nZEB (nearly Zero Energy Buildings)

EPBD recast (Direttiva 2010/31)

La seconda Direttiva della Comunità Europea in materia di efficienza energetica degli edifici integra quanto già era stato specificato nell'EPBD, ponendo l'attenzione su aspetti che non erano stati trattati nella precedente versione del documento. L'efficientamento energetico degli edifici deve essere conveniente anche dal punto di vista economico, generando dunque risparmi atti a recuperare, nel più breve tempo possibile, il costo iniziale dell'investimento.

La nuova Direttiva considera molto importante la diffusione degli edifici ad altissima prestazione energetica, stabilendo che, per il settore pubblico, tutti gli edifici costruiti dopo il 31 dicembre 2018, dovrebbero essere edifici nZEB.

A differenza della precedente Direttiva, vengono considerati metodi innovativi di produzione di energia come la cogenerazione o il teleriscaldamento e, per quanto riguarda il fabbisogno per l'illuminazione, si considera anche l'influenza della luce naturale.

D. Lgs. n. 28/2011

Il Decreto Legislativo numero 28 del 2011 è emanato in attuazione della Direttiva Europea sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (*Direttiva 2009/28/CE*). Come è già specificato dal titolo della norma europea, l'obiettivo della stessa e, conseguentemente del decreto attuativo italiano, è quello di incrementare la produzione di energia da fonti rinnovabili, stabilendo degli obiettivi nazionali da raggiungere per l'anno 2020. L'Italia deve raggiungere il 17 % di produzione da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia.

Il decreto rende obbligatorio l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e negli edifici che subiscono ristrutturazioni importanti. Per gli edifici pubblici, le percentuali di copertura del fabbisogno di energia per riscaldamento e acqua calda sanitaria con fonti rinnovabili sono maggiori del 10 % rispetto agli edifici residenziali. Viene inoltre resa obbligatoria l'indicazione dell'indice di prestazione

energetica globale dell'edificio (EP_{gl}) in ogni contratto di locazione o di vendita di un immobile.

D.M. 26/06/2015

Il Decreto Ministeriale del 26 giugno del 2015, presenta una serie di requisiti atti a verificare la prestazione energetica degli edifici. Si dettagliano i requisiti minimi che gli edifici esistenti devono rispettare qualora vadano incontro a processi di riqualificazione energetica o ristrutturazione importante, secondo le definizioni presenti nello stesso decreto. La verifica dei requisiti minimi è da effettuarsi tramite confronto con le prestazioni del cosiddetto "edificio di riferimento", la cui definizione è rimandata alle pagine del decreto. Tra le verifiche di legge previste dal provvedimento vi sono quelle riguardanti il coefficiente globale medio per trasmissione termica (H'_t) e l'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile ($A_{sol,est}$ / A_f).

La prima grandezza offre un'indicazione circa la bontà dell'involucro edilizio nel limitare le dispersioni di calore per trasmissione; i valori limite prescritti dalla legge variano in base ai gradi giorno e al rapporto di forma (S/V) degli edifici. In particolare, a parità di gradi giorno, gli edifici con rapporto di forma minore sono autorizzati ad avere un coefficiente globale medio per trasmissione termica più alto, in quanto tendono, a parità di trasmittanza media dei componenti dell'involucro, a consumare meno energia per unità di volume.

L'area solare equivalente estiva va intesa come la somma delle aree equivalenti – tiene conto dei fattori di ombreggiamento, del fattore telaio e dell'esposizione - dei componenti finestrati dell'edificio. Il rapporto tra la suddetta grandezza e la superficie utile dell'edificio deve rientrare nei limiti prescritti dal decreto, variabili soltanto in base alla categoria a cui appartiene l'edificio secondo la classificazione introdotta dal *D.P.R. n. 412/1993.*

2 Analisi dei consumi termici per riscaldamento

Al fine di ridurre i consumi per riscaldamento di un edificio, bisogna innanzitutto analizzare le variabili da cui tale consumo dipende. Premettendo che il fabbisogno di energia per riscaldamento dipende da una moltitudine di fattori, non tutti facilmente controllabili o prevedibili, ve ne sono alcuni che sicuramente giocano un ruolo più rilevante. Il seguente elenco riassume, in maniera non esaustiva, i principali fattori da cui dipende il consumo per riscaldamento di un edificio:

- Clima esterno
- Caratteristiche dell'involucro opaco e trasparente
- Geometria dell'edificio
- Localizzazione dell'edificio nel contesto urbano
- Destinazione d'uso dell'edificio
- Comportamento dell'utente
- Prestazioni dell'impianto

Il clima esterno, inteso soprattutto come temperatura dell'aria esterna e radiazione solare, è la forza motrice dei consumi energetici per riscaldamento; la quantità di energia termica che viene scambiata tra l'interno e l'esterno dell'edificio è direttamente proporzionale al gradiente di temperatura. La radiazione solare, invece, genera degli apporti gratuiti di calore che abbassano il fabbisogno di energia richiesto all'impianto.

I componenti dell'involucro, opachi e trasparenti, dividono l'ambiente interno da climatizzare da quello esterno, rappresentando perciò le resistenze termiche che si oppongono al trasferimento di calore. Le loro caratteristiche, di cui la più importante è sicuramente la trasmittanza termica, dipendono dalla loro composizione e dalle proprietà termofisiche dei materiali che contengono.

La geometria dell'edificio, ed in particolare il rapporto tra superficie disperdente totale e volume lordo riscaldato (S/V), non può essere trascurata come variabile per l'analisi dei consumi termici per riscaldamento.

Il contesto urbano in cui l'edificio si trova è altresì un fattore da tenere in considerazione; come dimostrato in uno studio riguardante gli edifici residenziali di Torino [5] , alcuni parametri come la densità urbana, l'altezza media degli edifici o l'albedo delle superfici,

possono comportare rilevanti variazioni nel consumo di energia per riscaldamento. La distanza dal centro della Città può inoltre influenzare i consumi di energia termica a causa dell'effetto "isola di calore", che tende a mantenere le temperature dell'aria esterna, nelle zone centrali e più densamente popolate della città, più elevate rispetto alle zone periferiche.

La destinazione d'uso dell'edificio, secondo quanto definito dal *D.P.R. 412/1993* [6], è fondamentale nel correlare il consumo di energia per riscaldamento alle attività che effettivamente vengono svolte all'interno dello stesso. Definita la categoria di appartenenza dell'edificio, il Decreto sopracitato riporta anche l'indicazione dei valori di progetto da considerare per il comfort ambientale, tra cui la temperatura interna media che deve esserci all'interno dei locali climatizzati.

Il comportamento degli utenti influenza in maniera decisiva il consumo di energia degli edifici, indipendentemente dalle prestazioni dell'involucro e degli impianti, ma è la grandezza più difficile da prevedere e da controllare.

Le prestazioni dell'impianto, esprimibili attraverso i rendimenti dei sottosistemi impiantistici, determinano quanta energia deve essere fornita al sottosistema di generazione per soddisfare il fabbisogno energetico dell'edificio nonostante le varie perdite energetiche dei vari sottosistemi. I sottosistemi in cui viene diviso l'impianto di riscaldamento ed i relativi rendimenti, sono i seguenti [7]:

- Generazione - η_{gn}
- Distribuzione - η_d
- Regolazione - η_r
- Emissione - η_e

Se si considera assente il sottosistema di accumulo, che ha un suo rendimento legato alle perdite termiche del serbatoio di accumulo, il rendimento globale dell'impianto può essere espresso come:

$$\eta_g = \eta_{gn} * \eta_d * \eta_r * \eta_e \qquad (1)$$

2.1 Descrizione generale della metodologia usata

L'analisi dei consumi energetici per riscaldamento delle scuole oggetto di questa tesi si basa esclusivamente su dati di consumo misurati. Per simulare infatti il comportamento degli edifici con l'ausilio di un software, è necessario raccogliere una grande quantità di informazioni da usare come dati di input del modello. Tuttavia, da una parte l'elevato numero degli edifici che avrebbero dovuto essere modellati e, dall'altra, l'impossibilità di reperire dati fondamentali degli edifici – come le piante e le sezioni delle scuole, ad esempio – hanno reso impossibile l'utilizzo di softwares per calcolare le prestazioni energetiche delle scuole trattate.

La mancanza di dati dettagliati relativi agli edifici, di cui si conoscono solo alcune informazioni generali relazionate con il calcolo della prestazione energetica per la climatizzazione invernale, ha reso obbligatorio considerare il consumo di energia per riscaldamento dipendente da pochi fattori fondamentali, rispetto a quelli elencati precedentemente.

Sono stati ritenuti essenziali i seguenti aspetti:

- Temperatura esterna della località – Gradi Giorno
- Caratteristiche termofisiche dell'involucro – epoca di costruzione
- Caratteristiche dell'impianto
- Caratteristiche geometriche – rapporto S/V, volume lordo riscaldato e superficie utile in pianta
- Tipologia di scuola – uso e orari di funzionamento

La grandezza da cui il consumo termico degli edifici dipende maggiormente è la temperatura esterna; si è scelto di non considerare l'influenza della radiazione solare in quanto, nel bilancio energetico dell'edificio, le perdite per trasmissione dall'involucro, dipendenti appunto dalla differenza di temperatura tra interno ed esterno, sono solitamente superiori agli altri termini del bilancio. I dati climatici riferiti alla temperatura di una località sono rappresentabili anche attraverso il concetto di Gradi Giorno, la cui unità di misura è il "GG".

Si riporta di seguito la definizione di questa grandezza, cosi come riportata nel *D.P.R. n.412/1993* [6] :

si intende per "gradi giorno" di una località, la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera.

Dalla definizione del Decreto, si deduce come un numero maggiore di Gradi Giorno sia relativo ad una località con temperature esterne medie più rigide.

Le caratteristiche termofisiche dell'involucro sono state assunte simili per edifici appartenenti alla stessa epoca di costruzione. Quando non si è a conoscenza delle stratigrafie dei componenti infatti, è possibile ipotizzare le caratteristiche costruttive in base all'anno in cui sono stati edificati. In base alla data di costruzione degli edifici in questione, sono state individuate quattro epoche di costruzione [8]:

- Edifici costruiti prima del 1960
- Edifici costruiti tra il 1961 e il 1976
- Edifici costruiti tra il 1977 e il 1991
- Edifici costruiti tra il 1992 e il 2005

L'età degli edifici è importante soprattutto per conoscere il livello di isolamento termico presunto delle strutture; prima del 1976, infatti, non è presente isolante all'interno delle pareti e la trasmittanza dipende soprattutto dallo spessore delle stesse. La distinzione tra gli edifici costruiti prima del 1960 e quelli costruiti tra il 1961 e il 1976 è stata fatta per distinguere gli edifici "storici" da quelli costruiti più recentemente.

Per gli edifici costruiti tra il 1976 e il 1991 si considera un basso livello di isolamento termico, con trasmittanza delle pareti pari a circa 0,8 W/(m^{2}K); gli edifici con origine compresa tra il 1991 e il 2005 sono caratterizzati da un medio livello di isolamento termico, con trasmittanza delle parete pari a circa 0,6 W/(m^{2}K) [8].

Il rapporto di forma (S/V) è stato desunto dai dati geometrici forniti da Città Metropolitana per ogni edificio. Per quanto riguarda la destinazione d'uso degli edifici, si è considerata la distinzione tra licei e istituti tecnici; in generale, infatti, gli istituti tecnici hanno orari di funzionamento diversi dai licei e presentano un maggior numero di locali con uso differente rispetto alle aule, come ad esempio i laboratori.

Per ogni edificio di Città Metropolitana e per alcuni del Comune - non si avevano a disposizione tutti i dati necessari – sono stati analizzati i consumi storici per riscaldamento

partendo dalle letture dei dati misurati. I paragrafi successivi spiegano nel dettaglio la procedura seguita.

2.2 Descrizione del campione di edifici

2.2.1 Città Metropolitana di Torino

Gli edifici che compongono il campione analizzato per Città Metropolitana sono 32 istituti di istruzione superiore, che hanno subito interventi di riqualificazione energetica a partire dalla stagione 2017/18. Tali interventi, volti a ridurre il consumo di energia primaria per riscaldamento degli edifici, sono stati effettuati nell'ambito della convenzione "CONSIP SIE 3", alla quale l'ente ha aderito dalla stagione 2016/17.

La maggior parte delle scuole, per la precisione diciannove su trentadue edifici totali, si trova a Torino; le altre sono distribuite in vari comuni della Città Metropolitana di Torino. Per questa ragione, quasi tutte le scuole si trovano in zona climatica "E".

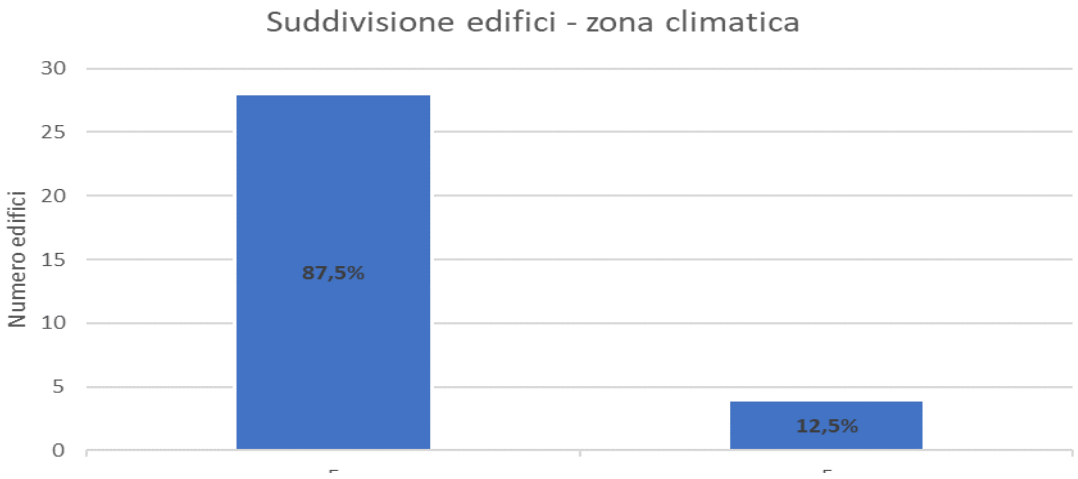


Fig. 11-Suddivisione edifici Città Metropolitana per zona climatica

.

All'interno della zona climatica E, il comune più rappresentato è Torino, ma vi sono anche scuole che si trovano in altre città; il grafico che segue dettaglia la distribuzione degli edifici in base ai Gradi Giorno convenzionali.

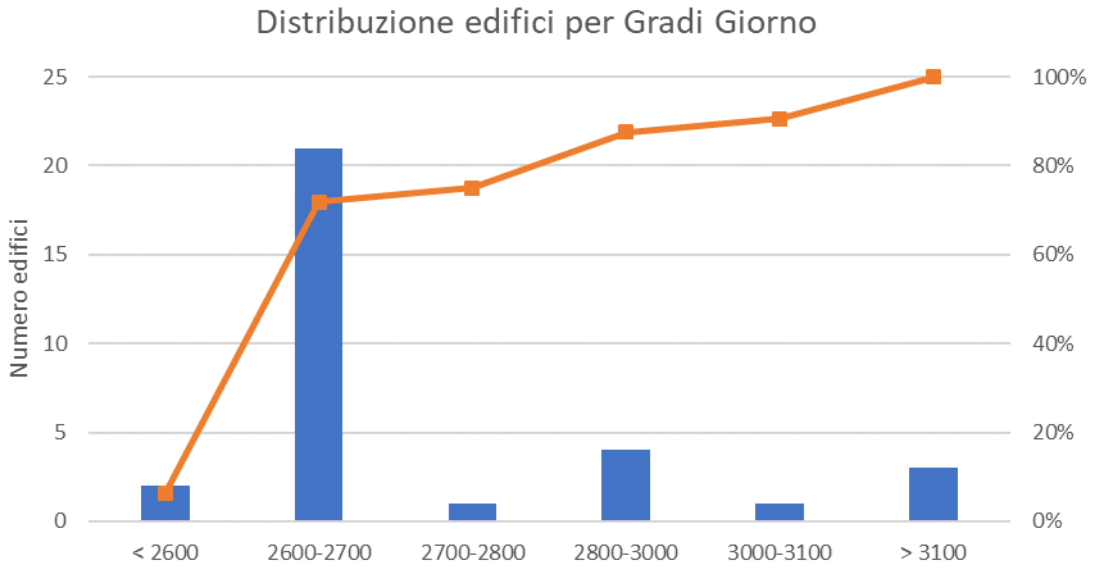


Fig. 12-Distribuzione degli edifici in base ai GG convenzionali

In figura 12 è riportato il numero degli edifici per ogni intervallo di Gradi Giorno individuato; la linea arancione rappresenta la frequenza cumulata. Più del 60 % degli edifici si trova nell'intervallo tra 2600 e 2700 GG, che comprende anche i Gradi Giorno convenzionali di Torino (2617). Per quanto riguarda la zona climatica "F", tre delle scuole che vi appartengono si trovano in comuni con Gradi Giorno convenzionali maggiori di 3100.

Le 32 scuole di Città Metropolitana risalgono perlopiù ad un periodo di costruzione antecedente il 1976; solo una scuola è stata realizzata dopo il 1991 e dieci edifici appartengono al periodo compreso tra il 1976 e il 1991. La figura seguente mostra, con una rappresentazione analoga a quella della figura 12, quanto descritto.

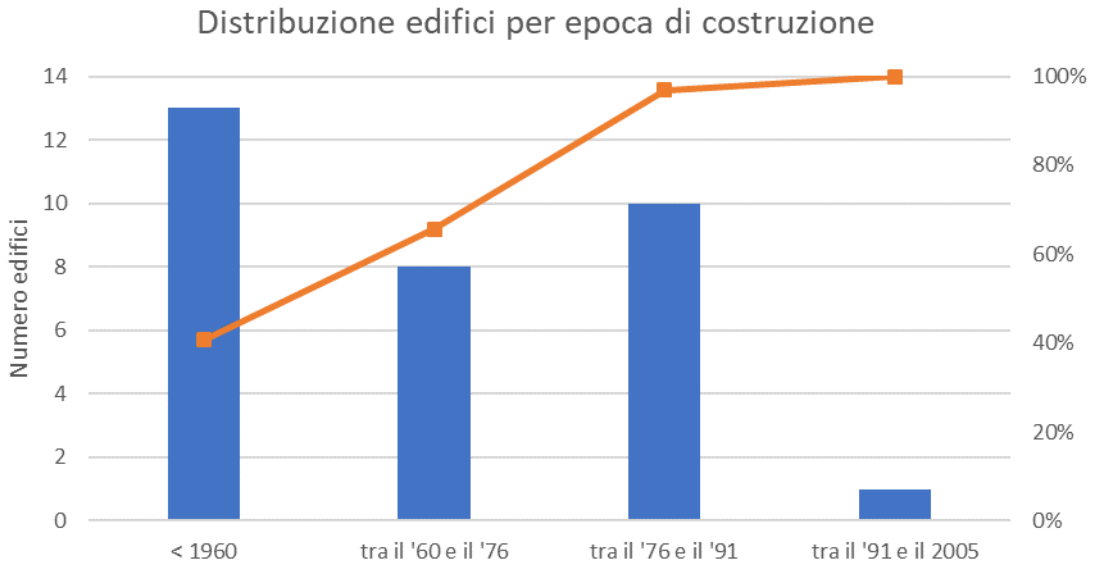


Fig. 13-Distribuzione degli edifici in base all'epoca di costruzione

Le caratteristiche geometriche fondamentali degli edifici sono riassunte nei grafici che seguono; si mostra, in particolare, la distribuzione delle scuole in base al volume lordo riscaldato (V), al rapporto di forma (S/V) e alla superficie disperdente totale (S).

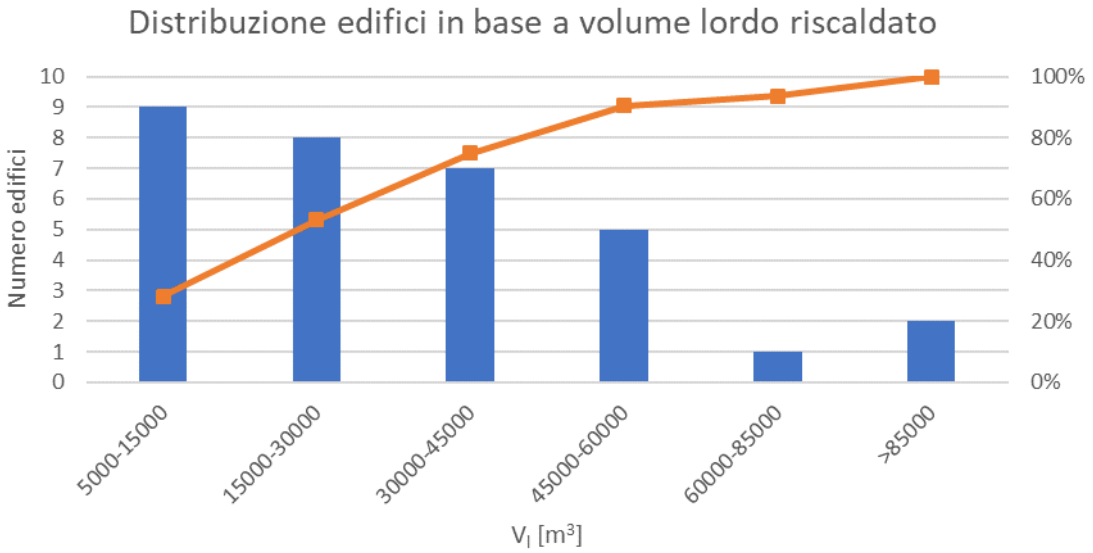


Fig. 14-Distribuzione edifici in base al volume lordo riscaldato

Circa la metà degli edifici è caratterizzata da un volume relativamente piccolo, inferiore a 30.000 m^3. Soltanto due edifici hanno un volume superiore ad 85.000 m^3; tali costruzioni risalgono alla metà del diciannovesimo secolo.

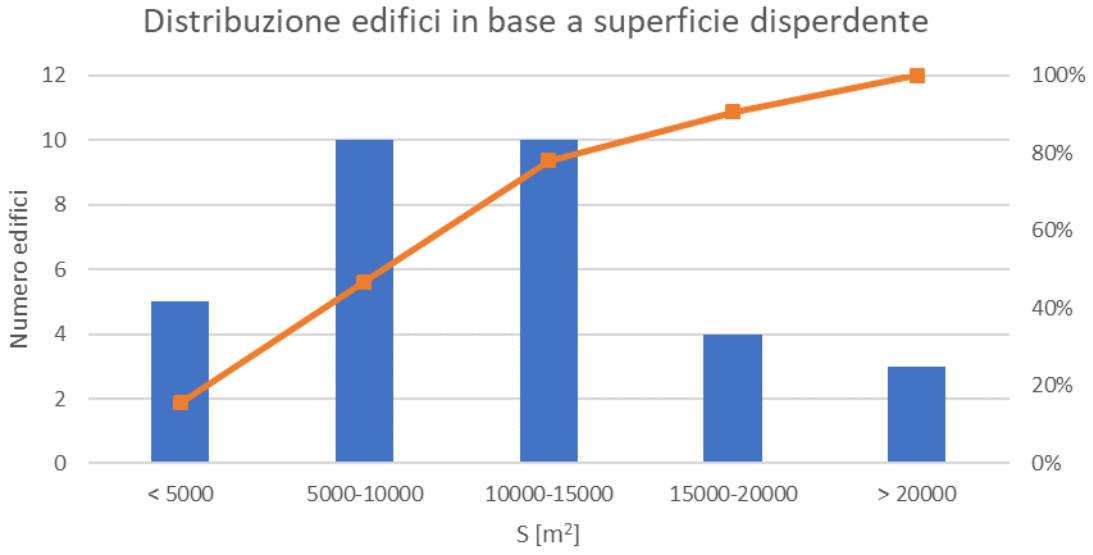


Fig. 15- Distribuzione edifici in base a superficie disperdente

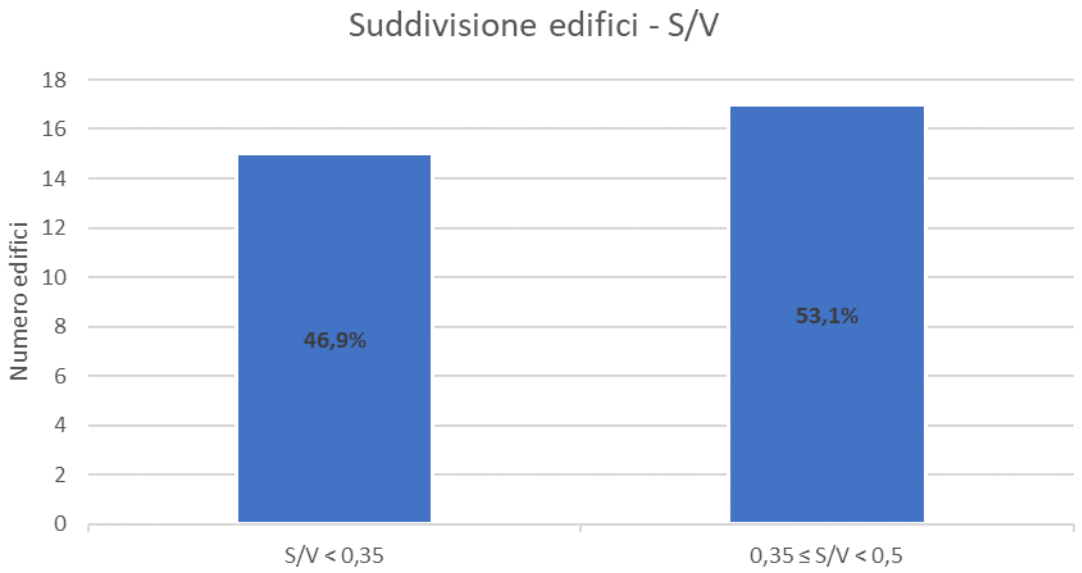


Fig. 16-Distribuzione edifici in base a rapporto S/V

In generale, non vi sono edifici, tra quelli analizzati, che presentano un alto rapporto di forma, caratteristico di edifici piccoli e con grandi superfici disperdenti verso l'esterno. I due edifici che hanno volumi maggiori, risalenti alla metà del 1800, sono caratterizzati da rapporti di forma minori di 0,3, tipici di costruzioni compatte e di grosse dimensioni.

Quasi tutte le scuole in questione utilizzano gas naturale come fonte energetica per la climatizzazione invernale; soltanto un edificio utilizza un generatore di calore a gasolio. La situazione è diversa dopo gli interventi di riqualificazione effettuati: cinque degli edifici che erano alimentati con gas naturale si sono allacciati alla rete urbana di teleriscaldamento. La situazione descritta è raffigurata nell'immagine che segue.

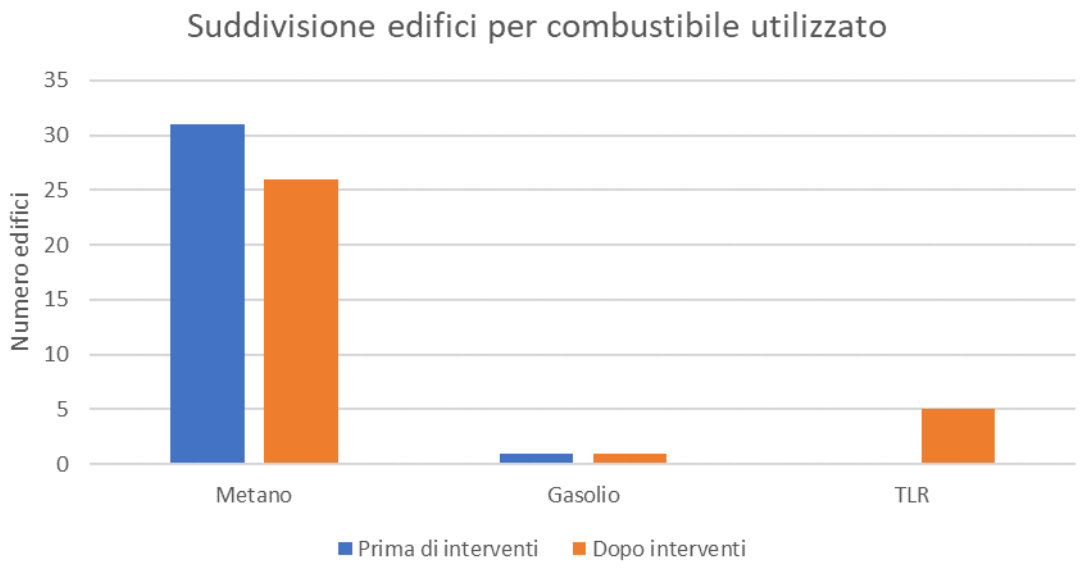


Fig. 17-Suddivisione degli edifici per combustibile utilizzato, prima e dopo gli interventi

Per ciò che concerne la tipologia di impianti di riscaldamento, in tutte le scuole il generatore di calore – almeno prima degli interventi di riqualificazione – è costituito da una caldaia tradizionale (non a condensazione) e il sottosistema di emissione è formato prevalentemente da radiatori. Dati più precisi per ogni edificio sono riportati nelle schede di ogni scuola in allegato. Non è stato possibile risalire ai valori dei rendimenti globali dell'impianto di riscaldamento, ma la figura seguente riporta la distribuzione dei rendimenti del sistema di generazione. I valori riportati si basano su misure reali effettuate all'ingresso e all'uscita del sottosistema di generazione per la stagione termica 2015-2016, l'unica di cui si avevano a disposizione sia i dati di energia primaria che i dati di energia secondaria.

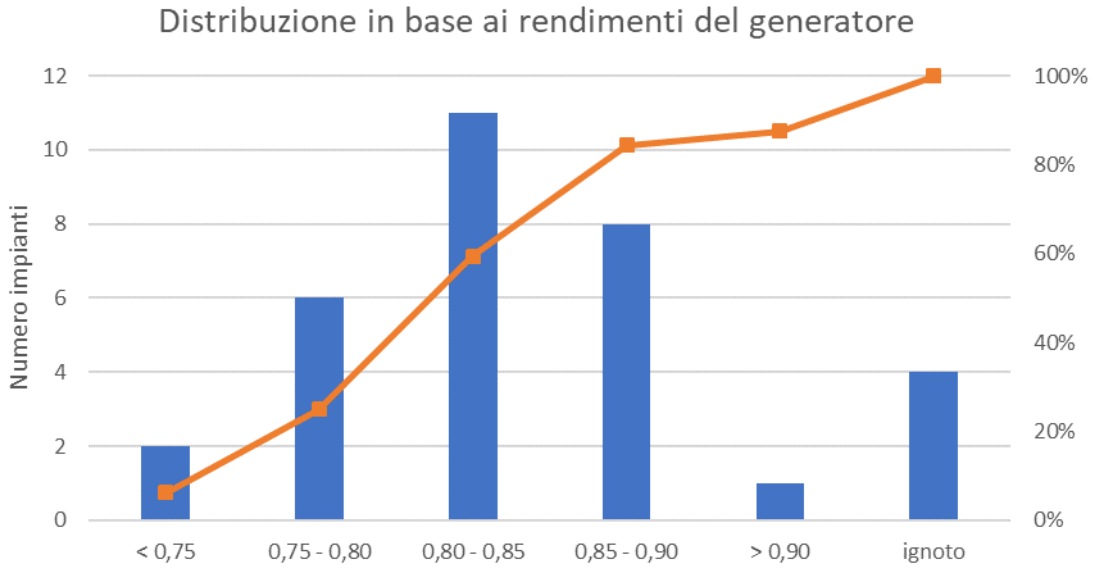


Fig. 18-Distribuzione edifici in base a rendimenti del sottosistema di generazione

2.2.2 Comune di Torino

Gli edifici analizzati appartenenti al Comune di Torino sono 6 scuole, in parte primarie e in parte secondarie di primo grado. A differenza delle scuole di Città Metropolitana, che hanno riqualificato solo la parte impiantistica, l'analisi dei consumi delle sei scuole del Comune ha permesso di valutare anche l'efficacia di interventi sull'involucro edilizio.

Le suddette scuole pubbliche sono state scelte come edifici da ristrutturare in seguito all'emanazione del bando regionale che regolamentava l'accesso alle risorse economiche stanziate nel *POR-FESR 2007/2013*.

Tra le sei scuole analizzate, due sono scuole secondarie di primo grado, due sono scuole primarie e gli altri due edifici ospitano sia scuole primarie che secondarie. Tutti gli edifici si trovano a Torino.

Quattro istituti su sei sono stati costruiti nel periodo compreso tra il 1960 e il 1976, mentre gli altri due risalgono agli inizi degli anni '80. La tabella seguente mostra le date di costruzione dei sei edifici.

Tabella 1-Anno di costruzione e geometria, scuole Comune

Codice	Nome istituto	Anno di costruzione	V [m^3]	S/V [m^{-1}]
C1	I.C. "Marconi-Antonelli" , Via Asigliano Vercellese	1964	21151,7	0,38
C2	Scuola "Manzoni"	1972	36896,1	0,33
C3	I.C. "Marconi-Antonelli" , Via Vezzolano	1968	18539,5	0,41
C4	Scuola "Martiri del Martinetto"	1966	14868,5	0,40
C5	Complesso scolastico, Via Passoni	1980	46673,9	0,39
C6	Scuola "Italo Calvino"	1983	34410,6	0,28

Gli edifici scolastici elencati in tabella presentano volumetrie non superiori ai 50.000 metri cubi, come la maggior parte degli edifici analizzati per Città Metropolitana. Le scuole con volume lordo riscaldato maggiore sono quelle realizzate più recentemente, mentre quelle costruite negli anni '60 hanno dimensioni minori. Nessuna delle sei scuole ha rapporti di forma elevati, essendo pari al massimo a 0,41 per l'Istituto Comprensivo "Marconi Antonelli" di Via Vezzolano.

Prima dell'allacciamento al teleriscaldamento, che ha riguardato la metà delle scuole, nel 2012, tutti gli edifici erano riscaldati grazie all'utilizzo di gas naturale. Gli edifici che hanno cambiato la fonte energetica dal metano al teleriscaldamento sono quelli elencati di seguito:

- Scuola "Manzoni"
- Scuola "Italo Calvino"
- Complesso scolastico di Via Passoni

Le caratteristiche dettagliate di ogni edificio verranno illustrate nelle schede allegate.

2.3 Raccolta dei dati

In questo paragrafo viene illustrato il procedimento seguito per la raccolta delle informazioni necessarie a caratterizzare il comportamento energetico degli edifici. Il paragrafo *2.3.1* è diviso in due parti: nella prima si fa riferimento agli edifici di Città Metropolitana, nella seconda, invece, l'attenzione si sposta sulle sei scuole del Comune. I dati di consumo a disposizione, infatti, sono stati forniti con livelli di dettaglio diversi tra i due enti pubblici. Ad esempio, per alcuni edifici del Comune non è stato possibile risalire ai dati di consumo mensili, perciò è stato necessario utilizzare il consumo annuale misurato.

2.3.1 Dati di consumo

Città Metropolitana di Torino

Al fine di caratterizzare i consumi termici per riscaldamento degli edifici analizzati, sono stati raccolti i dati misurati di energia per ognuna delle scuole del campione. Per quanto riguarda Città Metropolitana, gli interventi di riqualificazione impiantistica sono stati effettuati tutti tra il 2017 e il 2018.

Per determinare la performance energetica di un edificio mediante dati misurati, relativamente alla parte di climatizzazione invernale, è necessario, secondo quanto specificato dalla normativa tecnica [9], che il periodo di misurazione copra almeno tre anni; per questo motivo, i consumi termici per gli edifici di Città Metropolitana, nel periodo antecedente la riqualificazione, si riferiscono ad un periodo che parte dalla stagione di riscaldamento 2014-2015.

I consumi misurati dopo gli interventi di miglioramento impiantistico sono riferiti alla stagione 2018-2019, per gli edifici riqualificati nel 2018, e anche a quella precedente per le scuole riqualificate nel 2017. Considerato il poco tempo trascorso dagli interventi, nell'ambito di questo lavoro di tesi, nella situazione post-riqualificazione, non è stato possibile rispettare il requisito circa il numero di stagioni da monitorare citato precedentemente.

Prima degli interventi migliorativi, tutti gli edifici, tranne una scuola equipaggiata con una caldaia a gasolio, erano alimentati da gas naturale. La misura dei consumi è stata effettuata all'ingresso del generatore di calore; le grandezze monitorate sono le portate

volumetriche di gas naturale e la portata massica di gasolio per l'unico edificio che non utilizza gas naturale. Per ciò che concerne il gas, è stato necessario correggere il valore misurato per tener conto dell'effetto della pressione e della temperatura sul combustibile gassoso. Si è scelto di riportare tutti i consumi di gas naturale alle condizioni standard, esprimendoli cosi in Sm^3, "Standard metri cubi". Il coefficiente correttivo usato per ogni dato misurato è stato determinato come segue [9]:

$$k_{meas;corr;gas} = \frac{T_{ref}}{T_{meas}} * \frac{p_{meas;abs}}{p_{ref;abs}} \qquad (2)$$

Il significato dei termini indicati nell'equazione è specificato nell'elenco sottostante:

- T_{ref} = Temperatura di riferimento, pari a 288,13 K in condizioni standard
- T_{meas} = Temperatura del gas nel momento della misurazione
- $p_{ref,abs}$ = Pressione di riferimento assoluta, pari a 1013 kPa in condizioni standard
- $p_{meas,abs}$ = Pressione assoluta del gas nel momento della misurazione

I dati di consumo per l'edificio alimentato a gasolio sono espressi in *Litri*, e non è stato necessario correggerli in quanto i combustibili liquidi non risentono della variazione per temperatura e per pressione.

I poteri calorifici inferiori del gas naturale e del gasolio, usati per convertire le misure di volume in energia, sono stati scelti secondo le indicazioni di Città Metropolitana:

- $H_{i,gas\ naturale}$ = 9,63 kWh/Sm^3
- $H_{i,gasolio}$ = 9,72 kWh/l

I file a disposizione riportano i consumi mensili di gas o di gasolio contabilizzati dai contatori installati su ogni generatore di calore. I consumi dei mesi di ottobre e novembre sono congiunti in un unico dato, per cui è stato necessario dividerli approssimativamente, come spiegato nel paragrafo sulla firma energetica.

Per la stagione 2015-2016, sono disponibili anche le misure effettuate all'uscita del generatore di calore, in base alle quali è stato possibile stimare il rendimento del sottosistema di generazione per ogni edificio.

I dati raccolti sono stati analizzati al fine di depurarli da eventuali anomalie; vi sono alcuni edifici di Città Metropolitana i cui consumi non sono stati monitorati per una o più stagione termiche; in questi casi, dato il numero ridotto di edifici nel campione, si è scelto comunque di utilizzare le misure che si avevano a disposizione per gli altri anni.

È importante specificare che, a differenza di quanto si è riscontrato per gli edifici del Comune, i consumi indicati nel file fornito da Città Metropolitana sono riferiti soltanto al servizio "climatizzazione invernale" e non anche alla fornitura di acqua calda sanitaria.

Tutti i dati di consumo sono stati forniti, sotto forma di file Excel, da Città Metropolitana.

Comune di Torino

La caratterizzazione dei consumi per riscaldamento delle scuole comunali è stata effettuata a partire dai dati forniti dall'Ufficio di Energy Management del Comune di Torino. Le sei scuole del Comune hanno subito interventi di riqualificazione energetica globale in anni diversi; la tabella seguente riassume la tipologia di intervento e l'anno in cui sono stati ultimati i lavori.

Tabella 2- Anno termine lavori, scuole Comune

Codice	Nome istituto	Intervento	Anno fine lavori
C1	I.C. "Marconi-Antonelli" , Via Asigliano Vercellese	Impianti + Involucro	2014
C2	Scuola "Manzoni"	TLR + impianti / Involucro	2012 / 2014
C3	I.C. "Marconi-Antonelli" , Via Vezzolano	Impianti + Involucro	2014
C4	Scuola "Martiri del Martinetto"	Impianti + Involucro	2014
C5	Complesso scolastico, Via Passoni	TLR + Impianti / Involucro	2012 / 2015
C6	Scuola "Italo Calvino"	TLR + impianti / Involucro	2012 / 2014

I dati di consumo raccolti vanno dalla stagione 2011/12 alla stagione 2018/19. A differenza delle scuole di Città Metropolitana, pur essendovi più stagioni da cui estrapolare i dati, non è stato possibile risalire ai consumi misurati mensili per tutti gli edifici. Per le stagioni antecedenti il 2013 e per la stagione 2018/19, l'unico dato a disposizione è il consumo annuale di ogni edificio. I dati forniti per le altre stagioni riportano le letture mensili dei contatori di gas naturale o dei misuratori di energia termica per le scuole teleriscaldate.

Inoltre, i consumi di energia per due delle sei scuole si riferiscono anche al servizio "acqua calda sanitaria", per cui è stato necessario epurare la corrispondente quota di consumo da quella totale, per analizzare le prestazioni energetiche degli edifici rispetto al solo servizio di climatizzazione invernale. Le scuole in questione sono:

- Scuola "Italo Calvino", Via Zumaglia 39/41 – C6
- Complesso scolastico di Via Passoni 9 – C5

Il consumo giornaliero di energia termica dovuto all'acqua calda sanitaria è stato ritenuto costante per tutti i mesi in cui l'istituto scolastico è aperto; tale approssimazione si è resa necessaria poiché non si avevano dati più precisi per poter dividere i consumi registrati, ma si può considerare un'ipotesi accettabile data la dipendenza non elevatissima dei consumi di acqua calda dalla temperatura esterna.

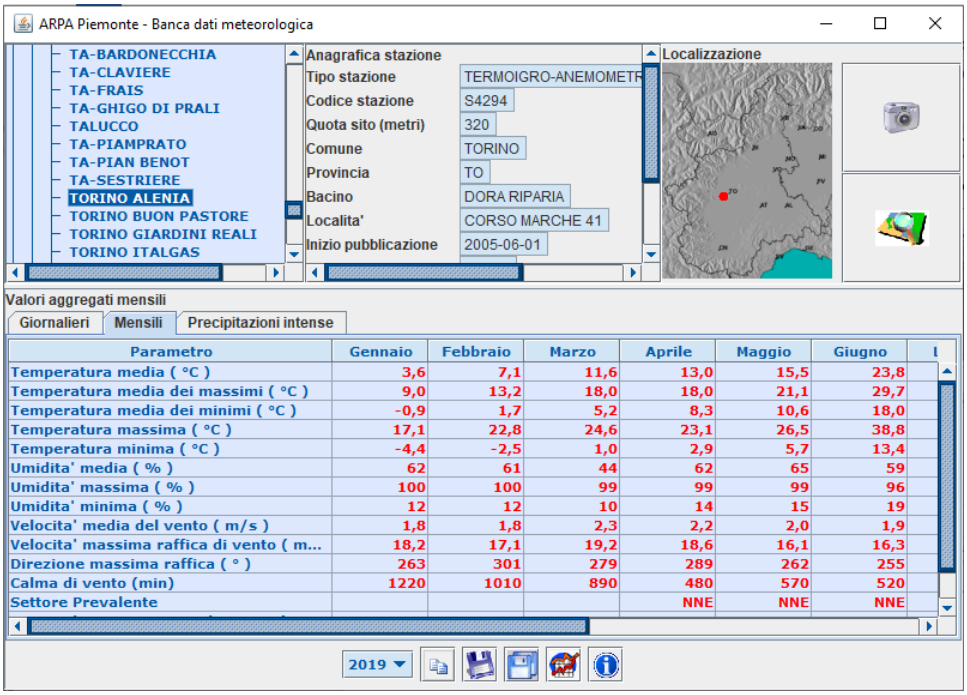
Il consumo giornaliero, supposto fisso, per l'acqua calda è stato desunto dalle letture del solo mese di giugno; questo è infatti l'unico mese di cui si avevano a disposizione le letture dei consumi, in cui non fosse attivo il servizio di climatizzazione degli ambienti. Il consumo di energia termica di maggio infatti, anch'esso dovuto solo all'utilizzo dell'acqua calda sanitaria, era accorpato a quello di aprile, ultimo mese in cui il riscaldamento può essere attivato nella zona climatica E [6]. Il numero di giorni per cui è stato diviso il consumo del mese di giugno è stato assunto, per ogni anno disponibile, sulla base dei calendari scolastici regionali [10]. Le fatture relative al mese di giugno, per gli edifici oggetto dello studio, non erano disponibili per tutti gli anni dal 2011 al 2019; per questo motivo, è stato considerato un consumo giornaliero medio tra i vari anni, sulla base dei dati a disposizione.

2.3.2 Dati climatici

Le informazioni circa il clima esterno – ovvero la temperatura esterna - per i vari anni, fondamentali per l'analisi dei consumi per riscaldamento e, in particolare, per la costruzione delle firme energetiche, sono state ricavate dai dati forniti dalle stazioni metereologiche di "ARPA Piemonte".

Nel dettaglio, ad ogni scuola, è stata assegnata una stazione di rilevamento ARPA sulla base della distanza e sono stati ricavati i dati di temperatura esterna media mensile per ogni anno. Le stazioni usate per il reperimento dei dati climatici di ogni edificio sono descritte nelle schede sintetiche riportate in allegato.

La fonte delle informazioni storiche circa i dati metereologici, è la banca dati metereologica di ARPA Piemonte [11] in cui, per ogni stazione di misurazione sono indicati, mensilmente, o a livello giornaliero, i valori di diverse grandezze relative al clima esterno. La figura seguente mostra un esempio dell'interfaccia della banca dati.



Parametro	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno
Temperatura media (°C)	3,6	7,1	11,6	13,0	15,5	23,8
Temperatura media dei massimi (°C)	9,0	13,2	18,0	18,0	21,1	29,7
Temperatura media dei minimi (°C)	-0,9	1,7	5,2	8,3	10,6	18,0
Temperatura massima (°C)	17,1	22,8	24,6	23,1	26,5	38,8
Temperatura minima (°C)	-4,4	-2,5	1,0	2,9	5,7	13,4
Umidita' media (%)	62	61	44	62	65	59
Umidita' massima (%)	100	100	99	99	99	96
Umidita' minima (%)	12	12	10	14	15	19
Velocita' media del vento (m/s)	1,8	1,8	2,3	2,2	2,0	1,9
Velocita' massima raffica di vento (m...	18,2	17,1	19,2	18,6	16,1	16,3
Direzione massima raffica (°)	263	301	279	289	262	255
Calma di vento (min)	1220	1010	890	480	570	520
Settore Prevalente				NNE	NNE	NNE

Fig. 19-Esempio interfaccia banca dati metereologica ARPA Piemonte

Le temperature esterne registrate dalle stazioni metereologiche sono state poi corrette per tener conto della differenza di altitudine tra la scuola e la corrispondente stazione di riferimento. La correzione di cui sopra è stata attuata secondo quanto prescritto dalla normativa tecnica [12] e la sua formulazione è riportata di seguito:

$$\theta_e = \theta_{e,r} - (z - z_r) * d \quad (3)$$

- θ_e è la temperatura esterna corretta
- $\theta_{e,r}$ è la temperatura misurata dalla stazione climatica
- z è l'altitudine dell'edificio
- z_r è l'altitudine della stazione climatica
- d è un fattore correttivo, espresso in *°C/m*, caratteristico della località

Per la provincia di Torino, il prospetto 5 della norma [12] indica un valore del fattore "d" pari a 1/178 °C/m.

Per quanto riguarda i gradi giorno reali di ogni stagione di riscaldamento, sono stati usati i valori da Città Metropolitana nei file contenenti i consumi mensili.

Sono riportati di seguito i Gradi Giorno reali, riferiti al periodo convenzionale di riscaldamento, delle diverse località in cui si trovano gli edifici analizzati, per il periodo 2014 – 2019; per Torino, si indicano anche i GG reali dal 2011 al 2014.

Tabella 3- Gradi Giorno convenzionali e reali delle località considerate dal 2014 al 2019

Località	GG D.P.R. 412/93	GG 2014/15	GG 2015/16	GG 2016/17	GG 2017/18	GG 2018/19
Bussoleno	3014	2440,5	2694,7	2885,0	2890,0	2793,4
Caluso	2808	2238,6	2359,8	2415,0	2660,3	2423,0
Ciriè	2870	2272,8	2412,3	2469,0	2715,4	2476,5
Collegno	2646	2137,2	2314,9	2276,0	2503,5	2283,5
Ivrea	2737	2194,6	2300,7	2355,0	2635,7	2361,7
Lanzo T.se	3197	2482,8	2858,3	3020,0	3061,4	3000,9
Moncalieri	2553	2082,1	2146,0	2196,0	2415,5	2202,9
Pinerolo	2815	2279,8	2366,4	2422,0	2663,4	2429,0
Susa	3108	2516,4	2778,5	2975,0	2976,2	2917,4
Torino	2617	2119,0	2199,5	2251,0	2476,0	2377,7
Venaria	2555	2069,3	2147,9	2198,0	2417,4	2204,6

Tabella 4- Gradi Giorno reali di Torino dal 2011 al 2014

Località	GG 2011/12	GG 2012/13	GG 2013/14
Torino	2476	2544	2231

2.4 Firma energetica

L'analisi dei consumi termici per riscaldamento è stata condotta anche costruendo le firme energetiche di ogni edificio preso in considerazione, tranne quelli di cui non si avevano a disposizione i dati mensili di consumo.

La firma energetica è uno strumento grafico che permette di correlare i consumi alla grandezza da cui dipendono maggiormente; se si trattano consumi dovuti alla climatizzazione invernale degli edifici, la grandezza principale da considerare è la temperatura esterna. La costruzione della firma energetica è stata effettuata in accordo alla procedura e ai vincoli descritti dalla norma *UNI EN 15378-3:2018*.

Il procedimento su cui si basa la costruzione di questo strumento grafico è una regressione lineare dei consumi, in cui la variabile indipendente è la temperatura esterna. Se si considerano consumi di energia riferiti allo stesso intervallo temporale - nel caso di questo lavoro l'intervallo considerato è pari a un mese - si può utilizzare la potenza termica come variabile dipendente [9]:

$$\varphi_{H.j} = a_H + b_H * \theta_{ext,j} \pm \delta_H \tag{4}$$

- $\phi_{H,j}$ è la potenza per riscaldamento
- a_H e b_H sono il termine costante e la pendenza della retta
- δ_H rappresenta l'errore
- $\theta_{ext,j}$ è la temperatura esterna

La bontà della regressione lineare è legata al valore del coefficiente di determinazione R^2, variabile tra zero e uno; quanto più il valore di R^2 è alto, tanto più la correlazione tra le due variabili è approssimabile con un andamento lineare.

La norma citata in precedenza richiede che le misure di temperatura esterna e dei consumi per riscaldamento coprano un periodo di almeno tre stagioni termiche, con almeno tre intervalli di misurazione per ogni stagione. Inoltre, viene prescritto il valore minimo di R^2 che permette di validare la correlazione, fissato pari a 0,8, per la regressione lineare di soli consumi dovuti a climatizzazione invernale.

Per ogni edificio di Città Metropolitana e per quelli di cui si conoscevano i dati mensili del Comune, i consumi sono stati caratterizzati anche attraverso questo strumento. I dati climatici mensili sono stati dedotti e corretti come specificato nel paragrafo *2.3.2*; i

consumi energetici mensili, espressi in kWh, sono stati divisi per il numero di ore mensili in cui l'impianto di riscaldamento è acceso, in modo da calcolare le potenze dovute al servizio riscaldamento. Il numero di giorni in cui l'impianto è considerato acceso è stato assunto pari ai giorni di apertura delle scuole, in base a quanto specificato nei calendari scolastici regionali di ogni anno [10]. Le ore di accensione settimanali dell'impianto di riscaldamento per ogni edificio, sono state desunte da precedenti lavori di tesi [13] o dai siti web delle scuole in questione.

I consumi, indicati con la lettera C nella successiva equazione, dei mesi di ottobre e novembre sono stati forniti con un dato congiunto; per la creazione della firma energetica è stato necessario scinderli, in maniera approssimativa, in relazione alla differenza di temperatura media mensile, considerando la temperatura interna di 20 °C, e al numero di giorni di apertura della scuola nei due mesi:

$$\frac{C_{Ott}}{C_{Ott+Nov}} = \frac{\Delta T_{Ott}}{\Delta T_{Ott+Nov}} * \frac{giorni_{Ott}}{giorni_{Ott+Nov}} \tag{5}$$

La differenza di temperatura al denominatore rappresenta la media delle temperature medie mensili dei mesi di ottobre e novembre.

Durante la rappresentazione delle firme per i vari edifici, si sono presentati casi di valori anomali che si discostavano molto dall'andamento lineare interpolante gli altri dati. Ogni punto di questa tipologia è stato analizzato e la firma è stata costruita basandosi solo sui punti non identificati come anomali [14]. La maggior parte dei punti distanti dalla retta è corrispondente ai consumi del periodo natalizio o a quelli di fine stagione; in questi periodi, infatti, gli orari di apertura e di accensione degli impianti potrebbero essere diversi da quelli ipotizzati, anche per via di attività al di fuori dell'orario scolastico.

La firma energetica consente di visualizzare il comportamento del sistema edificio-impianto in relazione ai cambiamenti di temperatura esterna. La pendenza della retta di regressione è infatti espressa in "W/K", analogamente al coefficiente di scambio termico globale dell'edificio, ma tiene conto anche del comportamento dell'impianto di riscaldamento al variare della temperatura esterna. Confrontando la pendenza delle firme energetiche di edifici diversi, dopo aver opportunamente normalizzato i consumi rispetto al volume lordo riscaldato, è possibile capire quale degli edifici abbia una prestazione energetica, relativa al riscaldamento, migliore.

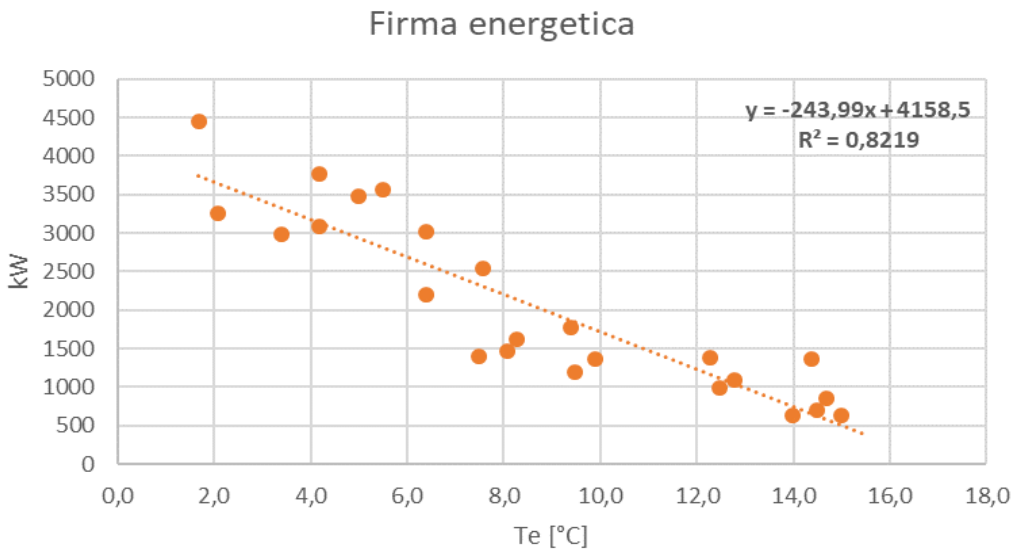


Fig. 20-Esempio di firma energetica

La figura riportata mostra un esempio di firma energetica, in cui è evidenziata l'espressione della retta che interpola i dati e il valore del coefficiente di determinazione. Nelle schede degli edifici in allegato, si riporta in un unico grafico la firma energetica prima della riqualificazione e quella successiva alla stessa, in modo da evidenziare i risparmi ottenuti anche con l'ausilio di questo strumento.

3 Consumi energetici prima della riqualificazione

Questo capitolo mostra i consumi di energia primaria per riscaldamento degli edifici di Città Metropolitana e del Comune di Torino. L'analisi si focalizza sui consumi antecedenti gli interventi di riqualificazione energetica.

I consumi riportati nei grafici che seguono sono quelli di una stagione termica di riferimento prima degli interventi di riqualificazione; si è scelto di effettuare l'analisi dei consumi e, conseguentemente dei risparmi, basandosi su una singola stagione – e quindi di non utilizzare il consumo medio di diverse stagioni – in quanto i dati sono stati poi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno reali della stagione di riferimento, al fine di escludere la dipendenza dal clima nel confronto tra i vari edifici.

La stagione di riferimento per i consumi delle scuole di Città Metropolitana è il 2015/16, scelta secondo quanto specificato nel successivo paragrafo 3.1. Per quanto riguarda le scuole del Comune di Torino, poiché gli interventi di riqualificazione impiantistica risalgono al 2012 per tre dei sei edifici considerati, la stagione di riferimento scelta per rappresentare i consumi prima di ogni intervento è la stagione 2011/12; non è stato possibile risalire ai consumi prima del 2011.

Al fine di avere un quadro completo di informazioni circa i consumi degli edifici in questione, si riportano nei paragrafi successivi, in forma grafica, le seguenti informazioni:

- Consumi annuali reali di energia primaria nella stagione di riferimento
- Consumi annuali di energia primaria nella stagione di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali [6] di ogni singola località
- Consumi annuali di energia primaria nella stagione di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino (2617 GG)
- Consumi specifici reali di energia primaria nella stagione di riferimento
- Consumi specifici di energia primaria nella stagione di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di ogni singola località
- Consumi specifici di energia primaria nella stagione di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino

Nell'ambito della presente tesi si intende per "energia primaria" l'energia in ingresso al sottosistema di generazione impiantistica; con il termine "energia secondaria", ci si

riferisce invece all'energia a valle del sistema di generazione che viene consegnata alla rete di distribuzione.

Si è scelto di riportare negli allegati i consumi storici, prima degli interventi di riqualificazione, di tutti gli edifici analizzati; i dati sono rappresentati con un grafico a barre che mostra, per i diversi anni considerati, i consumi specifici mensili di energia fornita all'impianto in funzione della differenza di temperatura media mensile, calcolata a partire dai dati climatici delle stazioni Arpa.

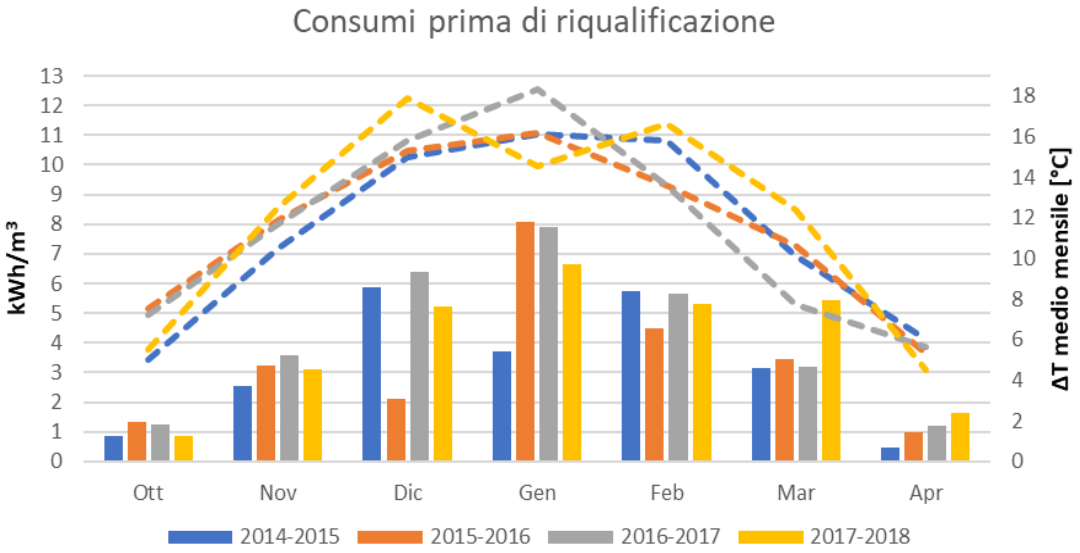


Fig. 21-Esempio di grafico riportante i consumi mensili specifici di energia primaria in funzione della differenza di temperatura media mensile

Sull'asse secondario, a destra, si riporta la differenza di temperatura media mensile, il cui andamento è rappresentato dalle linee tratteggiate di colori diversi per ognuno degli anni indicati in legenda. L'asse principale riporta il consumo specifico annuale di energia primaria per le diverse stagioni considerate, i cui valori sono rappresentati dalle colonne colorate.

Per alcune delle sei scuole comunali non è stato possibile risalire ai consumi mensili prima degli interventi di riqualificazione, avvenuti precedentemente rispetto a quelli di Città Metropolitana; per questo motivo i dati di consumo di tali edifici non sono rappresentati né attraverso la firma energetica né utilizzando il grafico a barre riportante i consumi storici mensili.

3.1 Città Metropolitana di Torino

Lo studio si focalizza innanzitutto sui consumi degli edifici di Città Metropolitana; come già specificato, la stagione di riferimento scelta per rappresentare i consumi e per calcolare successivamente i risparmi, è la stagione 2015/16. Il motivo per cui la scelta è ricaduta sulla stagione termica indicata, deriva dall'analisi dei Gradi Giorno reali delle località in cui si trovano gli edifici; si è confrontata la media dei Gradi Giorno delle varie località, per ogni stagione termica dal 2014 al 2018, con il dato reale dei Gradi Giorno annuali di Torino, essendo la maggior parte degli edifici ivi situati. L'anno in cui la differenza tra la media dei Gradi Giorno e il dato di Torino è risultata essere minore è il 2015/16, scelto come anno di riferimento. La stagione 2014/15 è stata esclusa in quanto per diversi edifici non erano disponibili le misurazioni dei consumi. Allo stesso modo, la stagione 2017/18 non è stata scelta – tranne che per un edificio - come riferimento per l'analisi dei consumi prima della riqualificazione perché, per alcune delle scuole, tale anno è già rappresentativo dei consumi susseguenti al miglioramento impiantistico, in quanto riqualificate nell'estate del 2017.

In alcuni casi, il dato di consumo relativo alla stagione di riferimento scelta è stato considerato anomalo o non attendibile rispetto ai dati rilevati nelle altre stagioni; per questi edifici si è scelto di considerare come anno di riferimento quello in cui il consumo specifico normalizzato rispetto ai Gradi Giorno reali, espresso dunque in $kWh/(m^3*GG)$, fosse il più prossimo alla media dei consumi specifici normalizzati delle altre stagioni.

Nella tabella seguente si riportano le scuole di Città Metropolitana per le quali i consumi di riferimento antecedenti la riqualificazione non si riferiscono alla stagione 2015/16:

Tabella 5- Edifici con anno di riferimento diverso dal 2015/16

Codice immobile	Nome	Anno di riferimento
41	I.I.S. Juvarra	2016/17
44	I. Arte Passoni	2016/17
48	I.P.C. Bosso succ.	2016/17
219	Nuova sede succ. L.S. Marie Curie	2017/18

Due delle scuole considerate per Città Metropolitana, identificate con i codici 65 e 125, sono state escluse dalla rappresentazione dei consumi riportate in questo capitolo, in quanto i valori derivanti dalle misurazioni non sono stati considerati attendibili.

La figura che segue mostra i consumi di energia primaria reali, espressi in *MWh*, degli edifici di Città Metropolitana nell'anno di riferimento, scelto come specificato in precedenza.

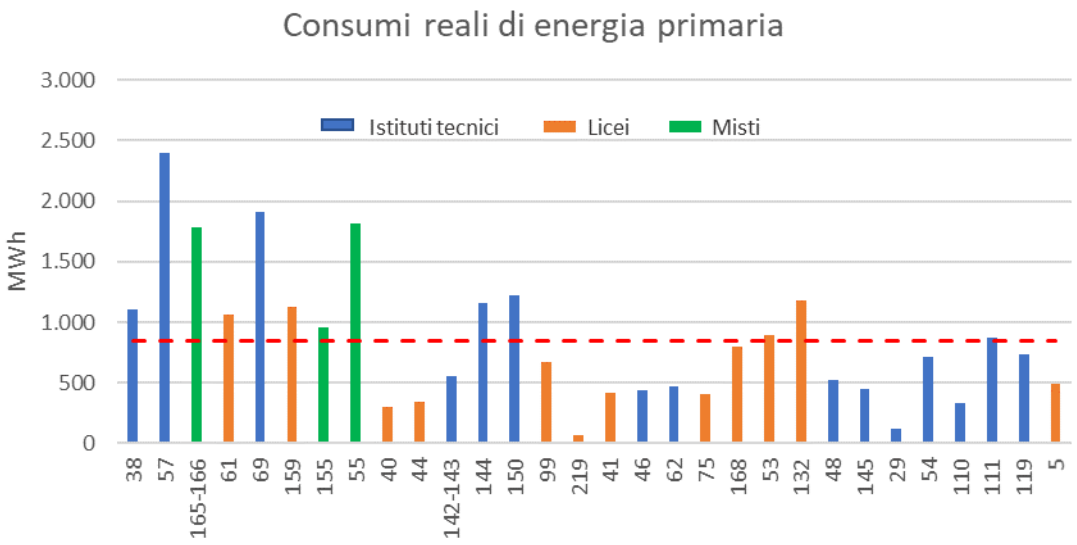


Fig. 22- Consumi reali di energia primaria nell'anno di riferimento

In figura 22 sono rappresentati i consumi annuali di energia primaria, cioè in ingresso al sistema di generazione, dell'anno di riferimento, divisi in base alla tipologia di scuola. Gli edifici che ospitano sia un liceo che un istituto tecnico sono stati identificati con la dicitura "misti". Tale distinzione è stata fatta poiché, come dimostrato in seguito, l'uso dei licei potrebbe essere relativamente differente da quello degli istituti tecnici.

Sull'asse orizzontale sono riportati i codici degli immobili cosi come forniti da Città Metropolitana e come visibile nelle schede degli edifici presenti in allegato a questo documento. La linea rossa tratteggiata rappresenta il consumo medio degli edifici considerati nell'anno di riferimento, pari a 845 MWh. L'edificio che consuma di più in termini assoluti è l'istituto tecnico 57.

Il grafico in figura mostra l'energia realmente consumata dagli edifici per la climatizzazione invernale, ma non tiene conto della dipendenza dei consumi dal clima e dal volume riscaldato. Si riportano dunque le rappresentazioni dei consumi assoluti

normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di ogni località e rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino, calcolati come specificato di seguito.

$$C_{norm,DPR} = C_{rif} * (\frac{GG_{DPR}}{GG_{rif}}) \quad (6)$$

- $C_{norm,DPR}$ è il consumo normalizzato di ogni edificio
- C_{rif} è il consumo reale nell'anno di riferimento
- GG_{DPR} sono i Gradi Giorno convenzionali della località in cui si trova ogni scuola
- GG_{rif} sono i Gradi Giorno reali di ogni località nella stagione di riferimento

I consumi normalizzati in questo modo sono rappresentati nella figura seguente:

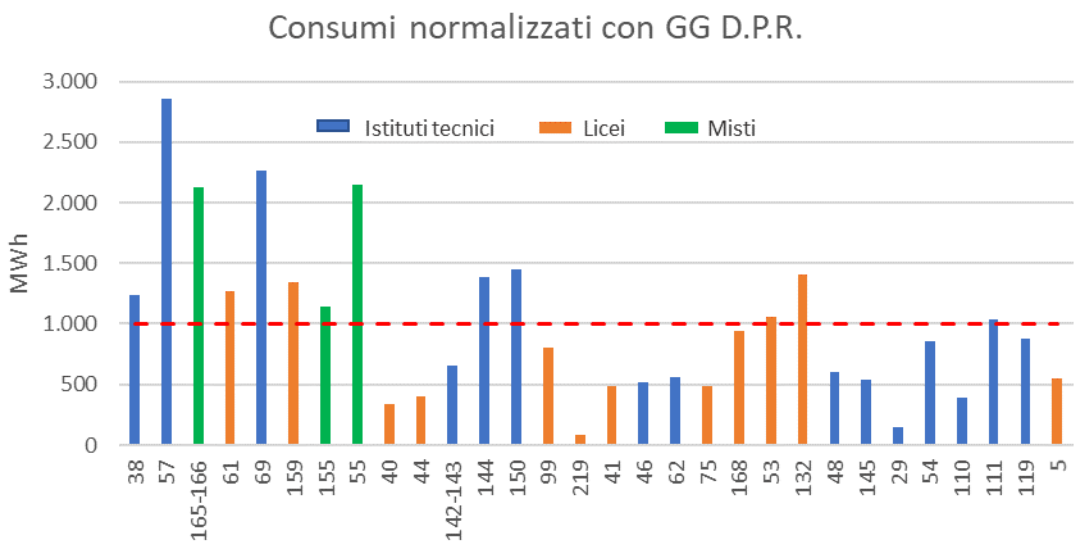


Fig. 23- Consumi di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di ogni località

Riferendo tutti i consumi ai Gradi Giorno convenzionali si nota un aumento di ogni valore, essendo i Gradi Giorno reali nella stagione di riferimento inferiori rispetto a quelli convenzionali definiti dal D.P.R. 412/93. Tale operazione si è resa necessaria per uniformare i dati degli edifici con un anno di riferimento diverso, in modo da non tener conto delle diverse condizioni climatiche dei diversi anni. Gli edifici menzionati in tabella 5 sono caratterizzati da consumi assoluti molto bassi rispetto alla media, per cui risulta difficile vedere le variazioni dovute all'operazione di normalizzazione da questo grafico. Il consumo medio normalizzato in questo modo risulta essere pari a 1000 MWh, sensibilmente maggiore di quello reale.

Poiché gli edifici si trovano in località diverse, si è scelto di normalizzare i consumi reali anche rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino, città che ospita il maggior numero di edifici di Città Metropolitana.

Il calcolo effettuato è del tutto analogo a quello descritto in precedenza, ma al numeratore è presente sempre lo stesso valore per ogni edificio, cioè i Gradi Giorno convenzionali di Torino.

$$C_{norm,DPR,TO} = C_{rif} * (\frac{GG_{DPR,TO}}{GG_{rif}}) \quad (7)$$

- $C_{norm,DPR,TO}$ è il consumo normalizzato rispetto ai Gradi Giorno di Torino
- $GG_{DPR,TO}$ sono i Gradi Giorno convenzionali di Torino, pari a 2617 GG

Tale operazione annulla la dipendenza dei consumi dal clima, riferendoli tutti al clima convenzionale di Torino.

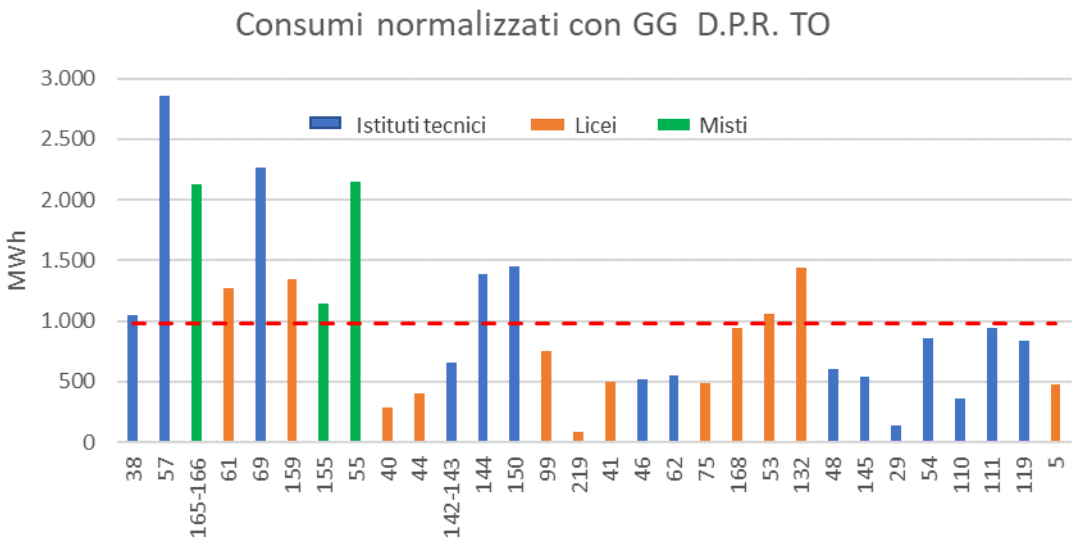


Fig. 24- Consumi di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai i Gradi Giorno convenzionali di Torino

La normalizzazione rispetto ai Gradi Giorno di Torino non produce effetti tanto diversi da quella effettuata precedentemente con i Gradi Giorno convenzionali di ogni località, in quanto la maggior parte degli edifici analizzati si trova a Torino; inoltre, molti degli edifici che non sono situati a Torino si trovano in comuni limitrofi, caratterizzati perciò da un valore convenzionale di Gradi Giorno che differisce di poco dal valore di Torino. Il valore medio del consumo cosi normalizzato risulta essere pari a 983 MWh.

I consumi di energia riportati in precedenza non tengono conto del volume riscaldato degli edifici, per cui è stato ritenuto opportuno dividerli per tale valore in modo da ottenere un indice di prestazione energetica, riferito al servizio di climatizzazione invernale, che fosse confrontabile tra i vari edifici.

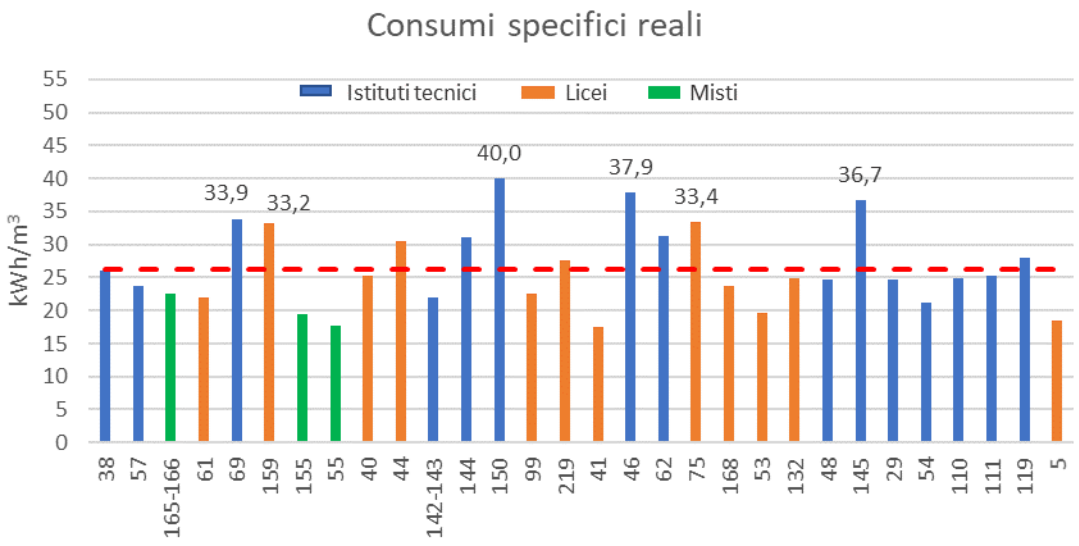


Fig. 25- Consumi specifici reali di energia primaria nell'anno di riferimento

I consumi di energia primaria reali sono stati divisi per i rispettivi volumi lordi riscaldati, al fine di annullare la dipendenza dei consumi dalle dimensioni degli edifici. Infatti, si nota subito come alcuni degli edifici presentano un consumo assoluto di energia molto elevato a causa delle loro grandi dimensioni. Questo è il caso degli edifici 55, 57 e 165-166. Si può notare, d'altra parte, come gli edifici 69, 159 e 150 abbiano un elevato consumo specifico e un elevato consumo assoluto. Gli edifici con una prestazione energetica peggiore, corrispondenti a quelli con il maggior consumo per unità di volume, sono quelli etichettati in figura con il proprio valore di consumo specifico. Il valore medio di consumo reale per unità di volume riscaldato è pari a 26,3 kWh/m^3.

In maniera analoga a quanto spiegato per i consumi assoluti di energia, si riportano i grafici contenenti i consumi specifici normalizzati rispetto ai Gradi Giorno di ogni località e rispetto ai Gradi Giorno di Torino.

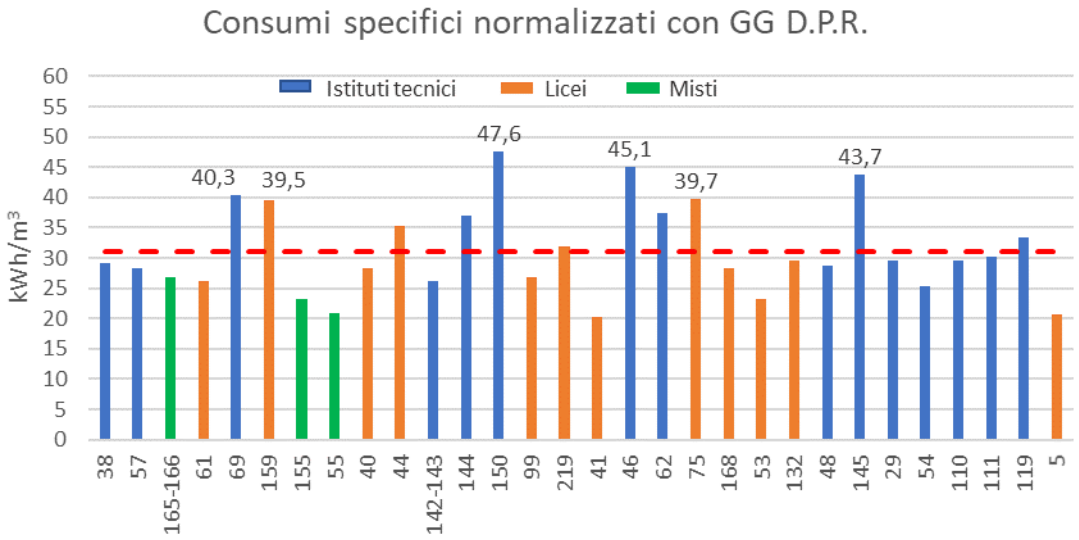


Fig. 26- Consumi specifici di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di ogni località

I consumi specifici normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di ogni località sono maggiori rispetto a quelli reali per quanto già spiegato in precedenza per i consumi assoluti. La media del consumo per unità di volume è, in questo caso, pari a 31,1 kWh/m^3.

Al fine di rendere il confronto tra i vari edifici indipendente dalla volumetria degli stessi e dalle condizioni climatiche, si riporta il grafico dei consumi specifici normalizzati tutti rispetto alle condizioni climatiche convenzionali di Torino.

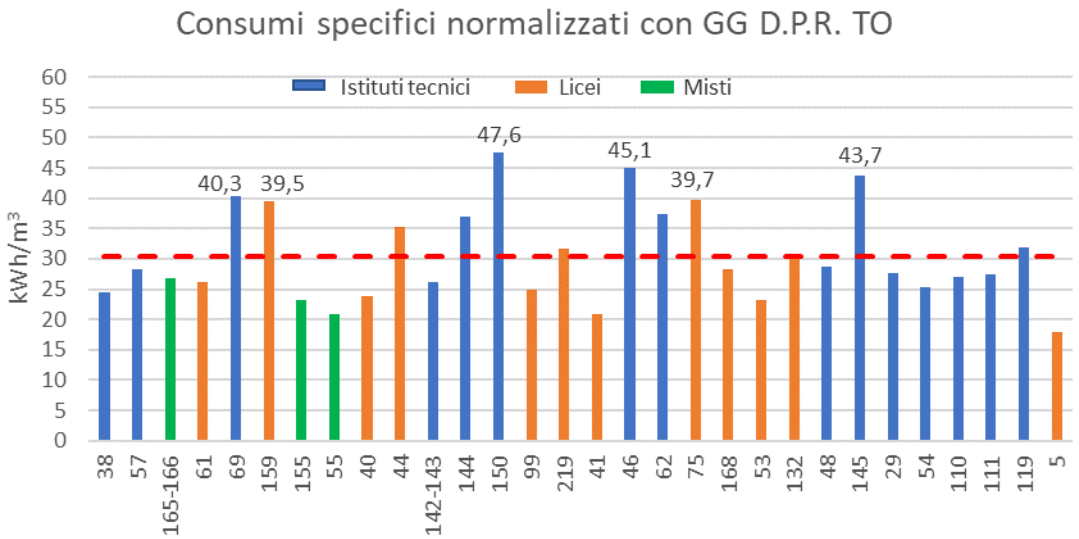


Fig. 27- Consumi specifici di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino

La differenza tra il grafico di figura 27 e quello precedente non è evidente in quanto la maggior parte degli edifici è situata a Torino. Si trovano a Torino inoltre tutte le scuole che hanno una bassa prestazione energetica riferita al riscaldamento, evidenziate dall'etichetta posizionata sopra le colonne corrispondenti. Il consumo medio specifico normalizzato rispetto a Torino è pari a 30,4 kWh/m^3 , leggermente inferiore al precedente a causa degli edifici che si trovano in località caratterizzate da un clima più rigido rispetto a quello di Torino.

Dall'analisi di questo grafico, indipendente dal volume riscaldato e dalle condizioni climatiche, è stato possibile individuare gli edifici con un indice di prestazione energetica per riscaldamento più alto rispetto alla media. Gli edifici più critici in questo senso sono riassunti nella tabella seguente.

Tabella 6- Consumi specifici degli edifici più critici, normalizzati con GG D.P.R. TO

Codice immobile	**Nome**	**$C_{norm,DPR,TO}$ [kWh/m^3]**
69	I.P.C. Giulio succ.	40,3
159	L.S. Einstein	39,5
150	I.T.I.S. Bodoni	47,6
46	I.P. Altre spec. Steiner succ.	45,1
75	L.C. Cavour succ.	39,7
145	I.P.C. Boselli succ.	43,7

Partendo dagli edifici menzionati in tabella, si è cercato di individuare le correlazioni esistenti tra i consumi e le grandezze principali da cui si è fatta l'ipotesi che essi dipendano. Non avendo a disposizione dati sufficientemente dettagliati ed un campione di edifici molto ampio, le correlazioni e i modelli presentati nei prossimi paragrafi non sono sempre soddisfacenti dal punto di vista statistico.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva, relativa all'anno di riferimento, dei consumi e dei consumi specifici, normalizzati e non, di tutti gli edifici di Città Metropolitana di Torino.

Tabella 7- Quadro riassuntivo dei consumi nell'anno di riferimento per tutti gli edifici di Città Metropolitana

Anno riferimento		*Gradi Giorno*	*Consumi*		*Consumi specifici*	
		Reali	C_{rif}	$C_{norm,DPR,TO}$	C_{rif}	$C_{norm,DPR,TO}$
Codice scuola	**V [m^3]**	**GG_{rif}**	**MWh**	**MWh_{norm}**	**kWh/m^3**	**kWh/m$^3_{norm}$**
5	26.820	2694,7	495,7	481,4	18,5	18,0
29	5.097	2336,4	125,4	140,5	24,6	27,6
38	42.580	2778,5	1109,9	1045,4	26,1	24,6
40	11.819	2778,5	299,2	281,8	25,3	23,8
41	24.116	2198,0	422,5	503,1	17,5	20,9
44	11.291	2251,0	343,6	399,4	30,4	35,4
46	11.491	2199,5	435,6	518,3	37,9	45,1
48	21.076	2251,0	520,2	604,7	24,7	28,7
53	45.676	2199,5	893,3	1062,9	19,6	23,3
54	33.730	2199,5	717,6	853,8	21,3	25,3
55	102.658	2199,5	1809,6	2153,1	17,6	21,0
57	101.174	2199,5	2402,0	2858,0	23,7	28,2
61	48.227	2199,5	1064,4	1266,4	22,1	26,3
62	14.888	2199,5	467,0	555,7	31,4	37,3
69	56.238	2199,5	1905,2	2266,8	33,9	40,3
75	12.310	2199,5	411,0	489,0	33,4	39,7
99	29.970	2359,8	674,6	748,2	22,5	25,0
110	13.160	2412,3	327,8	355,6	24,9	27,0
111	34.346	2412,3	869,6	943,4	25,3	27,5
119	26.313	2300,7	736,3	837,5	28,0	31,8
132	47.512	2146,0	1183,4	1443,1	24,9	30,4
142-143	25.160	2199,5	553,1	658,1	22,0	26,2
144	37.521	2199,5	1163,7	1384,6	31,0	36,9
145	12.280	2199,5	450,8	536,4	36,7	43,7
150	30.516	2199,5	1221,7	1453,6	40,0	47,6
155	49.161	2199,5	960,6	1143,0	19,5	23,2
159	34.082	2199,5	1131,5	1346,3	33,2	39,5
165-166	79.323	2199,5	1787,7	2127,1	22,5	26,8
168	33.480	2199,5	794,3	945,1	23,7	28,2
219	2.618	2276,0	72,1	82,9	27,5	31,7

3.1.1 Correlazione dei consumi con il volume lordo riscaldato

Come facilmente immaginabile, il consumo di energia per riscaldamento dipende fortemente dal volume lordo riscaldato degli edifici. In questo paragrafo si verifica tale correlazione per gli edifici di Città Metropolitana.

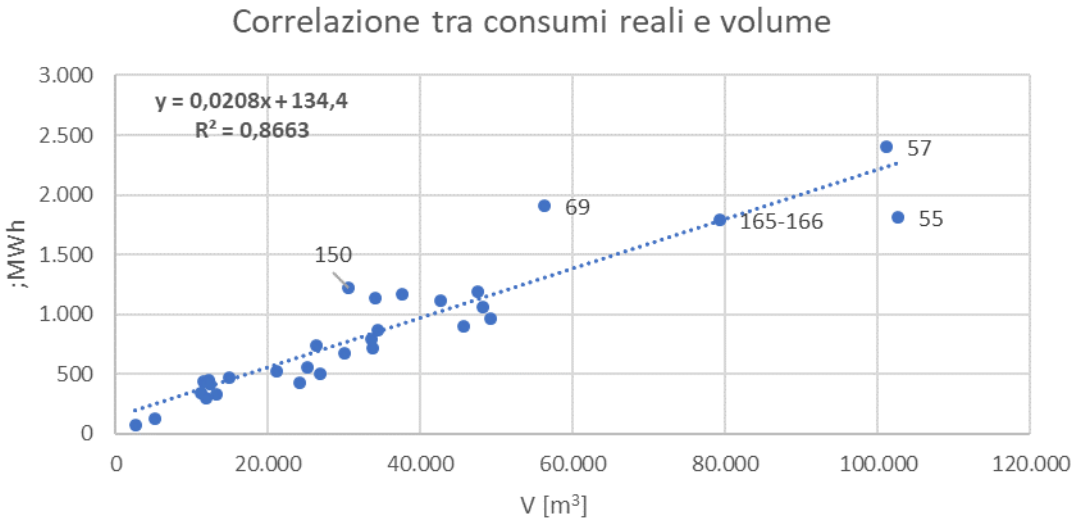


Fig. 28- Correlazione tra il consumo di energia primaria e il volume lordo riscaldato

La forte correlazione tra il volume lordo riscaldato e il consumo di energia primaria è evidente dal grafico riportato in figura; il coefficiente di determinazione R^2 è molto elevato e conferma la bontà della regressione lineare individuata. Vi sono degli edifici che si discostano leggermente dall'andamento lineare e che tendono dunque ad abbassare il valore di R^2 . In particolare, le scuole 69 e 150 sembrano avere un consumo di energia maggiore a parità di volume riscaldato; d'altro canto, l'edificio con volumetria maggiore in assoluto, identificato con il codice 55, sembra mostrare un consumo di energia leggermente inferiore a quello previsto dalla retta di regressione.

Se si considera il consumo normalizzato rispetto ai Gradi Giorno di Torino, la correlazione rimane quasi invariata e il coefficiente di determinazione si abbassa leggermente; per questo motivo non è stato riportato il grafico riferito ai consumi normalizzati ma si è fatto riferimento soltanto a quello con i consumi reali.

La stessa relazione è stata rappresentata distinguendo gli istituti tecnici dai licei, per evidenziare eventuali differenze nella pendenza della retta di regressione. La figura

seguente evidenzia le differenze esistenti tra le due tipologie di scuole; nella rappresentazione non sono state considerate le scuole miste.

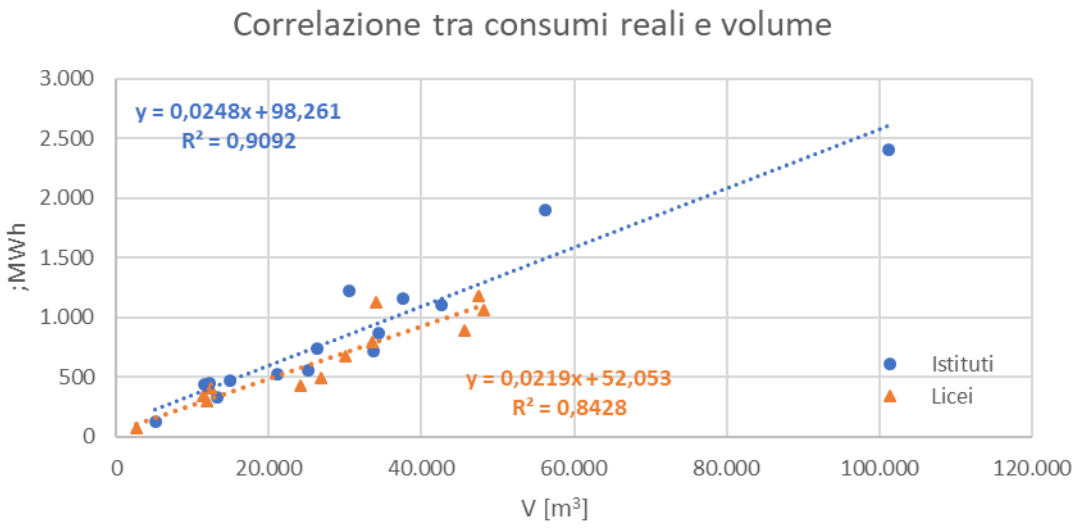


Fig. 29- Correlazione tra il consumo di energia primaria e il volume, distinta tra licei ed istituti tecnici

Dal grafico in figura 29, si può notare come gli istituti tecnici tendano, a parità di volume, a consumare leggermente di più rispetto ai licei. Tale comportamento è evidenziato dalla pendenza della retta di regressione, maggiore nel caso degli istituti tecnici. La differenza tra le due tipologie di scuole è riconducibile soprattutto ai diversi orari di occupazione e al diverso uso dei locali presenti negli edifici. In generale, gli istituti tecnici sono occupati per più tempo rispetto ai licei poiché ospitano molto spesso anche corsi pomeridiani e serali. Inoltre, è plausibile ipotizzare una maggior presenza di laboratori o di locali adibiti ad attività simili negli istituti tecnici.

La relazione con il volume è stata rappresentata anche considerando gli istituti misti insieme ai licei; in questo caso infatti, la correlazione lineare per i licei sembra risultare migliore. Probabilmente, gli edifici misti considerati hanno un volume destinato al liceo maggiore rispetto alla porzione di edificio destinata all'istituto tecnico; tuttavia, non è stato possibile reperire informazioni a riguardo e gli unici dati disponibili riguardavano il consumo complessivo e i dati geometrici dell'intero edificio.

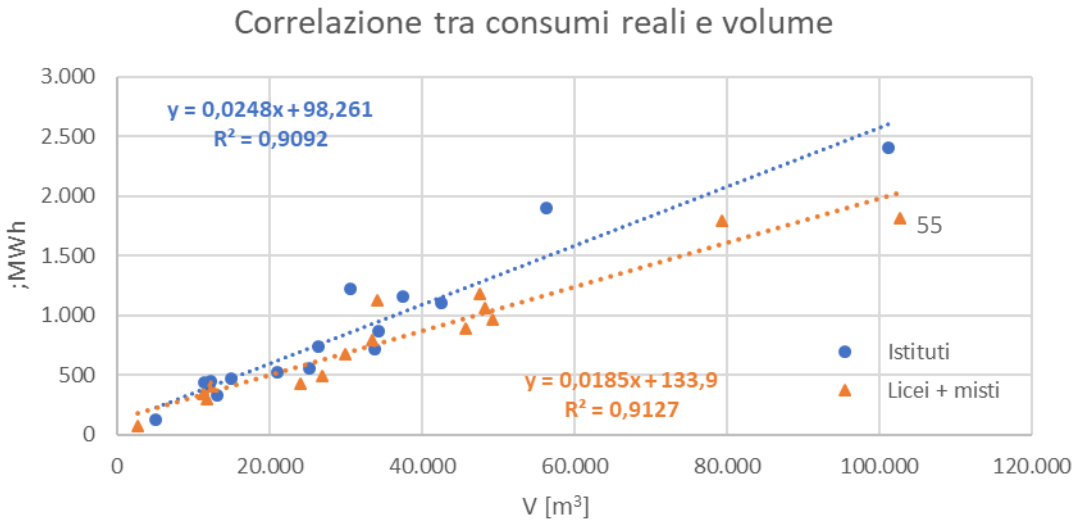


Fig. 30- Correlazione tra il consumo di energia primaria e il volume riscaldato - distinzione tra istituti e licei + misti

La pendenza della retta di regressione rappresentante i licei più gli edifici misti è minore rispetto a quella dei soli licei, poiché fortemente influenzata dal consumo dell'edificio 55, con il volume riscaldato maggiore di tutti gli edifici.

3.1.2 Individuazione delle correlazioni tra il consumo e le altre grandezze

La rappresentazione dei consumi riportata nel paragrafo 3.1 è stata il primo passo verso la comprensione dei motivi che determinano un consumo più o meno maggiore degli edifici analizzati. L'attenzione è stata posta soprattutto sugli edifici con consumi specifici di energia maggiori rispetto alla media, secondo quanto indicato nella tabella 6.

Normalizzando i consumi rispetto ai Gradi Giorno e al volume riscaldato è stato possibile non inserire esplicitamente queste due variabili nelle considerazioni che seguono. Si è fatta dunque l'ipotesi che i consumi cosi normalizzati dipendano essenzialmente dalle seguenti grandezze (tra parentesi sono mostrati i simboli usati per indicarle):

- Rapporto di forma (S/V)
- Ore di accensione settimanali dell'impianto (h)
- Epoca di costruzione (ep)
- Rendimento del sottosistema di generazione (η_{gn})
- Presenza di una palestra (p)
- Distanza dal centro di Torino (per gli edifici situati a Torino) (dc)

Il rapporto di forma S/V, come già illustrato in precedenza, influisce sul consumo per unità di volume di un edificio. Si può ipotizzare infatti che il consumo per riscaldamento sia dipendente essenzialmente dalla trasmissione di calore attraverso l'involucro edilizio; con questa assunzione, si può dimostrare che le perdite per trasmissione medie, per unità di volume lordo riscaldato, sono direttamente proporzionali al rapporto S/V a parità di condizioni climatiche e a parità di trasmittanza media dell'involucro [15]. Ci si aspetta dunque una correlazione positiva tra il consumo specifico di energia per riscaldamento e il rapporto di forma.

Le ore di accensione settimanali influenzano ovviamente il consumo di energia: per alcuni edifici sono state fornite direttamente da Città Metropolitana, per gli altri sono state ipotizzate sulla base dell'orario di apertura delle varie scuole.

Il rendimento del sottosistema di generazione è inversamente proporzionale al consumo di energia primaria; non è stato possibile risalire ai rendimenti globali degli impianti.

La relazione tra i consumi e l'epoca di costruzione dovrebbe, a livello teorico, mostrare consumi maggiori per gli edifici costruiti in epoche meno recenti, secondo quanto già spiegato nel paragrafo 2.1.

La presenza di una palestra potrebbe essere indicativa di consumi maggiori, in quanto potrebbe indicare l'utilizzo degli impianti, seppur su una volumetria da riscaldare ridotta, anche in orari di funzionamento extrascolastici.

La distanza dal centro e dunque l'effetto 'isola di calore' è stata considerata rilevante soltanto per gli edifici situati a Torino, unica grande città tra i comuni considerati. La distanza in questione è stata rilevata rispetto alla zona "Quadrilatero romano" della città di Torino.

La correlazione tra i consumi (variabile dipendente y) e le grandezze di cui sopra (variabile indipendente x) è espressa attraverso un coefficiente di correlazione, denominato 'r' cosi calcolato:

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 * \sum(y-\bar{y})^2}} \tag{8}$$

Le variabili contrassegnate con il trattino rappresentano le medie campionarie dei due set di dati. Quanto più il coefficiente di correlazione è prossimo a 1 tanto più le due variabili risultano dipendenti. Un coefficiente di correlazione prossimo a 0 non implica che le

variabili siano necessariamente indipendenti, poiché potrebbero essere legate da una correlazione di tipo non lineare. Il coefficiente di correlazione appena indicato, nel caso di regressioni lineari semplici, è la radice quadrata del coefficiente di determinazione R^2 [16].

Si riporta di seguito la metodologia seguita per l'analisi della dipendenza dei consumi dalle suddette grandezze per tutti gli edifici di Città Metropolitana, per gli istituti tecnici e per i licei.

Insieme di tutti gli edifici di Città Metropolitana

Partendo dall'analisi complessiva per tutte le scuole considerate di Città Metropolitana, si riportano in questa sezione i grafici di consumo specifico normalizzato rispetto al clima convenzionale di Torino, etichettando i dati con i valori di ognuna delle variabili introdotte precedentemente. I grafici evidenziano soltanto i dati degli edifici con un consumo specifico elevato rispetto alla media. Il codice dei colori utilizzato per rappresentare le diverse tipologie di scuole è lo stesso adottato in precedenza; la legenda non è stata inserita nei seguenti grafici per renderli più leggibili.

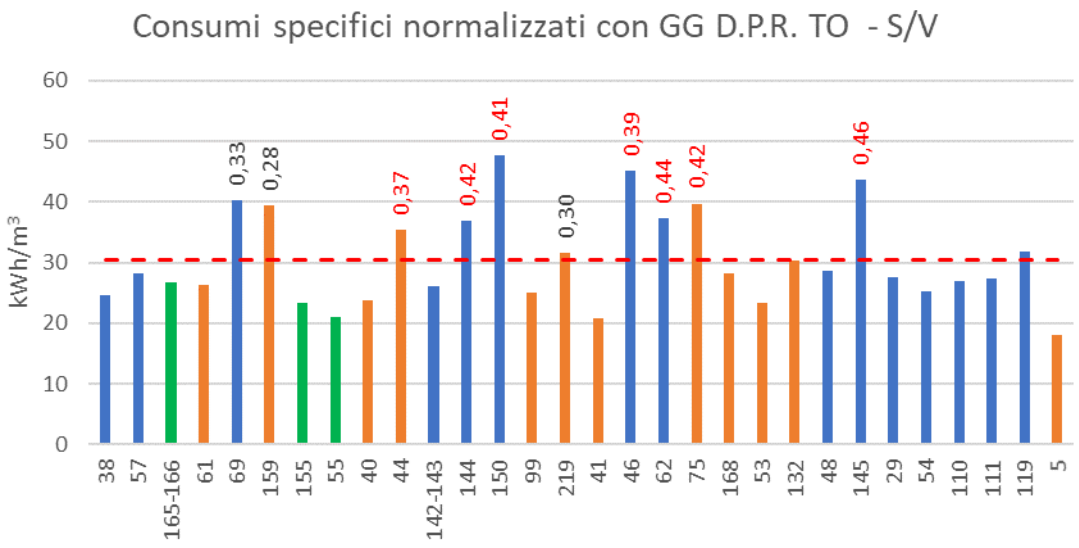


Fig. 31- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con il rapporto S/V

La figura 31 riporta le stesse informazioni contenute in figura 27 aggiungendo i valori del rapporto di forma S/V per gli edifici con consumi superiori alla media; i valori in rosso sono maggiori al rapporto S/V medio di tutti gli edifici, pari a 0,36, e gli edifici

corrispondenti tenderebbero quindi a consumare di più a parità di altre caratteristiche. La stessa tipologia di informazione è stata riassunta in grafici simili a quello di figura 31 per le altre variabili influenzanti il consumo.

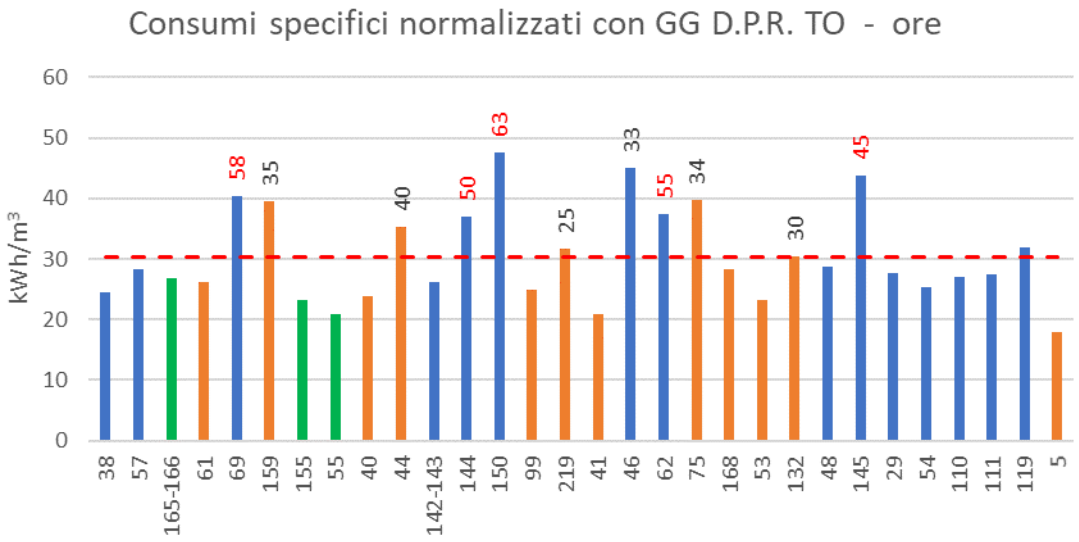


Fig. 32- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con ore di accensione settimanali

I dati evidenziati in rosso indicano gli edifici con un numero di ore di accensione settimanale degli impianti superiore alla media, pari a circa 42 ore.

Per quanto riguarda l'anno di costruzione, le diverse epoche sono state identificate nel grafico secondo i numeri elencati di seguito:

1. Dopo il 1991
2. Tra il 1976 e il 1991
3. Tra il 1960 e il 1976
4. Prima del 1960

Gli edifici evidenziati in rosso sono quelli costruiti prima del 1976, cioè quelli da cui ci si aspetta un maggior consumo energetico per riscaldamento. Si può notare come quasi tutti gli edifici con consumi specifici più alti della media – eccetto la scuola 145 – siano stati costruiti prima del 1976.

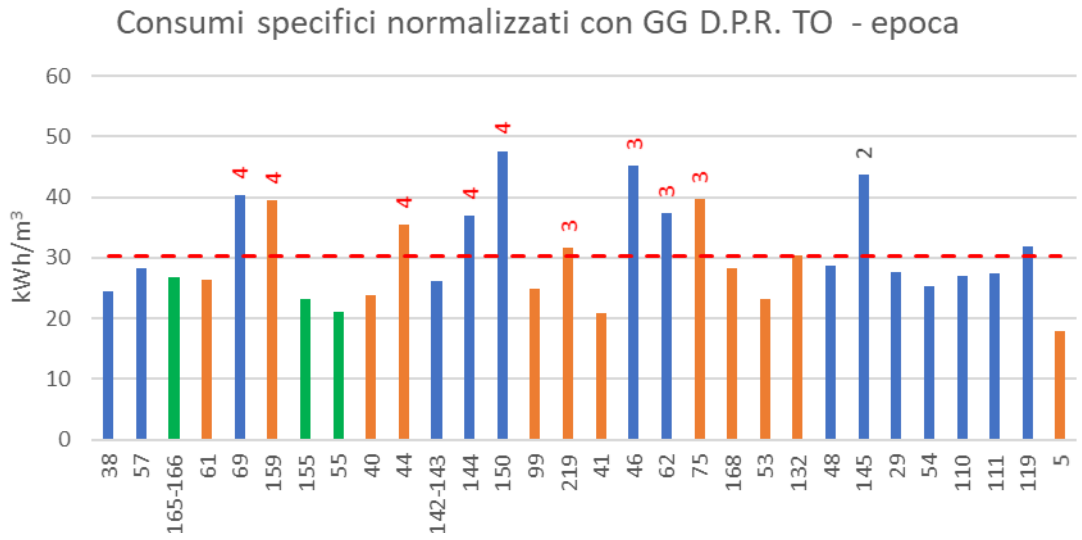


Fig. 33- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con epoca di costruzione

Il rendimento di produzione del generatore di calore dovrebbe essere una delle grandezze maggiormente influenzanti i consumi di energia primaria; ci si aspetterebbe che, a parità di altre caratteristiche, gli impianti con rendimenti di generazione inferiori siano caratterizzati da consumi maggiori.

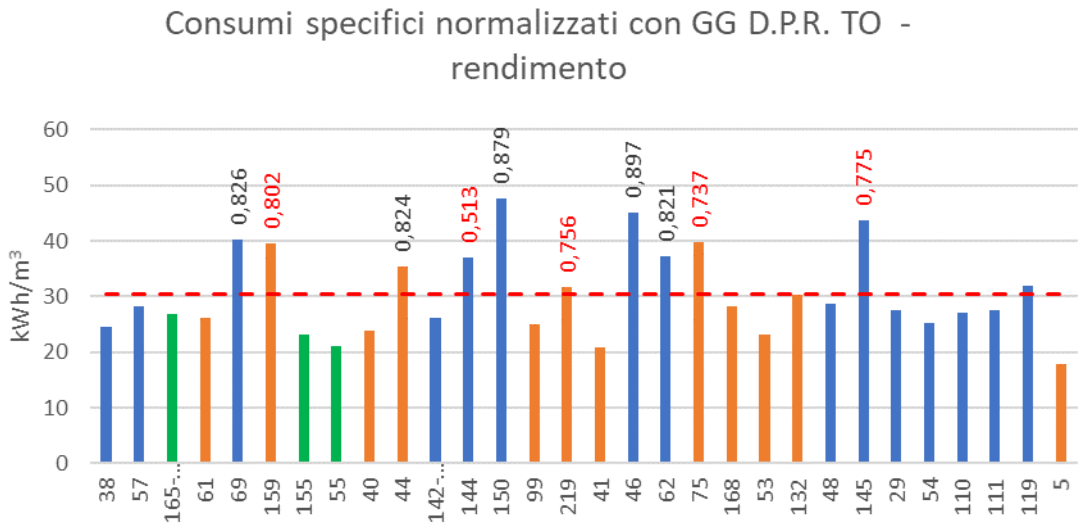


Fig. 34- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con rendimenti di generazione

Il rendimento medio di generazione di tutti gli edifici, basandosi sui dati misurati del 2015/16, è pari a 0,81; i dati riportati in rosso sono quelli inferiori al rendimento medio. Si può subito notare dal grafico che il valore di rendimento medio stagionale non spiega i consumi così elevati degli edifici 150 e 46.

Soltanto cinque delle scuole analizzate non comprendono una palestra all'interno del loro volume lordo riscaldato; pertanto si è scelto di non rappresentare in un grafico simile ai precedenti questo fattore.

Infine, la distanza dal centro, per gli edifici situati a Torino è stata riportata sul grafico seguente ed espressa in km.

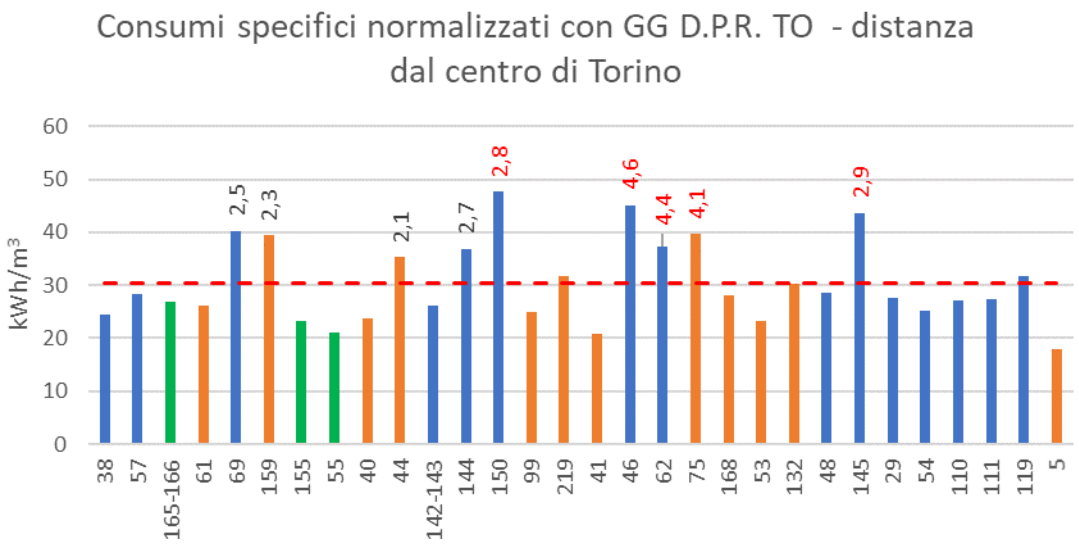


Fig. 35- Consumi specifici normalizzati di tutti gli edifici - etichette con distanza dal centro di Torino in km

La distanza media dal centro di Torino è pari a circa 2,8 km; sono riportati in rosso gli edifici con una distanza maggiore di quella media che tenderebbero dunque a consumare più energia per riscaldamento.

Dall'analisi delle informazioni rappresentate sui precedenti grafici si è provato a giustificare i consumi più elevati di alcuni edifici rispetto alla media. Si nota, ad esempio, come la maggior parte degli edifici più energivori sia stata costruita prima del 1976, cioè prima dell'obbligo di inserire strati di materiali isolanti termici all'interno delle stratigrafie dell'involucro edilizio. I consumi più elevati di alcuni edifici sembrano dipendere anche dal maggior numero di accensione degli impianti. Anche un valore elevato rispetto alla media del rapporto di forma sembrerebbe poter spiegare il dato degli edifici con consumi più elevati.

Tuttavia, non è sufficiente considerare separatamente l'azione delle diverse variabili per spiegare il comportamento di tutti gli edifici. Si è deciso dunque di costruire un modello che considerasse la sovrapposizione degli effetti dovuti alle variabili in gioco. Sono stati

considerati dapprima tutti gli edifici di Città Metropolitana e poi è stata effettuata la divisione tra i licei e gli istituti tecnici, poiché, come dimostrato anche dalla correlazione del consumo con il volume riscaldato, è plausibile pensare che queste due diverse tipologie di scuole abbiano comportamenti diversi. La bontà dei modelli creati è espressa attraverso il coefficiente di correlazione illustrato precedentemente. La metodologia adottata è descritta di seguito.

Per ogni edificio considerato, si è ipotizzato di assegnare, ad ognuna delle variabili influenzanti il consumo, un valore pari a 0 oppure a 1 in base alle seguenti logiche:

Tabella 8- Logiche di attribuzione del punteggio di ogni variabile

	SI	**NO**
$S/V > (S/V)_{medio}$	$P_{S/V} = 1$	$P_{S/V} = 0$
$h > h_{medie}$	$P_h = 1$	$P_h = 0$
$dc > dc_{media}$	$P_{dc} = 1$	$P_{dc} = 0$
epoca < 1976	$P_{ep} = 1$	$P_{ep} = 0$
$\eta_{gn} < \eta_{gn,\ medio}$	$P_\eta = 1$	$P_\eta = 0$
Presenza palestra	$P_p = 1$	$P_p = 0$

Il punteggio assegnato ad ogni grandezza è rappresentato con la lettera "P" ed un pedice che si riferisce alla variabile in oggetto, come indicato nell'elenco puntato all'inizio del paragrafo 3.1.2. Il pedice "medio" associato ad una variabile indica il valor medio di quella variabile su tutti gli edifici presi in considerazione.

La logica con cui viene assegnato un punteggio unitario ad ognuna delle variabili rispecchia la relazione che, a livello teorico, è lecito aspettarsi tra le suddette variabili e il consumo specifico di energia per riscaldamento. A titolo di esempio, si consideri la dipendenza del consumo dalle ore di funzionamento: se le ore di accensione di un impianto sono maggiori della media delle ore di accensione di tutti gli edifici, ci si attende un consumo maggiore e pertanto viene assegnato un punteggio unitario. Lo stesso tipo di ragionamento è applicabile a tutte le altre variabili considerate.

È stato poi calcolato un punteggio totale che tenesse conto di tutte le variabili prese in considerazione:

$$P_{tot} = P_{\frac{S}{V}} + P_h + P_{dc} + P_{ep} + P_\eta + P_p \qquad (9)$$

Il punteggio cosi calcolato implica l'assunzione che tutte le variabili considerate abbiano lo stesso peso sui consumi di energia.

Riportando in un grafico i consumi specifici di energia primaria, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino, in funzione del punteggio totale di ogni edificio si ottiene la seguente rappresentazione:

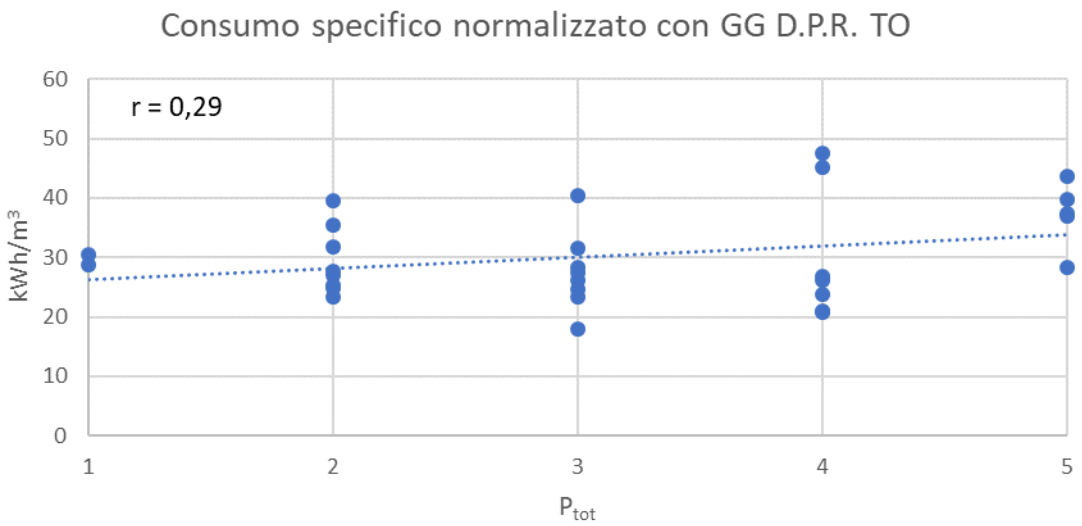


Fig. 36- Correlazione con P_{tot} - tutti gli edifici

La correlazione tra il punteggio totale e il consumo specifico normalizzato di tutti gli edifici di Città Metropolitana non sembra essere molto forte, come dimostrato dal valore del coefficiente di correlazione riportato sul grafico.

Si è pensato dunque di definire un nuovo punteggio complessivo pesando le variabili con dei coefficienti, come indicato nella seguente espressione:

$$P'_{tot} = a * P_{\frac{S}{V}} + b * P_h + c * P_{dc} + d * P_{ep} + e * P_\eta + f * P_p \qquad (10)$$

Il valore dei coefficienti indicati è stato calcolato imponendo il vincolo che la correlazione tra il nuovo punteggio totale, P'_{tot}, e il consumo specifico di energia fosse massima; per lo svolgimento del calcolo si è utilizzato lo strumento "risolutore" di Excel. I punteggi di ogni variabile sono sempre pari ad 1 oppure a 0 secondo quanto indicato in tabella 8.

La variabile “dc”, che esprime la distanza dal centro di Torino, non è stata considerata nelle simulazioni riferite a tutti gli edifici ma soltanto in quelle relative alle sole scuole di Torino.

Il grafico nella figura seguente mostra i risultati della correlazione tra il nuovo punteggio totale di ogni edificio ed il corrispondente consumo specifico normalizzato di energia.

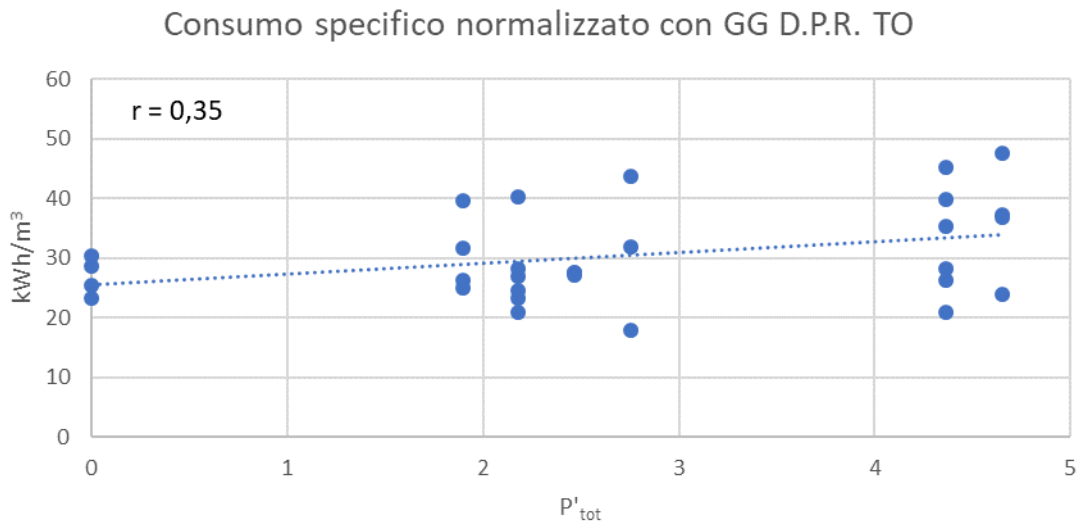


Fig. 37- Correlazione con P'_{tot} - tutti gli edifici

Il coefficiente di correlazione massimo, per il caso comprendente tutti gli edifici di Città Metropolitana, è pari a 0,35. La correlazione massima per il caso considerato è di poco maggiore rispetto al valore ottenuto inizialmente. I valori assunti dai coefficienti presenti nella nuova formulazione del punteggio totale sono indicati nella tabella seguente:

Tabella 9- Coefficienti espressione P'_{tot} - tutti gli edifici

a (S/V)	b (h)	d (ep)	e (η)	f (p)
2,04	0,39	1,79	0	0

In tabella non è presente il coefficiente “c”, relativo alla distanza dal centro di Torino, in quanto la simulazione si riferisce a tutti gli edifici di Città Metropolitana. Le variabili che sembrano influenzare maggiormente il consumo specifico di energia per riscaldamento sono quelle con i coefficienti maggiori; il coefficiente “a”, relativo al rapporto di forma S/V, assume il valore più grande, seguito dal coefficiente relativo all’epoca di costruzione, identificato con la lettera “d”. Sembrerebbe non esservi una correlazione dei consumi con le altre due variabili considerate, cioè i rendimenti di generazione e la

presenza di una palestra. L'assenza di una correlazione dei consumi con la presenza di una palestra poteva essere immaginata; la quasi totalità degli edifici analizzati è caratterizzata dalla presenza di una palestra, perciò bisognerebbe analizzare un campione di edifici più ampio per capire la reale influenza che questo fattore potrebbe avere sui consumi. Risulta più strana l'assenza di una correlazione dei consumi con i rendimenti di generazione; tale comportamento potrebbe essere indicativo dell'importanza del comportamento degli utenti e dell'uso dell'edificio rispetto alle performance dell'impianto.

Lo stesso procedimento è stato seguito analizzando la totalità degli edifici di Città Metropolitana situati a Torino; in questo caso è stata inserita come variabile anche la distanza dal centro, per tener conto di eventuali diversità nei consumi dovute al contesto urbano in cui si trovano gli edifici.

La figura seguente riporta la correlazione del punteggio P'_{tot} con i consumi specifici normalizzati per i soli edifici di Torino.

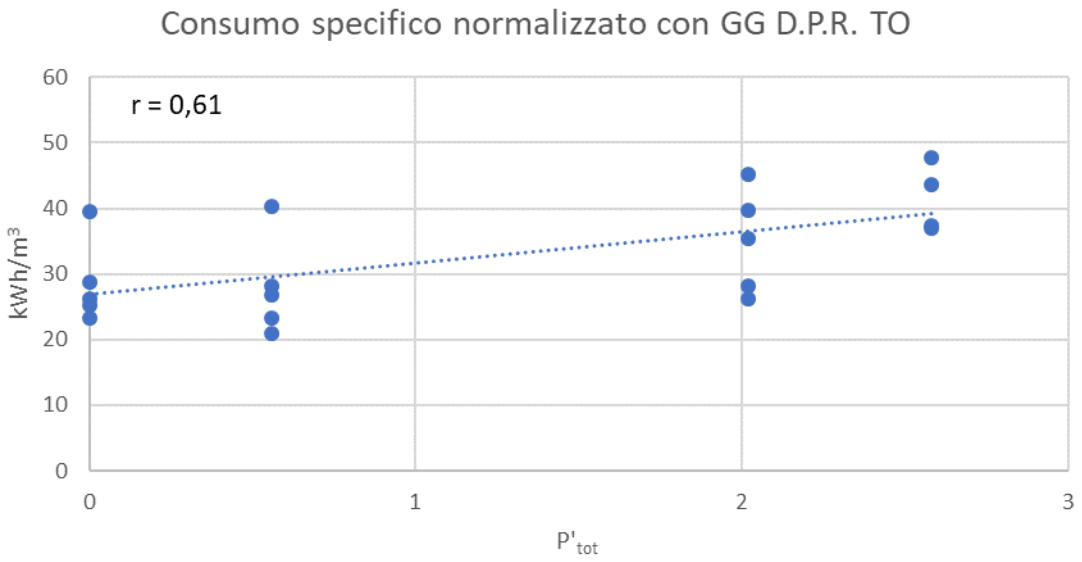


Fig. 38- Correlazione con P'_{tot} – tutti gli edifici di Torino

La correlazione è migliore rispetto al caso che comprendeva tutti gli edifici di Città Metropolitana, come mostrato dal coefficiente in figura. La variabile che sembra influenzare maggiormente il consumo in questo caso è ancora il rapporto di forma S/V.

L'influenza della distanza dal centro della città, considerando solo gli edifici di Torino, è visibile nel grafico seguente, raffigurante la dipendenza dei consumi specifici normalizzati delle scuole di Torino con la distanza dal centro espressa in km.

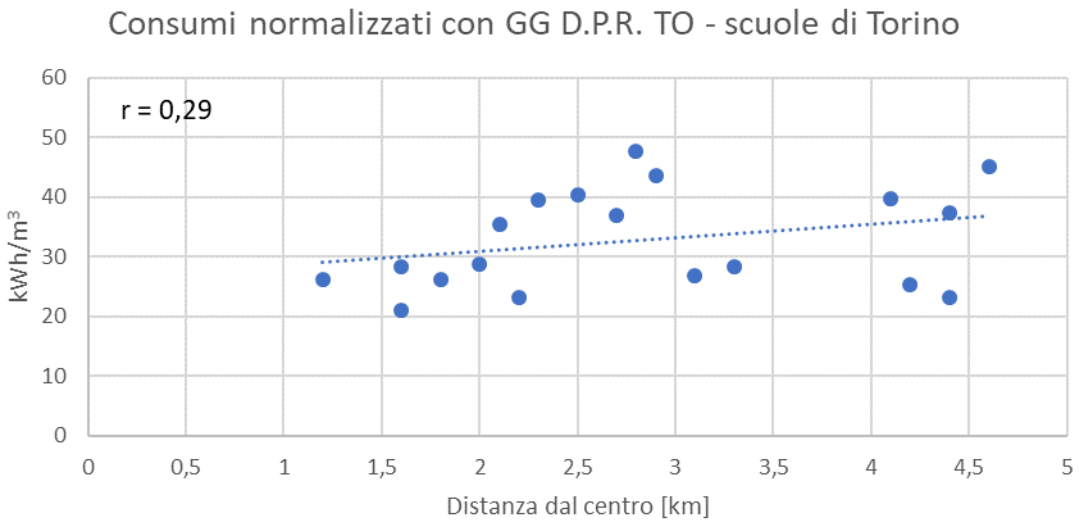


Fig. 39- Correlazione con distanza dal centro - edifici di Torino

Il coefficiente di correlazione pari a 0,29 indica la presenza di una relazione, seppure non molto forte, tra la distanza dal centro della città e i consumi specifici normalizzati. Si nota come i consumi rappresentati in figura tendano ad aumentare all'aumentare della distanza.

I risultati appena mostrati si riferiscono alla totalità delle scuole analizzate e non considerano la distinzione tra licei ed istituti tecnici. Si riportano di seguito le analisi delle correlazioni dei consumi con il punteggio totale divise per gli istituti tecnici e per i licei.

Istituti tecnici

La stessa metodologia applicata ai consumi di tutti gli edifici di Città Metropolitana è stata usata considerando gli istituti tecnici separatamente. Ci si aspetta che le correlazioni in questo caso siano migliori, avendo escluso dal modello anche la dipendenza dei consumi dalla tipologia di scuola; la figura seguente mostra i risultati ottenuti,

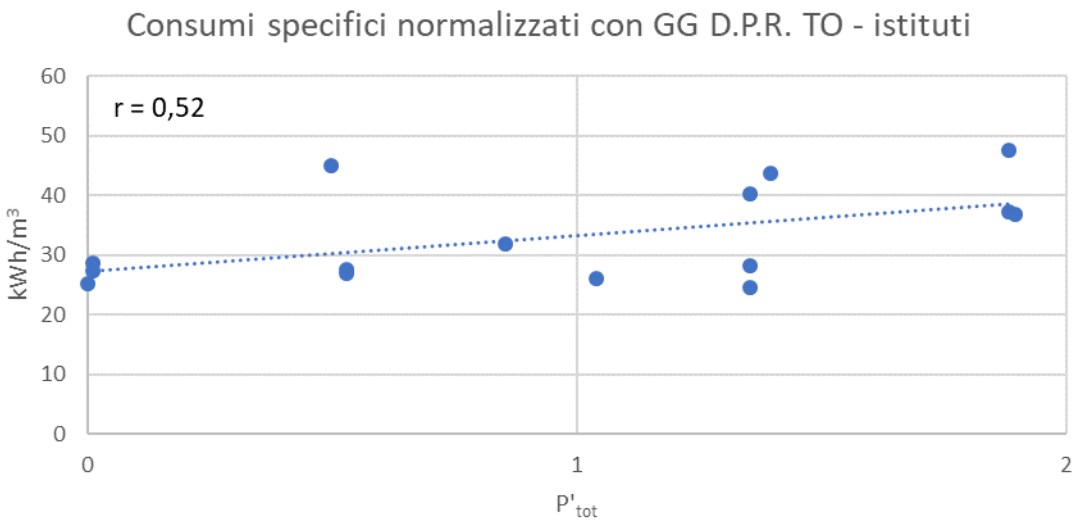


Fig. 40- Correlazione con P'_{tot} - istituti tecnici

Il coefficiente riportato in figura evidenzia la migliore correlazione tra il punteggio totale e il consumo specifico normalizzato rispetto al caso in cui venivano considerati tutti gli edifici nel loro insieme. Bisogna comunque specificare che i risultati riportati sono influenzati dalla scarsità di dati analizzati; scindendo infatti gli istituti tecnici dai licei il numero di scuole su cui viene applicato il modello si riduce ulteriormente rispetto al campione, già limitato, di partenza.

La tabella seguente mostra i coefficienti delle variabili associate al punteggio totale per il caso considerato.

Tabella 10- Coefficienti espressione P'_{tot} – istituti tecnici

a (S/V)	b (h)	d (ep)	e (η)	f (p)
0,53	0,86	0,50	0,01	0

Analizzando soltanto gli istituti tecnici, si nota che la variabile più influente sui consumi, oltre al rapporto di forma e all'epoca di costruzione è rappresentata dalle ore di funzionamento settimanale dell'impianto di riscaldamento. La correlazione con le ore di funzionamento diventa importante negli istituti tecnici a causa, probabilmente, del funzionamento prolungato rispetto alla media di tutti gli edifici degli impianti, che sono attivi anche in ore pomeridiane e serali.

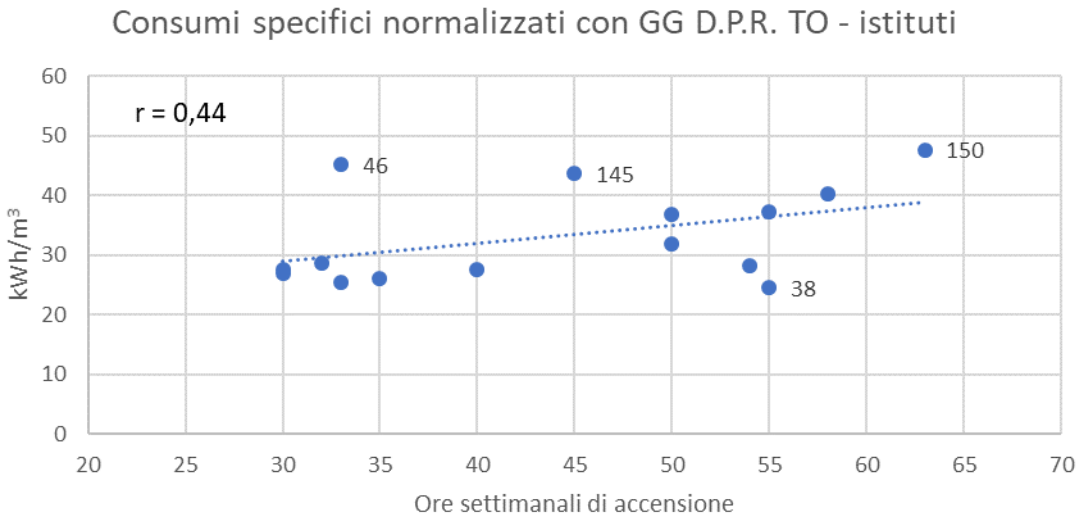


Fig. 41- Correlazione con ore di accensione settimanali - istituti tecnici

Sono riportati in figura i codici degli edifici che si discostano dalla correlazione lineare individuata tra i consumi e le ore settimanali di funzionamento degli impianti.

Anche nel caso degli istituti tecnici, sembra non esserci una correlazione tra i consumi specifici normalizzati e i rendimenti del sottosistema di generazione.

Tra gli istituti tecnici sono stati poi isolati quelli con sede a Torino, al fine di considerare l'eventuale influenza della distanza dal centro della città. Gli istituti tecnici localizzati a Torino sono dieci, per cui il risultato ottenuto è chiaramente influenzato dal basso numero di dati a disposizione. Il coefficiente di correlazione in questo caso aumenta rispetto a quello individuato per tutti gli istituti tecnici e la distanza dal centro sembra essere la grandezza che più influenza i consumi. Gli edifici costruiti prima del 1976 sembrano essere collegati a dei consumi maggiori; sembra chiara, inoltre, la correlazione tra i consumi e le ore di funzionamento degli impianti, come già accadeva per l'insieme di tutti gli istituti tecnici.

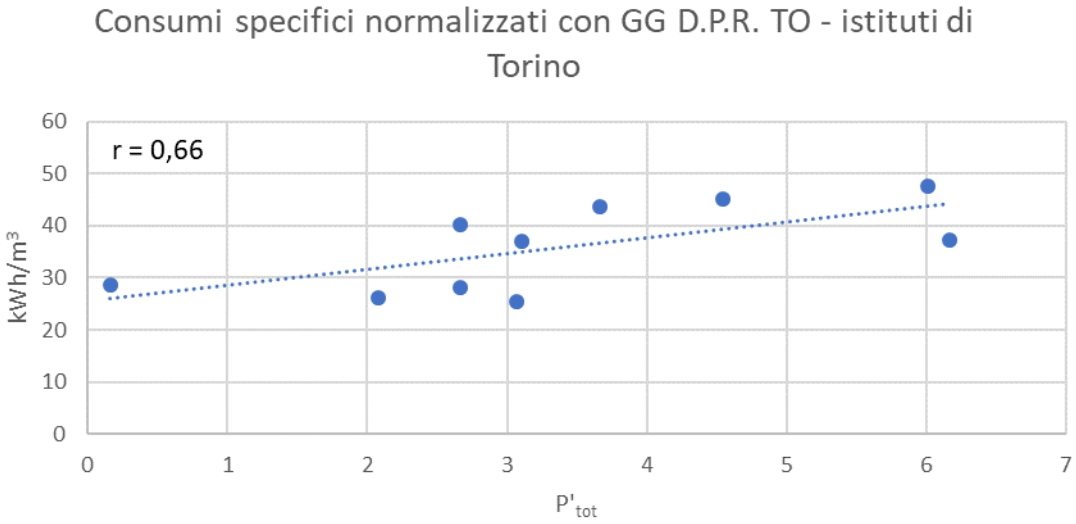


Fig. 42- Correlazione con P'_{tot} - istituti di Torino

Licei

I risultati ottenuti considerando solo i licei sono illustrati nella sezione corrente. In questo caso, si è scelto di non considerare separatamente gli edifici di Torino dagli altri in quanto il numero di dati sarebbe stato ancora più basso rispetto al caso degli istituti tecnici; soltanto sei licei su dodici sono situati a Torino.

La correlazione tra il consumo specifico normalizzato e il punteggio totale nel caso dei licei è più bassa rispetto al caso degli istituti tecnici, raggiungendo un valore di r = 0,40; dall'analisi di questo caso, sembrerebbe che l'unica variabile influenzante i consumi sia l'epoca di costruzione. L'assenza di correlazioni con le altre variabili, con particolare riferimento al rapporto S/V e alle ore di accensione settimanali, potrebbe essere spiegata dalla grande variabilità dei dati all'interno del campione considerato, costituito da un numero esiguo di licei. Come per gli altri casi analizzati, il rendimento di generazione e la presenza di una palestra non sembrano essere correlati al consumo specifico normalizzato di energia per riscaldamento.

La figura seguente illustra come varia il consumo specifico al variare del rapporto S/V degli edifici; come si può notare dalla dispersione dei punti nel grafico, non vi è alcuna dipendenza tra le grandezze.

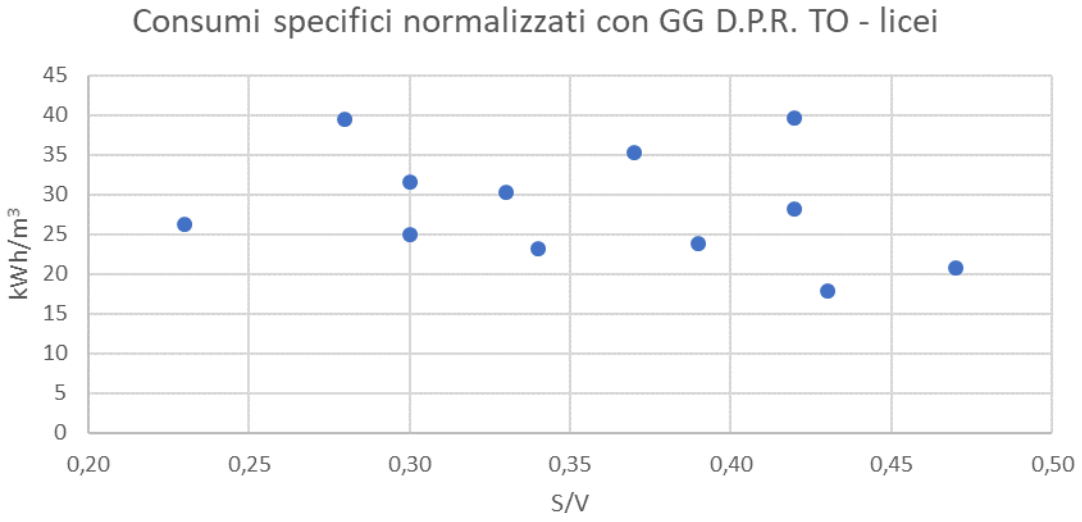


Fig. 43- Correlazione con rapporto S/V - licei

I risultati ottenuti considerando soltanto i licei sono meno soddisfacenti di quelli riguardanti gli altri casi a causa, probabilmente, della grande variabilità dei dati all'interno di un campione molto piccolo.

Si è pensato anche di accorpare gli istituti "misti" ai licei, dati i buoni risultati ottenuti da questa ipotesi nella correlazione dei consumi con il volume lordo riscaldato (paragrafo 3.1.1). La correlazione ottenuta in quest'ultimo caso è ancora inferiore rispetto al caso dei soli licei e la variabile più influente sui consumi sembra essere sempre l'epoca di costruzione.

Il metodo applicato per cercare le correlazioni dei consumi per riscaldamento con le principali grandezze da cui si ritengono dipendenti, ha dato dei risultati soltanto parzialmente soddisfacenti; la causa principale si ritiene possa essere il ristretto numero di edifici a disposizione e la mancanza di informazioni dettagliate riguardanti le scuole in questione.

3.2 Comune di Torino

Le scuole appartenenti al Comune di Torino di cui sono stati analizzati i consumi termici per riscaldamento sono soltanto 6; per tale ragione l'analisi non è stata condotta con la metodologia descritta per gli edifici di Città Metropolitana. In questo paragrafo si illustra la rappresentazione dei consumi prima della riqualificazione delle scuole considerate.

Come già spiegato precedentemente, si è scelto di rappresentare i consumi prima della riqualificazione per un anno di riferimento che, nel caso delle scuole comunali, è la stagione termica 2011/12, l'unica di cui si avevano a disposizione i dati misurati dei consumi prima degli interventi di riqualificazione.

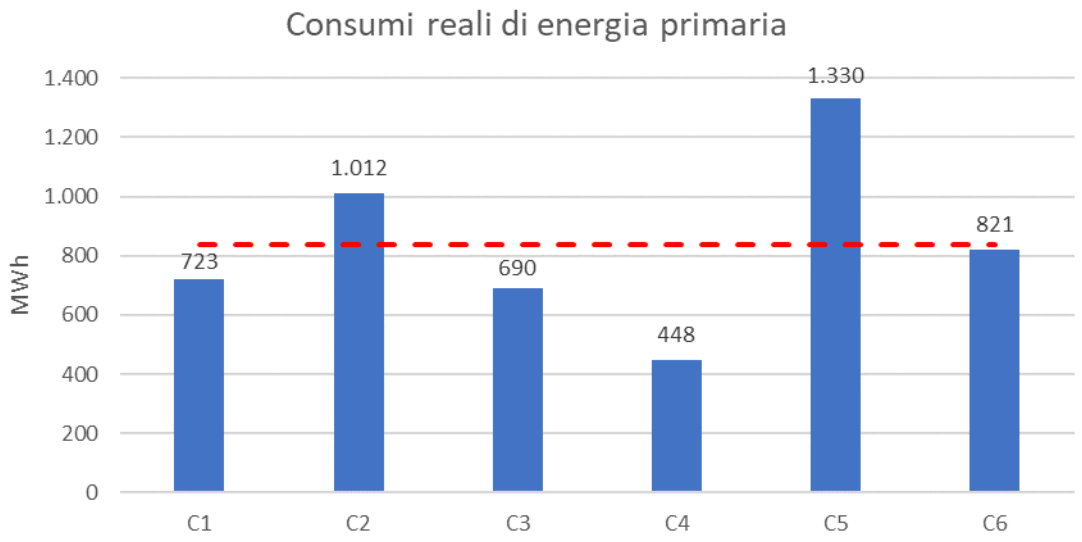


Fig. 44- Consumi reali di energia primaria nell'anno di riferimento - Comune

Poiché le scuole del Comune sono tutte a Torino e l'anno di riferimento è lo stesso, si è scelto di rappresentare soltanto i consumi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino, al fine poi di confrontarli con quelli degli edifici di Città Metropolitana.

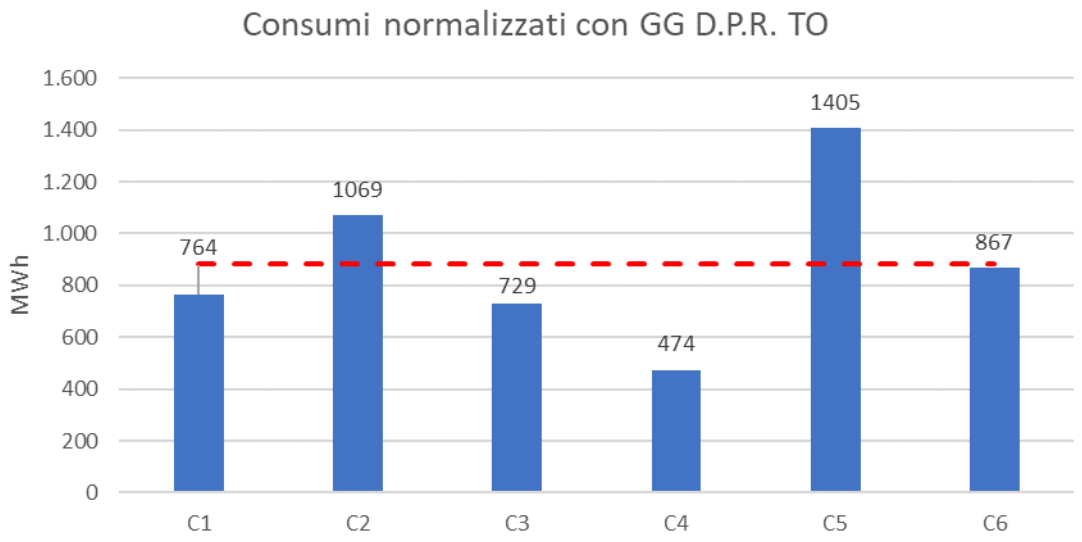


Fig. 45- Consumi di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati rispetto ai GG convenzionali di Torino - Comune

I consumi sono stati poi divisi per il volume lordo riscaldato per rendere i dati confrontabili.

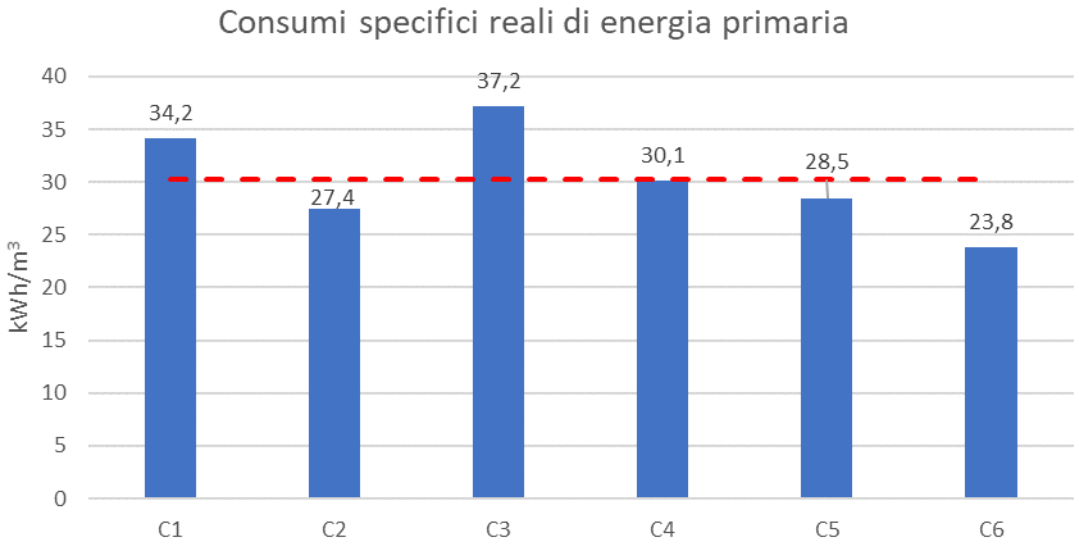


Fig. 46- Consumi specifici reali di energia primaria nell'anno di riferimento - Comune

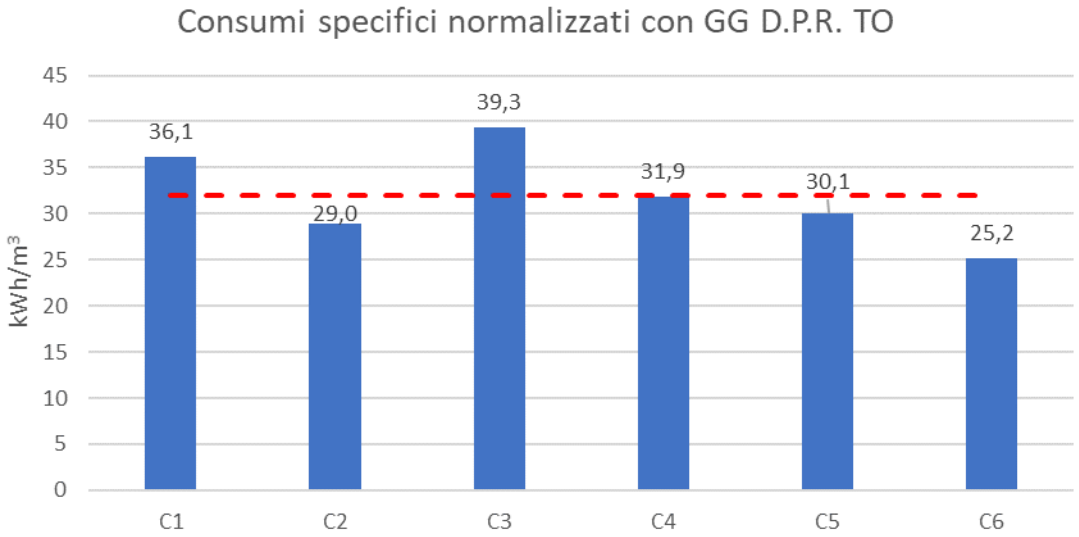


Fig. 47- Consumi specifici di energia primaria nell'anno di riferimento, normalizzati con GG convenzionali di Torino- Comune

L'edificio con il consumo specifico maggiore è la scuola "Marconi-Antonelli" di Via Vezzolano, identificata con il codice "C3", mentre la scuola "Italo Calvino", rappresentata dal codice C6, è quella più efficiente dal punto di vista del consumo per riscaldamento. I valori dei consumi specifici normalizzati dei sei edifici non si discostano

di molto dal valore medio che risulta pari a 31,9 kWh/m^3. Il consumo specifico medio reale, rappresentato in figura 46, è pari a 30,2 kWh/m^3.

Per le sei scuole analizzate sono disponibili anche i dati relativi al rendimento globale dell'impianto (η_g) prima della riqualificazione e al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, denominato H'_t e definito nella ISO 13789:2017 [17].

I dati riportati in tabella sono stati forniti dall'Ufficio di Energy Management del Comune di Torino.

Tabella 11- H'_t e prestazioni dell'impianto prima della riqualificazione - Comune

Codice scuola	S/V [m^{-1}]	H'$_t$ [W/(m^{2}K)]	η_g
C1	0,38	1,53	0,557
C2	0,33	1,67	0,564
C3	0,41	2,17	0,605
C4	0,40	1,77	0,551
C5	0,39	1,55	0,572
C6	0,28	1,71	0,557

Il rendimento globale dell'impianto si attesta su valori simili per tutte le scuole considerate; il rendimento medio degli impianti in tabella è pari a 0,57. Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione è indicativo del fabbisogno di energia richiesto dall'edificio per la climatizzazione invernale. Le perdite di calore per trasmissione attraverso l'involucro edilizio sono infatti solitamente preponderanti rispetto agli altri termini che compaiono nel bilancio energetico per la climatizzazione invernale.

Per le scuole del Comune non si hanno informazioni circa le ore di accensione degli impianti e circa la presenza di palestre all'interno del volume riscaldato degli edifici.

La scuola C3, cioè quella con il consumo specifico maggiore, è caratterizzata dal più alto coefficiente di scambio termico per trasmissione, come indicato in tabella; potrebbe essere questa la causa del suo consumo più elevato rispetto alla media. Si suppone dunque che l'influenza delle prestazioni dell'involucro edilizio sia maggiore rispetto a quella dell'impianto di riscaldamento. Il valore di consumo specifico della scuola C1 non sembra giustificabile soltanto attraverso l'utilizzo dei parametri descritti in tabella; pur presentando infatti un coefficiente globale di scambio termico per trasmissione più basso degli altri e un rendimento impiantistico nella media, ha un valore di consumo più elevato

rispetto a quello medio. La giustificazione potrebbe essere ricercata nelle ore di funzionamento effettive dell'impianto.

L'edificio con il consumo per unità di volume minore tra quelli analizzati per il Comune di Torino è la scuola C6; una delle giustificazioni plausibili potrebbe ricondursi al valore del rapporto di forma, decisamente più basso rispetto alla media degli altri edifici.

Essendo il numero di scuole molto ridotto e non possedendo informazioni circa l'utilizzo effettivo dei locali, non è stato possibile analizzare le cause da cui dipendono i consumi di energia per riscaldamento in maniera più dettagliata rispetto a quanto già descritto.

3.3 Grafico dei quadranti - ante

Il grafico dei quadranti è uno strumento che consente di confrontare, in maniera rapida ed efficace, le prestazioni e i consumi energetici di un gruppo di edifici. Nel caso in cui si trattino consumi termici per la climatizzazione invernale, sull'asse delle ascisse vengono riportati i consumi energetici annuali – proporzionali ai costi sostenuti – mentre sull'asse delle ordinate si riporta il consumo energetico per unità di volume riscaldato, indicativo dell'efficienza energetica degli edifici. Se si rappresentano sul grafico anche le rette individuate dal consumo medio annuale e dal consumo specifico medio del campione analizzato, si può suddividere il grafico in quattro quadranti, identificati con i numeri che seguono:

I. Contiene gli edifici con consumi annuali elevati e consumi specifici elevati
II. Contiene gli edifici con consumi annuali elevati ma con bassi consumi specifici
III. Contiene gli edifici con consumi annuali bassi e consumi specifici bassi
IV. Contiene gli edifici con consumi annuali bassi ma con consumi specifici elevati

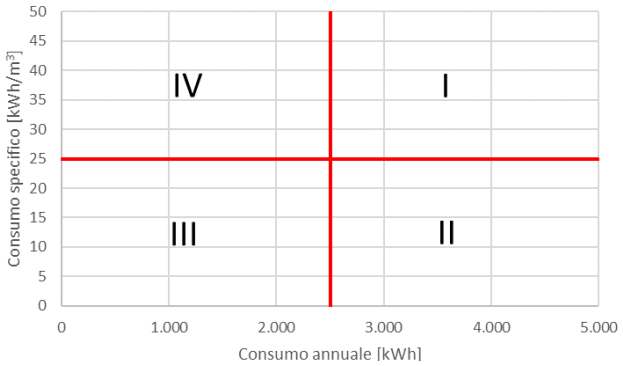


Fig. 48- Esempio suddivisione quadranti

Il grafico dei quadranti è stato usato in questo lavoro di tesi in relazione ai risparmi ottenuti dagli edifici; rappresentando la situazione prima della riqualificazione sul grafico è possibile individuare gli edifici da cui ci si attende un risparmio maggiore in seguito ad interventi di miglioramento energetico. I punti che appartengono al quadrante I infatti, sono rappresentativi degli edifici più critici, perché caratterizzati da alti consumi e bassi livelli di efficienza energetica; da tali edifici è lecito aspettarsi i risparmi maggiori in seguito ad interventi migliorativi. Gli edifici del secondo quadrante sono caratterizzati da consumi annuali elevati ma da un consumo specifico inferiore alla media; le percentuali di risparmio ottenibili da tali edifici sono dunque minori, poiché trattasi di edifici già efficienti. Tuttavia, se si ragiona in termini assoluti, considerato l'elevato consumo annuale, si possono ottenere risparmi importanti. Il terzo quadrante è quello da cui ci si attendono i risparmi minori, contenendo gli edifici che consumano meno e con un'elevata prestazione energetica. Per ciò che concerne il quarto quadrante, una riqualificazione energetica potrebbe condurre a risparmi percentuali elevati a causa dell'alto consumo specifico che caratterizza gli edifici che vi appartengono.

Si riporta di seguito il grafico dei quadranti per l'insieme degli edifici di Città Metropolitana e delle scuole del Comune; sono stati riportati i consumi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino. La suddivisione in quadranti è stata effettuata utilizzando la mediana dei dati anziché il valor medio.

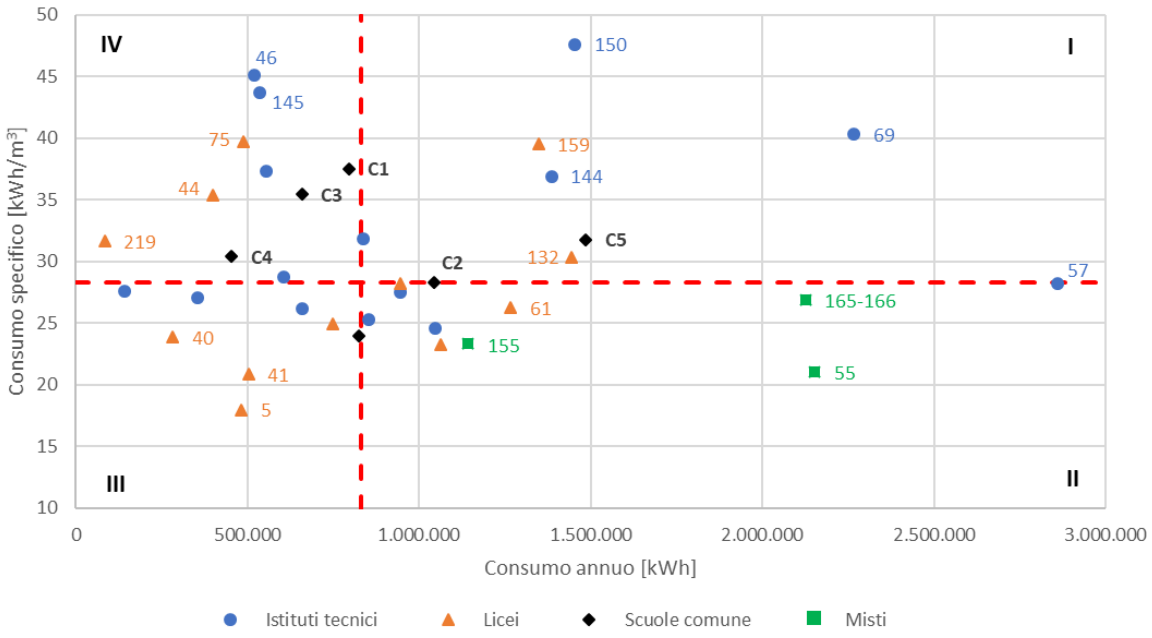


Fig. 49- Grafico dei quadranti, consumi prima della riqualificazione normalizzati con GG D.P.R. Torino

Il grafico in figura permette di capire immediatamente quali sono le scuole più critiche dal punto di vista energetico, nella situazione antecedente la riqualificazione. Concentrandosi innanzitutto sul primo quadrante, si nota come le scuole più critiche in assoluto siano gli edifici 69 e 150, caratterizzati da alti consumi annuali e da scarse prestazioni energetiche per riscaldamento. In particolare, la scuola 150 presenta il consumo specifico più alto di tutti gli edifici considerati nella tesi.

Gli edifici appartenenti al secondo quadrante, nella maggior parte dei casi, presentano consumi annuali e prestazioni energetiche prossime ai valori mediani di tutti gli edifici, come si nota dalla concentrazione di punti vicino all'intersezione degli assi. La scuola 57 presenta il consumo annuo maggiore, probabilmente a causa delle sue grosse dimensioni, ma la sua prestazione energetica per riscaldamento è pari a quella mediana.

I punti appartenenti al terzo quadrante corrispondono agli edifici più piccoli e più performanti, essendo caratterizzati da un basso consumo annuo e da consumi per unità di volume inferiori alla mediana di tutti gli edifici. La scuola più virtuosa in questo senso è il liceo 5.

I consumi annuali di energia delle scuole che si trovano nel quarto quadrante sono inferiori a quelli mediani, a causa delle dimensioni ridotte degli edifici, ma il loro consumo per unità di volume è decisamente elevato, come visibile, ad esempio, per gli istituti tecnici 46 e 145.

Le scuole del Comune, rappresentate con dei rombi neri, sono collocate tra il primo e il quarto quadrante, eccetto che per un caso, posizionato tra il secondo e il terzo. Si nota però come i consumi specifici di tali scuole siano inferiori rispetto a quelli di molti edifici di Città Metropolitana collocati negli stessi quadranti. Ci si aspetta che tale differenza sia ancora maggiore nella situazione post-riqualificazione, avendo le scuole del Comune subito anche interventi sull'involucro edilizio.

4 Analisi dei risparmi

Dopo aver analizzato i consumi prima della riqualificazione energetica di tutti gli edifici presentati (si rimanda comunque agli allegati per una descrizione più dettagliata), si procede in questo capitolo alla valutazione dei risparmi ottenuti in seguito a tali interventi. Analogamente alla trattazione precedente, si è scelto di considerare separatamente gli edifici di Città Metropolitana e le scuole del Comune; le scuole di Città Metropolitana hanno infatti subito interventi di riqualificazione soltanto a livello impiantistico mentre gli altri edifici analizzati sono stati anche migliorati dal punto di vista dell'involucro.

I consumi post-riqualificazione sono stati resi disponibili dai due enti; nel caso di Città Metropolitana, poiché molti degli interventi si sono conclusi soltanto nel 2018, vi è a disposizione una sola stagione di misure successiva all'upgrade degli impianti, cioè la stagione termica 2018/19. I consumi di energia per questa stagione sono stati resi disponibili qualche mese dopo la fine del periodo di riscaldamento convenzionale fissato dal D.P.R. 412/93. La riqualificazione delle scuole del Comune è stata terminata al massimo, per il complesso scolastico di Via Passoni, nell'anno 2015 (tabella 2); per tale ragione, in questo caso, si è scelto di considerare un anno di riferimento anche per i consumi post-interventi, analogamente a quanto già descritto nel capitolo precedente e come specificato successivamente nella trattazione.

Si presentano di seguito la metodologia adottata e i risultati ottenuti per la valutazione dei risparmi.

4.1 Riqualificazione impiantistica – Città Metropolitana di Torino

Il campione considerato per Città Metropolitana racchiude tutte le scuole gestite dall'ente che hanno subito recentemente interventi di miglioramento sugli impianti di riscaldamento. Prima di analizzare i risparmi ottenuti grazie a tali azioni, si elencano di seguito gli interventi effettuati su ogni edificio e si riporta un quadro riassuntivo dei consumi della stagione 2018/19 per tutti gli edifici.

Tabella 12- Elenco interventi su scuole di Città Metropolitana di Torino

Codice scuola	Tipologia intervento
5	Upgrade control + condensazione
29	Upgrade control
38	Upgrade control + condensazione
40	Upgrade control + condensazione
41	Upgrade control + condensazione
44	Upgrade control + condensazione
46	Upgrade control + condensazione
48	Upgrade control + TLR
53	Upgrade control + condensazione
54	Upgrade control + condensazione
55	Upgrade control + TLR
57	Upgrade control + condensazione
61	Upgrade control + condensazione
62	Upgrade control + condensazione
69	Upgrade control + condensazione

75	Upgrade control + TLR
99	Upgrade control + condensazione
110	Upgrade control + condensazione
111	Upgrade control + condensazione
119	Upgrade control + condensazione
132	Upgrade control + condensazione
142-143	Upgrade control + condensazione
144	Upgrade control + condensazione
145	Upgrade control + TLR
150	Upgrade control + condensazione
155	Upgrade control + condensazione
159	Upgrade control + condensazione
165-166	Upgrade control + condensazione
168	Upgrade control + TLR
219	Upgrade control + condensazione

Su tutti gli impianti in questione è stato installato un sistema di monitoraggio e telecontrollo che permette la gestione degli impianti da remoto. In particolare, una rete di sensori misura le grandezze principali da cui dipende il corretto funzionamento degli impianti di riscaldamento (temperatura dell'aria nell'ambiente, temperatura dell'acqua nei terminali di emissione, umidità relativa in ambiente, temperatura dell'aria esterna…) e trasmette i dati in tempo reale alla società che si occupa della gestione degli impianti per gli edifici di Città Metropolitana. Si verifica dunque che in ogni istante siano garantite le condizioni di comfort stabilite dall'ente in ognuno dei locali riscaldati, altrimenti si procede a modificare da remoto i parametri di funzionamento dei componenti principali dell'impianto. Tale tipo di approccio permette di ottimizzare la gestione e la regolazione degli impianti migliorando il comfort termico degli occupanti e garantendo una riduzione dei consumi energetici.

La maggior parte delle scuole ha inoltre sostituito il generatore di calore presente, di solito di tipo tradizionale, con un generatore di calore a condensazione. I vantaggi che questo tipo di tecnologia offre derivano dallo sfruttamento del calore di condensazione dei fumi, che quindi vengono espulsi a temperature ben più basse rispetto a quelle raggiunte nelle caldaie tradizionali. I rendimenti di generazione raggiunti da questa tecnologia sono molto elevati (superano anche l'unità, essendo riferiti convenzionalmente al potere calorifico inferiore del combustibile) ma dipendono dalle condizioni di funzionamento dell'impianto; il rendimento è tanto maggiore quanto più le temperature di funzionamento

dell'impianto sono minori. Nel caso delle scuole analizzate, i terminali di emissione sono solitamente radiatori e non sono stati modificati; per tale motivo risulta difficile pensare che le caldaie possano funzionare sfruttando al massimo la condensazione per tutti i mesi della stagione di riscaldamento, ma si può supporre, tuttavia, che la tecnologia funzioni con rendimenti massimi nei mesi meno freddi della stagione, in cui è possibile mandare nei radiatori acqua a temperature inferiori.

Cinque delle scuole analizzate si sono allacciate alla rete urbana di teleriscaldamento della città di Torino; l'allacciamento al teleriscaldamento prevede la sostituzione del vecchio generatore di calore con uno scambiatore di calore, in cui viene trasferita energia termica dal fluido caldo della rete urbana a quello freddo della rete dell'edificio. Le uniche perdite di energia durante lo scambio di calore tra i due fluidi sono dovute alle dispersioni termiche dello scambiatore, che sono comunque trascurabili se l'apparecchio è ben coibentato.

Nel paragrafo seguente è presentato un quadro riassuntivo dei consumi post-riqualificazione per gli edifici di Città Metropolitana. Si illustrano i grafici relativi al consumo e al consumo specifico reali e a quelli normalizzati con i Gradi Giorno convenzionali di Torino.

4.1.1 Consumi post-riqualificazione

L'analisi dei consumi energetici a seguito degli interventi sugli impianti è presentata soltanto attraverso l'ausilio di una tabella riepilogativa, analoga alla tabella 7, e di alcuni grafici a barre.

Tabella 13- Quadro riassuntivo dei consumi del 2018/19 per tutti gli edifici di Città Metropolitana

2018/2019		*Gradi Giorno*	*Consumi*		*Consumi specifici*	
		Reali	C_{post}	$C_{post,DPR,TO}$	C_{post}	$C_{post,DPR,TO}$
Codice scuola	**V [m^3]**	**GG_{post}**	**MWh**	**MWh_{norm}**	**kWh/m^3**	**kWh/m$^3_{norm}$**
5	26.820	2793,4	358,8	336,2	13,4	12,5
29	5.097	2429,0	80,1	86,3	15,7	16,9
38	42.580	2917,4	925,7	830,4	21,7	19,5
40	11.819	2917,4	237,0	212,6	20,1	18,0
41	24.116	2204,6	352,1	417,9	14,6	17,3
44	11.291	2377,7	208,0	228,9	18,4	20,3
46	11.491	2377,7	286,9	315,7	25,0	27,5
48	21.076	2377,7	422,8	465,3	20,1	22,1
53	45.676	2377,7	668,8	736,1	14,6	16,1
54	33.730	2377,7	584,2	643,0	17,3	19,1
55	102.658	2377,7	1319,7	1452,5	12,9	14,1
57	101.174	2377,7	2113,0	2325,7	20,9	23,0
61	48.227	2377,7	737,8	812,1	15,3	16,8
62	14.888	2377,7	272,7	300,1	18,3	20,2
69	56.238	2377,7	1063,6	1170,7	18,9	20,8
75	12.310	2377,7	331,4	364,7	26,9	29,6
99	29.970	2423,0	508,0	548,7	17,0	18,3
110	13.160	2476,5	204,2	215,8	15,5	16,4
111	34.346	2476,5	629,7	665,4	18,3	19,4
119	26.313	2361,7	630,2	698,4	24,0	26,5
132	47.512	2202,9	760,2	903,1	16,0	19,0
142-143	25.160	2377,7	425,3	468,1	16,9	18,6
144	37.521	2377,7	797,3	877,5	21,2	23,4
145	12.280	2377,7	413,8	455,4	33,7	37,1
150	30.516	2377,7	893,5	983,4	29,3	32,2
155	49.161	2377,7	638,0	702,2	13,0	14,3
159	34.082	2377,7	799,3	879,8	23,5	25,8
165-166	79.323	2377,7	1087,2	1196,6	13,7	15,1
168	33.480	2377,7	728,2	801,4	21,7	23,9
219	2.618	2283,5	46,6	53,5	17,8	20,4

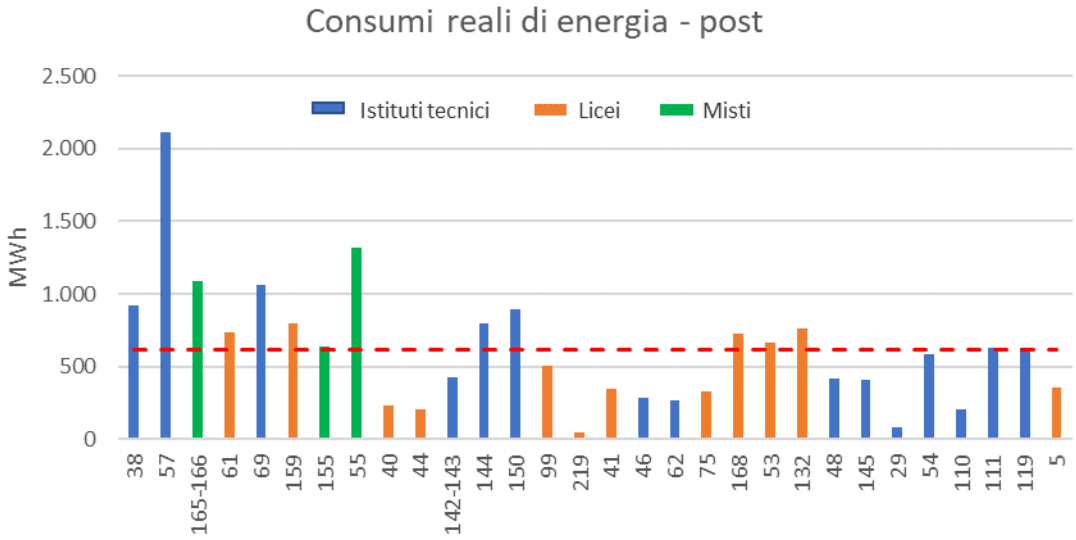


Fig. 50- Consumi reali di energia primaria nel 2018/19

La media dei consumi reali assoluti di energia primaria, dopo la riqualificazione, si riduce a circa 617 MWh. Si riportano di seguito i consumi normalizzati rispetto al clima convenzionale di Torino e rispetto ai volumi lordi riscaldati.

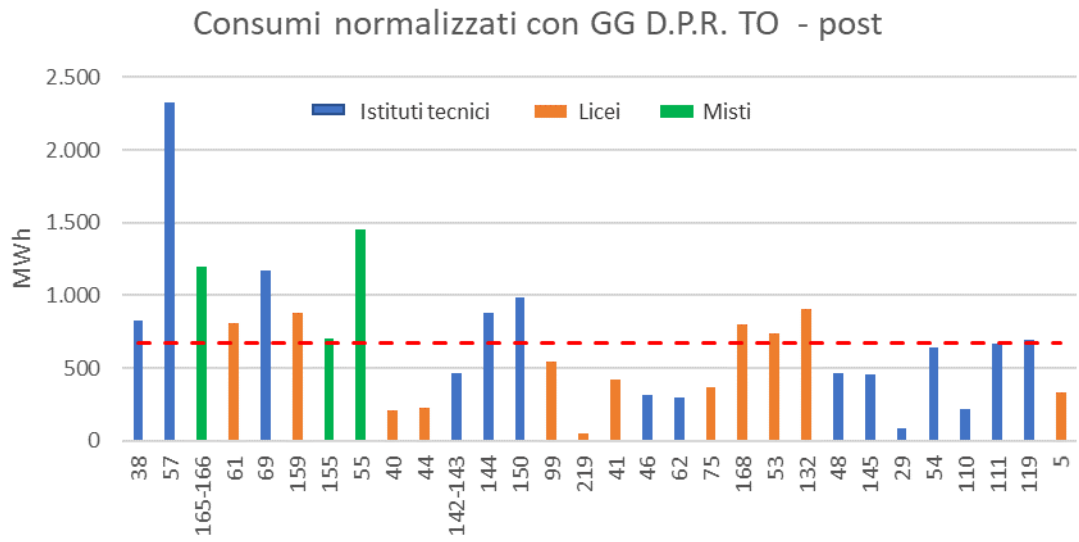


Fig. 51- Consumi di energia primaria del 2018/19, normalizzati rispetto ai GG convenzionali di Torino

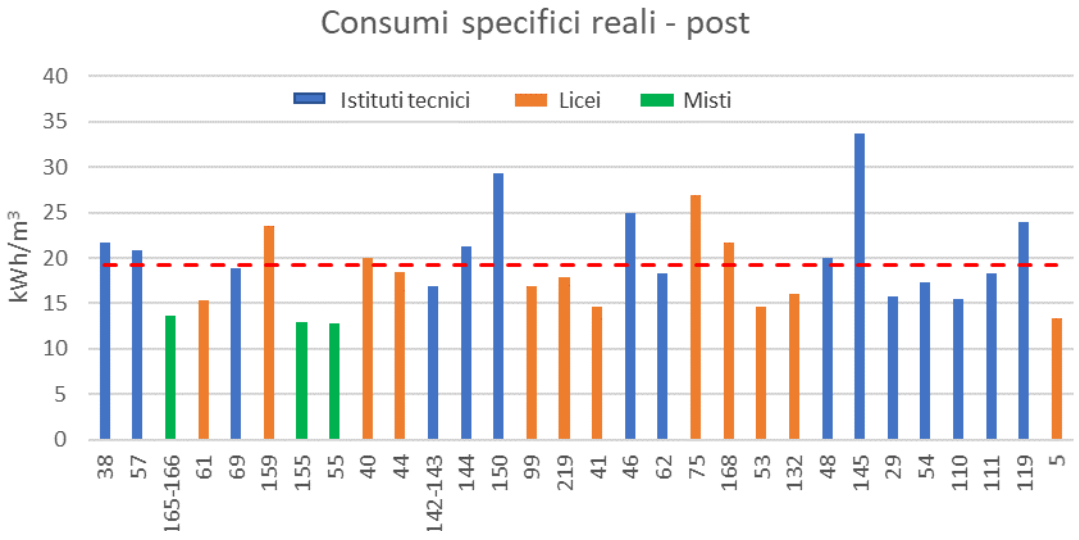


Fig. 52- Consumi specifici reali di energia primaria nel 2018/19

La media dei consumi specifici reali, dopo la riqualificazione, è pari a 19,2 kWh/m^3.

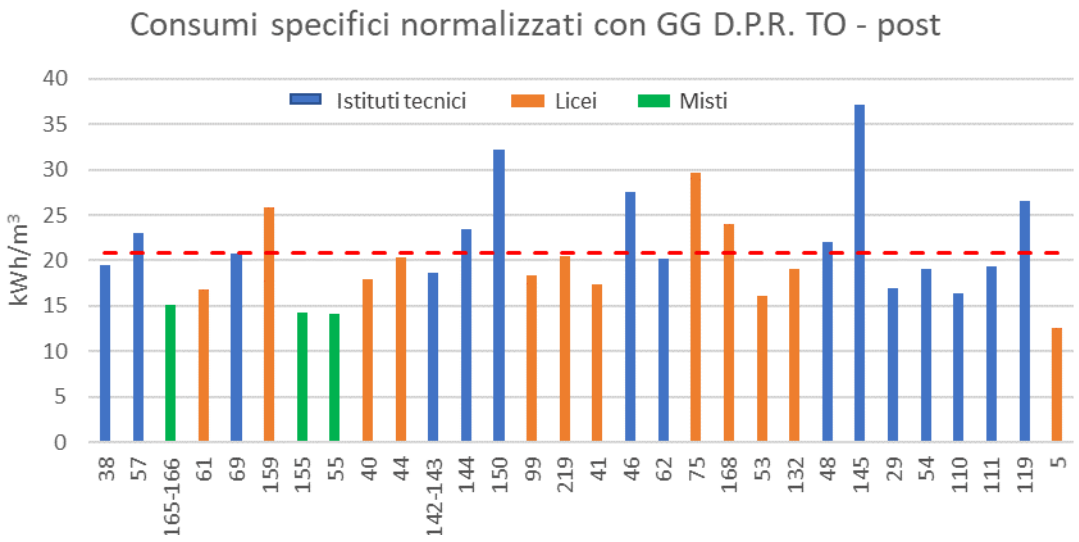


Fig. 53- Consumi specifici di energia primaria nel 2018/19, normalizzati rispetto ai GG convenzionali di Torino

4.1.2 Determinazione dei risparmi

Per ogni edificio, considerando i consumi della stagione 2018/19 e dell'anno di riferimento prima della riqualificazione, sono stati determinati i seguenti risparmi energetici, sia in termini assoluti che con riferimento all'unità di volume lordo riscaldato:

- Risparmio effettivo di energia (pedice "$_{eff}$")

- Risparmio normalizzato con i Gradi Giorno reali di Torino della stagione 2015/16 (pedice “ $_{norm,\ 15/16,\ TO}$ ”)
- Risparmio normalizzato con i Gradi Giorno convenzionali di Torino (pedice “ $_{norm,\ DPR,\ TO}$ ”)
- Risparmio percentuale (pedice “ $_{\%}$ ”)

Le formulazioni con cui i suddetti risparmi sono stati determinati sono illustrate di seguito; si riferiscono sia al risparmio espresso in *MWh* che al risparmio riferito all'unità di volume, espresso dunque in kWh/m^3. Il risparmio è indicato genericamente con la lettera “R”.

$$R_{eff} = C_{post} - C_{rif} \tag{11}$$

$$R_{norm,15/16,TO} = \left(\frac{C_{rif}}{GG_{rif}} - \frac{C_{post}}{GG_{post}}\right) * GG_{15/16,TO} \tag{12}$$

$$R_{norm,DPR,TO} = \left(\frac{C_{rif}}{GG_{rif}} - \frac{C_{post}}{GG_{post}}\right) * GG_{DPR,TO} \tag{13}$$

$$R_{\%} = \frac{\frac{C_{rif}}{GG_{rif}} - \frac{C_{post}}{GG_{post}}}{\frac{C_{rif}}{GG_{rif}}} \tag{14}$$

I Gradi Giorno presenti al denominatore di ogni termine sono quelli reali di ogni località per la stagione termica considerata, cioè quella di riferimento o la stagione 2018/19; i loro valori, tra cui sono compresi anche i Gradi Giorno reali di Torino per la stagione 2015/16, sono visibili in tabella 3.

Si riportano di seguito i grafici che illustrano i risparmi energetici ottenuti per gli edifici di Città Metropolitana di Torino. Si è scelto di illustrare soltanto i grafici con i risparmi effettivi e con i valori normalizzati con i Gradi Giorno convenzionali di Torino.

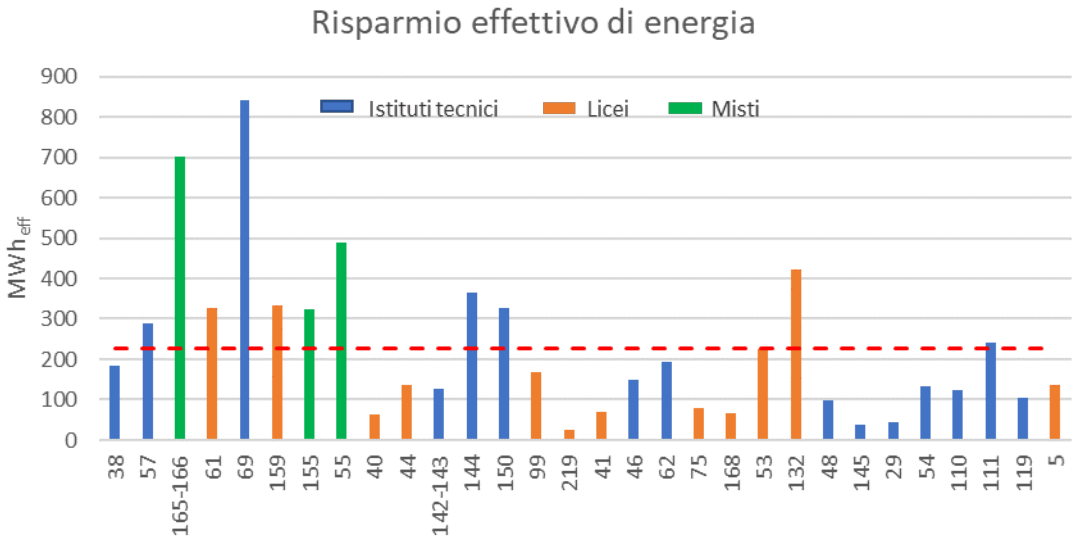


Fig. 54- Risparmio reale di energia

L'edificio che sembrerebbe avere ottenuto il maggior risparmio di energia è l'istituto tecnico 69, con un risparmio maggiore di 800 MWh. Per annullare la dipendenza dalle condizioni climatiche e dalle dimensioni degli edifici, si riportano di seguito i risparmi normalizzati, come definiti in precedenza.

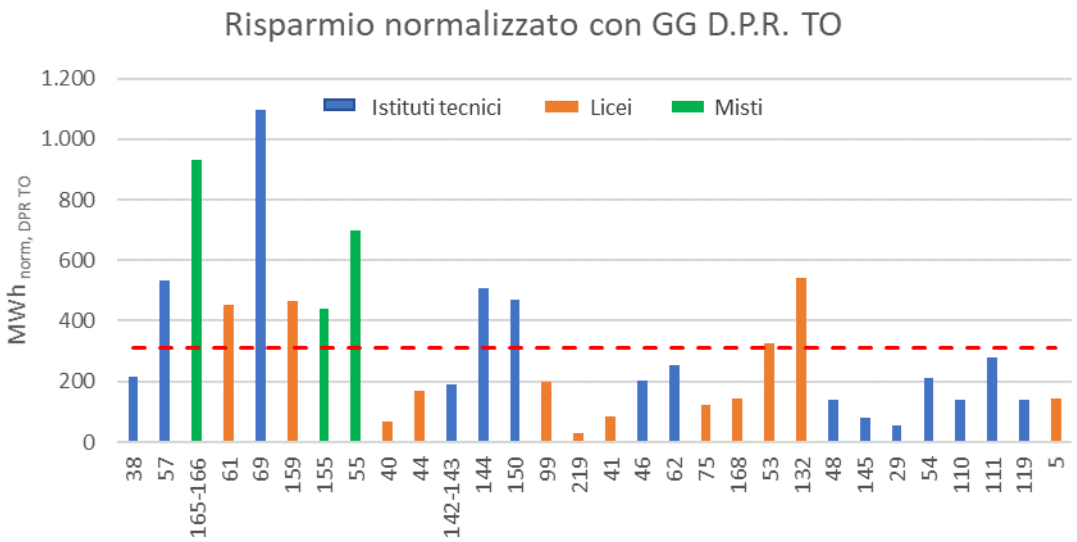


Fig. 55- Risparmio di energia, normalizzato con GG convenzionali di Torino

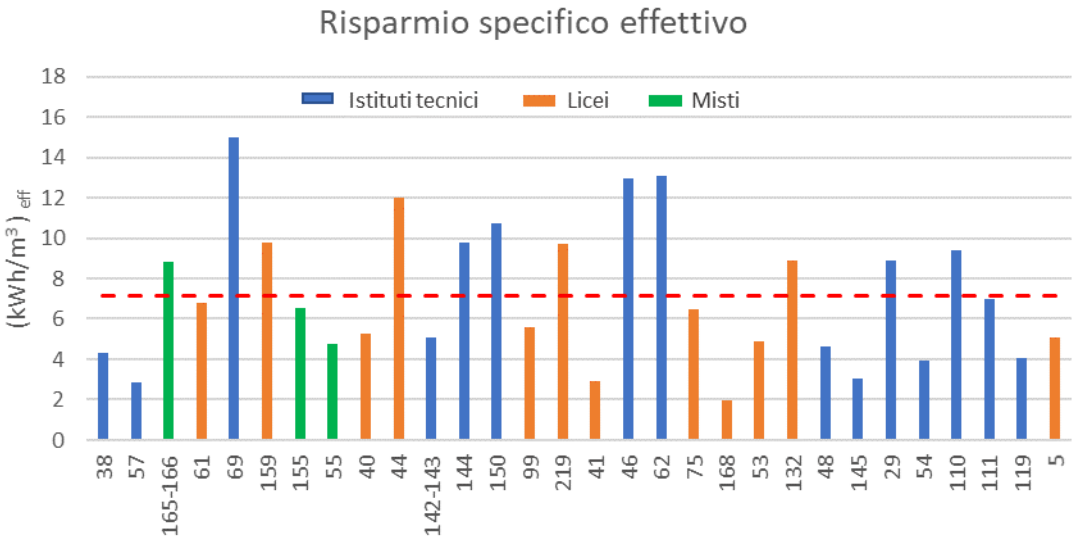


Fig. 56- Risparmio reale di energia per unità di volume

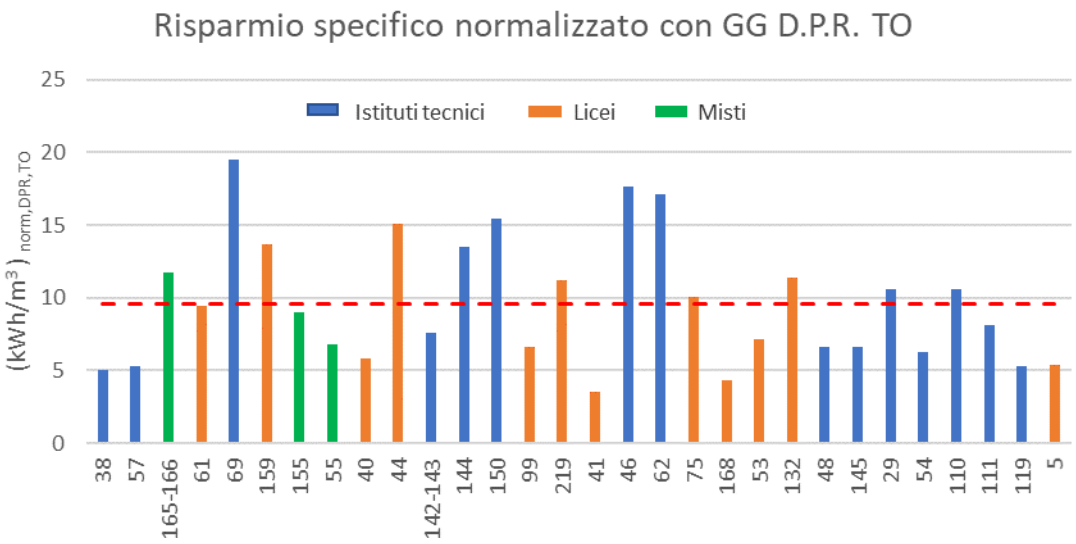


Fig. 57- Risparmio per unità di volume, normalizzato con GG convenzionali di Torino

Dai grafici appena presentati si intuisce quali siano gli edifici che, a seguito degli interventi di riqualificazione impiantistica descritti precedentemente, hanno ottenuto risparmi maggiori. Il risparmio reale medio, per unità di volume, è pari a circa 7,1 kWh/m^3; tale valore diventa ovviamente maggiore per i risparmi riferiti alle condizioni climatiche convenzionali di Torino.

È necessario però, considerare anche la situazione energetica degli edifici prima della riqualificazione; per tale motivo sono stati calcolati i risparmi percentuali, che sono di seguito rappresentati.

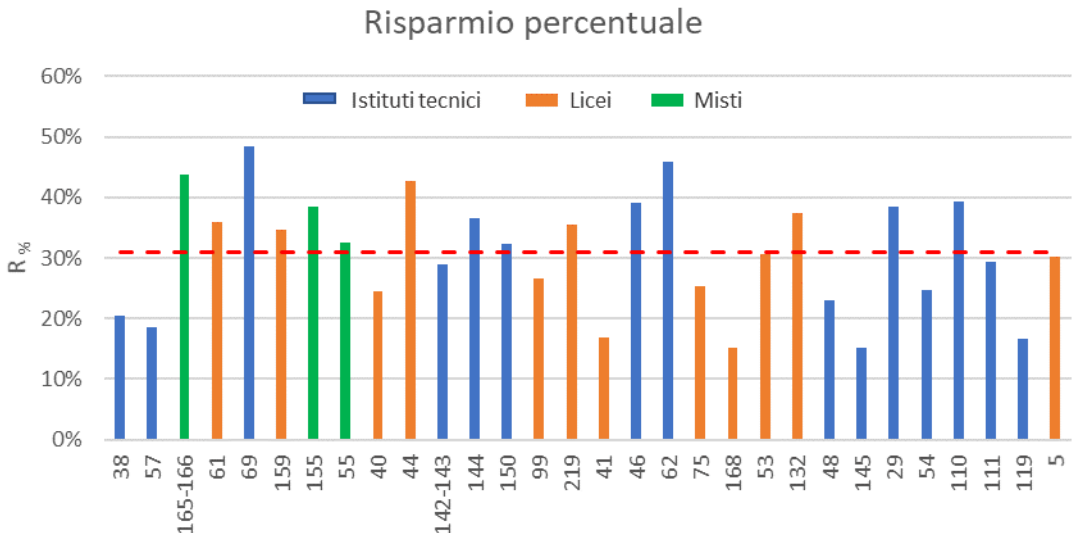


Fig. 58- Risparmio percentuale

In figura è rappresentato il risparmio percentuale conseguito da ognuno degli edifici di Città Metropolitana; il risparmio medio si attesta intorno al 30 %. L'edificio 69 sembrerebbe ancora quello che ha ottenuto il risparmio maggiore. Le correlazioni dei risparmi con i dati caratteristici degli edifici sono presentate nel paragrafo successivo.

Si riporta di seguito l'analisi degli errori sui risparmi percentuali, effettuata per l'insieme di tutti gli edifici, per gli istituti tecnici e per i licei.

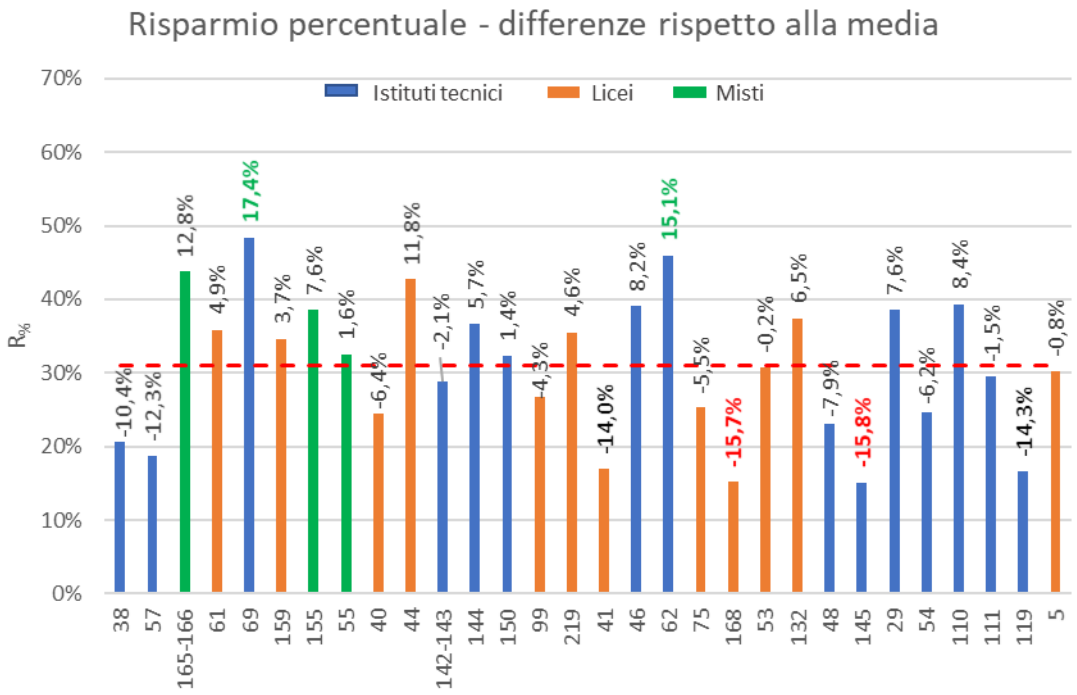


Fig. 59- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media

Le etichette dei dati riportati in figura, che sono gli stessi rappresentati nella figura 58, indicano la differenza tra il risparmio percentuale di ogni edificio e il risparmio medio di tutti gli edifici. I dati colorati in verde ed in rosso rappresentano, rispettivamente, gli edifici il cui risparmio è più alto o più basso del 15% rispetto alla media dei risparmi, rappresentata dalla linea tratteggiata in rosso.

Lo stesso tipo di informazione è stato riportato separatamente per gli istituti tecnici e per i licei:

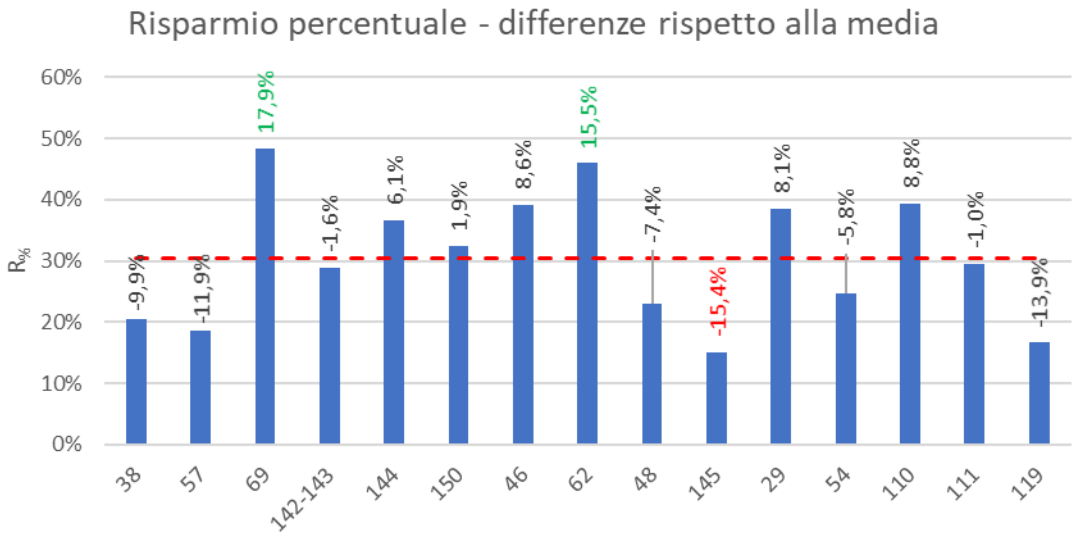


Fig. 60- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media - istituti tecnici

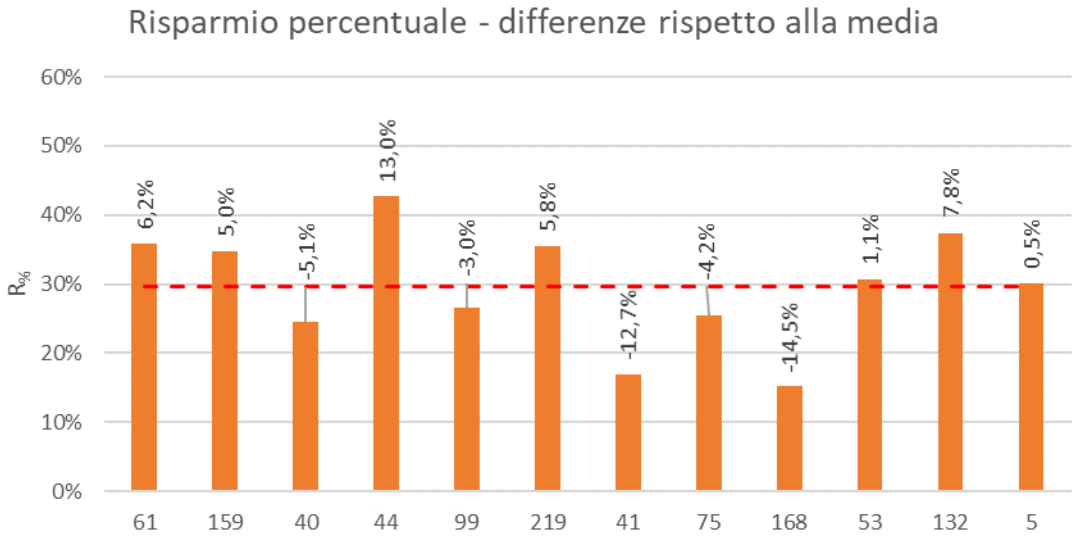


Fig. 61- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media - licei

Nel caso dei soli istituti tecnici, si può notare come gli edifici i cui risparmi percentuali si discostano di più dalla media sono gli stessi identificati nella figura contenente tutte le scuole; i valori delle differenze sono leggermente maggiori in quanto la media del risparmio percentuali dei soli istituti tecnici è maggiore rispetto a quella di tutti le scuole. Nel caso dei soli licei, nessun edificio si discosta dalla media di un valore maggiore al 15 %.

Si illustra infine il caso comprendente sia i licei che le scuole miste.

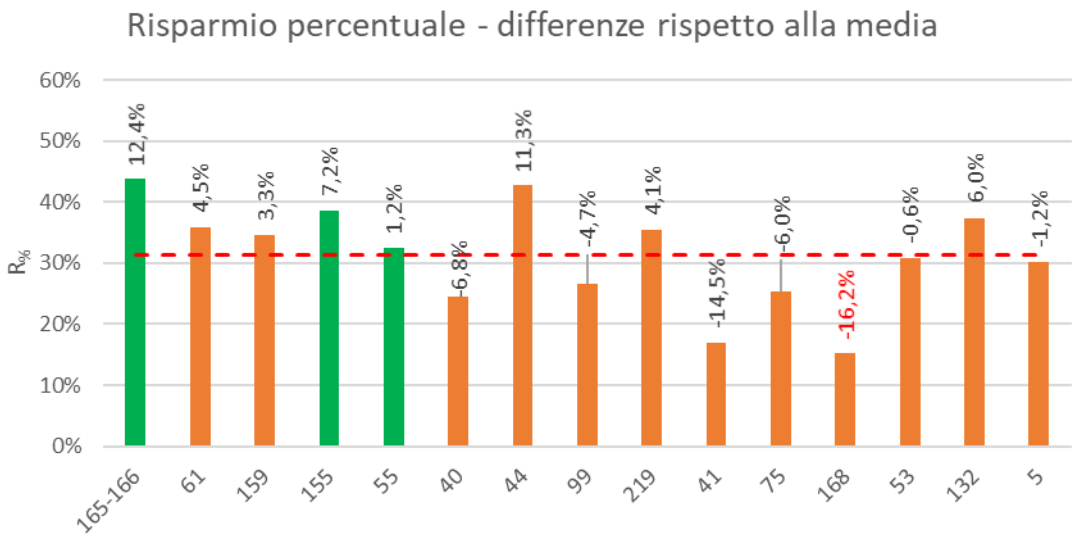


Fig. 62- Rappresentazione delle differenze tra i singoli risparmi percentuali e la loro media - licei + misti

Anche in questo caso, l'unica scuola che non rientra nel range del 15 % in valore assoluto è l'edificio 168.

La seguente tabella riassume i valori medi delle differenze tra i risparmi e il loro valor medio nei vari casi.

Tabella 14- Risparmi percentuali medi

Tipologia di scuola	$R_{\%}$ medio	$\Delta R_{\%}$ medio
Tutte	30,9%	7,8%
Istituti tecnici	30,5%	8,9%
Licei	29,6%	6,6%
Licei + misti	31,4%	6,7%

L'errore medio, denominato *$\Delta R_{\%}$ medio*, rappresenta la media degli scostamenti tra i valori percentuali di risparmio per ogni edificio considerato ed il loro valor medio. Poiché

le differenze tra i risparmi e il risparmio medio possono essere sia positive che negative, come mostrato dai grafici illustrati precedentemente, si è scelto di utilizzarne il valore assoluto, come indicato nell'espressione seguente:

$$\Delta R_{\%,medio} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| R_{\%,i} - R_{\%,medio} \right|}{n} \tag{15}$$

- n rappresenta il numero di edifici considerati nei vari casi
- $R_{\%,i}$ rappresenta il risparmio percentuale conseguito da ogni edificio
- $R_{\%,medio}$ è la media dei risparmi percentuali ottenuti sugli edifici considerati

Il risparmio medio ottenuto in seguito alla riqualificazione impiantistica degli edifici di Città Metropolitana si attesta intorno al 30 %, con un errore di circa l'8 %. Tali valori sono da ritenersi comunque soddisfacenti se si pensa al numero di edifici a disposizione nel campione. I risparmi medi percentuali ottenuti considerando separatamente le diverse tipologie di scuole non variano in maniera sensibile.

Calcolati i risparmi energetici ottenuti dai vari edifici, è stato possibile stimare il risparmio economico conseguente agli interventi di riqualificazione energetica. Il calcolo è stato effettuato considerando i risparmi reali ottenuti dagli edifici e i seguenti costi unitari dell'energia, forniti da Città Metropolitana di Torino, riferiti all'anno 2018:

Tabella 15- Costi unitari dell'energia - Fonte: Città Metropolitana di Torino

	Costo unitario [€/kWh]
Gas naturale	0,0478
Teleriscaldamento	0,0459

In realtà, i costi per la fornitura del combustibile non sono pagati direttamente da Città Metropolitana che, come spiegato in dettaglio nel capitolo dedicato ai contratti di fornitura, è tenuta a pagare un canone comprensivo di una moltitudine di servizi alla ditta che si occupa della fornitura del combustibile e della gestione degli impianti.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei risparmi energetici ed economici ottenuti dagli edifici di Città Metropolitana.

Tabella 16- Quadro riassuntivo dei risparmi energetici ed economici per gli edifici di Città Metropolitana

	Risparmi energetici					*Risparmio economico*
	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	$R_{\%}$	$R_{eff,€}$
Codice scuola	**MWh_{eff}**	**$MWh_{norm,DPR,TO}$**	**$(kWh/m^3)_{eff}$**	**$(kWh/m^3)_{norm,DPR,TO}$**	**%**	**€**
5	136,9	145,2	5,1	5,4	30,2%	€ 6.542,84
29	45,3	54,2	8,9	10,6	38,6%	€ 2.165,77
38	184,2	215,0	4,3	5,0	20,6%	€ 8.803,25
40	62,2	69,2	5,3	5,9	24,5%	€ 2.970,84
41	70,5	85,1	2,9	3,5	16,9%	€ 3.368,04
44	135,6	170,5	12,0	15,1	42,7%	€ 6.481,39
46	148,7	202,6	12,9	17,6	39,1%	€ 7.110,05
48	97,4	139,4	4,6	6,6	23,1%	€ 4.469,50
53	224,5	326,8	4,9	7,2	30,7%	€ 10.731,09
54	133,4	210,8	4,0	6,2	24,7%	€ 6.374,82
55	489,9	700,6	4,8	6,8	32,5%	€ 22.485,81
57	289,0	532,3	2,9	5,3	18,6%	€ 13.814,81
61	326,5	454,3	6,8	9,4	35,9%	€ 15.607,53
62	194,3	255,5	13,1	17,2	46,0%	€ 9.288,86
69	841,5	1.096,1	15,0	19,5	48,4%	€ 40.225,76
75	79,6	124,3	6,5	10,1	25,4%	€ 3.654,79
99	166,6	199,5	5,6	6,7	26,7%	€ 7.965,06
110	123,6	139,8	9,4	10,6	39,3%	€ 5.908,31
111	239,9	278,0	7,0	8,1	29,5%	€ 11.468,39
119	106,1	139,2	4,0	5,3	16,6%	€ 5.071,54
132	423,2	540,0	8,9	11,4	37,4%	€ 20.228,36
142-143	127,8	190,0	5,1	7,6	28,9%	€ 6.110,41
144	366,4	507,1	9,8	13,5	36,6%	€ 17.515,51
145	37,0	81,0	3,0	6,6	15,1%	€ 1.700,08
150	328,3	470,3	10,8	15,4	32,4%	€ 15.690,76
155	322,6	440,8	6,6	9,0	38,6%	€ 15.421,14
159	332,2	466,6	9,7	13,7	34,7%	€ 15.880,58
165-166	700,5	930,5	8,8	11,7	43,7%	€ 33.485,00
168	66,2	143,6	2,0	4,3	15,2%	€ 3.036,56
219	25,4	29,4	9,7	11,2	35,5%	€ 1.215,57

La sintesi dei risparmi energetici ed economici reali conseguiti dagli edifici di Città Metropolitana è schematizzata nella seguente tabella:

Tabella 17- Risparmio totale energetico ed economico, Città Metropolitana

	Risparmio totale effettivo
MWh	6.825,4
€	€ 324.792,40

La tabella seguente mostra i tempi di ritorno dell'investimento per gli interventi effettuati sulle scuole di Città Metropolitana. Il *Simple Payback Period* (SPB), calcolato semplicemente come il rapporto tra il costo d'investimento, fornito dall'ente, e il risparmio economico annuo, è riferito ai prezzi unitari indicati in tabella 15. I valori dell'indicatore SPB potrebbero sembrare elevati per interventi relativi alla sola parte impiantistica; tuttavia, si deve considerare che i prezzi utilizzati per il calcolo del risparmio economico sono quelli pagati dall'Assuntore, il quale viene remunerato, anche per gli interventi eseguiti, con un canone annuo omnicomprensivo (paragrafo 5.3). Inoltre, tale indicatore non tiene conto di eventuali incentivi ricevuti dall'Assuntore a seguito degli interventi effettuati. Il risparmio economico considerato, infine, è solo quello associato alla riduzione effettiva di energia, ma bisognerebbe includere anche il risparmio dovuto alla possibilità di controllare gli impianti da remoto, che permette di evitare onerosi costi per il personale e per gli spostamenti sul territorio della Città Metropolitana.

Tabella 18- Costi di investimento e tempi di ritorno, Città Metropolitana

Codice scuola	Investimento [€]	SPB [anni]
5	€ 93.320,20	14
29	€ 29.176,98	13
38	€ 216.032,93	25
40	€ 101.469,66	34
41	€ 92.448,07	27
44	€ 153.870,19	24
46	€ 145.371,84	20
48	€ 42.131,62	9
53	€ 225.209,43	21
54	€ 203.209,23	32
55	€ 181.600,96	8
57	€ 271.950,79	20
61	€ 191.922,82	12
62	€ 144.933,53	16
69	€ 248.817,42	5
75	€ 26.902,74	7
99	€ 159.104,64	20
110	€ 72.323,97	12
111	€ 168.346,57	15
119	€ 160.656,67	32
132	€ 171.430,39	8
142-143	€ 153.691,66	25
144	€ 208.336,97	12
145	€ 29.828,26	18
150	€ 192.119,95	12
155	€ 121.709,71	8
159	€ 216.543,36	14
165-166	€ 222.177,79	7
168	€ 41.737,04	14
219	€ 48.646,50	22

4.1.3 Individuazione delle correlazioni

Analogamente a quanto già descritto per l'analisi dei consumi antecedenti gli interventi di riqualificazione energetica, si è cercato di individuare eventuali correlazioni tra le grandezze che influenzano i consumi energetici per riscaldamento e i risparmi ottenuti. La metodologia utilizzata è la stessa illustrata per i consumi prima della riqualificazione; le scuole con un più alto punteggio totale, cosi come definito nella formula (10), sono quelle che tendono ad avere maggiori consumi energetici per riscaldamento e dunque quelle da cui ci si aspetta che anche i risparmi conseguiti siano maggiori. Le logiche di assegnazione del punteggio ad ogni edificio sono riportate in tabella 8.

Non è stato possibile rilevare correlazioni tra il risparmio ottenuto e la tipologia di intervento effettuato; la maggior parte degli edifici ha infatti subito l'upgrade del sistema di telecontrollo e l'installazione di un generatore di calore a condensazione mentre soltanto cinque edifici sono passati al teleriscaldamento, costituendo un numero troppo basso di casi per poter essere statisticamente rilevanti.

Nel calcolo delle correlazioni sono stati considerati i risparmi normalizzati e non, secondo quanto è stato definito in precedenza; si è scelto, tuttavia, di riportare soltanto le correlazioni ritenute più soddisfacenti. Come già spiegato, la distanza dal centro di Torino è stata considerata soltanto per i casi in cui tutti gli edifici considerati fossero a Torino.

La correlazione esistente tra il punteggio totale e i risparmi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino è uguale a quella relativa ai risparmi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno reali di Torino del 2015/16, per cui si fa riferimento, nei grafici seguenti, ai risparmi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno del D.P.R. 412/93 relativi a Torino.

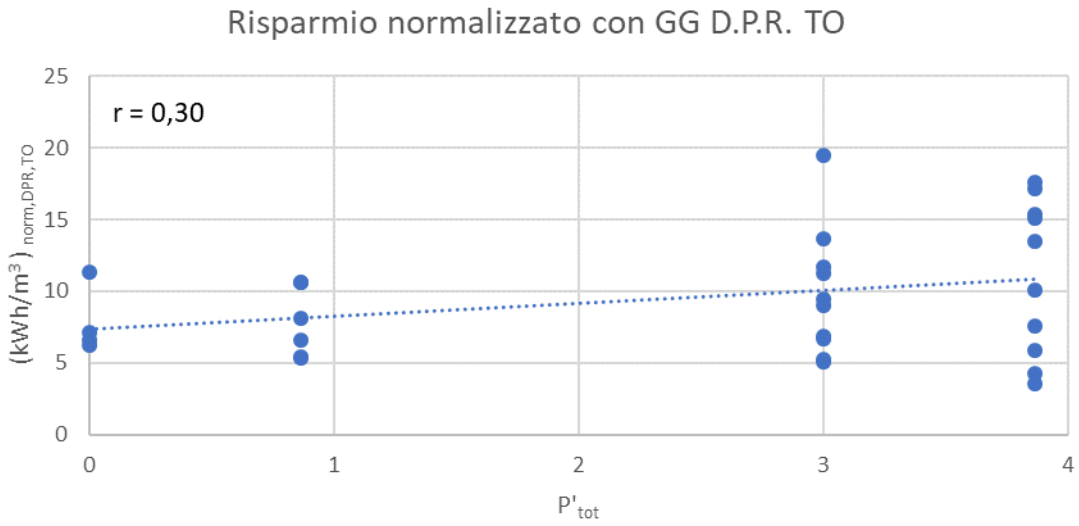


Fig. 63- Correlazione di P'tot con i risparmi, tutti gli edifici di Città Metropolitana

Il coefficiente di correlazione, nel caso di tutti gli edifici e considerando il risparmio normalizzato con i GG convenzionali di Torino, è pari a 0,30. Il risparmio è tanto maggiore quanto più gli edifici sono vetusti e quanto più il rapporto di forma è alto. I coefficienti relativi a queste grandezze sono infatti gli unici con valori diversi da 0, come si può notare dalla seguente tabella:

Tabella 19- Coefficienti espressione P'_{tot} per risparmi, tutti gli edifici

a (S/V)	b (h)	d (ep)	e (η)	f (p)
0,86	0	3,00	0	0

Il caso appena presentato è stato ottenuto utilizzando la media dei dati come discriminante per l'assegnazione del punteggio di ogni variabile (tabella 8); si è provato a ripetere la simulazione utilizzando la mediana dei dati, al fine di epurare la statistica da eventuali dati anomali. Dal punto di vista della qualità della correlazione il risultato non è praticamente cambiato (r=0,31), ma i nuovi coefficienti che determinano il punteggio totale, secondo la formula (10), sono illustrati di seguito:

Tabella 20- Coefficienti espressione P'_{tot} per risparmi, tutti gli edifici - mediana

a (S/V)	b (h)	d (ep)	e (η)	f (p)
0,53	0,97	2,81	0	0

Il contributo delle ore di accensione alla determinazione del punteggio totale diventa più importante rispetto a quello del rapporto S/V; probabilmente tale comportamento è dovuto alla presenza di alcuni dati anomali tra le ore di accensione settimanali degli impianti che, nel calcolo della media, erano stati considerati.

Per gli edifici situati a Torino è stata inserita tra le variabili del modello anche la distanza dal centro: la correlazione, effettuata utilizzando anche in questo caso la mediana dei dati, è risultata migliore, con un valore del coefficiente di correlazione pari a 0,51. L'effetto maggiore sul risparmio dipende sempre dall'epoca di costruzione (coefficiente d); la distanza dal centro sembra influire leggermente sui risparmi ottenuti dagli edifici della città di Torino. Anche in questo caso non sono state riscontrate correlazione dei risparmi con i rendimenti di generazione prima della riqualificazione.

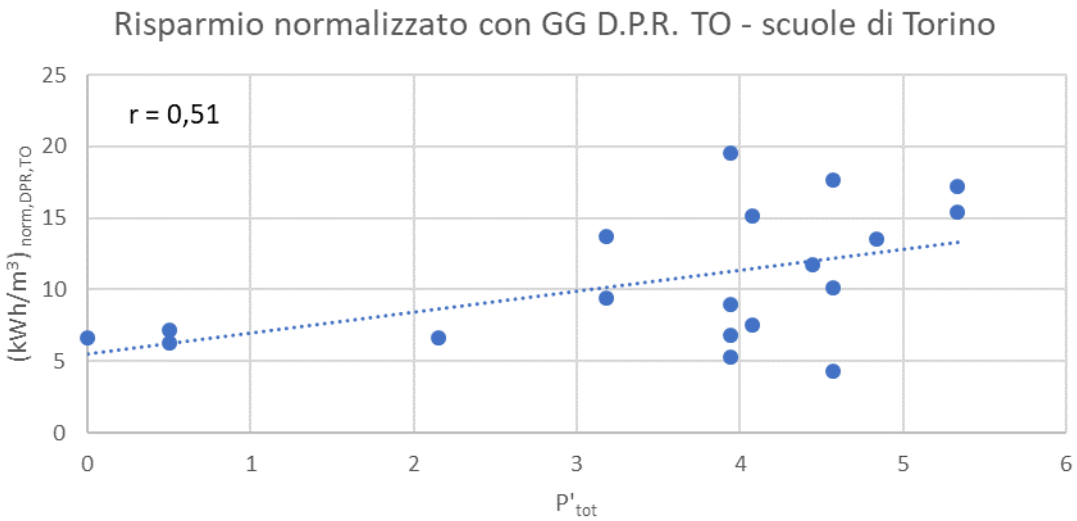


Fig. 64- Correlazione di P'_{tot} con i risparmi, edifici situati a Torino

I valori dei coefficienti risultanti dalla suddetta simulazione sono indicati nella tabella seguente:

Tabella 21- Coefficienti espressione P'_{tot} per risparmi, scuole di Torino

a (S/V)	b (h)	c (dc)	d (ep)	e (η)	f (p)
0,89	0,76	0,50	3,18	0	0

Come per i consumi prima della riqualificazione, sono stati poi trattati separatamente gli istituti tecnici dai licei, al fine di eliminare l'influenza della tipologia di scuola nel calcolo delle correlazioni.

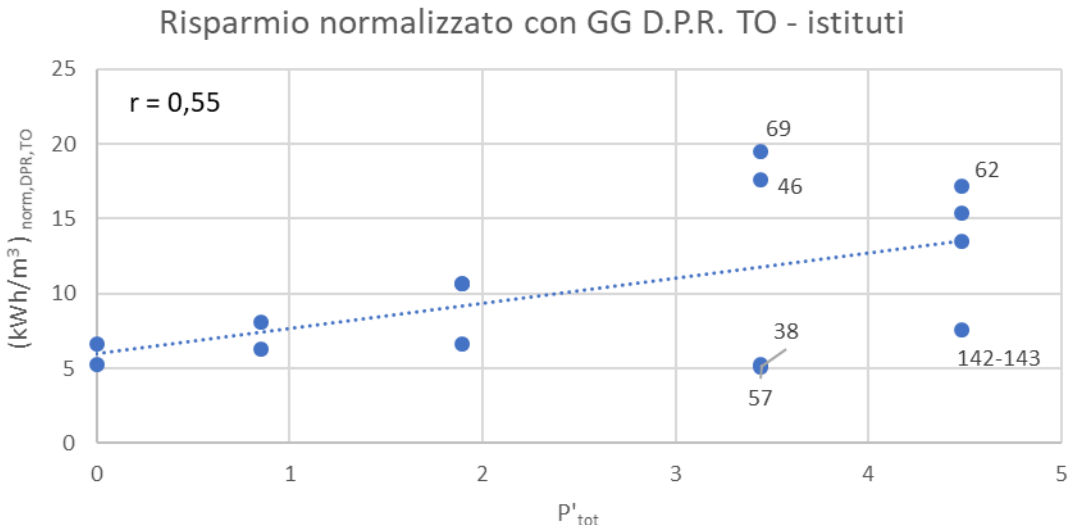


Fig. 65- Correlazione di P'_{tot} con i risparmi, istituti tecnici

Come visibile dal grafico appena riportato, la correlazione tra i risparmi e il punteggio totale aumenta se si considerano solo gli istituti tecnici; vi sono tuttavia edifici che hanno ottenuto risparmi anomali rispetto al punteggio rappresentato e sono quelli etichettati in figura.

Considerando i soli istituti tecnici di Torino, si nota un'influenza importante della distanza dal centro, come già era stato rilevato nelle correlazioni con i consumi antecedenti la riqualificazione. La variabile da cui sembrano dipendere maggiormente i risparmi, anche per questo caso, è l'epoca di costruzione.

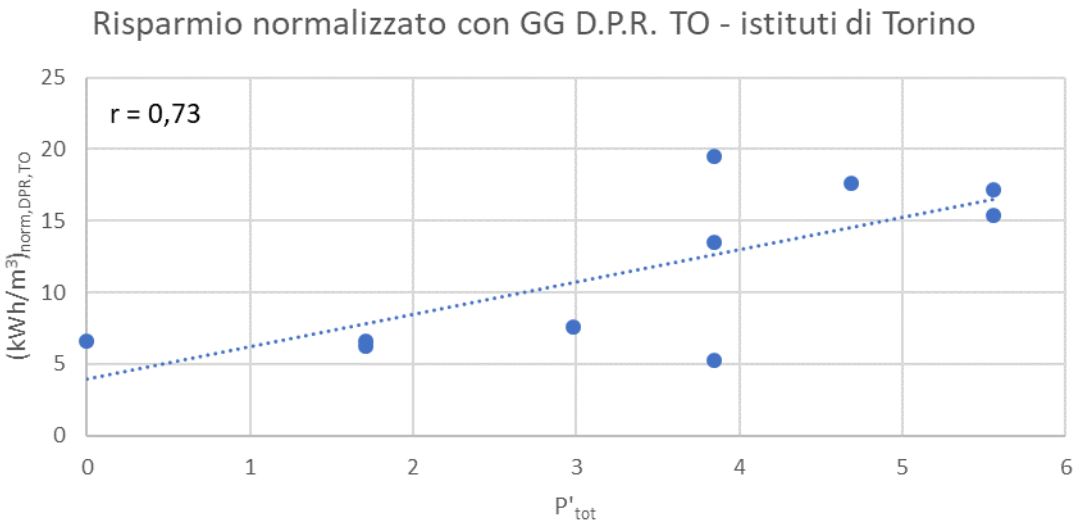


Fig. 66- Correlazione di P'_{tot} con i risparmi, istituti tecnici di Torino

Per quanto riguarda i licei, non sono state individuate correlazioni rilevanti dei risparmi ottenuti con le variabili sopra descritte. Il coefficiente di correlazione massimo che è stato calcolato, nel caso dei licei, è pari a 0,13, ritenuto non soddisfacente e per questo non illustrato graficamente in questo paragrafo. Anche per i consumi prima della riqualificazione le correlazioni, nel caso dei licei, erano meno consistenti rispetto a quelle degli istituti tecnici o dell'insieme degli edifici.

In ogni caso, le correlazioni individuate non rispecchiano fedelmente la dipendenza reale dei consumi o dei risparmi energetici dalle variabili utilizzate nel modello; innanzitutto vi sono altri fattori che non sono stati presi in considerazione e che influiscono sui consumi e, inoltre, la sovrapposizione degli effetti utilizzata nella definizione del punteggio totale è soltanto una semplificazione di ciò che avviene nella realtà. Tuttavia, con i dati a disposizione, risultava difficile creare modelli più accurati che avrebbero permesso di individuare, in maniera migliore, le cause dei consumi e dei risparmi degli edifici considerati.

4.2 Riqualificazione globale – Comune di Torino

Le scuole del Comune di Torino sono state riqualificate sia dal punto di vista impiantistico che dell'involucro edilizio; gli interventi sull'involucro hanno riguardato la sostituzione degli infissi e l'isolamento a cappotto dei muri perimetrali esterni e dei solai, mentre, per ciò che concerne gli impianti, sono state installate valvole termostatiche su tutti i terminali di emissione e, in tre delle sei scuole, si è proceduto all'allacciamento alla rete di teleriscaldamento. Si rimanda alla tabella 2 per le informazioni circa gli interventi subiti da ogni singolo edificio e circa gli anni di termine dei lavori. Non sono disponibili informazioni certe a proposito delle trasmittanze dei componenti dopo le azioni di isolamento e dei rendimenti degli impianti di riscaldamento; si suppone che l'installazione delle valvole abbia contribuito al miglioramento del rendimento impiantistico a causa dell'aumento del rendimento del sottosistema di regolazione. Le uniche informazioni disponibili riguardano gli interventi che erano stati previsti in una fase progettuale ma che poi, per varie ragioni, non sono stati effettivamente eseguiti.

La caratterizzazione dei consumi post-riqualificazione e dei conseguenti risparmi è stata riferita dapprima al risparmio globale ottenuto a seguito di tutti gli interventi e, successivamente, al risparmio dovuto ai soli interventi sull'impianto o sull'involucro

edilizio. È stato possibile separare i risparmi ottenuti dalle due tipologie di intervento soltanto per le scuole che hanno proceduto alla riqualificazione impiantistica e a quella dell'involucro in anni diversi; le seguenti scuole sono quelle passate al teleriscaldamento e sono indicate in tabella 2.

4.2.1 Interventi su involucro e impianti – risparmio globale

I consumi delle sei scuole prima di qualsiasi tipo di intervento migliorativo sono riferiti alla stagione 2011/12 e sono già stati illustrati nel paragrafo 3.2. Per caratterizzare il risparmio globale ottenuto dagli interventi sull'involucro e sugli impianti sono stati considerati, come consumi post-riqualificazione, quelli dell'anno 2015/16. Al fine di confrontare i consumi senza l'influenza del clima, si riportano i consumi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino.

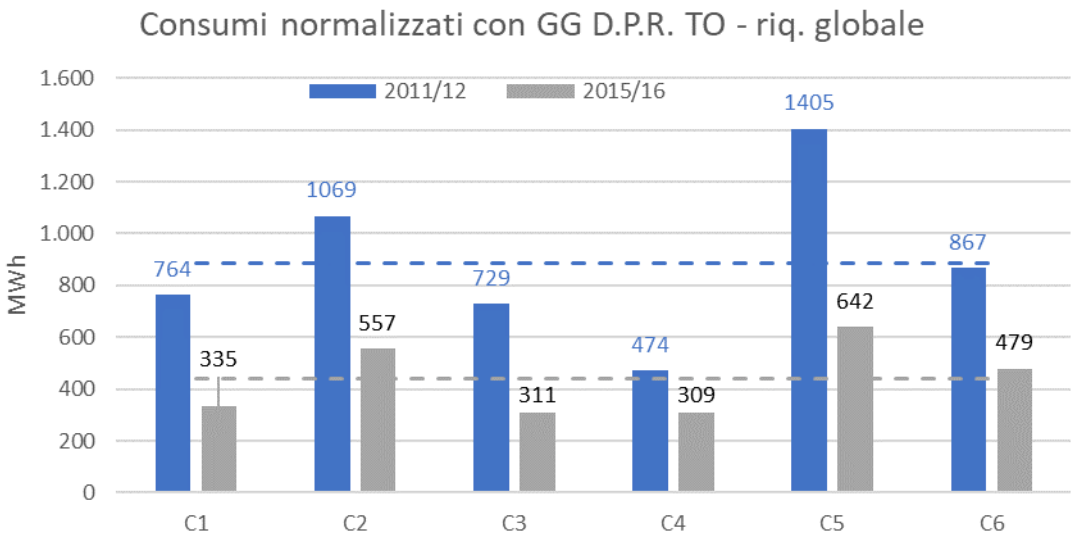


Fig. 67. Confronto tra consumi normalizzati prima e dopo la riqualificazione globale

In figura è possibile notare la riduzione dei consumi dovuta agli interventi di isolamento dell'involucro, sostituzione degli infissi e miglioramento degli impianti di riscaldamento. I consumi rappresentati sono sempre riferiti all'ingresso del sottosistema di generazione.

Il confronto tra i consumi specifici prima e dopo gli interventi è raffigurato di seguito.

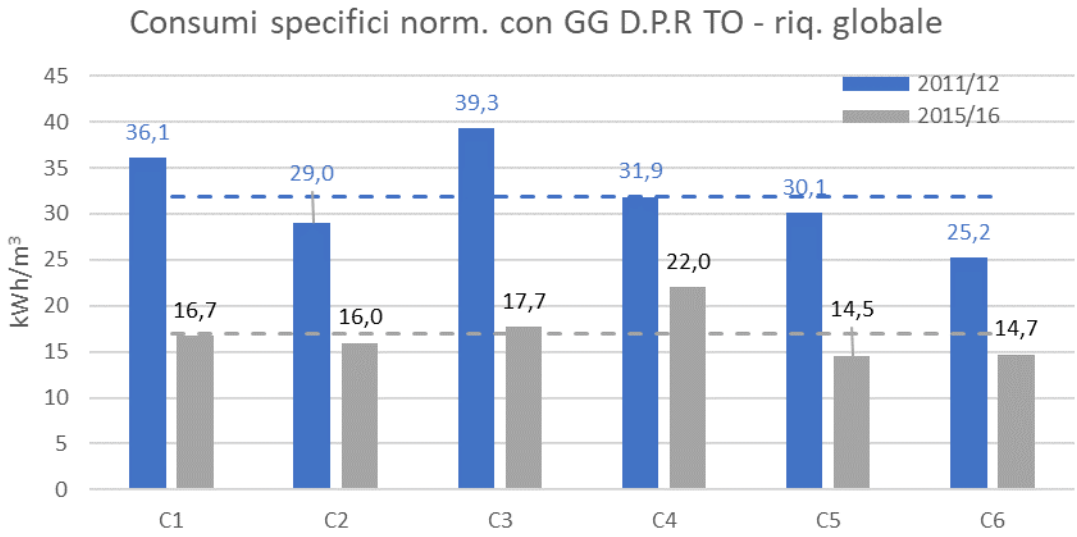


Fig. 68- Confronto tra consumi specifici normalizzati prima e dopo la riqualificazione globale

La tabella seguente riassume i risultati dei risparmi ottenuti in seguito alla riqualificazione globale per gli edifici del Comune. I risparmi sono stati calcolati come già specificato nei capitoli precedenti per le scuole di Città Metropolitana. Il risparmio economico associato agli interventi è stato calcolato, con riferimento ai risparmi effettivi, considerando i seguenti prezzi unitari dell'energia, desunti dalle fatture fornite dal Comune di Torino:

Tabella 22- Costi unitari dell'energia - Fonte: Fatture del Comune di Torino relative al 2019

	Costo unitario [€/kWh]
Gas naturale	0,0849
Teleriscaldamento	0,0784

I prezzi riportati in tabella sono notevolmente più alti rispetto a quelli citati in precedenza per Città Metropolitana; tuttavia, va specificato che la tipologia di contratto per la fornitura energetica dei due enti è diversa, motivo per cui i prezzi indicati per Città Metropolitana sono rappresentativi del costo, associato alla fornitura del combustibile, che viene pagato dalla ditta che si occupa della gestione degli impianti.

I risparmi indicati sono da intendersi come risparmi annuali, ottenuti facendo riferimento ad un anno precedente e ad un anno successivo alla riqualificazione.

Tabella 23- Risparmi riqualificazione globale

Riqualificazione globale	*Risparmi energetici*					*Risparmio economico*
	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	$R_{\%}$	$R_{eff,€}$
Codice scuola	**MWh_{eff}**	**$MWh_{norm,DPR,TO}$**	**$(kWh/m^3)_{eff}$**	**$(kWh/m^3)_{norm,DPR,TO}$**	**%**	**€**
C1	425,4	410,1	20,1	19,4	53,7%	€ 36.116,87
C2	516,5	480,2	14,0	13,0	44,9%	€ 40.497,16
C3	413,1	399,9	22,3	21,6	54,9%	€ 35.071,99
C4	173,3	146,6	11,7	9,9	31,0%	€ 14.710,99
C5	759,4	726,9	16,3	15,6	51,7%	€ 59.535,67
C6	395,0	360,9	11,5	10,5	41,6%	€ 30.968,14

Tabella 24- Riepilogo risparmi riqualificazione globale

Riqualificazione globale	
$R_{\%\ medio}$	46,3%
$R_{eff,\ tot}$ [MWh]	2682,7
$R_{eff,\ €,\ tot}$ [€]	€ 216.900,82

Il risparmio medio percentuale associato alla riqualificazione globale dei sei edifici del Comune è pari a circa il 46 %; l'unico caso che si discosta dalla media per più del 15 % è la scuola C4, che ha ottenuto un risparmio percentuale inferiore, risultando infatti l'unica delle sei scuole a presentare un consumo specifico maggiore di 15 kWh/m^3 anche dopo la riqualificazione. Poiché tutti gli interventi svolti sulle scuole sono stati programmati nel *POR-FESR 2007/2013*, si può ipotizzare che il livello di efficientamento energetico previsto, in seguito alla riqualificazione, fosse più o meno lo stesso per tutti gli edifici; in tale ottica risulta difficile giustificare, sulla base dei dati a disposizione, il risparmio conseguito dall'edificio C4.

4.2.2 Interventi sugli impianti

Per tre delle scuole del Comune è stato possibile scindere i risparmi ottenuti in seguito al miglioramento degli impianti da quelli dovuti all'isolamento dell'involucro. Tali scuole sono quelle passate al teleriscaldamento e che, nello stesso anno, hanno provveduto all'installazione delle valvole termostatiche su tutti i terminali di emissione. L'anno di riferimento per i consumi post-riqualificazione, riferendosi soltanto agli interventi sugli impianti, è il 2013/14.

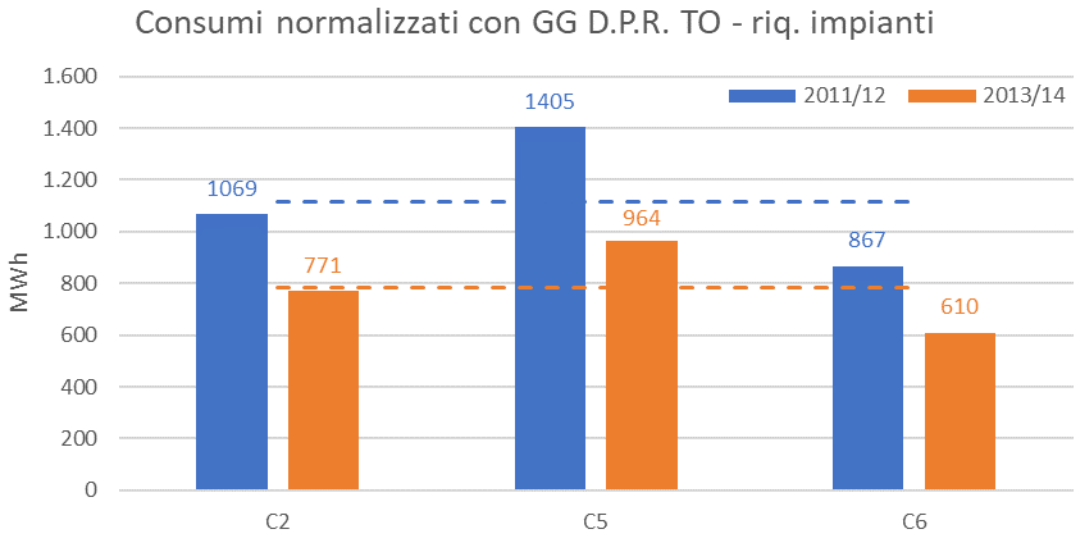


Fig. 69-Confronto tra consumi normalizzati prima e dopo la riqualificazione impiantistica

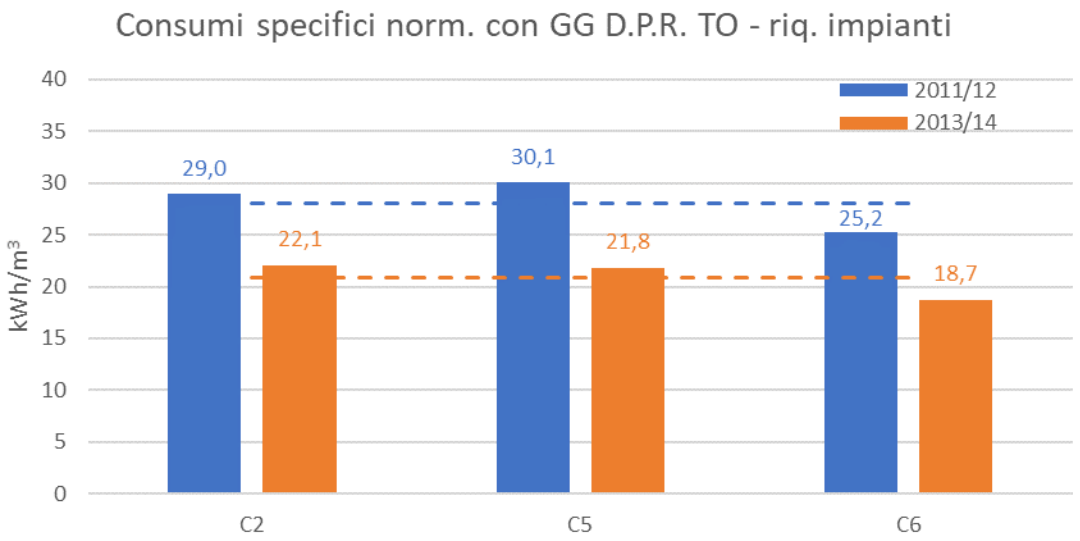


Fig. 70-Confronto tra consumi specifici normalizzati prima e dopo la riqualificazione impiantistica

Il risparmio conseguito in seguito al passaggio al teleriscaldamento e all'installazione delle valvole termostatiche è visibile nei grafici appena riportati; la tabella seguente riassume i valori ottenuti.

Tabella 25- Risparmi riqualificazione impianti

Riqualificazione impianti	*Risparmi energetici*					*Risparmio economico*
	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	$R_{\%}$	$R_{eff,€}$
Codice scuola	**MWh_{eff}**	**$MWh_{norm,DPR,TO}$**	**$(kWh/m^3)_{eff}$**	**$(kWh/m^3)_{norm,DPR,TO}$**	**%**	**€**
C2	316,6	253,9	8,6	6,9	23,7%	€ 24.817,88
C5	460,9	386,3	9,9	8,3	27,5%	€ 36.135,61
C6	270,7	222,3	7,9	6,5	25,6%	€ 21.220,85

Tabella 26- Riepilogo risparmi riqualificazione impianti

Riqualificazione impianti	
$R_{\%\ medio}$	25,6%
$R_{eff,\ tot}$ [MWh]	1048,1
$R_{eff,\ €,\ tot}$ [€]	€ 82.174,34

Gli interventi di allacciamento al teleriscaldamento e di installazione delle valvole termostatiche hanno consentito un risparmio medio di circa il 25 % sui tre edifici considerati. Per gli edifici di Città Metropolitana, il risparmio medio conseguito dagli edifici passati al teleriscaldamento era pari a circa il 22 %, mentre il risparmio medio percentuale di tutti gli edifici era pari al 30 %; il risparmio medio ottenuto sui tre edifici del Comune appena citati è in linea con questi valori, pur costituendo una casistica numericamente molto piccola per consentire l'elaborazione di statistiche dettagliate.

4.2.3 Interventi sull'involucro edilizio

Per gli stessi edifici appena analizzati, è stato possibile stimare anche i risparmi conseguenti all'isolamento a cappotto delle pareti perimetrali e alla sostituzione degli infissi. Per la situazione ante-riqualificazione dell'involucro sono stati considerati i consumi della stagione 2013/14, corrispondenti alla stagione utilizzata come riferimento per i consumi dopo gli interventi sugli impianti. I consumi successivi all'isolamento dell'involucro si riferiscono all'anno 2015/16.

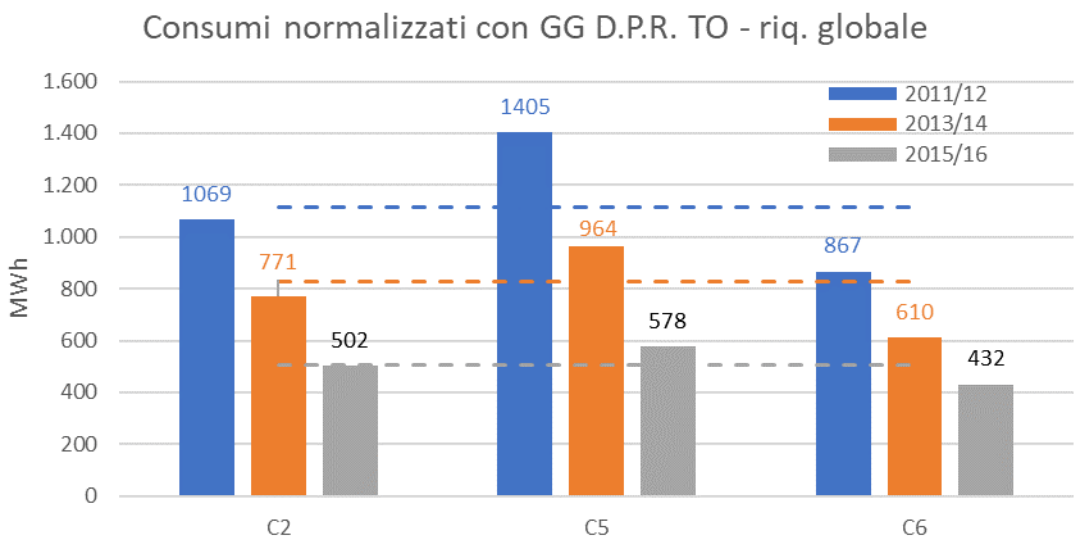


Fig. 71- Consumi normalizzati prima e dopo i vari interventi di riqualificazione

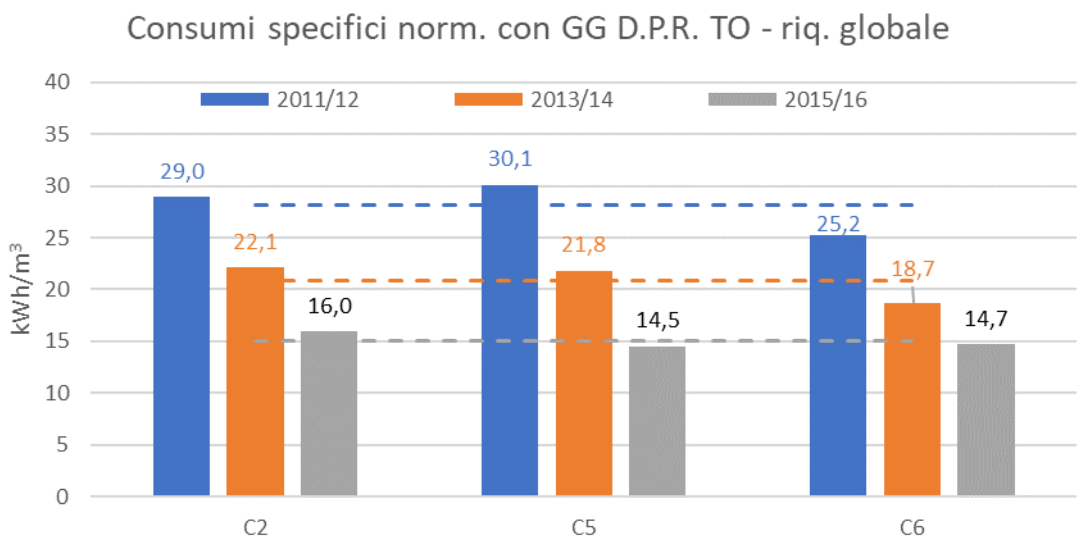


Fig. 72- Consumi specifici normalizzati prima e dopo i vari interventi di riqualificazione

Come si nota dai grafici appena riportati, la riduzione del consumo per unità di volume conseguente agli interventi relativi all'impianto sembra essere maggiore rispetto a quella ottenuta dopo l'isolamento dell'involucro, i cui consumi post-intervento sono quelli del 2015/16. La tabella seguente riassume i risparmi relativi agli interventi sull'involucro per i tre edifici considerati.

Tabella 27- Risparmi riqualificazione involucro

Riqualificazione involucro	*Risparmi energetici*					*Risparmio economico*
	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	R_{eff}	$R_{norm,DPR,TO}$	$R_{\%}$	$R_{eff,€}$
Codice scuola	**MWh_{eff}**	**$MWh_{norm,DPR,TO}$**	**$(kWh/m^3)_{eff}$**	**$(kWh/m^3)_{norm,DPR,TO}$**	**%**	**€**
C2	200,0	226,3	5,4	6,1	27,8%	€ 15.679,28
C5	298,5	340,5	6,4	7,3	33,4%	€ 23.400,06
C6	124,3	138,7	3,6	4,0	21,5%	€ 9.747,29

Tabella 28- Riepilogo risparmi riqualificazione involucro

Riqualificazione involucro	
$R_{\%\ medio}$	27,6%
$R_{eff,\ tot}$ [MWh]	622,8
$R_{eff,\ €,\ tot}$ [€]	€ 48.826,63

L'allacciamento al teleriscaldamento e l'installazione delle valvole termostatiche hanno permesso di raggiungere un notevole risparmio energetico ed economico; prima della riqualificazione, infatti, la regolazione avveniva manualmente direttamente sui generatori di calore, che inoltre avevano un rendimento medio di circa 0,85. Il passaggio al

teleriscaldamento ha consentito un notevole incremento del rendimento di generazione, essendo gli scambiatori di calore caratterizzati da bassissime perdite per trasmissione termica verso l'ambiente. Il miglioramento dovuto all'installazione delle valvole termostatiche è evidente, poiché la regolazione di tipo manuale non permette alcun tipo di controllo accurato e metodico sulle condizioni di comfort ed è affidata soltanto al buon senso dell'operatore. Le considerazioni appena illustrate potrebbero spiegare i grossi risparmi ottenuti dal miglioramento degli impianti su questi edifici se comparati agli interventi sull'involucro (di cui comunque non si hanno informazioni certe e verificate da parte del Comune), da cui ci sarebbe lecito aspettarsi risparmi percentuali molto alti.

Ovviamente, i soli interventi di riqualificazione impiantistica possono garantire risparmi entro certi limiti; sugli edifici caratterizzati da alte dispersioni per trasmissione termica, ad esempio, gli interventi migliorativi sull'impianto risultano meno efficaci.

Dal punto di vista economico, gli interventi sull'impianto sono sicuramente più convenienti rispetto a quelli sull'involucro, caratterizzati da grossi investimenti e lunghi tempi di ritorno.

Per le scuole del Comune non è stato possibile, tuttavia, risalire ai costi reali di investimento per gli interventi effettuati; non si hanno inoltre informazioni verificate dall'ente circa le tecnologie e i materiali effettivamente utilizzati per la riqualificazione, motivo per cui non sono state condotte valutazioni di questo tipo.

4.3 Grafico dei quadranti – post

Si riporta in questo paragrafo il grafico dei quadranti riferito alla situazione post-riqualificazione; come nel caso precedente, sono riportati i consumi normalizzati rispetto ai Gradi Giorno convenzionali di Torino. Le linee rosse rappresentano le mediane dei dati di consumo e di consumo per unità di volume; quelle continue sono riferite ai consumi dopo la riqualificazione, quelle tratteggiate e in trasparenza si riferiscono invece alla situazione antecedente gli interventi di miglioramento, già descritta in figura 49.

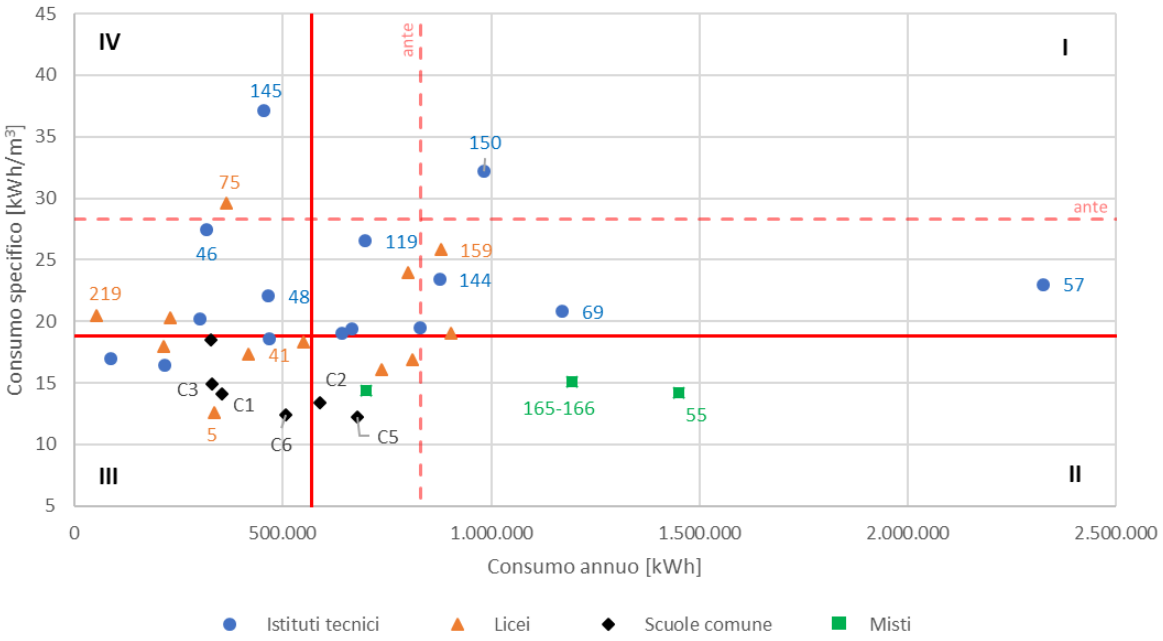


Fig. 73- Grafico dei quadranti, consumi dopo la riqualificazione normalizzati con GG D.P.R Torino

Dal grafico in figura è possibile notare come gli interventi di riqualificazione energetica abbiano influito sui consumi e sul grado di efficienza energetica degli edifici studiati. Per visualizzare i risparmi ottenuti dagli edifici in maniera rapida, sarebbe utile riportare su uno stesso grafico i punti relativi alla situazione antecedente e a quella successiva alla riqualificazione; tuttavia, considerata la difficoltà che si avrebbe nel distinguere i punti, si è preferito inserire in figura 73 i soli assi mediani relativi alla situazione precedente gli interventi.

A causa degli interventi di riqualificazione, si nota un abbassamento dei valori mediani del consumo annuo e del consumo specifico; i nuovi valori sono pari rispettivamente a 569 MWh e 18,8 kWh/m^3.

Tra gli edifici più critici prima della riqualificazione vi è l'istituto 69; in seguito agli interventi di riqualificazione impiantistica, tale scuola ha praticamente dimezzato il suo consumo specifico e il suo consumo annuo di energia, risultando quella che ha ottenuto i risparmi maggiori. L'istituto 150 ha ridotto notevolmente il consumo specifico e quello annuo ma, nonostante ciò, i valori post-riqualificazione sono comunque maggiori dei valori mediani prima della riqualificazione. Nel primo quadrante di figura 73, è presente l'istituto 57, che era collocato a cavallo tra il primo e il secondo quadrante nella situazione antecedente gli interventi; il consumo annuo della scuola in questione si distacca notevolmente da quello degli altri edifici, risultando il principale responsabile dei consumi totali per gli edifici analizzati di Città Metropolitana.

Le scuole appartenenti al primo e al quarto quadrante, con riferimento al grafico prima della riqualificazione, sono quelle che hanno ottenuto i risparmi maggiori; l'istituto 145 risulta essere quello con il maggior consumo specifico dopo la riqualificazione e dunque, presumibilmente, una delle scuole su cui gli interventi di riqualificazione hanno portato a minori benefici.

Gli edifici che invece si trovavano nel quadrante meno critico, cioè il terzo, hanno conseguito risparmi minori a causa del loro già elevato grado di efficienza energetica e dei loro bassi consumi. Quattro delle sei scuole del Comune si colloca all'interno del terzo quadrante, come visibile in figura 73; le altre due scuole sono invece posizionate nel secondo quadrante. Confrontando il grafico prima degli interventi con quello successivo agli stessi, si nota immediatamente l'effetto della riqualificazione globale sulle scuole del Comune, che diventano parte degli edifici con efficienza energetica relativa al riscaldamento più elevata.

Rispetto alla situazione descritta nel paragrafo 3.3, a parte i casi specifici degli edifici descritti nelle righe precedenti, si evidenzia una concentrazione maggiore di punti intorno all'intersezione degli assi mediani; si nota in particolare una minore dispersione intorno all'asse mediano orizzontale, sintomo di una certa uniformità del grado di efficienza energetica degli edifici considerati.

5 Contratti di fornitura energetica

Il presente capitolo analizza gli aspetti principali dei contratti di fornitura energetica, relativa agli edifici di competenza della Pubblica Amministrazione, che Città Metropolitana di Torino e Comune di Torino hanno utilizzato negli ultimi anni.

Gli enti pubblici sopracitati affidano la gestione degli impianti tecnologici degli edifici di loro competenza a ditte specializzate, attraverso la pubblicazione di gare d'appalto pubbliche. A seconda della tipologia di contratto stipulato, la ditta appaltatrice dei lavori si occupa di diversi compiti, che variano dall'approvvigionamento del combustibile alla manutenzione degli impianti. Il contratto attualmente attivo per il Comune di Torino, per quanto riguarda la fornitura di gas naturale, prevede che l'amministrazione paghi alla ditta appaltatrice il prezzo corrispondente al consumo effettivo di gas naturale misurato dai contatori; questa tipologia di contratto è assimilabile a quello stipulato dalla maggior parte degli utenti residenziali, in cui viene fatturato il consumo misurato di combustibile.

In un'ottica di gestione accurata dei consumi e riduzione delle emissioni climalteranti, si comprende come la tipologia di contratto indicata precedentemente non applichi nessuna misura in questo senso. Fatturando semplicemente il consumo misurato, la ditta che si occupa della fornitura del combustibile non ha alcun interesse ad intraprendere azioni che possano contenere i consumi e, di conseguenza, i costi pagati dall'amministrazione.

Le azioni migliorative valutate nell'ambito di questa tesi, che poi sono quelle effettivamente intraprese nel corso degli anni da Città Metropolitana, riguardano principalmente i seguenti aspetti:

- Applicazione di un tetto massimo di consumo
- Validità pluriennale del contratto con obiettivi di risparmio energetico fissati

L'introduzione di valori di soglia massimi per i consumi, pena un mancato guadagno da parte della ditta appaltatrice, può effettivamente ridurre lo spreco energetico ed ottimizzare la fornitura di energia per la climatizzazione invernale. Stipulando inoltre contratti pluriennali, è possibile fissare determinati obiettivi di risparmio che devono essere raggiunti da parte dell'azienda che si occupa della gestione degli impianti. I paragrafi successivi spiegano in dettaglio quanto introdotto precedentemente.

5.1 Comune di Torino – fornitura gas naturale

Il Comune di Torino, per l'anno 2019/2020, ha aderito alla convenzione indetta da *Consip S.P.A (Concessionaria Servizi Informativi Pubblici),* per la fornitura di gas naturale e dei servizi connessi per le Pubbliche Amministrazioni [18]. La suddetta convenzione, della durata di un anno, disciplina il rapporto contrattuale tra l'amministrazione contraente e il fornitore al fine della corretta erogazione di gas naturale e dei servizi connessi, quali i servizi di monitoraggio e controllo dei consumi.

La gara d'appalto indetta da Consip è suddivisa in lotti geografici – il Piemonte appartiene al Lotto 1 (Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria) – a cui viene assegnato un quantitativo massimo di fornitura di gas naturale che può essere acquistato dalle amministrazioni. Il fornitore, cioè la ditta che risulta aggiudicataria di uno o più lotti, è tenuto ad accettare le richieste di approvvigionamento di gas naturale delle amministrazioni fino al raggiungimento del valore massimo specificato per quel lotto. Per il lotto 1, il valore massimo a base di gara è pari a 105.000.000 Sm^3 di gas naturale [19]. La metà di questo importo può essere acquistata dalle Pubbliche Amministrazioni a prezzo fisso.

Le amministrazioni che vogliono aderire alla convenzione devono inviare, tramite un portale apposito, un documento chiamato *Ordinativo di Fornitura (ODA),* nel quale devono essere specificati, come minimo, i seguenti punti:

- Elenco delle utenze, con relativo identificativo PdR (Punto di Riconsegna)
- Categoria d'uso del gas naturale
- Data di attivazione della fornitura
- Stima dei consumi di gas naturale per ogni PdR, basata sulle misure dei 12 mesi continuativi più recenti

Il codice PdR identifica univocamente ogni impianto per il quale si richiede la fornitura di gas; la categoria d'uso si riferisce alla destinazione finale del gas naturale, che può essere utilizzato per riscaldamento ambiente, per produzione acqua calda sanitaria o per altri usi. La categoria d'uso è fondamentale per la definizione dei prezzi unitari da applicare al consumo, come specificato di seguito; tuttavia, ai fini del calcolo dei corrispettivi dovuti al fornitore, fa fede esclusivamente la categoria d'uso risultante dall'anagrafica del distributore locale [20]. La stima dei consumi più recenti per ogni PdR è necessaria per la definizione del prezzo unitario da applicare per il calcolo dei corrispettivi.

All'atto dell'emissione dell'Ordinativo di Fornitura, l'amministrazione sceglie, in autonomia, se richiedere una fornitura a prezzo fisso o a prezzo variabile; come si intuisce, la fornitura a prezzo fisso rimane tale per tutta la durata del contratto mentre nell'altra i prezzi sono aggiornati trimestralmente.

Una volta inviato l'ODA secondo le modalità previste, il fornitore è obbligato ad accettare l'ordine, fino al raggiungimento del quantitativo massimo indicato per il lotto, e il contratto ha dunque inizio. Qualora fosse raggiunto l'importo corrispondente alla fornitura a prezzo fisso, e l'amministrazione avesse richiesto tale tipo di contratto, il fornitore ha la facoltà di non accettare l'Ordinativo di Fornitura. La durata del contratto tra il fornitore e l'amministrazione contraente è pari a 12 mesi continuativi e senza possibilità di tacito rinnovo.

5.1.1 Definizione dei corrispettivi

A seconda di quanto richiesto dall'amministrazione all'atto di emissione dell'ODA, i corrispettivi sono calcolati sulla base del prezzo fisso o del prezzo variabile. I corrispettivi indicati si riferiscono alla sola fornitura del gas naturale e non comprendono la copertura dei costi relativi al servizio di distribuzione, totalmente a carico dell'amministrazione.

Il prezzo variabile, aggiornato trimestralmente, ed espresso in *c€/Sm*^{3} è calcolato come specificato di seguito [20]:

$$P_{VAR,i,t} = P_{FOR,t} + V_{VAR,i} \tag{16}$$

- $P_{FOR,t}$ si riferisce alla copertura dei costi relativi all'approvvigionamento di gas naturale per il trimestre t-esimo
- $V_{VAR,i}$ è lo spread offerto dal fornitore in base alla categoria d'uso e al consumo annuo stimato

In particolare, si individuano i seguenti due cluster di consumo annuo, in base ai quali il fornitore offre uno spread sul prezzo [20]:

- Consumo annuo ≤ 200.000 Sm^3
- Consumo annuo > 200.000 Sm^3

Il prezzo fisso, anch'esso espresso in centesimi di euro per metro cubo di gas, si calcola come segue:

$$P_{FIX,T,m} = P_{T,m} + V_{FIX} \tag{17}$$

I termini dell'equazione appena presentata hanno lo stesso significato di quelli dell'equazione 16, ma rimangono fissi per tutta la durata del contratto.

I prezzi appena definiti vengono applicati ad ogni metro cubo di gas misurato per ogni PdR, determinando così l'importo finale della fatturazione. La stima dei consumi effettuata dall'amministrazione è rilevante al solo fine dell'applicazione del prezzo unitario, dipendente, come già visto, dal consumo annuo di gas naturale.

La tipologia di contratto attualmente in vigore per il Comune di Torino, non prevede alcuna misura per il contenimento dei consumi, poiché viene soltanto fatturato il consumo realmente misurato dai contatori. La situazione descritta per il gas naturale è analoga nel caso del teleriscaldamento; pur non avendo materialmente a disposizione il contratto di fornitura, è stato rilevato, grazie al personale dell'Ufficio di Energy Management del Comune, che anche per il teleriscaldamento si procede alla fatturazione dei consumi tramite applicazione diretta di un prezzo unitario all'energia misurata.

Il contratto appena descritto è della stessa tipologia di quello utilizzato da Città Metropolitana di Torino fino al 2004, anno in cui è stato deciso di introdurre delle soglie massime di consumo per la climatizzazione invernale.

5.2 Città Metropolitana di Torino – soglie massime di consumo

Come appena specificato, fino al 2003 Città Metropolitana di Torino adottava un contratto del tutto simile a quello attualmente in vigore per il Comune di Torino. A partire dal contratto relativo al quinquennio 2004-2009, sono state introdotte delle soglie di consumo, calcolate come specificato di seguito, che stabilivano i valori massimi di consumo per ogni edificio a partire dall'analisi dei dati storici. Tutti i contratti stipulati per gli anni successivi al 2009, fino al 2016 (anno in cui è entrato in vigore il contratto attualmente attivo, vedasi paragrafo successivo), hanno mantenuto tale aspetto. Nella spiegazione dei valori di soglia si farà riferimento al contratto dell'anno 2015/16 e a quello relativo al periodo 2004-2009 ma, ai fini di questo lavoro, possono considerarsi inclusi nel ragionamento tutti i contratti relativi al periodo 2004-2016, per quanto descritto nelle righe precedenti.

Innanzitutto, si intendono per condizioni "convenzionali", quelle relative ai Gradi Giorno convenzionali e ad una durata convenzionale di accensione degli impianti.

I Gradi Giorno convenzionali, indicati con il simbolo GG_c, possono essere quelli stabiliti dal D.P.R. 412/93 o quelli relativi ad una stagione di riferimento precisa. La durata convenzionale di riscaldamento, indicata con il simbolo D_c , rappresenta le ore convenzionali di erogazione di ogni impianto, dipendenti essenzialmente dalla destinazione d'uso dell'edificio in questione.

Il consumo convenzionale, Q_c, rappresenta il fabbisogno massimo di energia erogata dal generatore di calore che, nelle suddette condizioni convenzionali si ritiene non debba essere superata per garantire le condizioni di comfort ambientale previste dal contratto. Tale valore di consumo è stabilito a partire dall'analisi dei dati storici di consumo al momento della definizione del contratto [21]. Il consumo convenzionale è cosi definito per ogni edificio oggetto del contratto.

Al termine della stagione di riscaldamento, si calcolano le soglie limite di consumo reale, riferite all'energia prodotta dal generatore, in base ai Gradi Giorno reali della stagione e alla durata effettiva di erogazione [22]:

$$Q_{vla} = Q_c * \frac{GG}{GG_c} * \frac{D}{D_c} \tag{18}$$

Il valore reale di consumo misurato, indicato con Q, viene confrontato con il valore di soglia (formula 18) per ogni edificio; se il consumo effettivo supera la soglia massima, si considera, ai fini della contabilizzazione e della fatturazione, il valore di soglia stesso. Il valore Q_{vla} è il massimo consumo a cui il fornitore potrà applicare la fatturazione. Inoltre, deve essere verificata, sull'insieme degli edifici, la seguente condizione [23]:

$$\sum (Q * F_1 * F_2 * F_3) \leq \sum Q_{vla} \tag{19}$$

I fattori moltiplicativi del consumo effettivo tengono conto dei seguenti aspetti:

- F_1 → correzione connessa all'efficacia della gestione del singolo sistema impiantistico
- F_2 → correzione connessa all'affidabilità del sistema di contabilizzazione dell'energia termica
- F_3 → correzione connessa al mantenimento dell'efficienza energetica relativa all'intero patrimonio edilizio

I fattori sopraindicati sono definiti in modo da premiare il fornitore nel caso in cui mantenga i consumi al di sotto della soglia prestabilita o di penalizzarlo in caso contrario.

Si specifica che, ai fini della contabilizzazione dei consumi, si considera come "anomalo" un rendimento di generazione medio annuo che ricada in uno dei seguenti casi:

- Caldaia tradizionale : $\eta_{gn} > 0{,}90$
- Caldai a condensazione : $\eta_{gn} > 1{,}01$

Il fattore F_1, che non si applica nel caso di impianti allacciati al teleriscaldamento o il cui rendimento di generazione risulti anomalo, secondo quanto appena specificato, è definito come segue [23]:

$$F_1 = 1 + 0{,}2 * \left[\frac{Q_{vla} - Q}{Q}\right] \tag{20}$$

Per la determinazione del valore di Q da inserire nella formula si segue la seguente logica:

- $Q > Q_{vla} \rightarrow Q = Q_{vla}$
- $Q \leq Q_{vla} \rightarrow Q = Q$

Se il fornitore riesce a mantenere il valore del consumo effettivo sotto la soglia stabilita, il fattore correttivo F_1 diventa maggiore di 1, ed aumenta dunque il consumo che il fornitore può fatturare all'amministrazione; al contrario, il fattore correttivo appena descritto resta pari a 1 e non influisce sul consumo da usare ai fine del calcolo del corrispettivo per quell'edificio.

Il fattore correttivo F_2, che non si applica nei casi specificati per il primo fattore, è calcolato come descritto di seguito; innanzitutto si definisce "Indice di Affidabilità – IA" del sistema di contabilizzazione, il rapporto tra la somma delle energie primarie risultate anomale, secondo quanto detto in precedenza per i rendimenti di generazione, e la somma di tutte le energie primarie degli impianti in questione.

Se il valore di *IA* è maggiore o uguale al 12 %, cioè se più del 12 % di impianti presenta anomalie di contabilizzazione, il fattore correttivo F_2 risulterà inferiore a 1, costituendo dunque una penalità per il fornitore [23]:

$$F_2 = 1 + 0{,}2 * \left[\frac{1}{0{,}88 + IA} - 1\right] \tag{21}$$

Se il valore di IA è invece uguale o inferiore al 5 %, si calcola il fattore correttivo sempre con la formula 21, ma il suo valore sarà maggiore o uguale a 1, costituendo dunque un

premio per il fornitore. Per i valori dell'Indice di Affidabilità compresi tra le percentuali indicate, si considera F_2 pari a 1.

Indicando con la lettera E l'energia primaria, cioè quella in ingresso al generatore di calore, si definisce il coefficiente F_3 come segue [23]:

$$F_3 = 1 - \left[\frac{\sum E - 1{,}11 * \sum Q_{vla}}{\sum E}\right] \tag{22}$$

Se la somma dell'energia complessivamente fornita agli impianti supera la soglia limite complessiva, posta pari a 1,11 volte la somma dei valori limite per ogni edificio, il valore di F_3 sarà inferiore a 1, costituendo una penalità per il fornitore.

Il consumo fatturato all'amministrazione è quello effettivo che viene corretto con i tre coefficienti sopra descritti. Il vantaggio di un tale sistema, per il fornitore, consiste nella contabilizzazione di un consumo maggiore di quello effettivo, che si traduce in un maggior guadagno economico, qualora mantenga i consumi al di sotto dei valori limite.

Il vantaggio per l'amministrazione è il mantenimento dei consumi sotto i valori di soglia e la presenza di un importo massimo che può essere fatturato dal fornitore. Il fornitore, che si occupa dell'approvvigionamento del combustibile, anticipandone i costi, è dunque incentivato a ridurre i consumi poiché ne ricaverebbe un maggior guadagno economico.

5.3 Città Metropolitana di Torino – CONSIP SIE 3

A partire dal 01/09/2016, Città Metropolitana utilizza un contratto di fornitura energetica diverso da quelli descritti precedentemente; tale contratto, che ha una durata di sei anni, è stato stipulato con la ditta aggiudicataria (o "Assuntore") della gara d'appalto corrispondente indetta da Consip S.P.A [24].

L'affidamento del Servizio Integrato Energia comprende i seguenti servizi:

- Servizio Energia "A"
- Servizio Energetico Elettrico "B"
- Servizio Tecnologico Climatizzazione Estiva "C"
- Servizio Tecnologico Impianti Elettrici "D"
- Servizio Energy Management "E"
- Servizi di Governo "F"

In particolare, il Servizio Energia "A", che deve per forza essere uno dei servizi richiesti dall'amministrazione, si riferisce agli impianti atti alla climatizzazione invernale e a quelli atti alla produzione di fluidi caldi. Il servizio prevede che l'Assuntore svolga, tra le altre, le seguenti attività [24]:

- Fornitura di energia
- Gestione e conduzione degli impianti
- Manutenzione ordinaria e straordinaria degli impianti
- Servizio di Energy Management "E"

Tali attività sono ricompensate all'Assuntore attraverso il pagamento di un canone forfettario annuo, come specificato di seguito. I seguenti servizi devono essere svolti al fine di garantire le condizioni di comfort (temperatura interna dei locali, ore di comfort...) dettate da Città Metropolitana perseguendo obiettivi di riduzione dei consumi e risparmio energetico. In particolare, il Servizio di Energy Management rende obbligatorio il monitoraggio dei consumi e la redazione di diagnosi e certificazioni energetiche per ogni edificio oggetto del contratto.

A differenza di quanto specificato per il contratto riferito al Comune di Torino, dove è compito dell'amministrazione fornire una stima dei consumi annuali, in questo caso, l'Assuntore, prima dell'avvio effettivo del periodo contrattuale, effettua un "Audit Preliminare di Fornitura" in cui recupera i dati storici di consumo, individua potenziali opportunità di risparmio energetico e stabilisce un programma di misurazione e controllo dei consumi.

L'offerta economica che l'Assuntore presenta all'amministrazione contraente, dichiarata nel PTE (Piano Tecnico Economico), deve contenere il preventivo di spesa in base ai servizi richiesti e, tra le altre cose, gli interventi di riqualificazione energetica che si intende effettuare sugli edifici, con annesso il presunto risparmio ottenibile.

5.3.1 Obiettivi di risparmio energetico

Uno dei punti di forza del contratto analizzato in questo paragrafo è l'individuazione di obiettivi di risparmio energetico che devono essere raggiunti dall'Assuntore, pena il pagamento di ammende pecuniarie. All'atto della formulazione del PTE, l'Assuntore si

impegna ad effettuare gli interventi di riqualificazione dichiarati e a raggiungere risparmi energetici secondo la procedura indicata di seguito [24].

Per ogni edificio, si definisce il Risparmio Energetico Atteso, identificato con il simbolo RE_{Ak} e riferito all'energia primaria consegnata agli impianti, come stabilito dalla seguente relazione:

$$RE_{Ak} = RE_{pij} * J_{PKST} \tag{23}$$

- RE_{pij} è la percentuale di risparmio per ogni edificio, dichiarata in sede di offerta tecnica ed economica dall'Assuntore
- J_{PKST} è il consumo di energia primaria standard, ovvero nelle modalità di funzionamento richieste dall'amministrazione e riferito alle condizioni climatiche standard (GG del D.P.R. 412/93)

Il risparmio energetico atteso per l'insieme degli edifici è la somma dei risparmi attesi per ogni edificio:

$$RE_A = \sum_{k=1}^{n} RE_{Ak} \tag{24}$$

La sommatoria è estesa a tutti gli edifici oggetto del contratto, il cui numero è identificato con la lettera *n*.

Il risparmio energetico reale, conseguente alla realizzazione di interventi di riqualificazione energetica su un numero di edifici pari ad almeno un terzo di quelli totali, è calcolato secondo quanto descritto di seguito:

$$RE_{Rl} = J_{Pl} - J_{PRl} \tag{25}$$

- J_{pl} è il consumo energetico calcolato rispetto alle condizioni reali di funzionamento e nelle condizioni climatiche reali della stagione considerata
- J_{PRl} è il consumo effettivamente misurato nella stagione considerata

Il risparmio energetico reale conseguito dagli edifici su cui sono stati effettuati interventi di riqualificazione energetica è il seguente:

$$RE_R = \sum_{l=1}^{m} RE_{Rl} \tag{26}$$

La sommatoria è estesa agli edifici riqualificai, il cui numero è identificato con *m*.

Nel caso in cui il risparmio energetico reale fosse, per la stagione in esame, inferiore al risparmio energetico atteso, l'Assuntore sarebbe obbligato al pagamento di una penale, secondo quanto specificato al capitolo 13 dell'Allegato Tecnico del contratto [24].

5.3.2 Definizione dei corrispettivi

Il corrispettivo annuo dovuto da Città Metropolitana all'Assuntore è calcolato sulla base di un canone forfettario relativo ad ognuno dei servizi indicati all'inizio del paragrafo 5.3.

Nell'ambito di questo lavoro, ci si concentra soltanto sulla definizione del canone relativo al Servizio Energia A.

Il canone per il servizio energia, indicato con C_A ed espresso in €, è dato dalla somma di due componenti [24]:

$$C_A = E_A + M_A \tag{27}$$

La componente E_A è relativa alla contabilizzazione dell'energia utilizzata per garantire gli obiettivi stabiliti dall'amministrazione; l'altra componente costituisce la remunerazione relativa alla gestione, conduzione e manutenzione degli impianti.

La componente $E_{A,k}$ di ogni edificio viene determinata all'atto della presentazione del PTE: ci si riferisce al consumo energetico standard di ogni edificio (J_{PKST}) e si applica un prezzo unitario espresso in *€/kWh*, denominato PU_{Ai}, definito in sede di offerta economica.

Poiché il contratto è valido per sei anni, sono previste delle variazioni stagionali al consumo da fatturare, che considerano i seguenti casi:

- Variazione del consumo energetico per ore di comfort – $\Delta J_{ORE\text{-}k}$
- Variazione del consumo energetico per stagionalità – $\Delta J_{ST\text{-}k}$
- Variazione del consumo energetico per variazione volumetria – $\Delta J_{V\text{-}k}$
- Riduzione del consumo energetico per coefficiente di condivisione - $\Delta J_{\alpha\text{-}k}$

Il consumo relativo ad ogni stagione e ad ogni edificio è il seguente [24]:

$$J_{PK} = J_{PKST} + \Delta J_{ORE,k} + \Delta J_{ST,k} + \Delta J_{V,k} - \Delta J_{\alpha,k} \tag{28}$$

La componente relativa all'energia è dunque contabilizzata come segue:

$$E_A = \sum_{k=1}^{n} (J_{PK} * PU_{Ai}) \tag{29}$$

Il costo relativo all'energia varia stagionalmente rispetto a quello definito alla stipula del contratto a causa delle variazioni delle ore di funzionamento, dei Gradi Giorno reali della stagione e della volumetria riscaldata; inoltre, l'Assuntore può diminuire il consumo da fatturare se riconosce dei meriti all'amministrazione nel raggiungimento di una parte del risparmio energetico ottenuto (coefficiente di condivisione), come stabilito nel capitolato tecnico del contratto.

La componente relativa alla manutenzione è stabilita all'interno del PTE in base alla consistenza degli impianti e alla valutazione dei vari elementi che compongono i sistemi impiantistici.

L'adesione alla convenzione CONSIP SIE 3, ha rappresentato un ulteriore passo effettuato da Città Metropolitana verso la gestione energetica ottimale dei suoi edifici.

Nel paragrafo successivo si riporta una stima dei risparmi energetici ed economici derivanti dai vari cambi di tipologia di contratto effettuati da Città Metropolitana.

5.4 Stima dei risparmi conseguenti ai cambi di contratto

Partendo dai dati storici di consumo degli edifici di Città Metropolitana, si è provato a stimare le percentuali di risparmio, energetico ed economico, ottenibili dal cambio di tipologia di contratto e ad applicarle ai consumi del Comune di Torino. Si riassumono di seguito le tipologie di contratto per la fornitura energetica utilizzate da Città Metropolitana negli ultimi 20 anni circa.

- Fino al 2004 → Fatturazione in base a consumo effettivamente misurato (simile al contratto descritto nel paragrafo 5.1)
- Dal 2004 al 2016 → Fatturazione che tiene conto delle soglie massime di consumo (paragrafo 5.2)
- Dal 2016 al 2022 → CONSIP SIE 3 (paragrafo 5.3)

Il primo passo è stato quello di stimare i risparmi energetici ottenuti nel passaggio dal contratto attivo fino al 2004 a quello in cui venivano applicate le soglie massime di consumo.

A tale scopo, è stato necessario procurarsi i consumi degli edifici di Città Metropolitana relativi agli anni in cui erano attivi i contratti sopracitati. I consumi antecedenti al 2004, in particolare è stato possibile risalire a quelli della stagione 2002/03, sono stati ricavati da una relazione del Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino commissionata dalla Provincia di Torino [25]. Tale documento, fornito in forma cartacea da Città Metropolitana di Torino, conteneva i seguenti dati, relativi ad ogni edificio di competenza e all'anno 2002/03:

- Volume lordo riscaldato
- GG reali della stagione 2002/03
- Rendimento medio di generazione del calore
- Ore annuali reali di occupazione in condizione di comfort
- Ore convenzionali annuali di occupazione in condizione di comfort
- Consumi di energia primaria annuali, espressi in Sm^3 di metano o *Litri* di gasolio

Per quanto riguarda i consumi degli edifici riferiti al nuovo contratto, cioè quello con l'inserimento delle soglie di consumo, è stato possibile risalire ai consumi convenzionali di energia secondaria (a valle del generatore di calore) per l'anno 2004/05 [21]. I consumi convenzionali sono riferiti alle ore di occupazione convenzionali, cosi come definite dalla relazione a cui si è fatto riferimento [21], e ai Gradi Giorno convenzionali, definiti dal D.P.R. 412/93. Poiché non è stato possibile ricavare informazioni circa le ore reali di funzionamento, i volumi lordi riscaldati, i rendimenti di generazione e i consumi di energia primaria per l'anno 2004/05, si è deciso di riferire i consumi reali della stagione 2002/03 alle condizioni convenzionali stabilite per il 2004/05, al fine di poter procedere ad un confronto tra i dati di consumo.

Il confronto è stato effettuato considerando gli stessi edifici e si è fatta l'ipotesi che il volume lordo riscaldato di ogni edificio fosse rimasto pressoché uguale; tale ipotesi è giustificabile poiché le stagioni considerate sono vicine nel tempo e, in ogni caso, le eventuali variazioni di volume sono state ritenute trascurabili rispetto al volume stesso. A parte la stipula del nuovo contratto, non sono stati effettuati interventi di riqualificazione nel periodo compreso tra le due stagioni considerate. Il numero di edifici a cui si è fatto riferimento è pari a 108.

Si riporta di seguito la formula usata, per ogni edificio, per riferire i consumi di energia primaria della stagione 2002/03 alle condizioni convenzionali relative alla stagione 2004/05:

$$Q_{conv,2002/03} = \left(C_{comb} * H_i * \eta_{gn}\right) * \frac{GG_{DPR}}{GG_{2002/03}} * \frac{h_{conv,2004/05}}{h_{2002/03}} \qquad (30)$$

- C_{comb} è il consumo di combustibile della stagione 2002/03, espresso in Sm^3 o L
- H_i è il potere calorifico inferiore del combustibile
- η_{gn} è il rendimento medio di generazione riferito alla stagione 2002/03
- GG_{DPR} sono i Gradi Giorno convenzionali di ogni località, definiti dal D.P.R. 412/93
- $GG_{2002/03}$ sono i Gradi Giorno reali della stagione 2002/03
- $h_{conv,2004/05}$ sono le ore convenzionali di occupazione per la stagione 2004/05
- $h_{2002/03}$ sono le ore reali di occupazione per la stagione 2002/03

Il consumo di ogni edificio così ottenuto è stato confrontato con quello relativo alla stagione 2004/05, riferito alle stesse condizioni convenzionali. Per ogni edificio è stato calcolato il risparmio assoluto, il risparmio per unità di volume e il risparmio percentuale; sono stati esclusi gli edifici con risparmi percentuali ritenuti non corretti.

Si riporta di seguito una tabella indicante i valori mediani di risparmio ottenuti; si è scelto di utilizzare la mediana dei dati per rendere meno influente la presenza di eventuali dati anomali.

Tabella 29- Valori mediani di risparmio ottenuti

Risparmio - mediana	
MWh	155
kWh/m³	11,9
%	28%

Il risparmio energetico conseguente all'inserimento del tetto massimo all'interno del contratto di fornitura energetica può essere stimato intorno al 28 % . Il valore calcolato si riferisce all'energia in uscita dal generatore di calore; tuttavia, il risparmio di energia primaria, se si suppongono i rendimenti di generazione costanti, è proporzionale al risparmio di energia calcolato.

Il risparmio derivante dall'applicazione della convenzione CONSIP SIE 3 è di pura natura economica e la sua stima è stata ricavata direttamente da Città Metropolitana prima di aderire alla convenzione suddetta. Si riportano i dati utilizzati dall'ente per effettuare la stima.

Tabella 30- Importi fornitura energetica per l'anno 2015/16, (Fonte: Città Metropolitana di Torino)

Gara Città Metropolitana di Torino - stagione anno 2015/16			
	Importo a base d'asta	**Oneri per la sicurezza**	**TOTALE**
Fornitura di combustibile	€ 5.758.980,82	€ 28.794,91	€ 5.787.775,73
Teleriscaldamento	€ 1.362.312,14	€ 6.811,56	€ 1.369.123,70
TOTALE MATERIA PRIMA COMBUSTIBILE			€ 7.156.899,43
Quota servizi	€ 1.400.377,40	€ 14.003,77	€ 1.414.381,17
Manutenzione aperta	€ 500.000,00	€ 25.000,00	€ 525.000,00
IMPORTO COMPLESSIVO			**€ 9.096.280,60**

La tabella appena riportata indica i costi stimati da Città Metropolitana per la fornitura del servizio energetico per l'anno 2015/16; la voce "Fornitura di combustibile" comprende tutte le tipologie di combustibile utilizzate negli impianti di competenza dell'ente. Vengono considerate nel bilancio economico anche la "quota servizi" e la "manutenzione aperta", il cui significato è riportato di seguito [22]:

- Manutenzione aperta → consiste nell'esecuzione di lavori non compresi nelle attività di manutenzione ordinaria, programmata e straordinaria. Ad esempio, comprende gli interventi di adeguamento normativo sugli impianti
- Quota servizi → è la quota del corrispettivo che copre l'esercizio e la manutenzione degli impianti

L'importo complessivo citato in tabella è stato confrontato con la stima dell'importo relativo all'anno successivo, in cui Città Metropolitana ha aderito alla convenzione CONSIP SIE 3:

Tabella 31- Importi CONSIP SIE 3, (Fonte: Città Metropolitana di Torino)

Convenzione CONSIP SIE 3 - stagione 2016/17	
	Canone annuo
Servizio "A" - Quota energia (E_A)	€ 7.446.797,11
Servizio "A" - Quota manutenzione (M_A)	€ 2.669.063,17
Servizio "C" - Quota manutenzione (impianti di climatizzazione)	€ 286.474,96
QUOTA MANUTENZIONE	€ 2.955.538,13
CANONE OMNICOMPRENSIVO CONSIP SIE 3	**€ 10.402.335,24**

L'importo totale stimato per l'anno 2016/17 è superiore rispetto a quello illustrato per l'anno precedente; tuttavia, in tabella 30, non si tiene conto di una serie di servizi aggiuntivi previsti dalla convenzione SIE 3, i cui importi vanno dunque sottratti al canone annuo totale.

Tabella 32- Offerte aggiuntive CONSIP SIE 3, (Fonte: Città Metropolitana di Torino)

Equiparazione contenuti offerte	Costo annuo
Opere di efficientamento energetico	€ 1.200.000,00
Fornitura integrale di nuovo TLC su tutto il parco edilizio di Città Metropolitana di Torino	€ 300.000,00
Manutenzione straordinaria "Full risk"	€ 200.000,00
Plus di progetto	€ 50.000,00
Servizio di Energy Management (E) e di governo (F)	€ 200.000,00
TOTALE DA STORNARE	**€ 1.950.000,00**

Il contratto SIE 3 prevede lo stanziamento di fondi per la realizzazione di opere di efficientamento energetico; inoltre, è prevista anche l'installazione di un nuovo sistema di telecontrollo (TLC) su tutti gli edifici dell'ente.

Sottraendo l'importo appena indicato dal canone omnicomprensivo, il confronto economico equiparato tra le due tipologie di contratto è il seguente:

Tabella 33- Confronto economico contratti, (Fonte: Città Metropolitana di Torino)

	Gara 2015/16	CONSIP SIE 3
Importo annuo equiparato	€ 9.096.280,60	€ 8.452.335,24
Delta importo annuo	€ 643.945,36	
	7,1%	

L'adesione alla convenzione CONSIP SIE 3 ha causato un risparmio economico di circa il 7 % per Città Metropolitana di Torino.

Considerati i risparmi ottenuti da Città Metropolitana di Torino in seguito ai cambi di tipologia di contratto, si è provato a stimare i potenziali risparmi ottenibili dal Comune di Torino se cambiasse il contratto di fornitura attualmente in uso.

Si avevano a disposizione le fatture relative all'anno 2017/18 per i consumi di gas naturale e di energia da teleriscaldamento per tutti gli edifici del Comune di Torino, fornite dall'Ufficio di Energy Management dell'ente. La tabella seguente riporta una stima dei

consumi e dei costi relativi a tutti gli edifici; sono stati inseriti soltanto i consumi relativi al servizio di riscaldamento.

Tabella 34- Consumi e costi complessivi per riscaldamento del 2017/18, (Fonte: Comune di Torino)

	Stagione 2017/18 - Comune di Torino	
	Consumo [MWh]	**Costo [€]**
Gas naturale	73.853	€ 5.454.529,83
TLR	119.832	€ 7.951.280,11
TOT	**193.685**	**€ 13.405.809,94**

Se il Comune di Torino decidesse di adottare un contratto con delle soglie massime di consumo, si potrebbe ipotizzare di applicare la percentuale di risparmio calcolata per Città Metropolitana, indicata in tabella 28, ai consumi indicati in tabella 33, per avere una stima dei potenziali risparmi ottenibili dal Comune. I risparmi sono stimati in base ai consumi della stagione 2017/18 perché è quella di cui si avevano a disposizione i dati.

Tabella 35- Risparmi ipotetici dopo l'applicazione del contratto con soglie di consumo

	Risparmi ipotetici con soglie di consumo - Comune di Torino	
	Risparmio energetico [MWh]	**Risparmio economico [€]**
Gas naturale	20.679	€ 1.527.268,35
TLR	33.553	€ 2.226.358,43
TOT	**54.232**	**€ 3.753.626,78**

Se dopo questo primo cambio di contratto, il Comune aderisse ad una convenzione simile a CONSIP SIE 3, potrebbe ottenere un risparmio economico che, al solo fine di fornire una stima indicativa dell'ordine di grandezza, è stato ipotizzato in base al risparmio percentuale ottenuto da Città Metropolitana (tabella 32); la percentuale citata è stata applicata alla differenza tra il costo totale indicato in tabella 33 e il risparmio totale indicato nella tabella successiva.

Tabella 36- Risparmi ipotetici in seguito ad adesione a convenzione simile a CONSIP SIE 3

	Risparmi ipotetici passando a CONSIP SIE 3 - Comune di Torino	
	Risparmio economico [€]	**Nuovo costo ipotetico [€]**
TOT	€ 675.652,82	€ 8.976.530,34

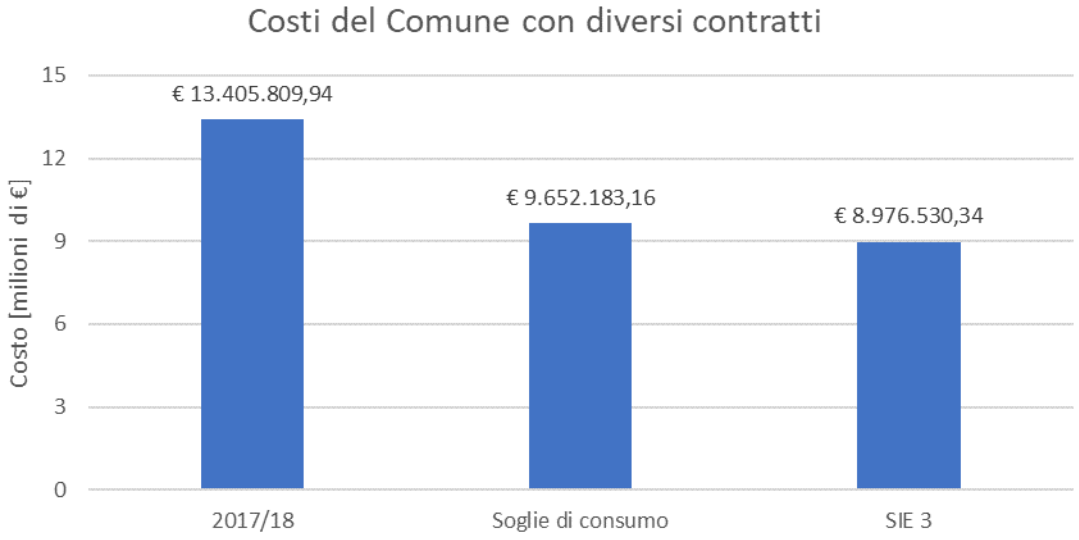


Fig. 74- Stima costi sostenuti dal Comune di Torino con l'applicazione di diversi contratti

I valori indicati per il Comune di Torino vogliono costituire una stima approssimativa dei potenziali risparmi ottenibili in seguito al cambio del contratto attualmente in uso. Considerazioni più approfondite potranno sicuramente fornire informazioni più dettagliate a riguardo, ma ciò che si è voluto evidenziare con la stima portata avanti in questo capitolo è l'importanza che alcuni accorgimenti contrattuali possono avere sul risparmio energetico ed economico per la climatizzazione invernale.

6 Considerazioni finali

Il presente lavoro di tesi ha analizzato i consumi e i risparmi relativi al riscaldamento delle scuole che hanno subito interventi di riqualificazione energetica nell'area della Città Metropolitana di Torino. Tra i servizi energetici presenti all'interno di un edificio, la climatizzazione invernale è sicuramente quello più consistente, quindi la riduzione dei relativi consumi è senz'altro una buona opportunità di risparmio energetico per le amministrazioni pubbliche. L'obiettivo dell'elaborato era quello di quantificare i risparmi reali ottenuti in seguito alla riqualificazione e di capire come alcune variabili caratteristiche dei sistemi edificio-impianto influenzino i consumi termici. Inoltre, si è provato a stimare i risparmi ottenibili in seguito all'applicazione di diverse tipologie di contratti di fornitura energetica.

A tale scopo, sono stati analizzati anzitutto i consumi antecedenti la riqualificazione delle scuole di Città Metropolitana di Torino. Con l'ausilio di grafici a barre sono stati rappresentati i consumi nell'anno di riferimento per le scuole analizzate: il consumo annuo di energia primaria è risultato essere mediamente pari a 845 MWh e il consumo specifico medio annuo è risultato pari a 26,3 kWh/m^3. I consumi dei vari edifici sono stati normalizzati rispetto ai Gradi Giorno e rispetto al volume lordo riscaldato, in modo da poterli rendere confrontabili.

Il consumo di energia per riscaldamento dipende fortemente dal volume lordo riscaldato, come dimostrato dal grafico in figura 28. Gli istituti tecnici, a parità di volume lordo riscaldato, sembrano presentare consumi maggiori rispetto ai licei (figura 29), probabilmente a causa della presenza di numerosi laboratori e di un numero maggiore di ore di occupazione dei locali. Considerando gli istituti misti tra i licei, la correlazione dei consumi con il volume lordo riscaldato è risultata migliore (figura 30), probabilmente a causa del maggior volume destinato al liceo rispetto a quello destinato all'istituto tecnico.

Si è provato poi a stabilire le relazioni esistenti tra i consumi normalizzati per riscaldamento e le grandezze che presumibilmente si ritengono più influenti, riassunte nell'elenco di seguito:

- Rapporto di forma , S/V
- Ore di accensione settimanale degli impianti
- Epoca di costruzione

- Rendimento del sistema di generazione
- Distanza dal centro (per gli edifici a Torino)
- Presenza di una palestra

Il modello energetico costruito, basato sulla definizione di un punteggio totale che considerasse la sovrapposizione degli effetti delle diverse variabili (formula 10), ha permesso di identificare, seppur in maniera approssimativa, quali fossero le variabili più influenti sui consumi per riscaldamento. Il modello è stato applicato dapprima all'insieme degli edifici di Città Metropolitana: dall'analisi dei coefficienti relativi a ciascuna variabile, è emerso che il rapporto S/V sembra essere la grandezza più importante nella determinazione dei consumi (tabella 9). . Le scuole con rapporto di forma maggiore di quello medio tendono ad avere consumi specifici normalizzati più alti, come ci si aspetta dalla teoria dell'energetica dell'edificio. Gli edifici costruiti prima del 1976, inoltre, presentano consumi maggiori a causa delle scarse prestazioni dell'involucro edilizio, sprovvisto di qualsiasi tipo di isolamento. Non sono state rilevate correlazioni dei consumi con i rendimenti di generazione; ciò potrebbe indicare una maggior importanza del comportamento dell'utente rispetto alle effettive prestazioni dell'impianto.

Sono stati poi considerati separatamente gli istituti tecnici e i licei, poiché, come illustrato in precedenza, è ragionevole pensare che le due tipologie di scuole presentino caratteristiche dei locali e profili di occupazione differenti. La correlazione del punteggio totale con i consumi normalizzati, per i soli istituti tecnici, è risultata essere migliore rispetto al caso comprendente tutti gli edifici: le ore di accensione settimanali degli impianti sembrano influire sui consumi di energia primaria più dell'epoca di costruzione e del rapporto di forma (tabella 10). Per i licei, l'unica variabile che sembra avere un peso nella determinazione dei consumi è l'epoca di costruzione.

La bontà delle correlazioni individuate è influenzata dal basso numero di edifici che si avevano a disposizione e dall'ampia variabilità dei dati; se da un lato si è provato a raggruppare tra loro edifici più simili, per escludere un maggior numero di variabili dalla trattazione, dall'altro, la suddivisione del campione originale in parti ancora più piccole avrebbe causato la totale inaffidabilità dei risultati ottenuti.

L'analisi dei consumi delle scuole del Comune ha permesso di focalizzarsi sull'importanza delle prestazioni dell'involucro edilizio, oltre che di quelle dell'impianto, nella determinazione dei consumi termici per riscaldamento. Per tali scuole è stato

possibile risalire al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (H'_t) prima della riqualificazione; confrontando i consumi delle sei scuole considerate, si nota come quelle più energivore siano quelle caratterizzate dal più alto coefficiente H'_t, a causa del maggior peso che le perdite per trasmissione hanno rispetto agli altri componenti del bilancio energetico dell'edificio, relativo alla climatizzazione invernale.

La rappresentazione dei consumi sul grafico dei quadranti (figura 49) ha permesso di evidenziare quali fossero gli edifici più critici e di confrontare i consumi delle scuole del Comune con quelli delle scuole di Città Metropolitana.

Gli interventi di riqualificazione impiantistica effettuati sulle scuole di Città Metropolitana hanno consentito di raggiungere un risparmio percentuale medio di energia pari a circa il 30 %, con uno scostamento medio da tale valore di circa l' 8 %. La maggior parte degli edifici di Città Metropolitana ha conseguito risparmi che si discostano dal risparmio medio di un valore minore del 15 %, come evidenziato in figura 59. Gli unici edifici con un risparmio inferiore di più del 15 % da quello medio sono le scuole 168 e 145. Tali risultati possono considerati soddisfacenti se si pensa al basso numero di edifici inclusi nell'analisi.

Il nuovo consumo medio annuo dell'insieme degli edifici analizzati per Città Metropolitana è risultato pari a 617 MWh e il nuovo consumo specifico medio pari a 19,2 kWh/m^3. Il risparmio economico annuo, stimato dai prezzi unitari dei combustibili forniti da Città Metropolitana, è risultato pari a circa € 325.000. Tale valore si riferisce, tuttavia, ai costi annui evitati dal fornitore per l'approvvigionamento dei combustibili e non al reale risparmio economico per Città Metropolitana, a causa di quanto è previsto nel contratto di fornitura CONSIP SIE 3.

Utilizzando lo stesso metodo descritto per i consumi antecedenti la riqualificazione, sono state determinate le correlazioni tra i risparmi per unità di volume, normalizzati rispetto ai Gradi Giorno, ottenuti dagli edifici di Città Metropolitana e le grandezze citate nell'elenco puntato riportato all'inizio di questo capitolo. Gli edifici che hanno ottenuto i risparmi maggiori sono quelli costruiti prima del 1976; l'epoca di costruzione sembra essere la variabile più determinante sia considerando l'insieme di tutti gli edifici che scindendo gli istituti tecnici dai licei. Anche in questo caso, le correlazioni ottenute sono influenzate dal basso numero di dati e non sono pienamente soddisfacenti.

Presupponendo che tutti gli edifici di Città Metropolitana hanno migliorato il loro sistema di telecontrollo, con riferimento al sistema di generazione, non è stato possibile stabilire quale fosse la tecnologia che garantisse risparmi energetici maggiori, in quanto la quasi totalità delle scuole considerate ha scelto di impiegare generatori di calore a condensazione; l'analisi delle correlazioni sul campione di edifici che ha provveduto all'allacciamento al teleriscaldamento non avrebbe dato risultati attendibili.

Le scuole del Comune di Torino sono state riqualificate anche dal punto di vista dell'involucro, raggiungendo una percentuale media di risparmio di energia primaria pari a circa il 46 %. Gli interventi di riqualificazione globale hanno consentito perciò di ottenere risparmi medi maggiori rispetto a quelli ottenuti dalle scuole di Città Metropolitana; tuttavia è importante sottolineare come, anche in questo caso, il miglioramento impiantistico abbia rappresentato un'importante azione per la riduzione dei consumi. Per tre delle sei scuole, infatti, è stato possible stimare separatamente il risparmio dovuto agli interventi sull'involucro da quello relativo ai miglioramenti impiantistici: come si evince dal grafico in figura 72, la riduzione dei consumi normalizzati sembra essere maggiore in seguito all'allacciamento alla rete di teleriscaldamento e all'installazione di valvole termostatiche. Il risparmio medio percentuale, seppure basato sui dati di tre soli edifici, è risultato essere pari a circa il 26 % per la riqualificazione degli impianti e a circa il 28 % per il miglioramento dell'involucro edilizio. Il valore di risparmio per la parte impiantistica è in linea con quello che è stato ottenuto per gli edifici di Città Metropolitana che, in ogni caso, hanno provveduto all'installazione di un sistema di controllo e regolazione più efficiente rispetto alle sole valvole termostatiche. Il risparmio economico conseguito dal Comune di Torino, in seguito alla riqualificazione di queste sei scuole, è risultato essere pari a circa € 217.000 annui.

Il grafico dei quadranti, riferito alla situazione post-riqualificazione (figura 73), ha permesso di visualizzare i risparmi ottenuti dagli edifici di Città Metropolitana e da quelli del Comune.

Confrontando il risparmio medio ottenuto dalle scuole di Città Metropolitana con i valori ottenuti dagli edifici del Comune, si intuisce come le performance e la corretta gestione degli impianti possano garantire considerevoli risparmi energetici; l'importanza della gestione in tempo reale degli impianti di riscaldamento è resa possibile dall'upgrade del sistema di telecontrollo. Il monitoraggio continuo delle grandezze che influenzano i

consumi per riscaldamento permette di ottimizzare il funzionamento degli impianti, garantendo il mantenimento delle condizioni di comfort e l'individuazione immediata di malfunzionamenti; tale strategia può considerarsi dunque un'azione di risparmio energetico efficiente e di facile implementazione [26].

Infine, l'analisi dei contratti di fornitura energetica ha messo in luce le potenzialità di risparmio derivanti dall'applicazione di una tipologia di contratto che preveda dei limiti riguardanti i consumi energetici. Analizzando i dati storici di consumo relativi agli edifici del parco edilizio di Città Metropolitana, è stato possibile stimare il risparmio ottenibile dall'applicazione di due azioni sui contratti di fornitura:

- Inserimento di soglie massime di consumo
- Contratti pluriennali con obiettivi di risparmio energetico da raggiungere

L'inserimento di soglie massime di consumo, per quanto riguarda Città Metropolitana di Torino (Provincia di Torino, prima del 2016), ha permesso di raggiungere un risparmio di energia primaria di circa il 28 %; l'attuazione del contratto SIE 3, inoltre, si è tradotta in un risparmio economico annuo di circa il 7 %.

Il Comune di Torino, il cui contratto di fornitura prevede semplicemente la fatturazione dei consumi misurati, potrebbe risparmiare all'incirca € 3.750.000 all'anno semplicemente inserendo delle soglie massime di consumo per riscaldamento. Inoltre, adottando una tipologia di contratto con validità pluriennale e ponendo degli obiettivi di risparmio energetico da raggiungere, potrebbe ridurre ulteriormente la spesa per la climatizzazione invernale dei suoi edifici di circa € 680.000.

Poiché il cambio di contratto può essere considerato un'azione di efficientamento energetico a costo quasi nullo, potrebbe rappresentare una grossa opportunità di risparmio energetico ed economico per le pubbliche amministrazioni con contratti più tradizionali. Le misure con costi di investimento molto bassi, come il cambio di contratto di fornitura, o il monitoraggio continuo delle grandezze influenzanti i consumi termici per riscaldamento, possono rappresentare sicuramente un primo passo verso la riduzione dei consumi e dei costi per le amministrazioni; tuttavia, è necessario intervenire anche sugli impianti e sull'involucro edilizio, soprattutto per gli edifici costruiti in epoche meno recenti, come la maggior parte di quelli italiani. L'installazione di fonti rinnovabili relative al riscaldamento o alla produzione di acqua calda sanitaria, non effettuate sugli edifici considerati in questa tesi, potrebbe ridurre ulteriormente i consumi di combustibili

fossili e il costo sostenuto dalla Pubblica Amministrazione per la spesa energetica degli edifici.

Il lavoro presentato in questa tesi è solo un punto di partenza per l'analisi delle azioni di efficientamento energetico relative agli edifici pubblici. L'accuratezza dei risultati ottenuti potrebbe essere migliorata se si avessero a disposizione dati più dettagliati per gli edifici del Comune e di Città Metropolitana; un maggior numero di edifici da analizzare e un database più ampio di consumi successivi alla riqualificazione, consentirebbe la conduzione di analisi statistiche più rigorose.

Per quanto riguarda la parte relativa ai contratti di fornitura, un interessante sviluppo di quanto già illustrato in questo lavoro, potrebbe riguardare l'applicazione delle misure contrattuali descritte per gli enti pubblici agli edifici residenziali, in modo da stimare i risparmi conseguibili.

RINGRAZIAMENTI

Lo svolgimento di questo lavoro non sarebbe stato possibile senza il prezioso supporto degli enti con cui mi sono interfacciato. Ringrazio pertanto l'Arch. Mario Cicala di Città Metropolitana di Torino e l'Ufficio di Energy Management del Comune di Torino, nella persona dell' Ing. Antonio D'Arpa.

7 Allegati

Si riportano in questa sezione i seguenti allegati:

- Schede edifici Città Metropolitana di Torino
- Schede edifici Comune di Torino
- Consumi reali di energia primaria per la stagione 2002/03 [25], edifici di Città Metropolitana di Torino (all'epoca, Provincia di Torino)
- Consumi convenzionali di energia secondaria per la stagione 2004/05 [21], edifici di Città Metropolitana di Torino (all'epoca, Provincia di Torino)

I.T.C.G. BUNIVA succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.C.G. Buniva
Comune	Pinerolo
Indirizzo	Via dei Rochis, 25
Codice	L1-007-029
Altitudine edificio	370 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2815
Stazione climatica	Pinerolo
Altitudine stazione	340 m
Anno costruzione	1989
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade sistema di telecontrollo

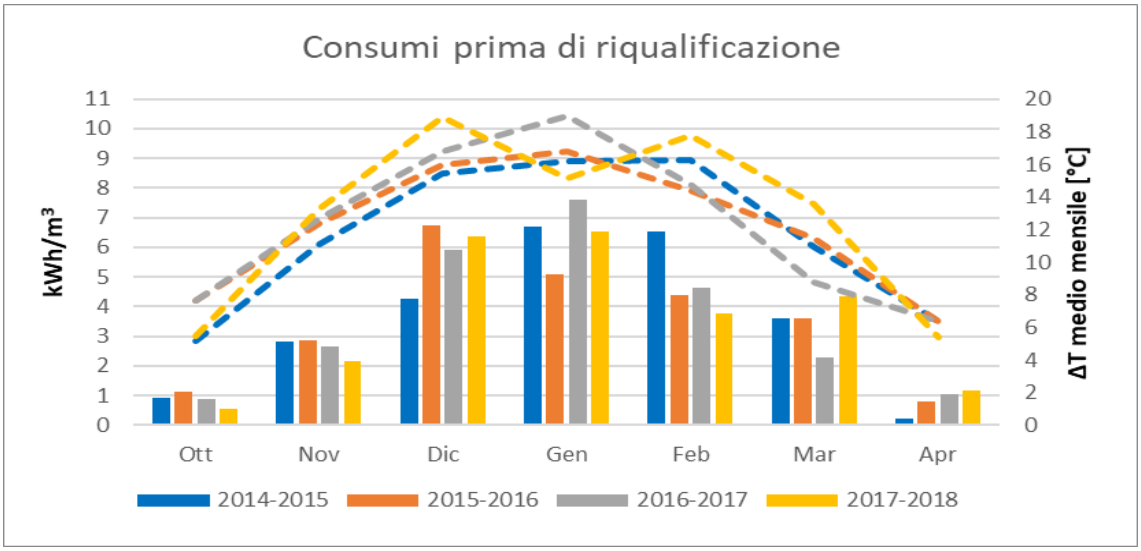
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,851)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

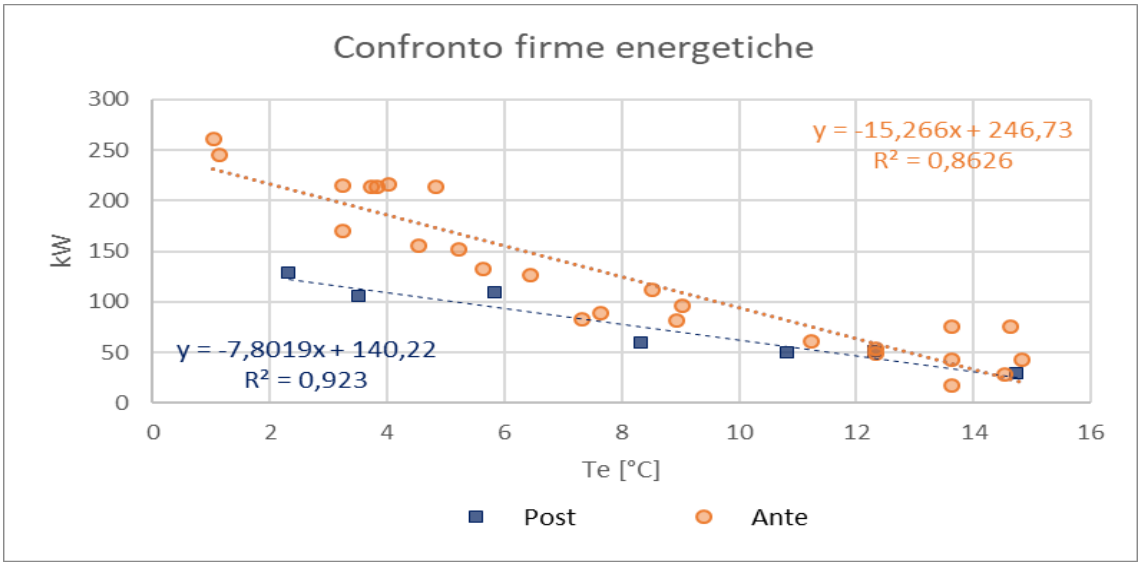
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-13:20 / 14:00-16:45

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	5096,8
A_f [m^2]	1334,1
S/V [m^{-1}]	0,47
n° piani riscaldati	2

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,07
Solaio inferiore	0,89 / 0,96
Solaio superiore	2,14
Copertura	1,17
Serramenti	2,92

Consumi medi annuali (2014-2018)	
127 MWh	24,9 kWh/m^3





I.T.I.S. FERRARI

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.I.S. Ferrari
Comune	Susa
Indirizzo	Via Couvert, 17
Codice	L1-007-038
Altitudine edificio	500 m
Zona climatica	F
GG D.P.R. 412/93	3108
Stazione climatica	Pietrastretta
Altitudine stazione	520 m
Anno costruzione	1900/1970
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

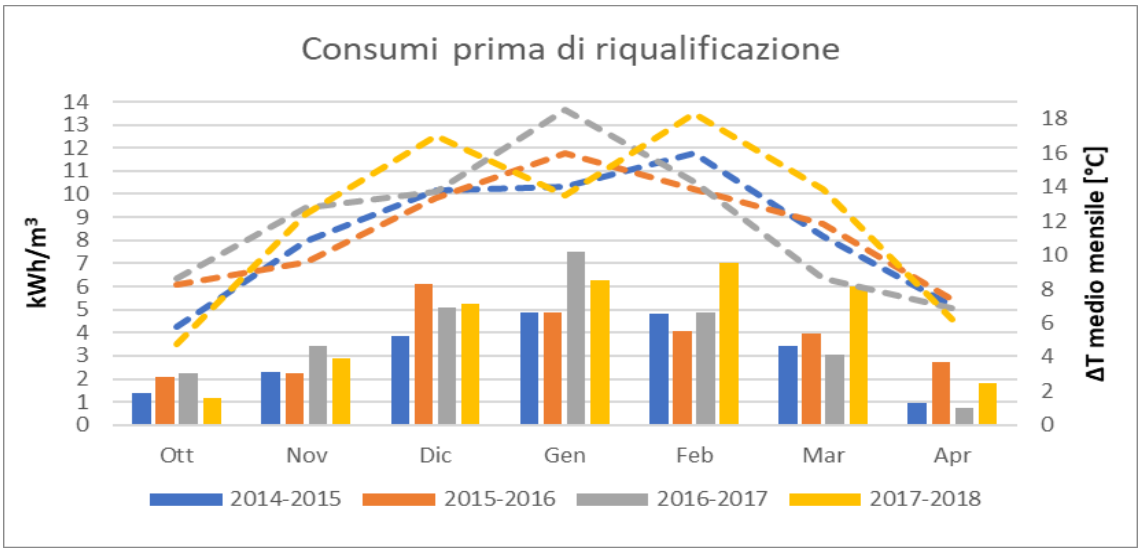
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,854)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

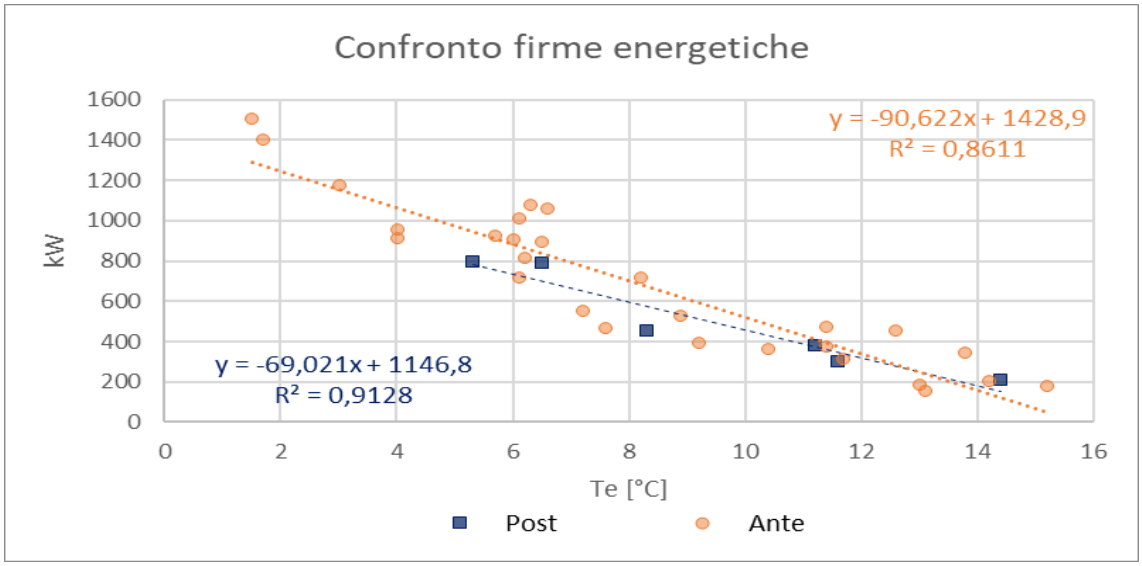
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00 / 17:15-22:50

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	42579,7
A_f [m^2]	8745,5
S/V [m^{-1}]	0,34
n° piani riscaldati	5

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,51 / 0,87 / 1,70
Solaio inferiore	1,3
Solaio superiore	1,69
Copertura	0,43 / 2,62
Serramenti	5,3 / 2,6

Consumi medi annuali (2014-2018)	
1116 MWh	26,2 kWh/m^3





L.S. + L.A. NORBERTO ROSA succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	L.S. + L.A. Norberto Rosa
Comune	Bussoleno
Indirizzo	P.zza Cav. di Vittorio Veneto, 5
Codice	L1-007-005
Altitudine edificio	440 m
Zona climatica	F
GG D.P.R. 412/93	3014
Stazione climatica	Borgone
Altitudine stazione	400 m
Anno costruzione	1998
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

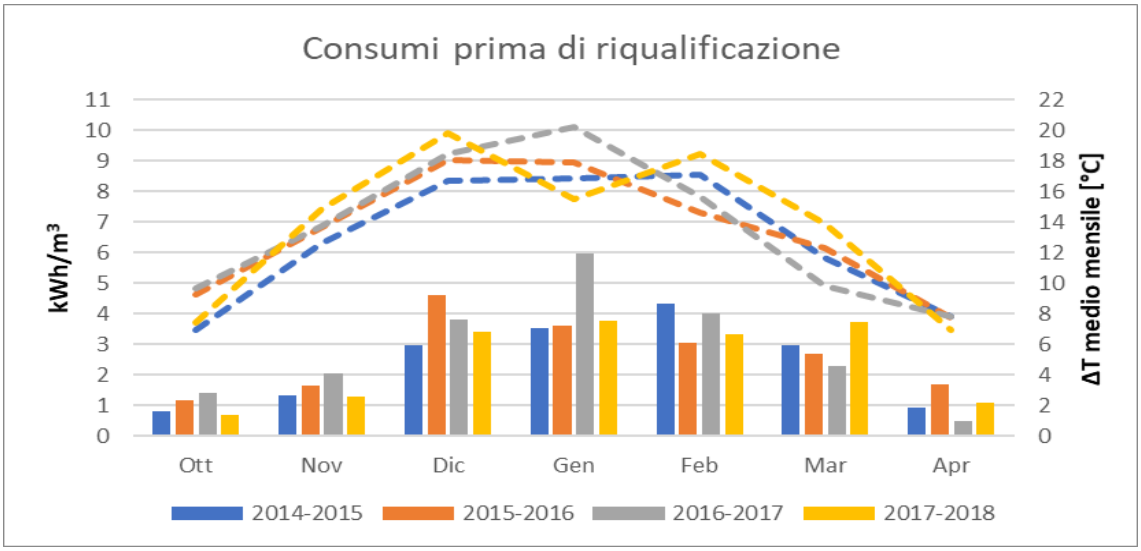
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,896)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

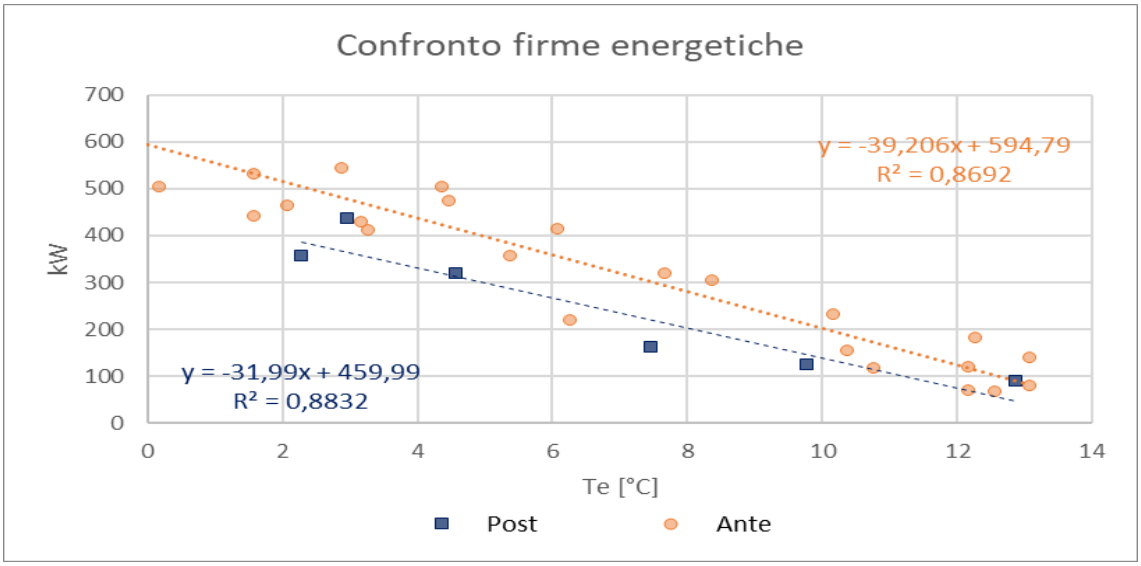
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	07:30-18:30

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	26820,0
A_f [m^2]	5583,9
S/V [m^{-1}]	0,43
n° piani riscaldati	2

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,88
Solaio inferiore	1,3
Solaio superiore	1,95
Copertura	0,89
Serramenti	3,4

Consumi medi annuali (2014-2018)	
488 MWh	18,2 kWh/m^3





L.C. NORBERTO ROSA

DATI GENERALI	
Denominazione	L.C. Norberto Rosa
Comune	Susa
Indirizzo	P.zza Savoia, 19
Codice	L1-007-040
Altitudine edificio	510 m
Zona climatica	F
GG D.P.R. 412/93	3108
Stazione climatica	Pietrastretta
Altitudine stazione	520 m
Anno costruzione	1958
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

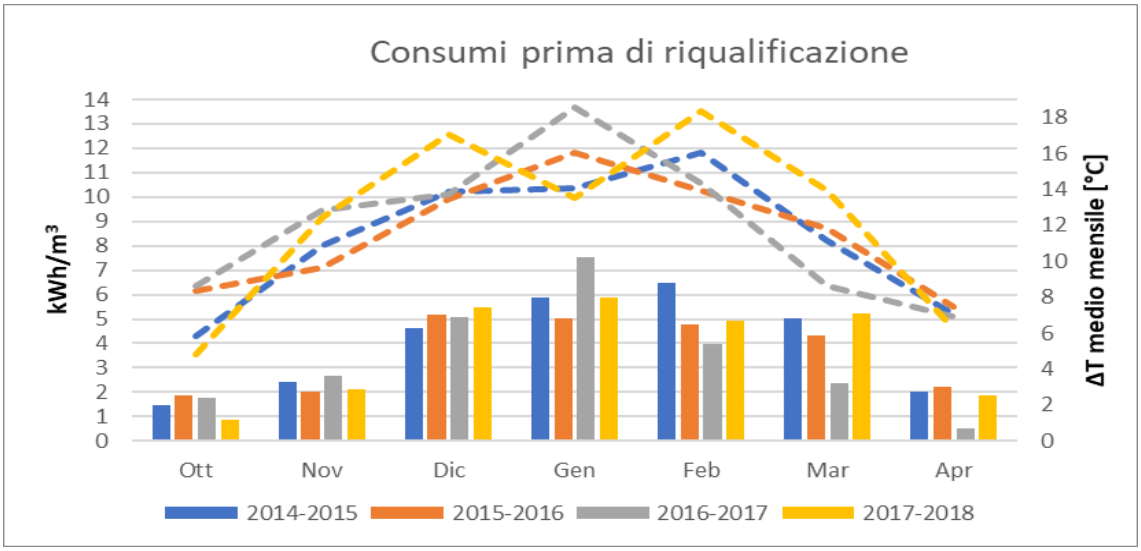
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,84)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

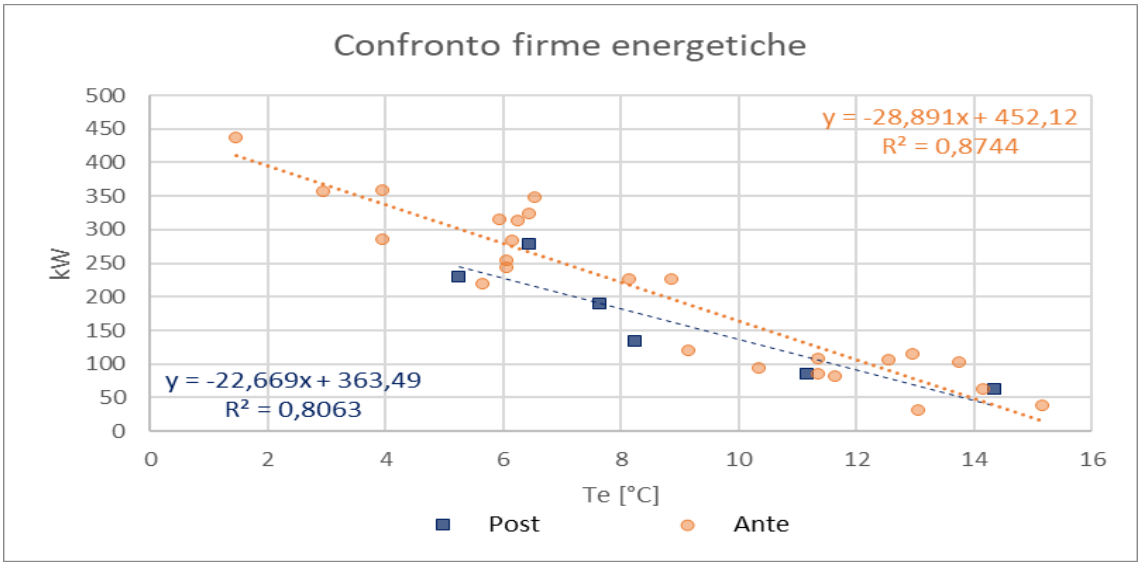
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	07:30-18:30

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	11819,3
A_f [m^2]	2809,0
S/V [m^{-1}]	0,39
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,86
Solaio inferiore	1,38
Solaio superiore	1,77
Copertura	2,2
Serramenti	3,7 / 4,9

Consumi medi annuali (2014-2018)	
305 MWh	25,9 kWh/m^3





L.S. GOBETTI (Juvarra)

DATI GENERALI	
Denominazione	L.S. Gobetti (Juvarra)
Comune	Venaria
Indirizzo	Via Buozzi, 16
Codice	L1-007-041
Altitudine edificio	255 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2555
Stazione climatica	Venaria La Mandria
Altitudine stazione	337 m
Anno costruzione	1975
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

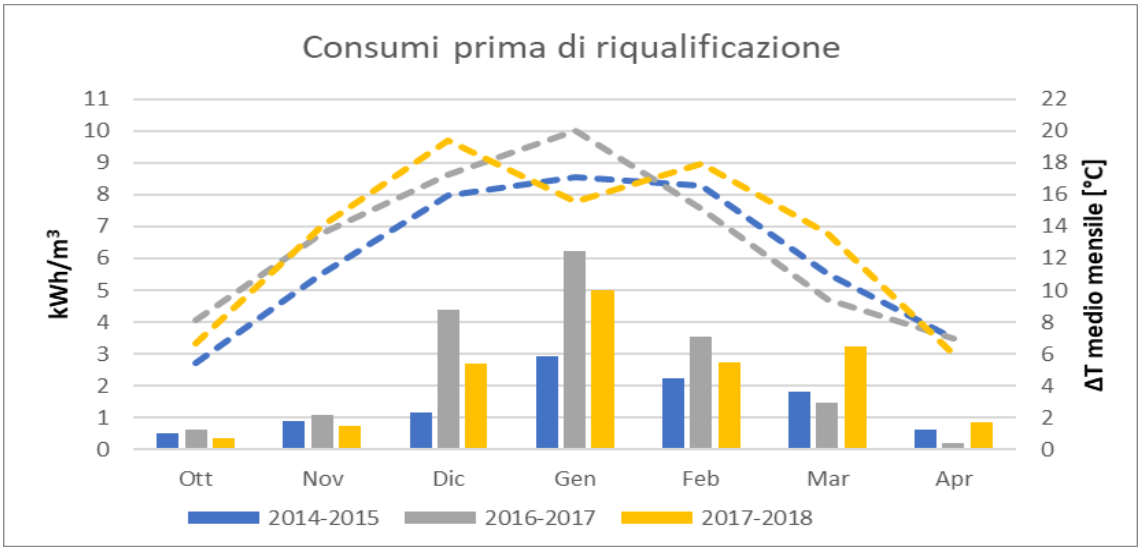
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in lamiera stampata
Vettore energetico	Gas naturale

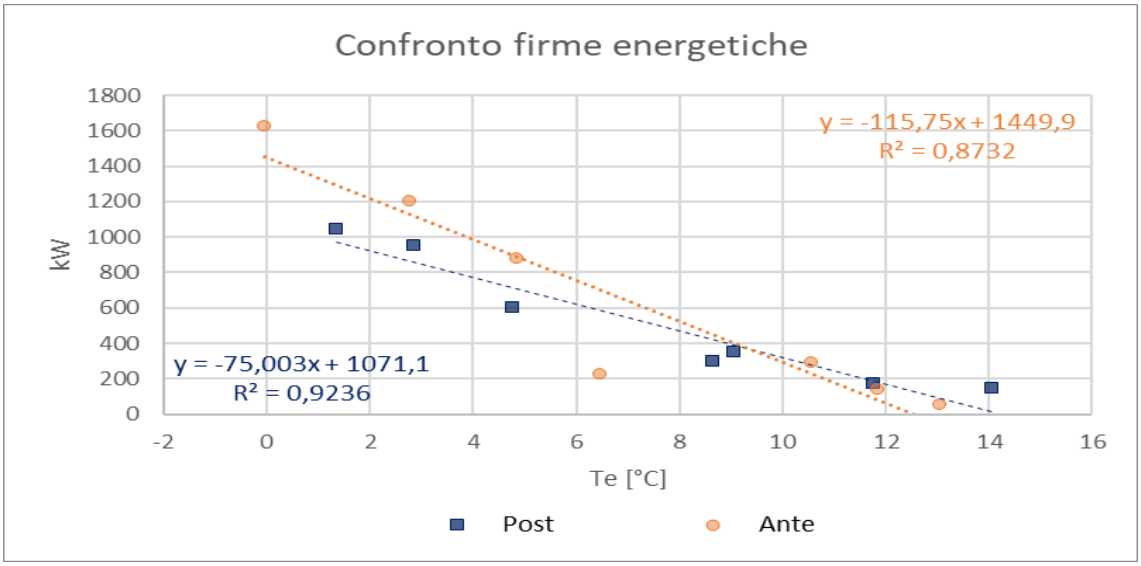
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Sab
Orario utilizzo scolastico	08:05-13:05

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	24116,1
A_f [m^2]	5644,4
S/V [m^{-1}]	0,47
n° piani riscaldati	2

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	2,39
Solaio inferiore	1,78
Solaio superiore	1,86
Copertura	0,93
Serramenti	4,5

Consumi medi annuali (2016-2018)	
339 MWh	16,5 kWh/m^3





Istituto d'arte PASSONI

DATI GENERALI	
Denominazione	Istituto d'arte Passoni
Comune	Torino
Indirizzo	Via della Rocca, 7
Codice	L1-007-044
Altitudine edificio	245 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1900/1970
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

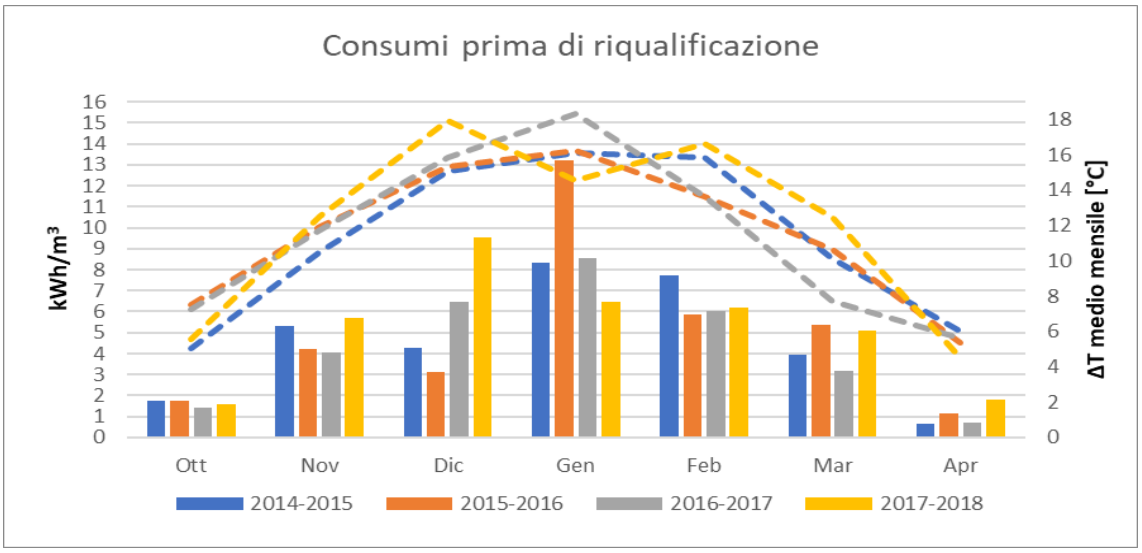
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,824)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

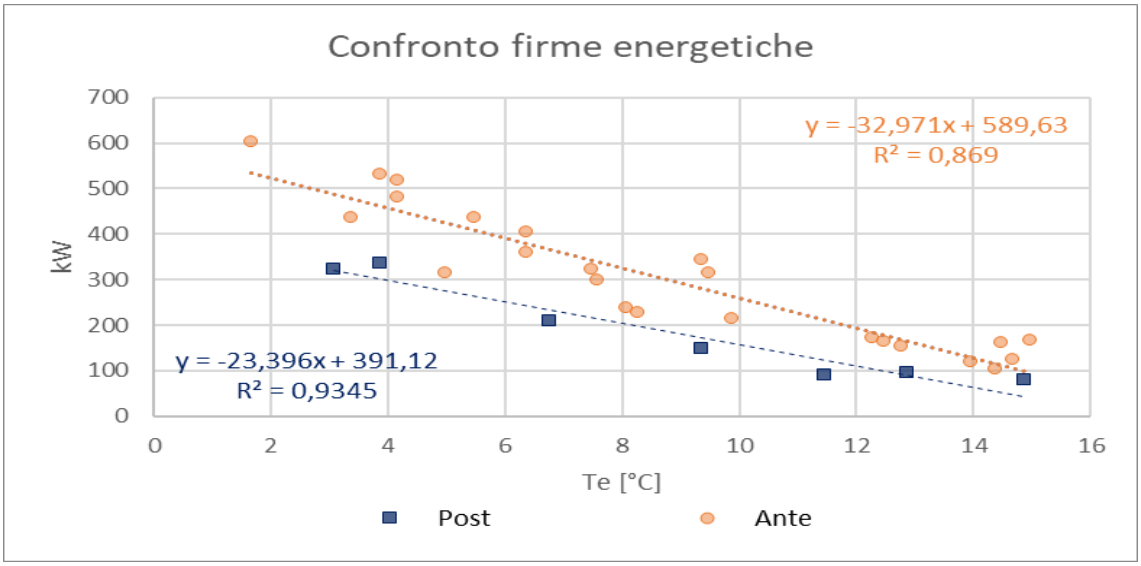
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Sab
Orario utilizzo scolastico	08:10-13:50/ 14:40-16:20 (2 gg)

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	11290,6
A_f [m^2]	2048,3
S/V [m^{-1}]	0,37
n° piani riscaldati	3

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,88 / 1,11 / 0,68
Solaio inferiore	0,89
Solaio superiore	0,90
Copertura	0,98
Serramenti	5,05

Consumi medi annuali (2014-2018)	
377 MWh	33,4 kWh/m^3





I.P. Altre Spec. STEINER succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P. Altre spec. Steiner succ.
Comune	Torino
Indirizzo	Via Monginevro, 293
Codice	L1-007-046
Altitudine edificio	280 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Alenia
Altitudine stazione	320 m
Anno costruzione	1970
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

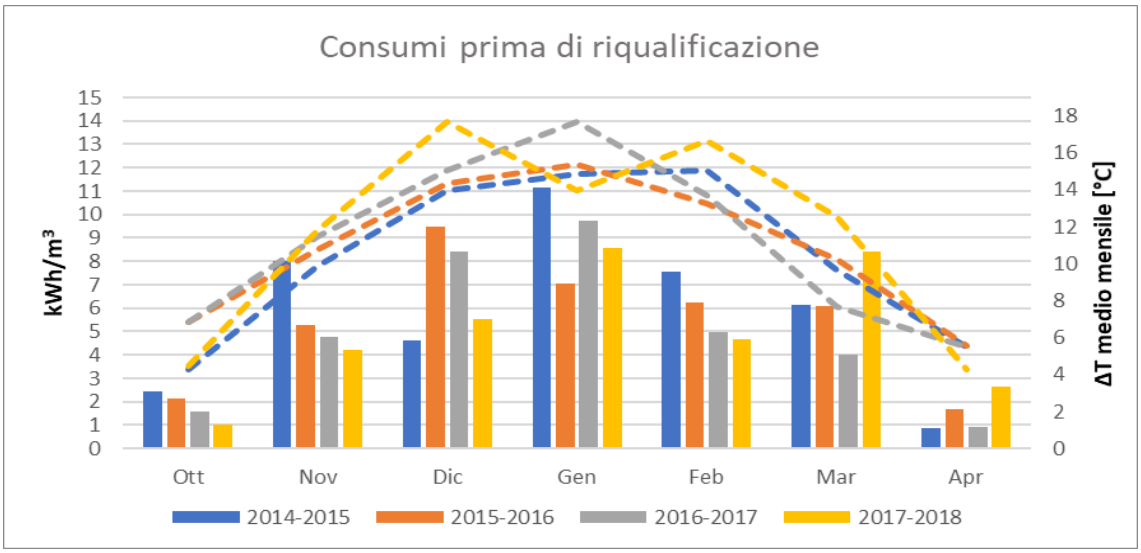
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,897)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

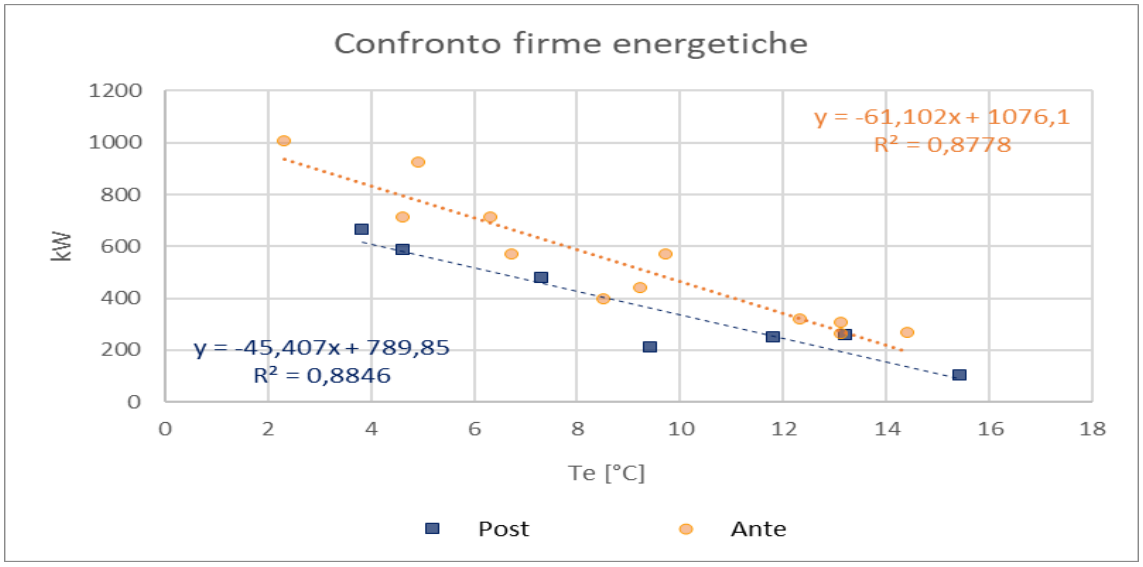
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:10-15:40

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	11491,1
A_f [m^2]	3064,3
S/V [m^{-1}]	0,39
n° piani riscaldati	3

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,87
Solaio inferiore	1,39
Solaio superiore	1,56
Copertura	1,64
Serramenti	4,74

Consumi medi annuali (2014-2018)	
426 MWh	37,1 kWh/m^3





I.P.C. BOSSO succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P.C. Bosso succursale
Comune	Torino
Indirizzo	Via Moretta, 55
Codice	L1-007-048
Altitudine edificio	265 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Via della Consolata
Altitudine stazione	290 m
Anno costruzione	1981
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade sist. controllo + TLR

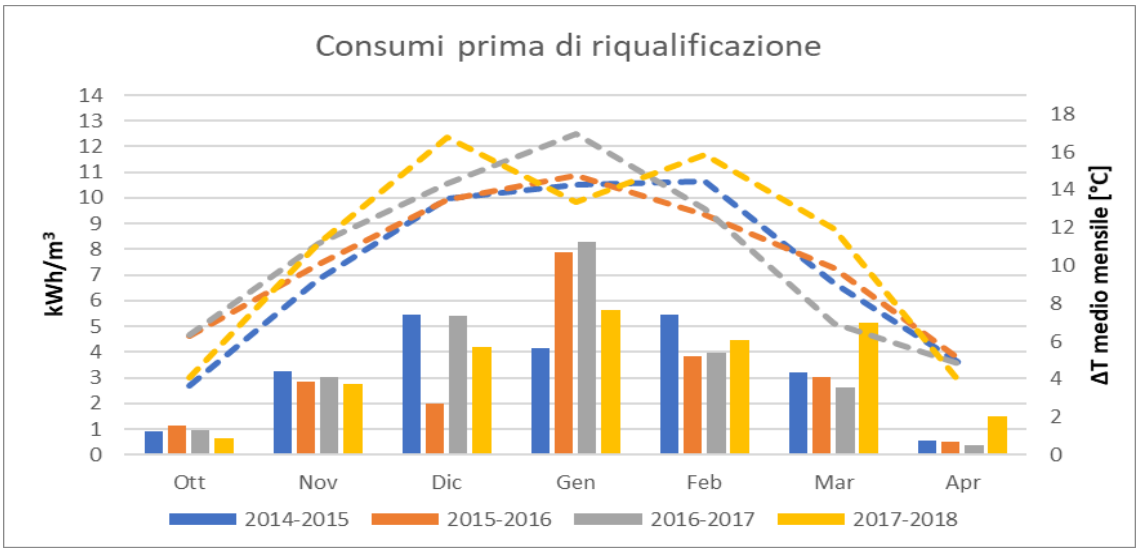
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,753)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in acciaio
Vettore energetico	Gas naturale

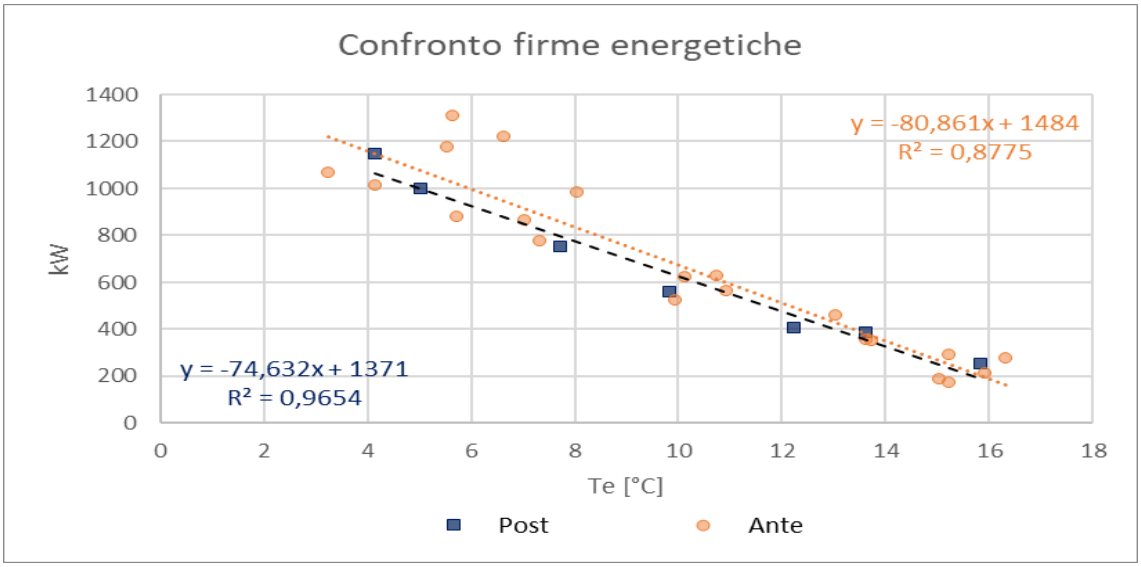
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:10-14:15

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	21075,9
A_f [m^2]	4186,9
S/V [m^{-1}]	0,33
n° piani riscaldati	2

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,88 / 1,96
Solaio inferiore	-
Solaio superiore	1,48
Copertura	1,96
Serramenti	4,6 / 3,6

Consumi medi annuali (2014-2018)	
491 MWh	23,3 kWh/m^3





L.S. CATTANEO

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.C. Levi + L.S. Cattaneo
Comune	Torino
Indirizzo	Via Sostegno, 41/10
Codice	L1-007-053
Altitudine edificio	290 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Alenia
Altitudine stazione	320 m
Anno costruzione	1982
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

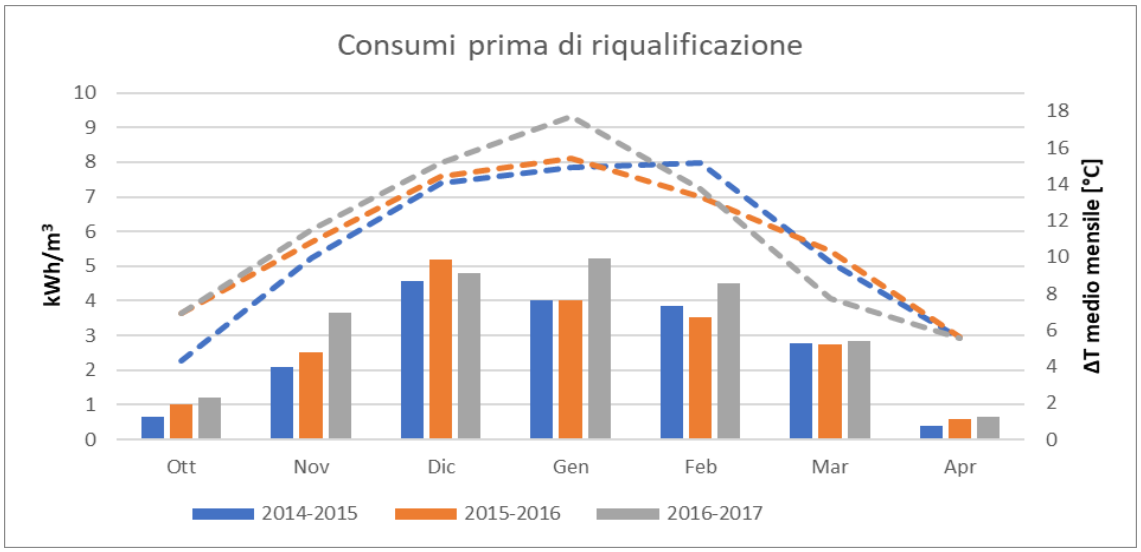
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,79)
Distribuzione	-
Regolazione	-
Emissione	-
Vettore energetico	Gas naturale

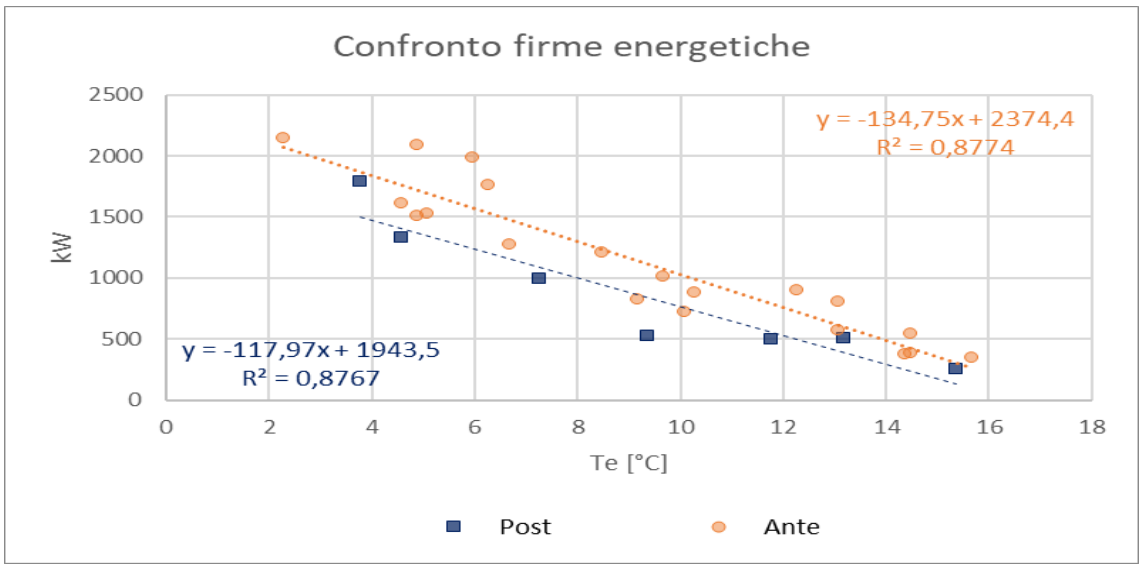
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	45675,7
A_f [m^2]	8489,2
S/V [m^{-1}]	0,34
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	-
Solaio inferiore	-
Solaio superiore	-
Copertura	-
Serramenti	-

Consumi medi annuali (2014-2017)	
925 MWh	20,3 kWh/m^3





I.T.C. RUSSELL-MORO

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.C. Russell-Moro
Comune	Torino
Indirizzo	Corso Molise, 58
Codice	L1-007-054
Altitudine edificio	258 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Reiss-Romoli
Altitudine stazione	270 m
Anno costruzione	1982
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

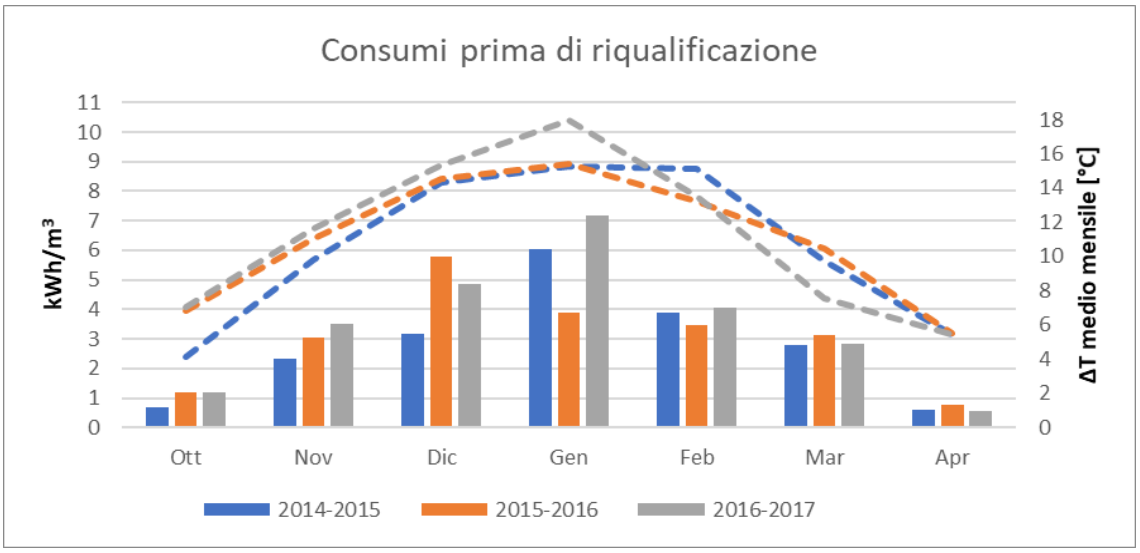
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,849)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

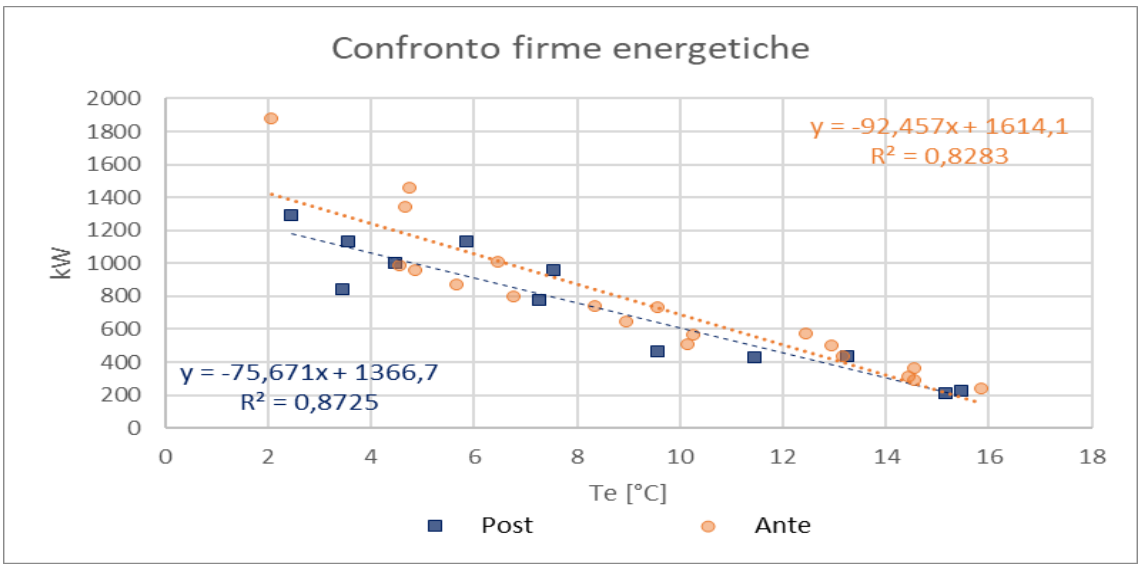
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:30

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	33730,1
A_f [m^2]	7846,3
S/V [m^{-1}]	0,35
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,57 / 1,40 / 1,85
Solaio inferiore	0,91
Solaio superiore	0,47
Copertura	0,972 / 1,184
Serramenti	4,80

Consumi medi annuali (2014-2017)	
731 MWh	21,7 kWh/m^3





I.T.C. SOMMEILLER + L.S. FERRARIS

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.C. Sommeiller + L.S. Ferraris
Comune	Torino
Indirizzo	Corso Duca degli Abruzzi, 20
Codice	L1-007-055
Altitudine edificio	246 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1852
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade sist. controllo + TLR

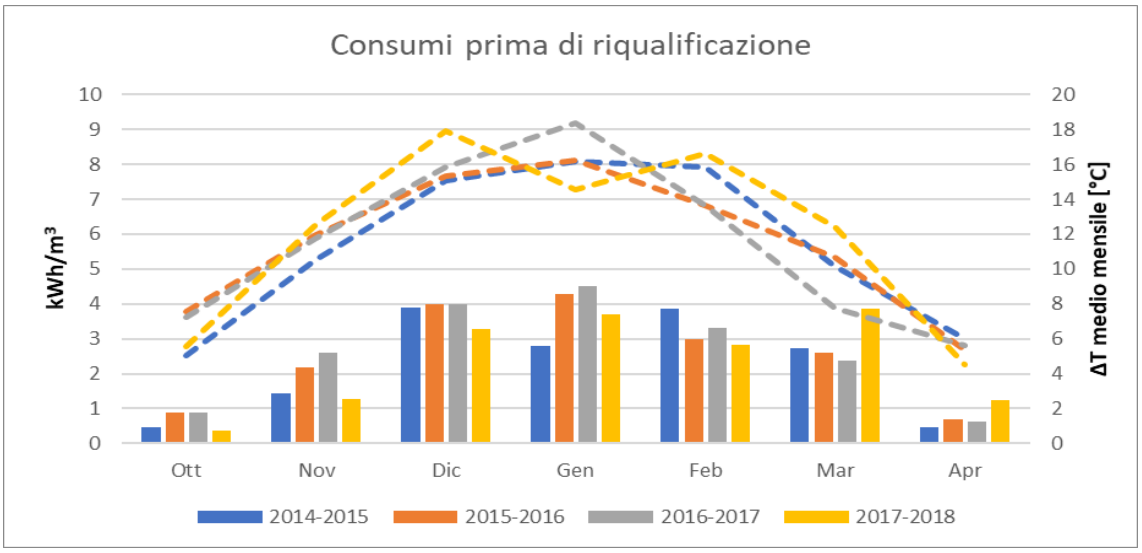
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,805)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

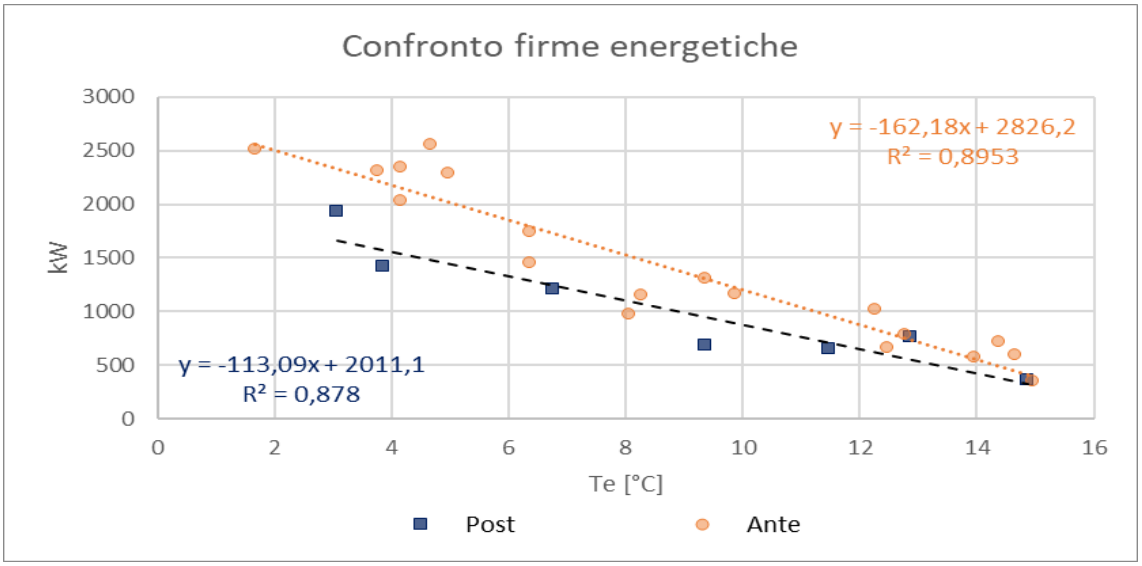
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico + liceo
Giorni utilizzo	Lun-Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00 + 3 ore serali

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	102658,2
A_f [m^2]	16956,7
S/V [m^{-1}]	0,26
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	-
Solaio inferiore	-
Solaio superiore	-
Copertura	-
Serramenti	-

Consumi medi annuali (2014-2018)	
1750 MWh	17,1 kWh/m^3





I.T.I.S. AVOGADRO

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.I.S. Avogadro
Comune	Torino
Indirizzo	Corso San Maurizio, 8
Codice	L1-007-057
Altitudine edificio	242 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1850
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

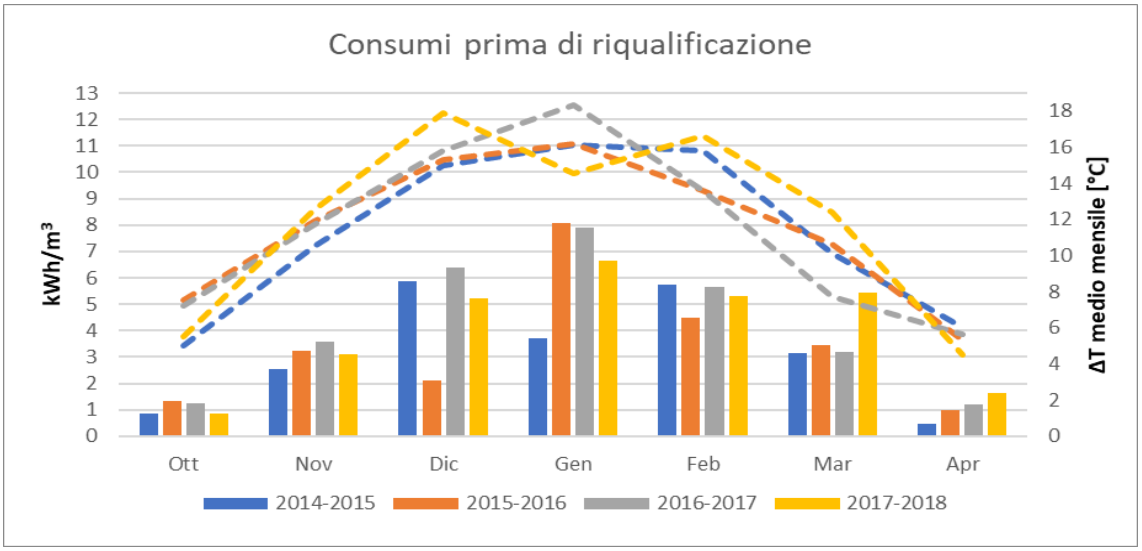
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,826)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

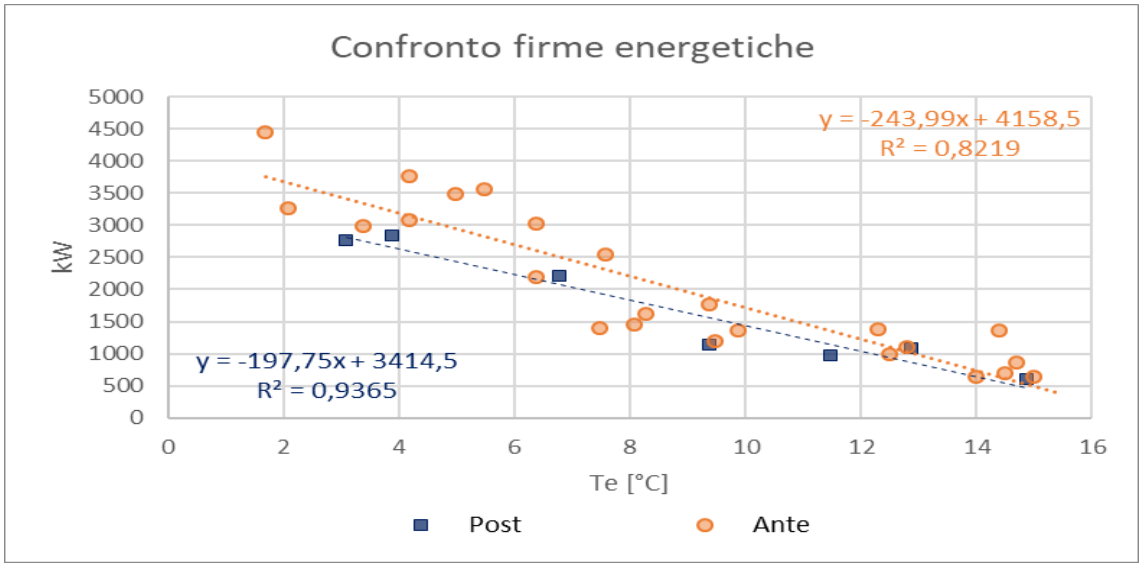
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-17:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	101173,7
A_f [m^2]	17409,8
S/V [m^{-1}]	0,32
n° piani riscaldati	6

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,98
Solaio inferiore	1,36 / 1,88
Solaio superiore	1,78
Copertura	1,52
Serramenti	4,45 / 5,86

Consumi medi annuali (2014-2018)	
2618 MWh	25,9 kWh/m^3





L.C. GIOBERTI

DATI GENERALI	
Denominazione	L.C. Gioberti
Comune	Torino
Indirizzo	Via S. Ottavio, 9
Codice	L1-007-061
Altitudine edificio	250 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1865
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

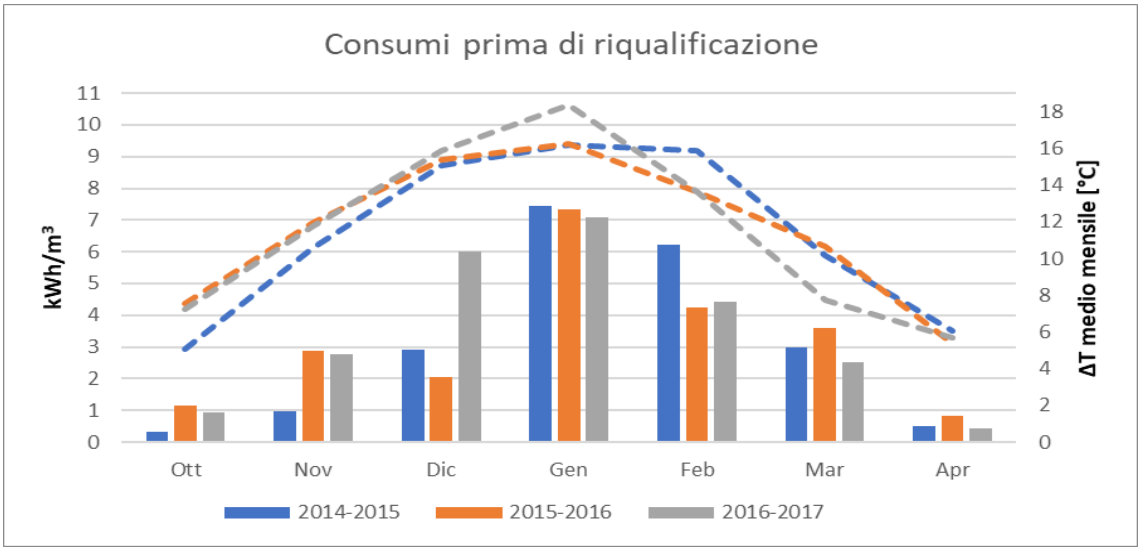
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,738)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

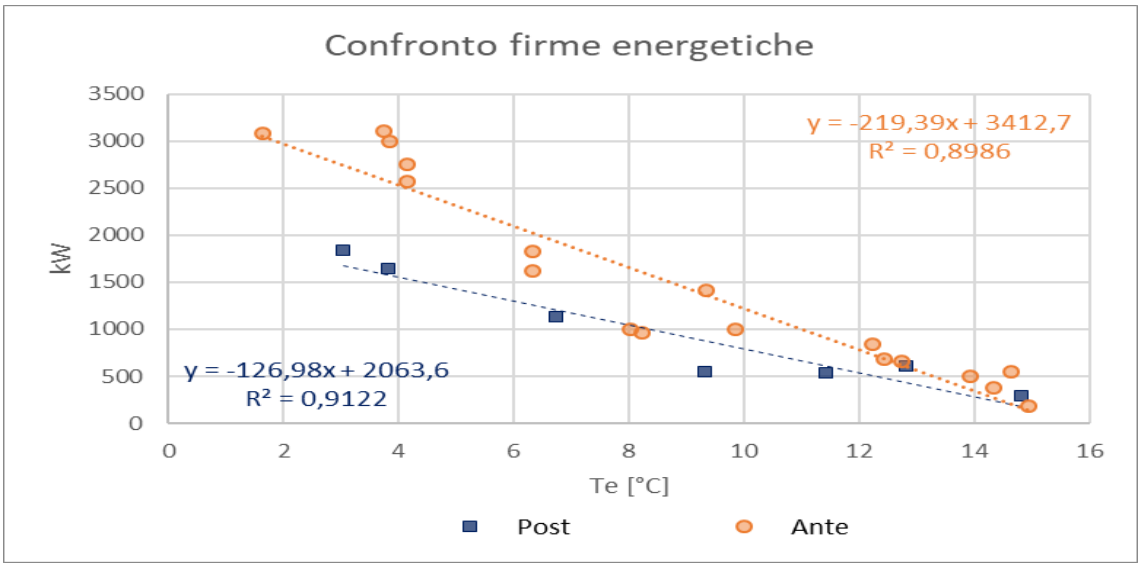
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven / Sab
Orario utilizzo scolastico	08:15-14:00 / 08:15-12:10

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	48227,5
A_f [m^2]	8493,6
S/V [m^{-1}]	0,23
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,04
Solaio inferiore	1,51
Solaio superiore	1,92
Copertura	1,88
Serramenti	4,9 / 5,7

Consumi medi annuali (2014-2017)	
1086 MWh	22,5 kWh/m^3





I.T.C. LEVI ARDUINO (J. DEWEY)

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.C. Levi-Arduino (Dewey)
Comune	Torino
Indirizzo	Via Madonna delle salette, 29
Codice	L1-007-062
Altitudine edificio	275 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Torino Alenia
Altitudine stazione	320 m
Anno costruzione	1970
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

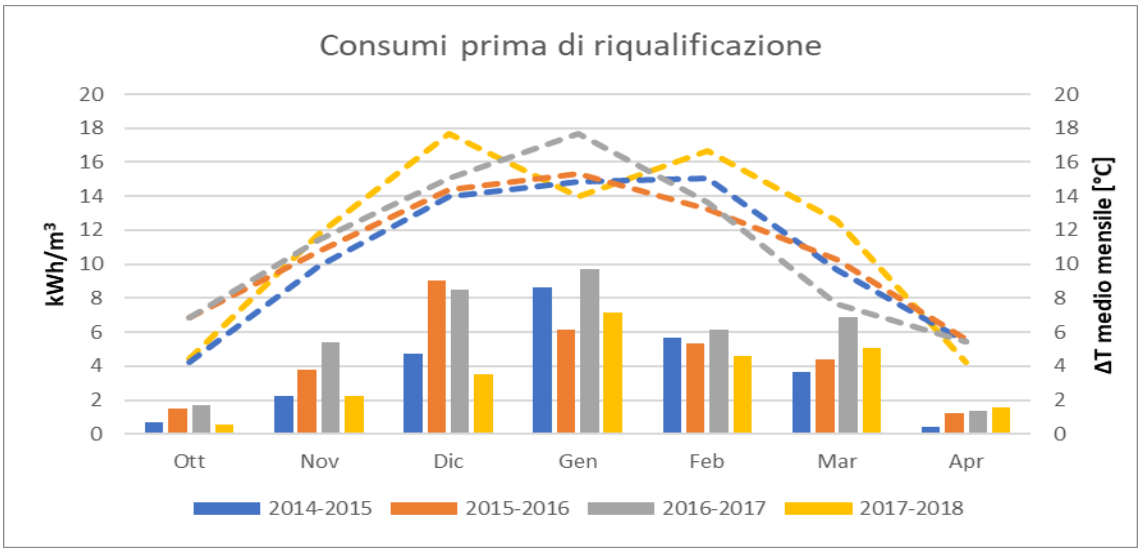
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,821)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

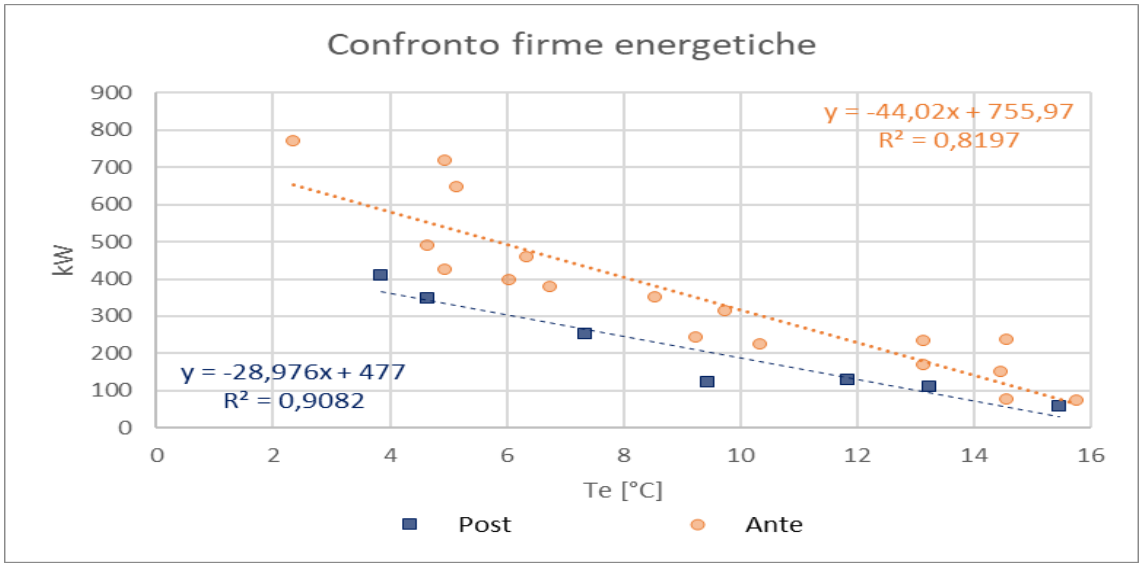
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:10-14:00 + 5 ore serali

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	14888,4
A_f [m^2]	3538,9
S/V [m^{-1}]	0,44
n° piani riscaldati	3

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,11
Solaio inferiore	1,39
Solaio superiore	-
Copertura	1,55
Serramenti	4,84 / 6,75 / 2,21

Consumi medi annuali (2014-2018)	
453 MWh	30,4 kWh/m^3





L.S. VOLTA

DATI GENERALI	
Denominazione	L.S. Volta
Comune	Torino
Indirizzo	Via Juvarra, 14
Codice	L1-007-065
Altitudine edificio	243 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1960-1970
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

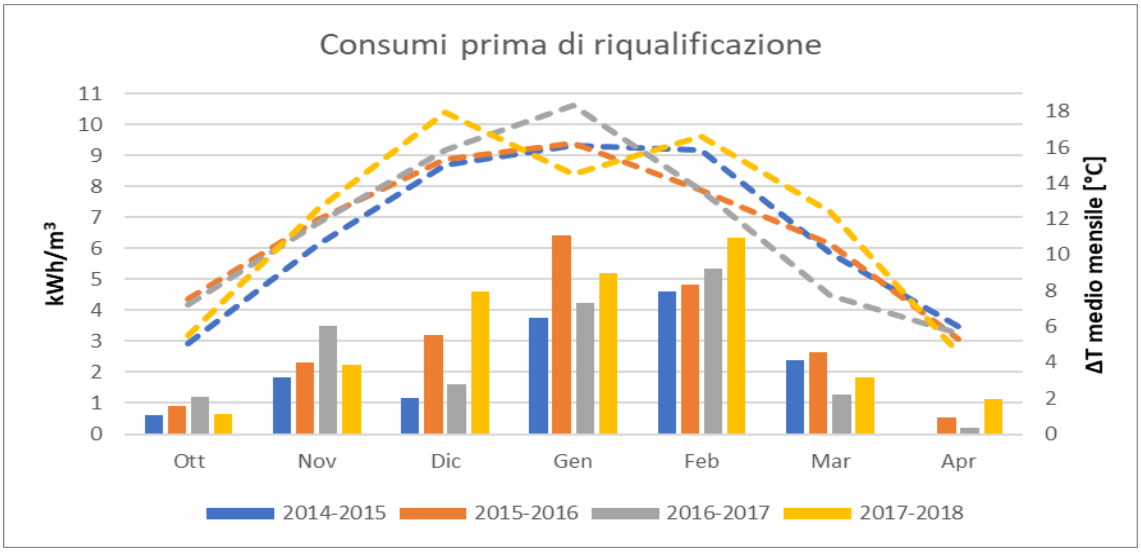
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gasolio

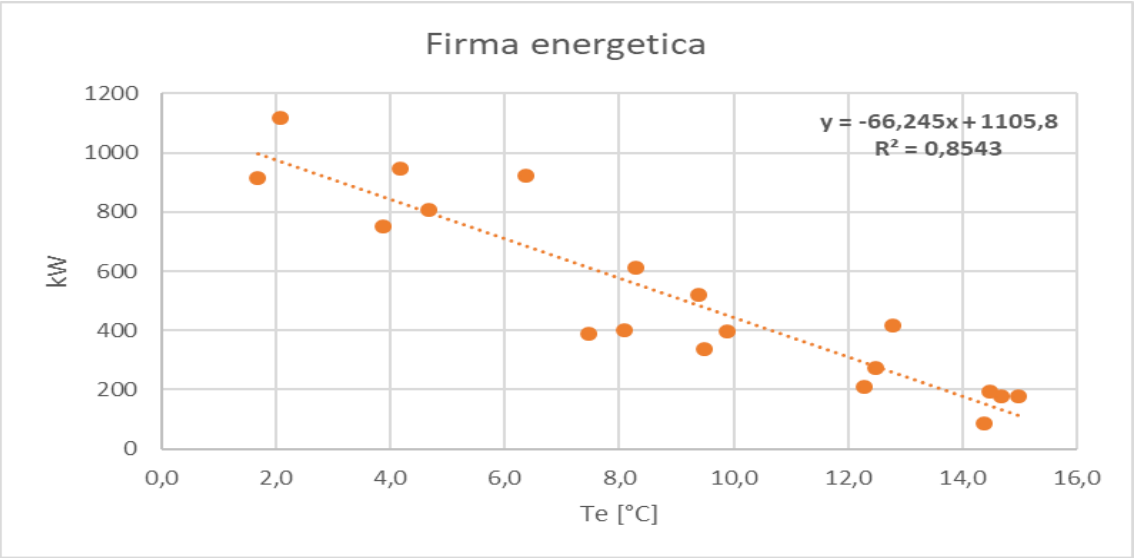
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven / Sab
Orario utilizzo scolastico	08:10-14:00 / 08:10 - 13:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	24059,9
A_f [m^2]	5554,5
S/V [m^{-1}]	0,29
n° piani riscaldati	5

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,72
Solaio inferiore	1,56 / 1,30
Solaio superiore	0,63
Copertura	2,20
Serramenti	5,70

Consumi medi annuali (2014-2018)	
482 MWh	20,1 kWh/m^3





I.P.C. GIULIO succ. + I.M. REGINA MARGHERITA

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P.C. Giulio succ. + I.M. Regina Margherita
Comune	Torino
Indirizzo	Via Belfiore 46/Valperga Caluso
Codice	L1-007-069
Altitudine edificio	237 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1950
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

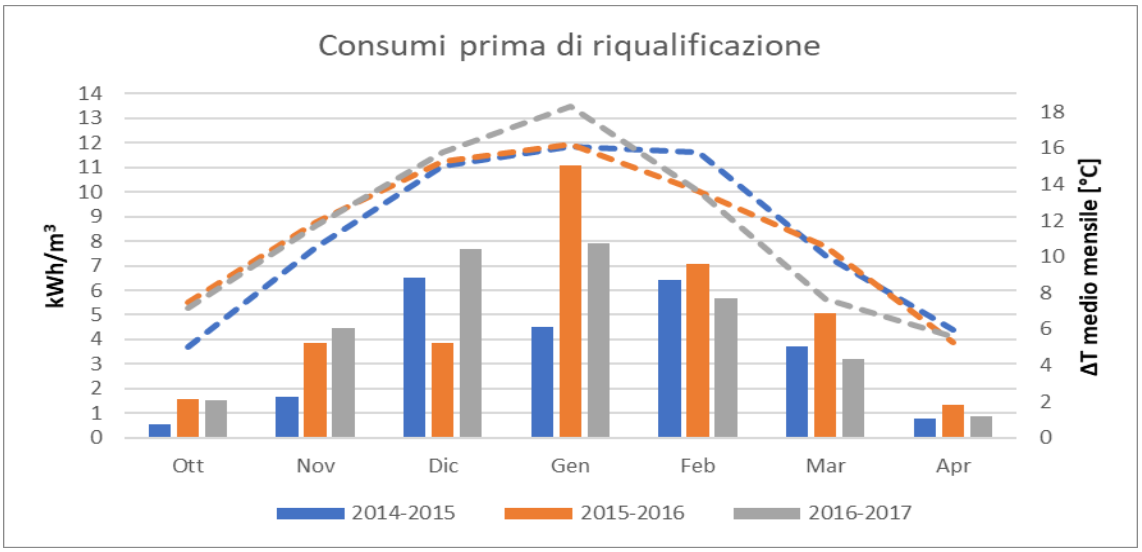
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,882)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

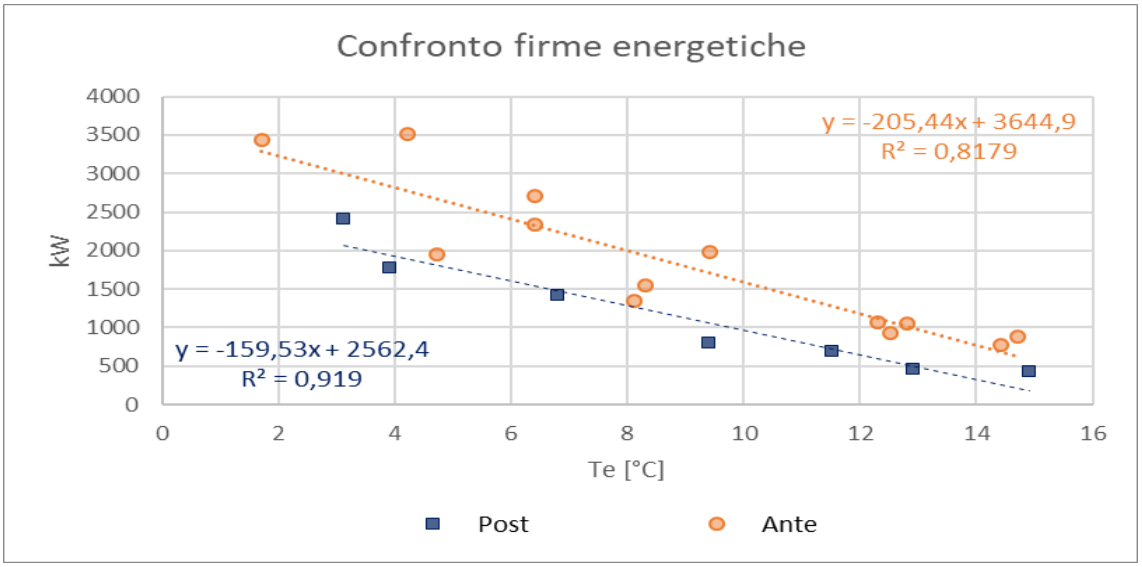
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:15-15:00 + 4 serali

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	56238,1
A_f [m^2]	10746,8
S/V [m^{-1}]	0,33
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,61 / 0,97
Solaio inferiore	0,91
Solaio superiore	1,50 / 0,90
Copertura	0,7
Serramenti	5,00 / 3,00

Consumi medi annuali (2014-2017)	
1674 MWh	29,8 kWh/m^3





L.C. CAVOUR succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	L.C. Cavour succursale
Comune	Torino
Indirizzo	Via Tripoli, 82
Codice	L1-007-075
Altitudine edificio	249 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1970
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade sist. controllo + TLR

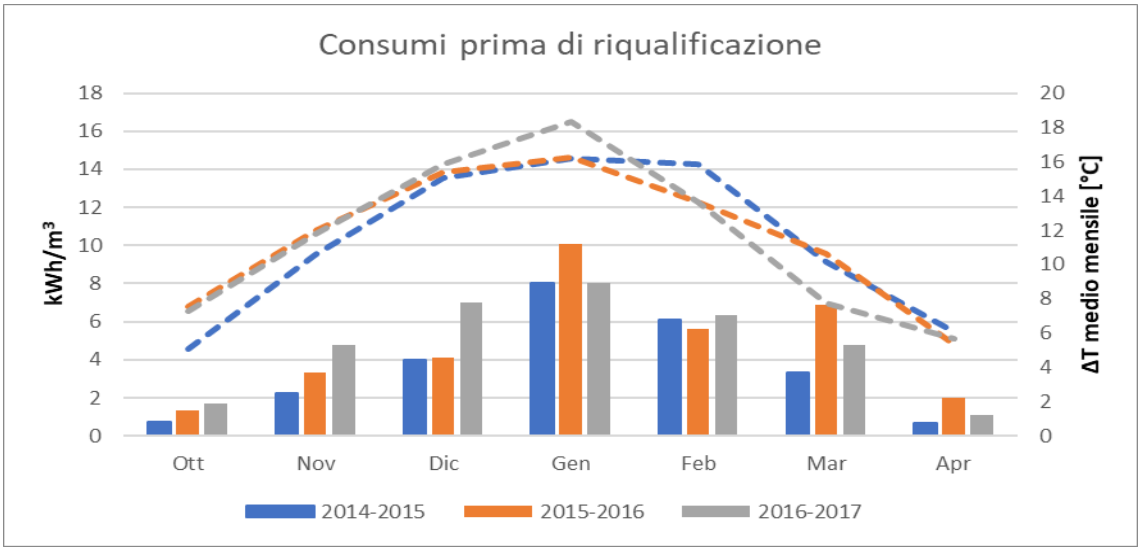
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,737)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

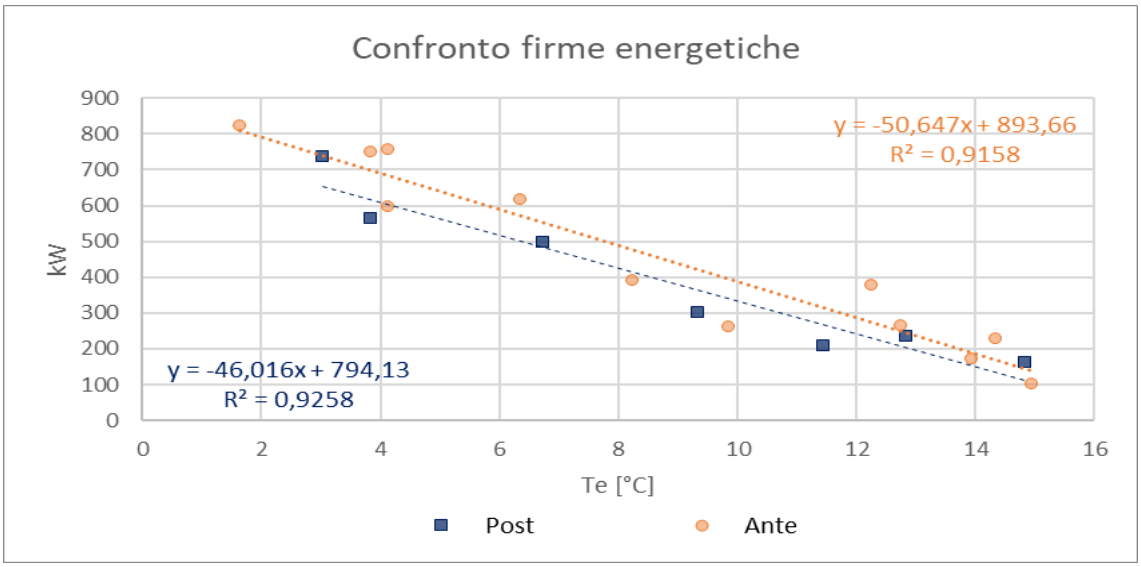
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven /Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00 / 08:00-12:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	12309,8
A_f [m^2]	3007,9
S/V [m^{-1}]	0,42
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,11 / 1,60
Solaio inferiore	1,60
Solaio superiore	1,64
Copertura	0,51
Serramenti	3,70

Consumi medi annuali (2014-2017)	
378 MWh	30,7 kWh/m^3





L.S. MARTINETTI

DATI GENERALI	
Denominazione	L.S. Martinetti
Comune	Caluso
Indirizzo	Via Montello, 29
Codice	L1-007-099
Altitudine edificio	278 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2808
Stazione climatica	Caluso
Altitudine stazione	257 m
Anno costruzione	1970
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

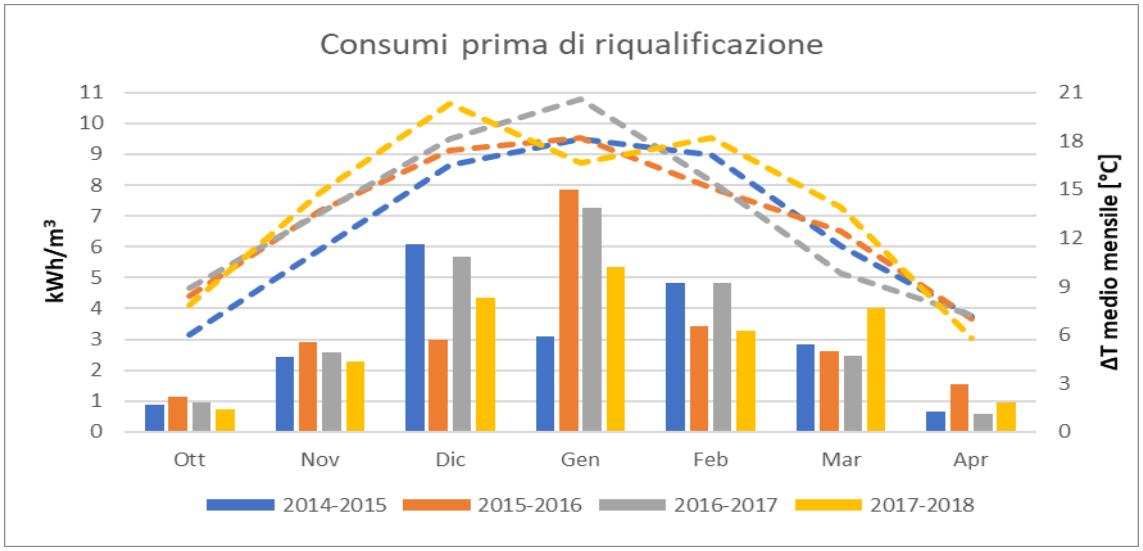
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,822)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica + valvole termostatiche
Emissione	Radiatori in ghisa e in acciaio
Vettore energetico	Gas naturale

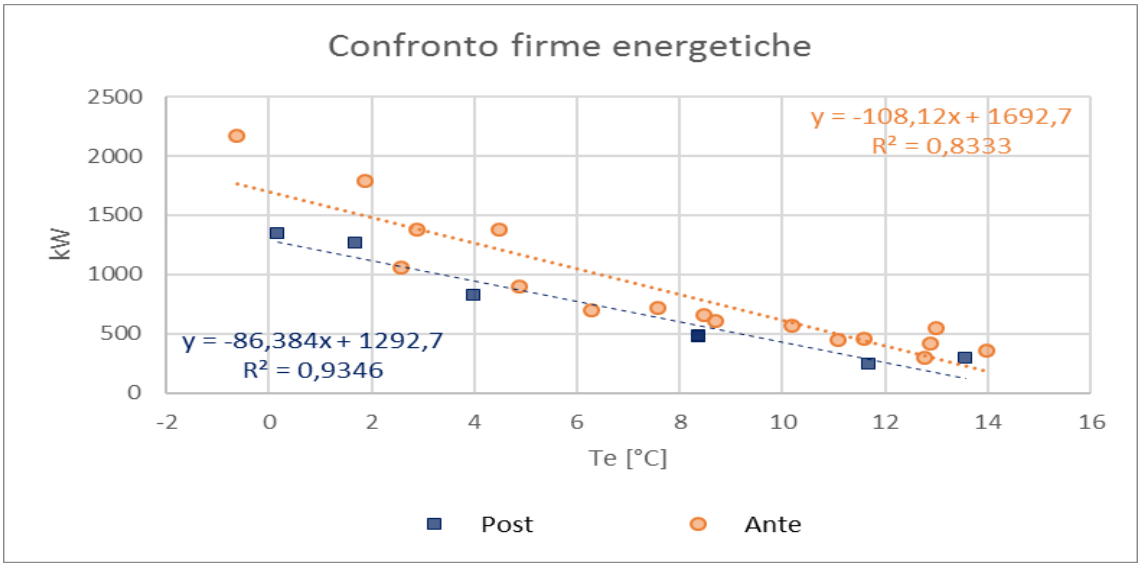
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun- Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-12:20

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	29969,9
A_f [m^2]	6614,9
S/V [m^{-1}]	0,30
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	2,57
Solaio inferiore	1,34
Solaio superiore	0,36
Copertura	1,83
Serramenti	3,40

Consumi medi annuali (2014-2018)	
664 MWh	22,2 kWh/m^3





I.P.C. D'ORIA

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P.C. D'Oria
Comune	Ciriè
Indirizzo	Via Battitore, 84
Codice	L1-007-110
Altitudine edificio	339 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2870
Stazione climatica	Caselle
Altitudine stazione	300 m
Anno costruzione	1990
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

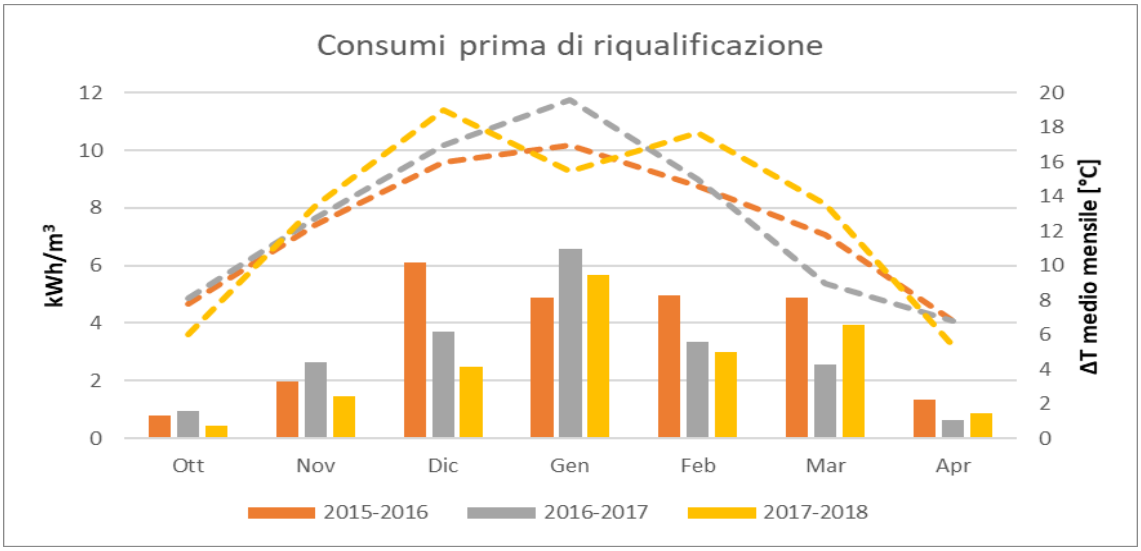
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,918)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in alluminio
Vettore energetico	Gas naturale

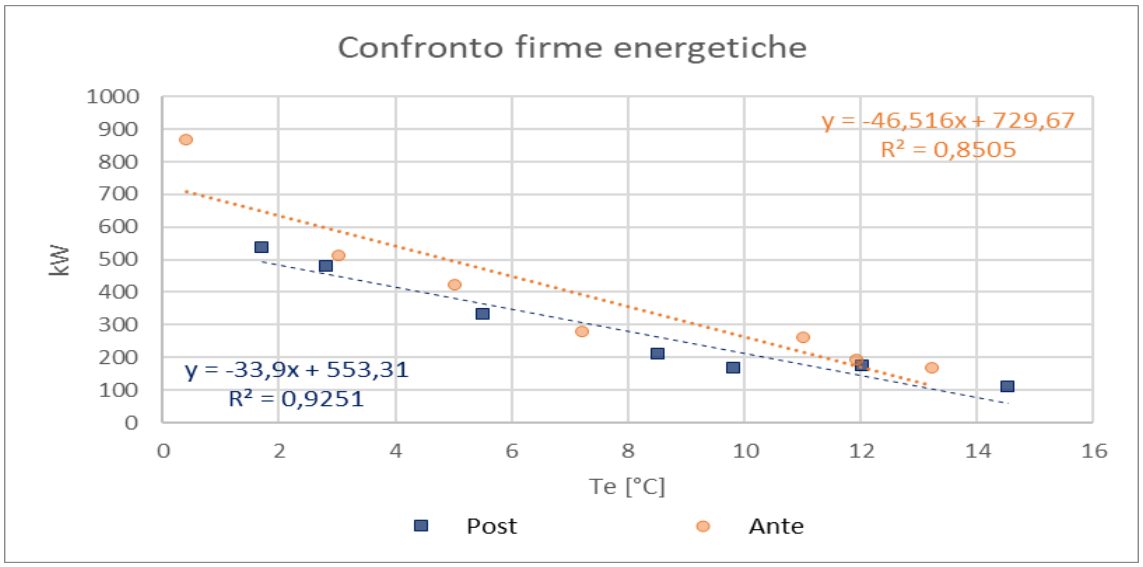
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun- Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-13:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	13160,4
A_f [m^2]	2584,9
S/V [m^{-1}]	0,44
n° piani riscaldati	2

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,67
Solaio inferiore	1,34
Solaio superiore	-
Copertura	1,83
Serramenti	3,3 / 4,1

Consumi medi annuali (2015-2018)	
277 MWh	21,0 kWh/m^3





I.P.C. D'ORIA succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P.C. D'Oria succursale
Comune	Ciriè
Indirizzo	Via Prevert, 13
Codice	L1-007-111
Altitudine edificio	339 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2870
Stazione climatica	Caselle
Altitudine stazione	300 m
Anno costruzione	Fine '80
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

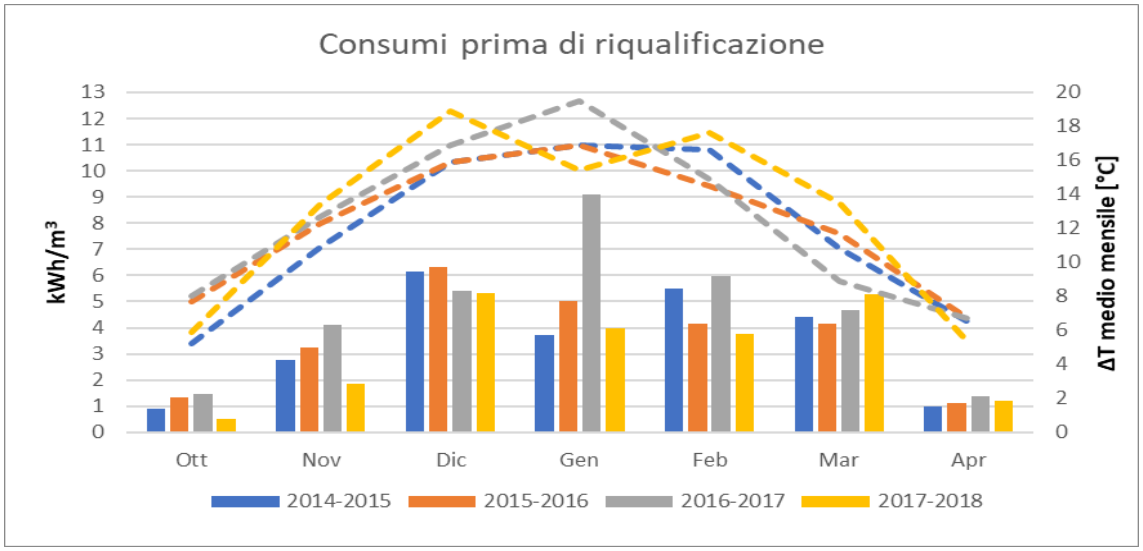
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,779)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

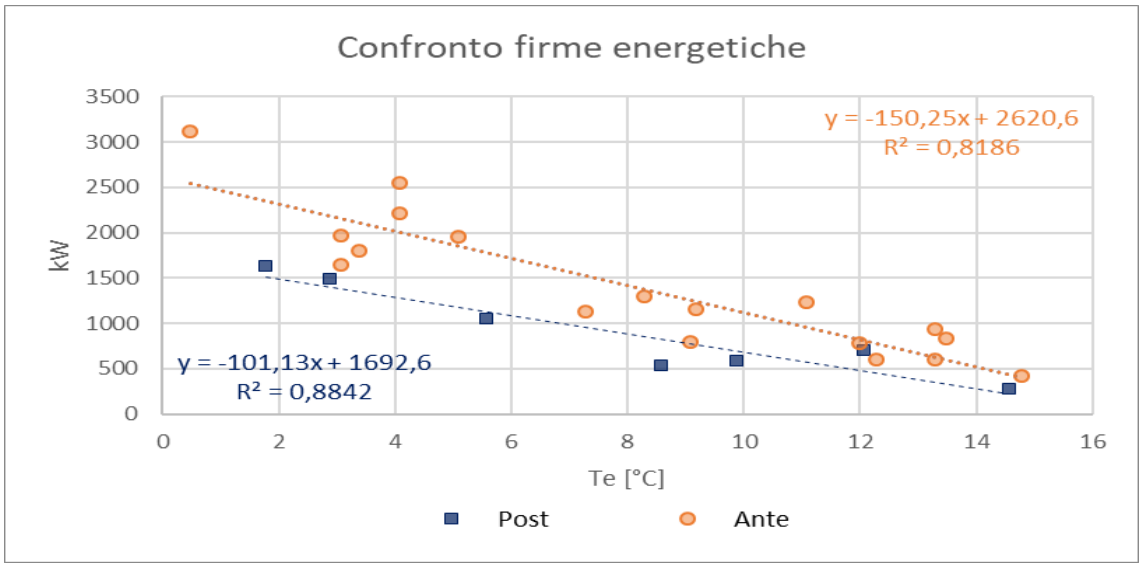
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun- Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-13:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	34346,2
A_f [m^2]	6557,8
S/V [m^{-1}]	0,39
n° piani riscaldati	3

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,57 / 0,78 / 1,17
Solaio inferiore	1,44
Solaio superiore	1,90
Copertura	0,43 / 2,63
Serramenti	2,7 / 4,3

Consumi medi annuali (2014-2018)	
891 MWh	25,9 kWh/m^3





I.T.C. CENA

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.C. Cena
Comune	Ivrea
Indirizzo	Via Dora Baltea, 3
Codice	L1-007-119
Altitudine edificio	237 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2737
Stazione climatica	Parella Chiusella
Altitudine stazione	260 m
Anno costruzione	1985/1990
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

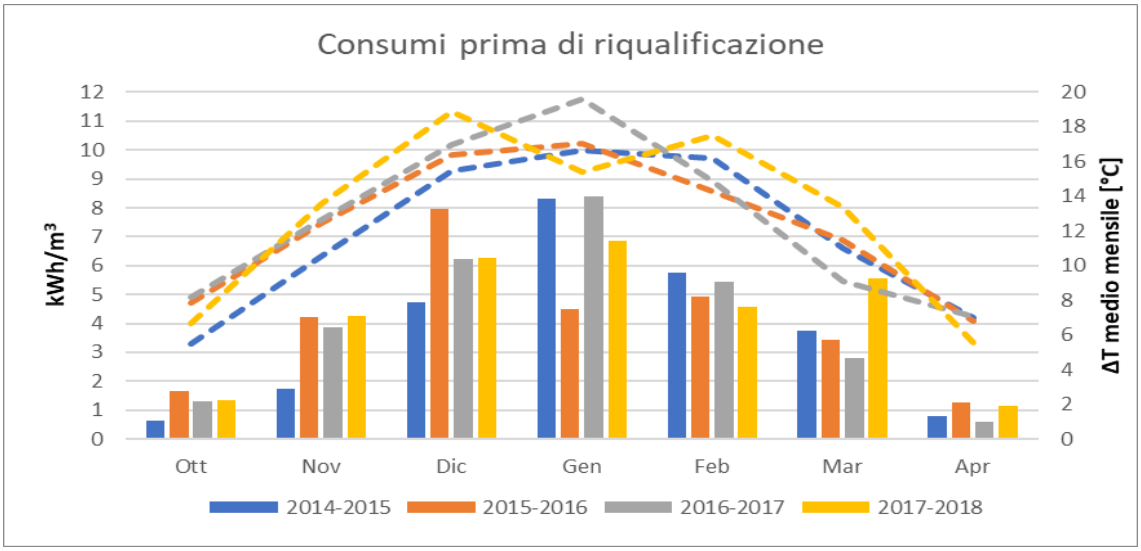
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,887)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

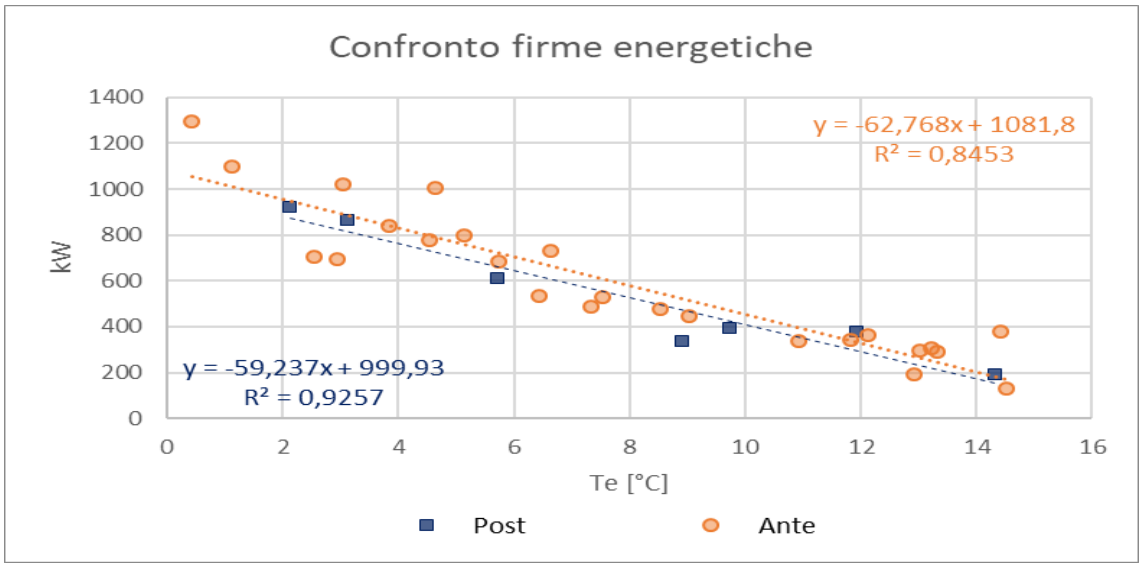
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun- Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-18:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	26313,4
A_f [m^2]	6582,1
S/V [m^{-1}]	0,37
n° piani riscaldati	3

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,63 / 0,93 / 2,97
Solaio inferiore	0,96
Solaio superiore	-
Copertura	0,95 / 0,97
Serramenti	2,9 / 3,5 / 4,7 / 5,3

Consumi medi annuali (2014-2018)	
739 MWh	28,1 kWh/m^3





I.M. ALBERT

DATI GENERALI	
Denominazione	I.M. Albert
Comune	Lanzo Torinese
Indirizzo	Via Vittime dei lager
Codice	L1-007-125
Altitudine edificio	476 m
Zona climatica	F
GG D.P.R. 412/93	3197
Stazione climatica	Lanzo
Altitudine stazione	576 m
Anno costruzione	1985/1990
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

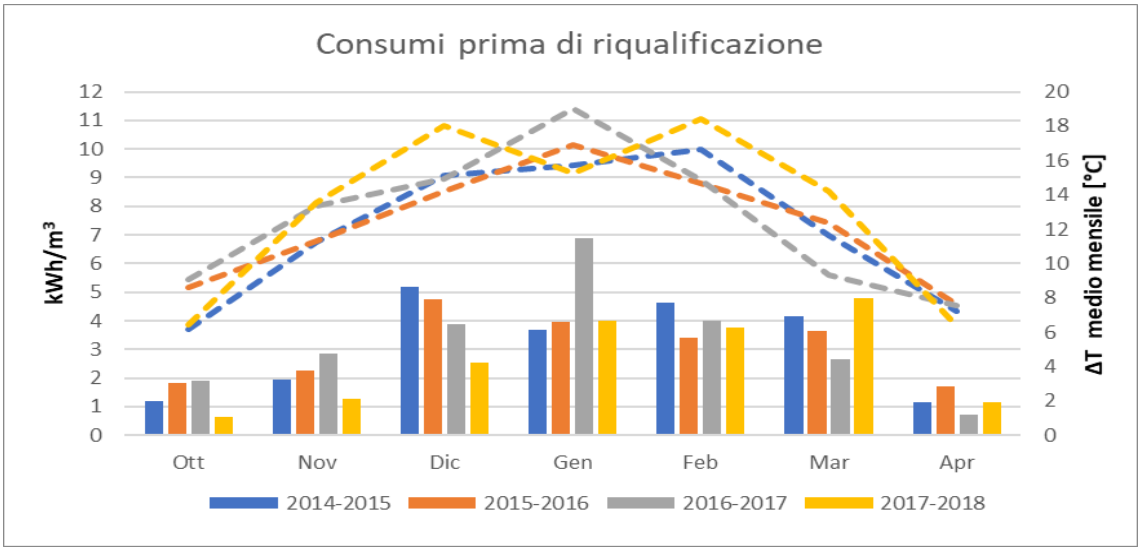
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,874)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

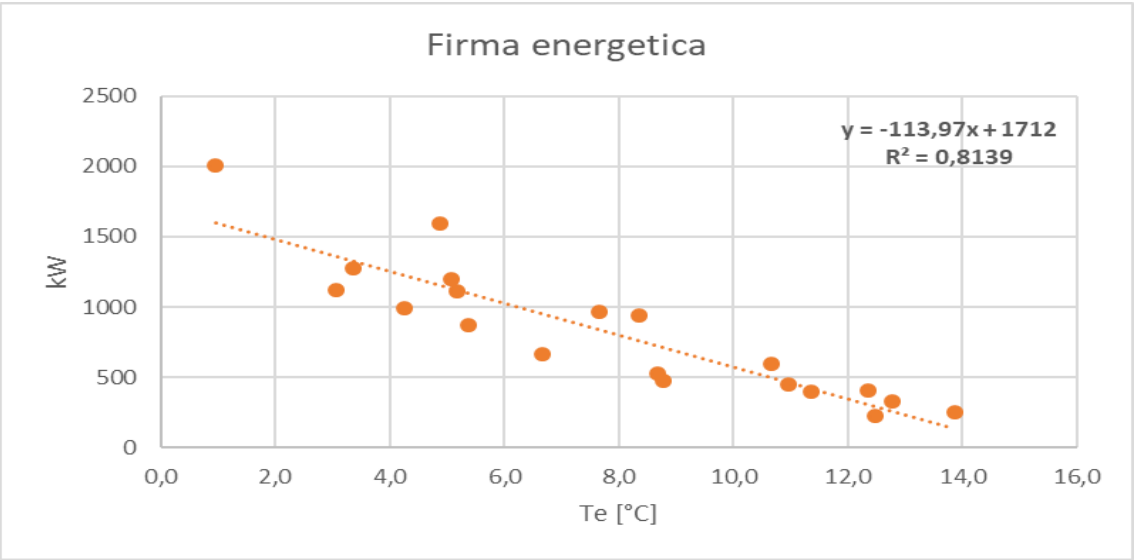
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun- Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-13:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	26916,7
A_f [m^2]	6744,4
S/V [m^{-1}]	0,31
n° piani riscaldati	3

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,40 / 0,67
Solaio inferiore	0,96
Solaio superiore	0,47
Copertura	0,72
Serramenti	4,4 / 2,9 / 3,9

Consumi medi annuali (2014-2018)	
569 MWh	21,1 kWh/m^3





L.S. MAJORANA

DATI GENERALI	
Denominazione	L.S. Majorana
Comune	Moncalieri
Indirizzo	Via Negri, 14
Codice	L1-007-132
Altitudine edificio	225 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2553
Stazione climatica	Bauducchi
Altitudine stazione	226 m
Anno costruzione	1985
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

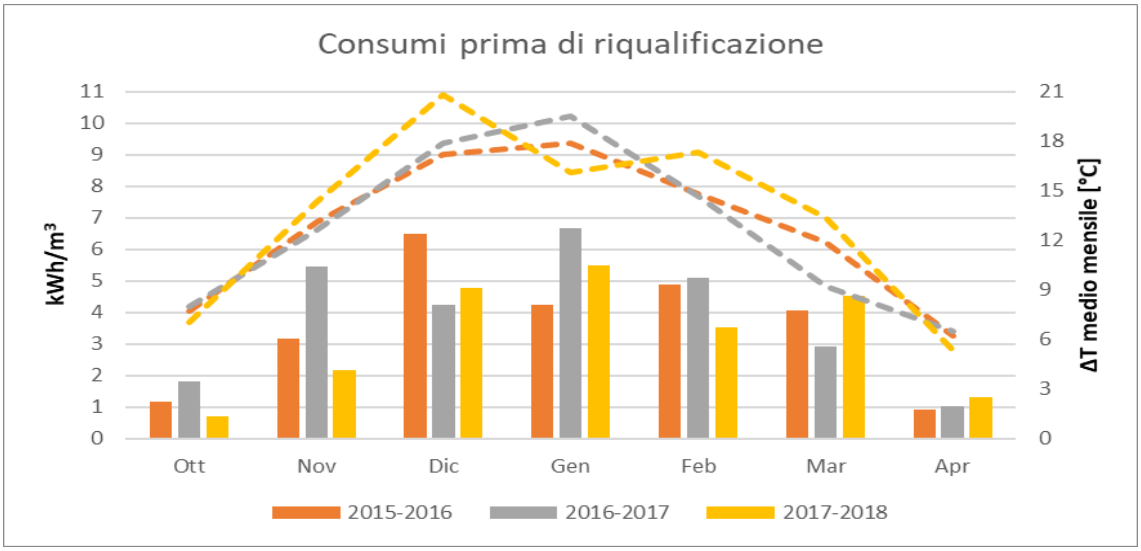
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,879)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

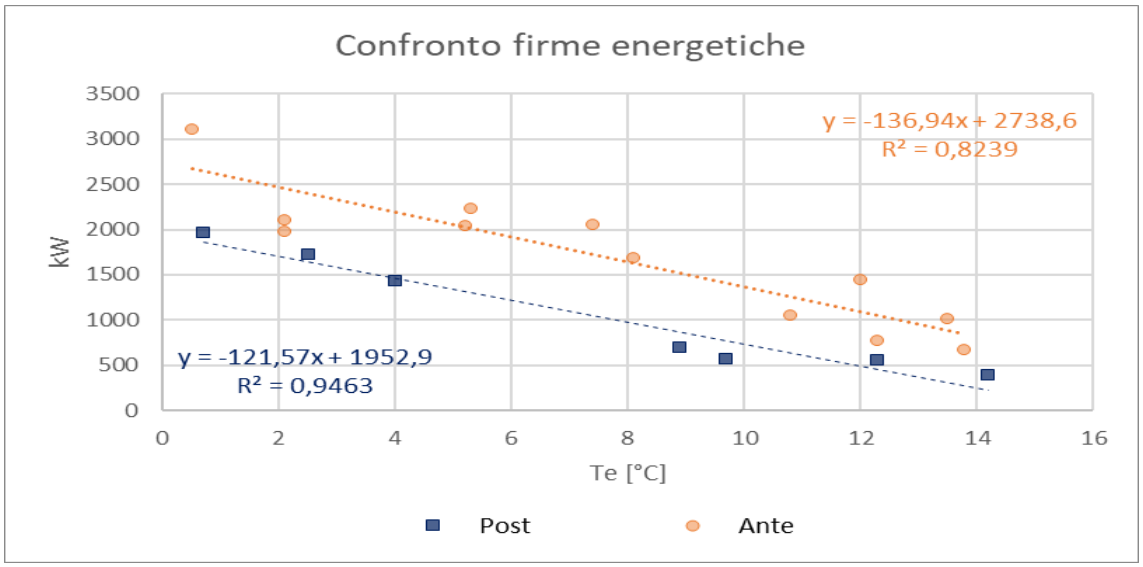
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun- Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	47511,6
A_f [m^2]	11016,2
S/V [m^{-1}]	0,33
n° piani riscaldati	5

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,05
Solaio inferiore	1,33
Solaio superiore	-
Copertura	1,55
Serramenti	3,7 / 5,7

Consumi medi annuali (2015-2018)	
1180 MWh	24,8 kWh/m^3





I.P. STEINER

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P. Altre Spec. Steiner
Comune	Torino
Indirizzo	Lungo Dora Napoli, 25
Codice	L1-007-142-143
Altitudine edificio	227 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1900
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

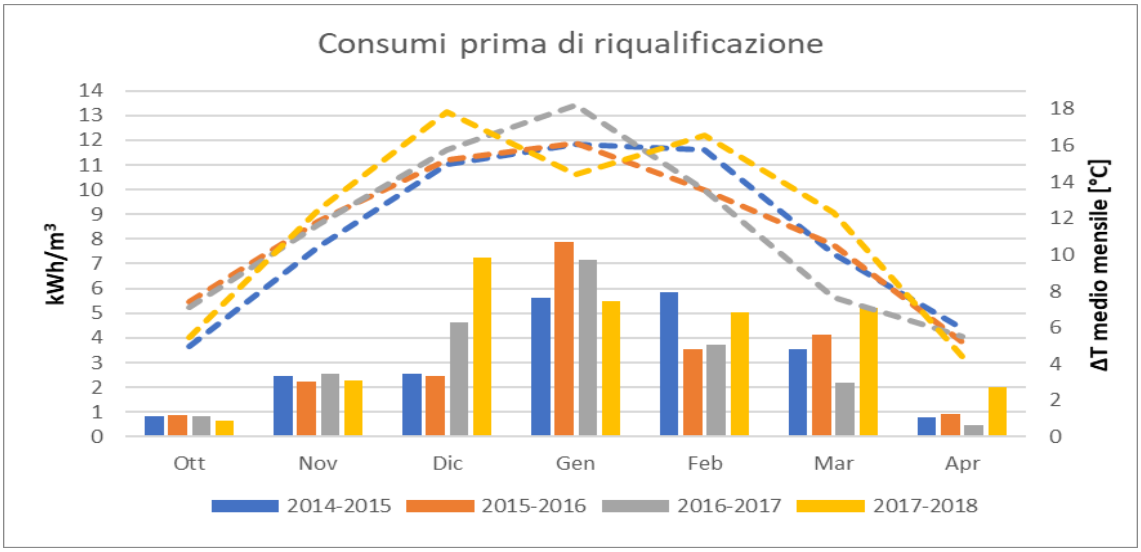
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,810)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

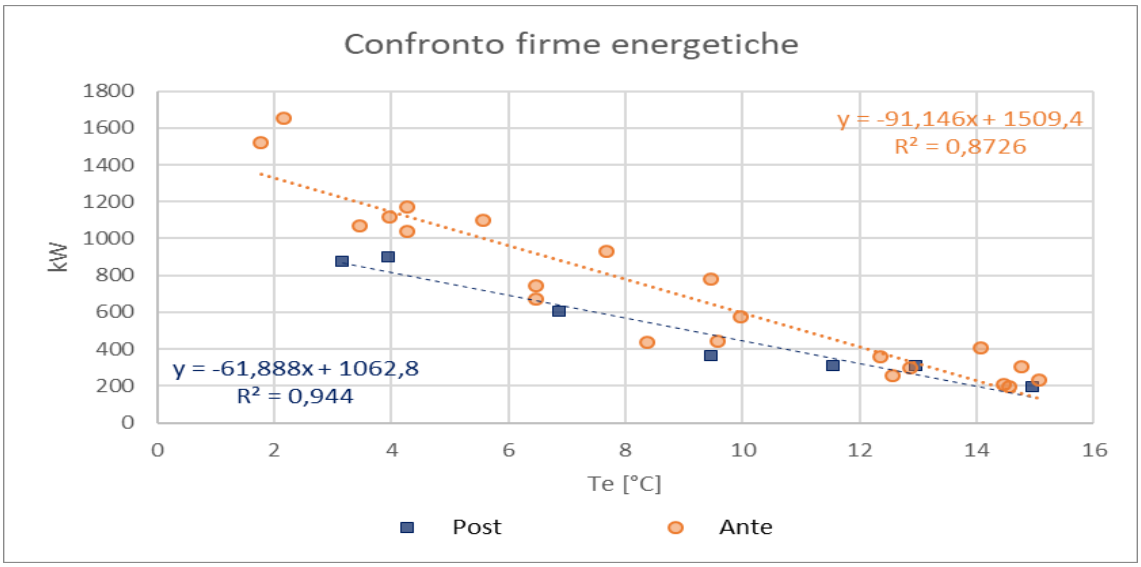
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun- Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-15:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	25159,8
A_f [m^2]	5450,8
S/V [m^{-1}]	0,42
n° piani riscaldati	3

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,15 / 1,66
Solaio inferiore	1,51
Solaio superiore	-
Copertura	1,53
Serramenti	3,90

Consumi medi annuali (2014-2018)	
585 MWh	23,3 kWh/m^3





I.P. arte BECCARI succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P. Arte Bianca Beccari succ.
Comune	Torino
Indirizzo	Via Paganini, 22
Codice	L1-007-144
Altitudine edificio	222 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1958
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

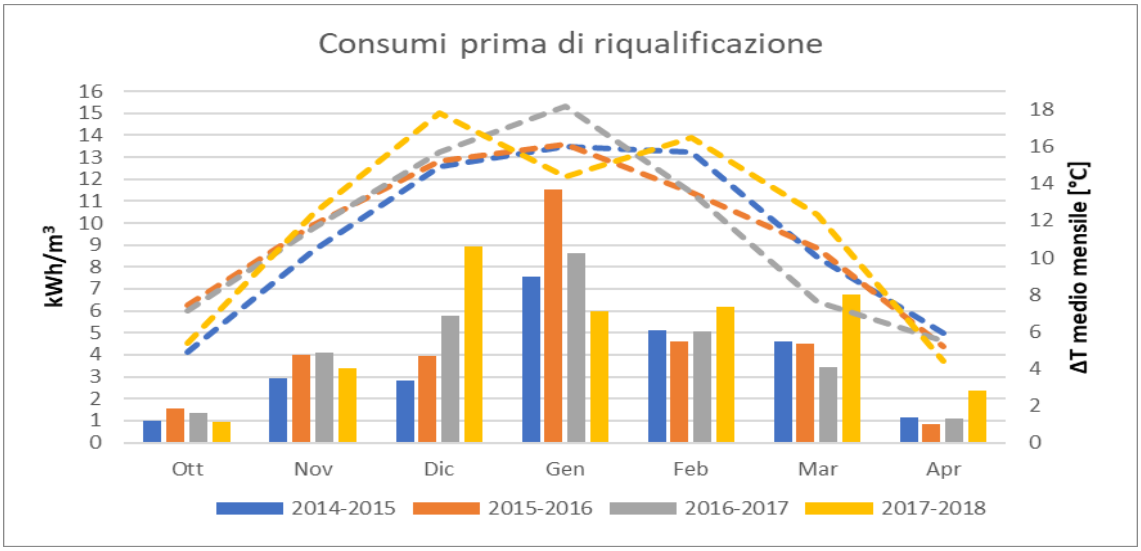
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,534)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

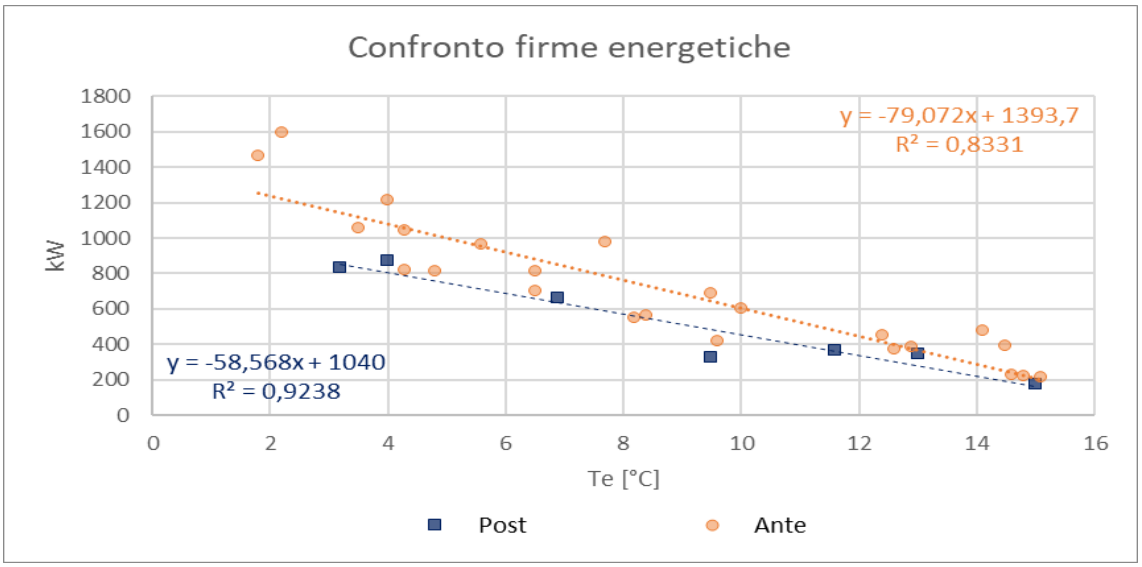
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun- Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00 + 4 ore serali

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	37521,4
A_f [m^2]	7278,7
S/V [m^{-1}]	0,42
n° piani riscaldati	2

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,91
Solaio inferiore	1,48
Solaio superiore	1,92
Copertura	0,97
Serramenti	2,9 / 3,2 / 4,0

Consumi medi annuali (2014-2018)	
1127 MWh	30,0 kWh/m^3





I.P.C. BOSELLI succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P.C. Boselli succ.
Comune	Torino
Indirizzo	Via Luini, 123
Codice	L1-007-145
Altitudine edificio	248 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Reiss-Romoli
Altitudine stazione	270 m
Anno costruzione	1980/1990
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade sist. controllo + TLR

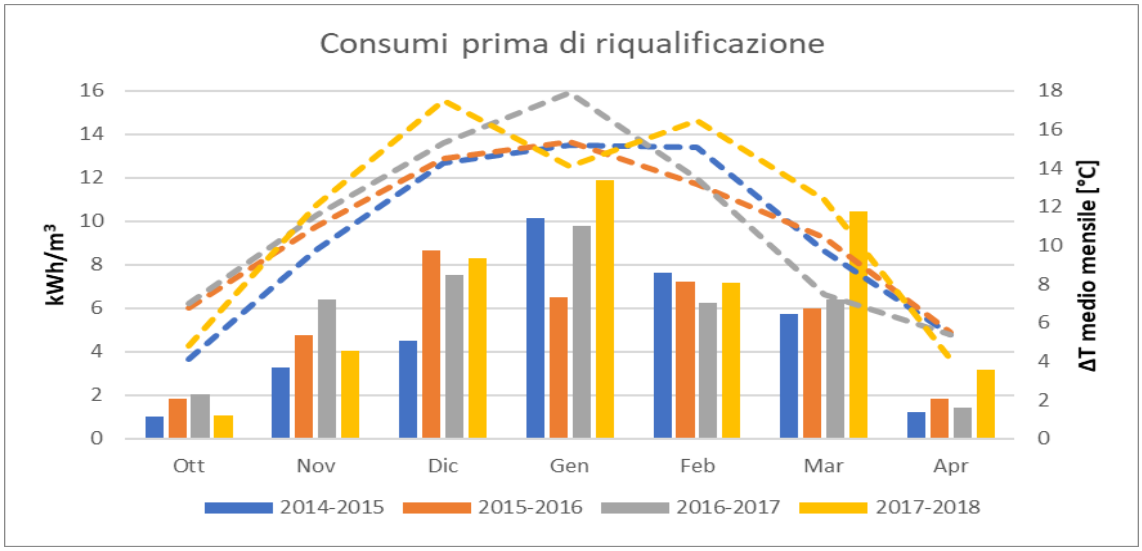
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,775)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

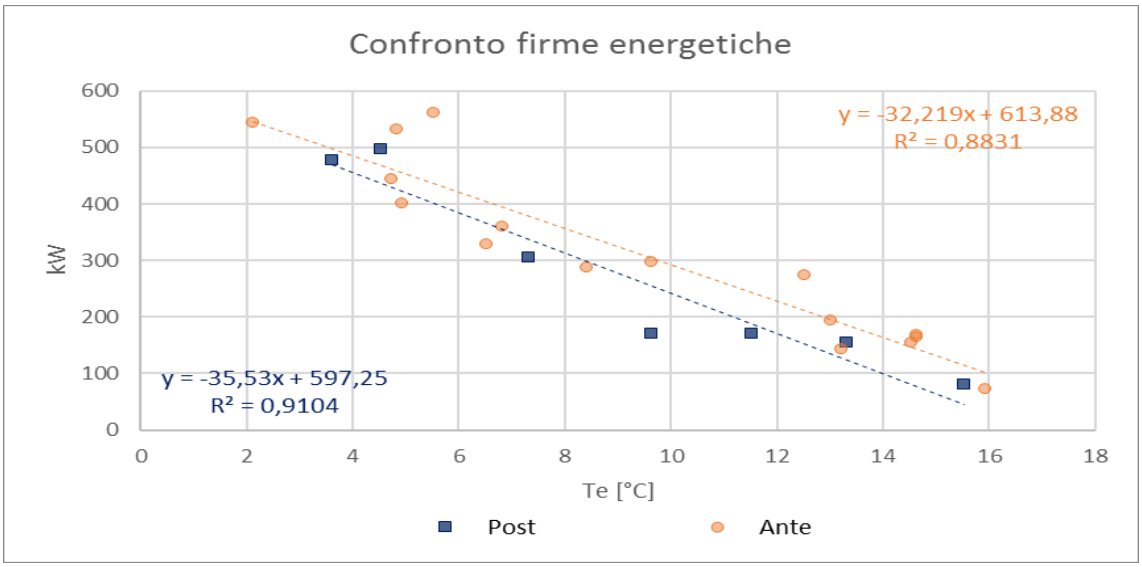
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun- Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00 + 3 ore serali

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	12280,0
A_f [m^2]	2810,,45
S/V [m^{-1}]	0,46
n° piani riscaldati	2

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,53 / 0,59
Solaio inferiore	1,44 / 1,63
Solaio superiore	1,46
Copertura	-
Serramenti	4,8 / 5,7

Consumi medi annuali (2014-2018)	
479 MWh	39,0 kWh/m^3





I.T.I.S. BODONI

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.I.S. Bodoni
Comune	Torino
Indirizzo	Via Ponchielli, 56
Codice	L1-007-150
Altitudine edificio	222 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1950
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

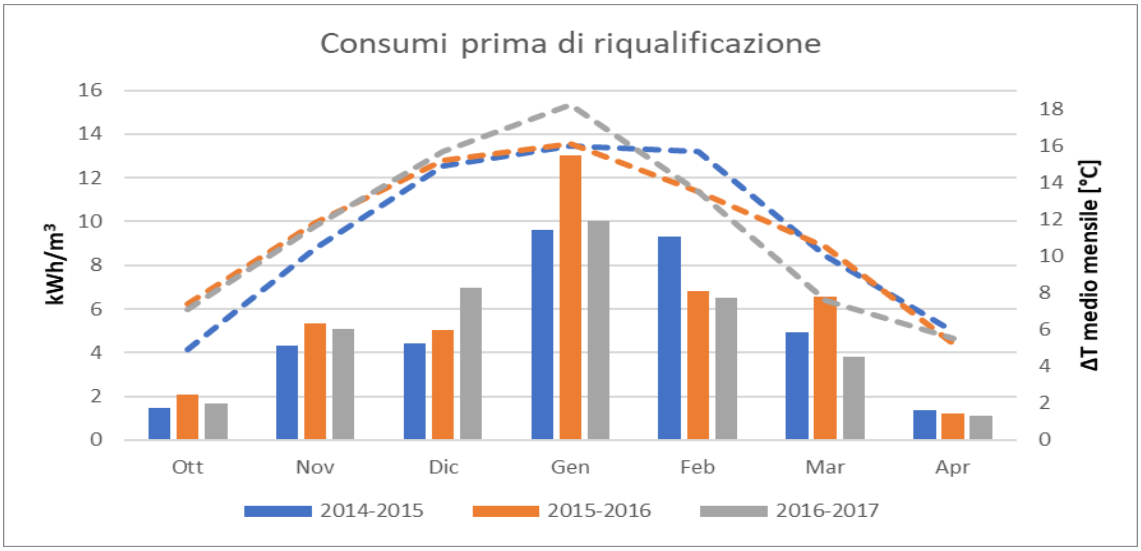
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,879)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

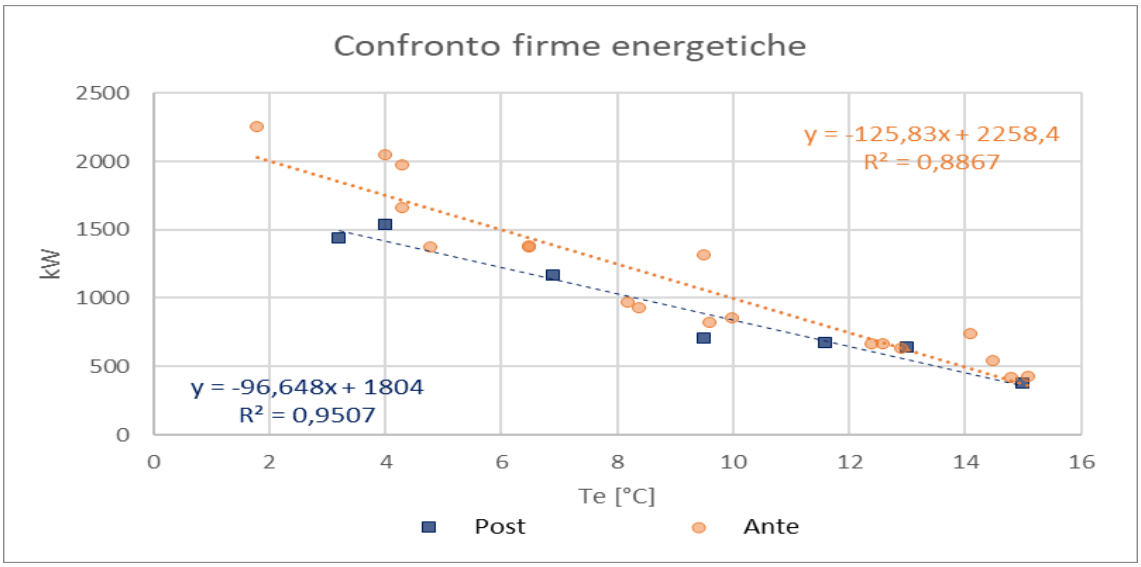
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-16:00 + 5 ore serali

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	30515,8
A_f [m^2]	8515,1
S/V [m^{-1}]	0,41
n° piani riscaldati	6

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,97 / 1,1
Solaio inferiore	1,34 / 1,51
Solaio superiore	1,65
Copertura	1,54
Serramenti	2,7 / 3,4

Consumi medi annuali (2014-2017)	
1125 MWh	36,9 kWh/m^3





I.T.I.S. PEANO + I.P.I.A. ZERBONI

DATI GENERALI	
Denominazione	I.T.I.S. Peano + I.P.I.A. Zerboni
Comune	Torino
Indirizzo	Corso Venezia, 29
Codice	L1-007-155
Altitudine edificio	239 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1940
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

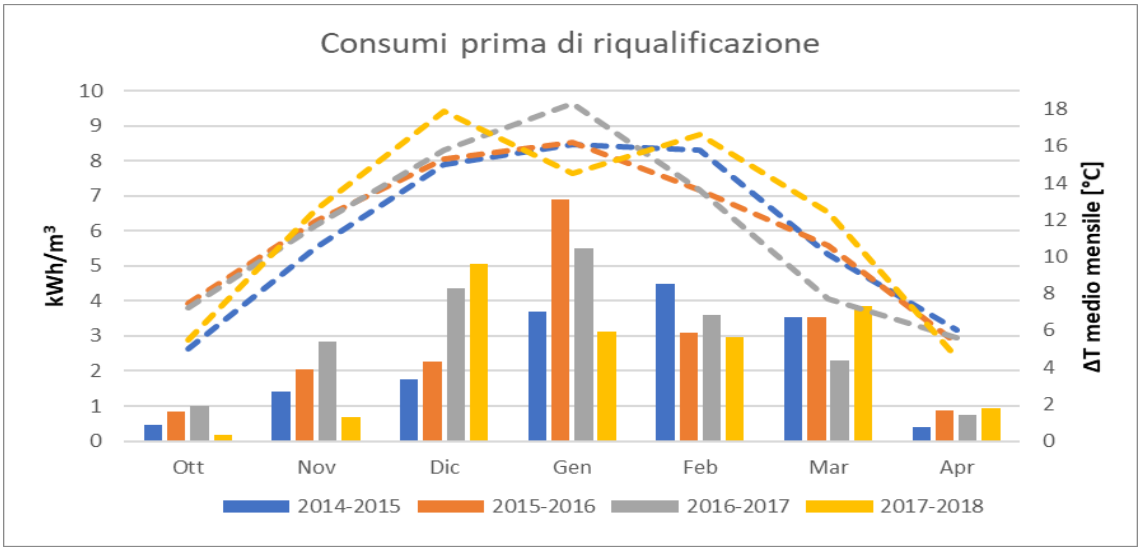
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,840)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

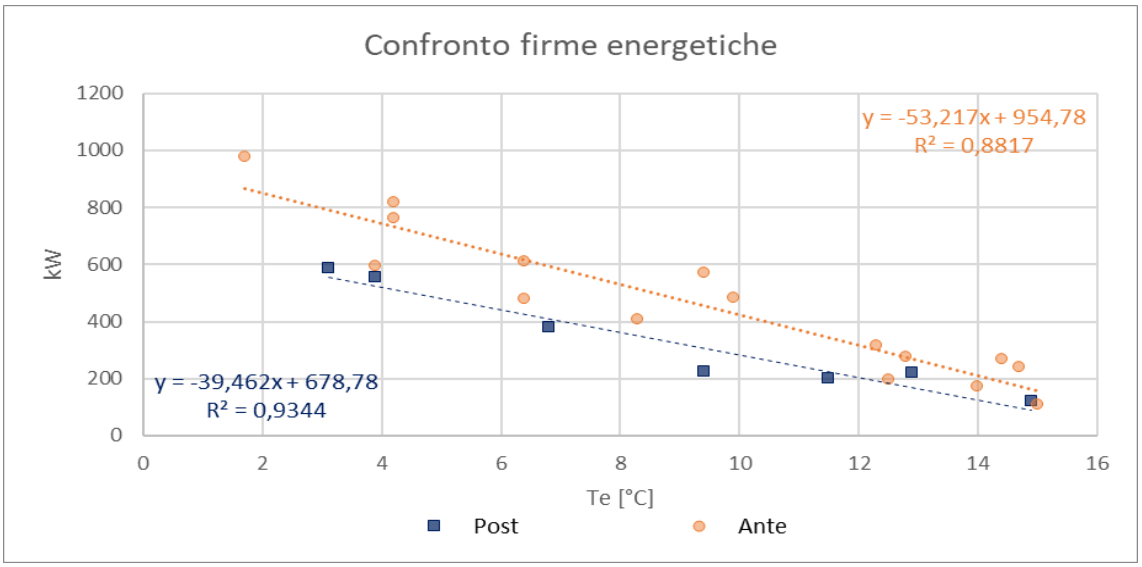
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico + liceo
Giorni utilizzo	Lun- Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00/08:00-16:00 + 5 ore serali

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	49161,1
A_f [m^2]	9205,9
S/V [m^{-1}]	0,23
n° piani riscaldati	5

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,42
Solaio inferiore	1,25 / 1,50
Solaio superiore	-
Copertura	1,65
Serramenti	2,7 / 3,4

Consumi medi annuali (2014-2018)	
891 MWh	18,1 kWh/m^3





L.S. EINSTEIN

DATI GENERALI	
Denominazione	L.S. Einstein
Comune	Torino
Indirizzo	Via Pacini, 28
Codice	L1-007-159
Altitudine edificio	226 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1960
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

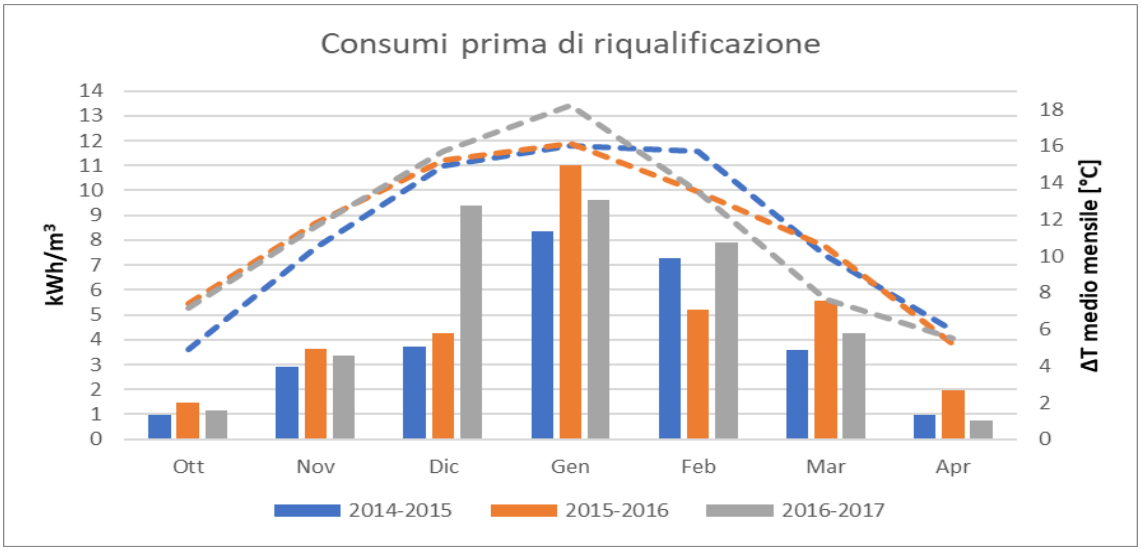
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,802)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa e acciaio
Vettore energetico	Gas naturale

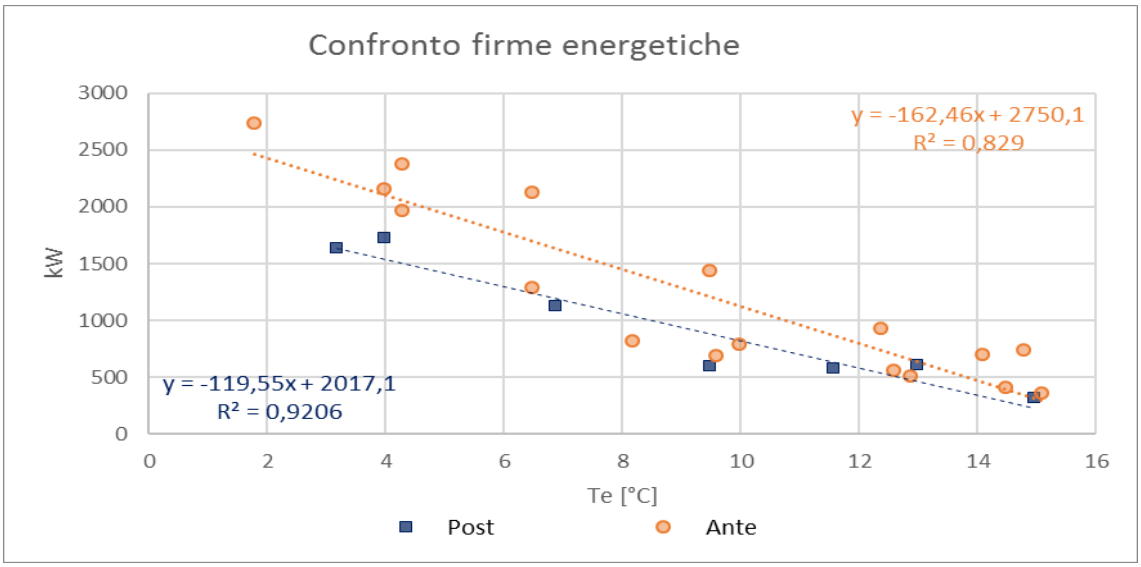
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven /Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00 /08:00-13:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	34082,1
A_f [m^2]	7907,9
S/V [m^{-1}]	0,28
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,21
Solaio inferiore	1,34
Solaio superiore	-
Copertura	1,55
Serramenti	5,10

Consumi medi annuali (2014-2017)	
1107 MWh	32,5 kWh/m^3





I.P.I.A. GOBETTI – MARCHESINI

DATI GENERALI	
Denominazione	I.P.I.A. Gobetti-Marchesini
Comune	Torino
Indirizzo	Via Figlie dei militari, 25
Codice	L1-007-165-166
Altitudine edificio	228 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1800
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

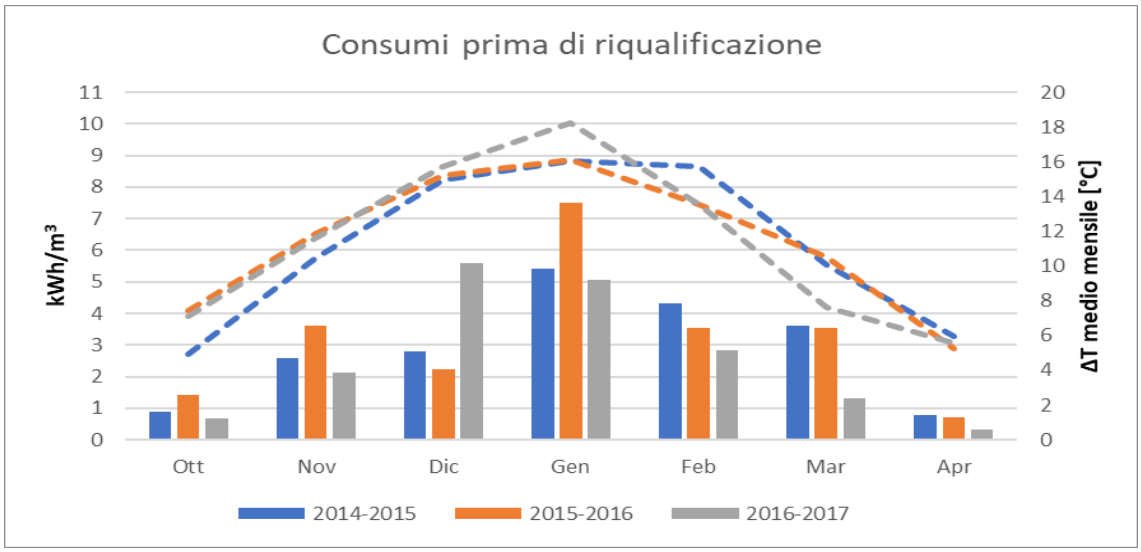
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,867)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	On - Off
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

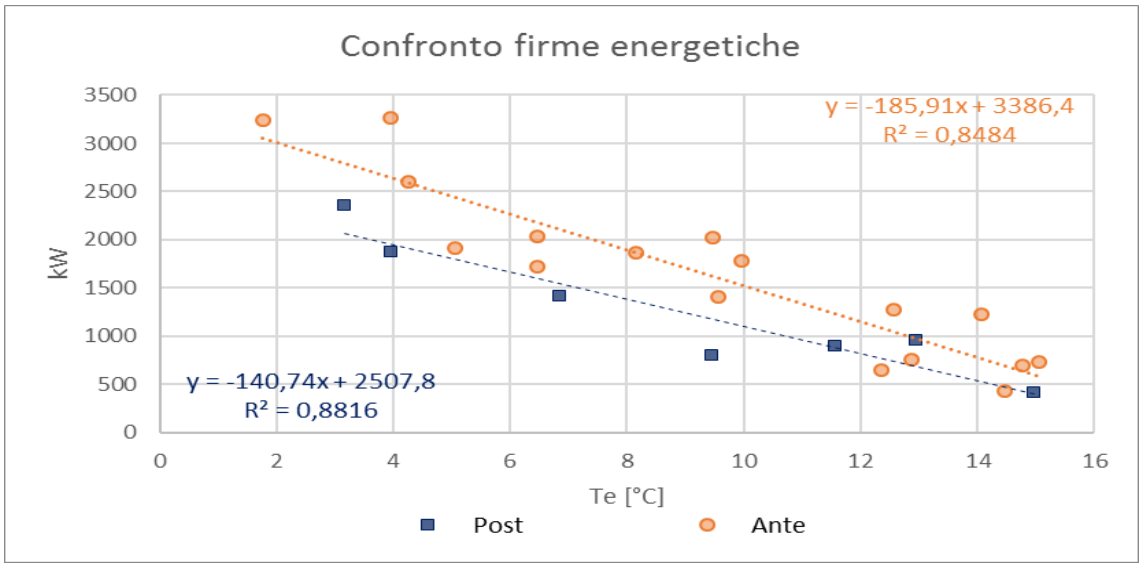
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Istituto tecnico + liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-16:10 /08:00-13:50 + 17:30-20:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	79322,8
A_f [m^2]	13919,7
S/V [m^{-1}]	0,29
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	-
Solaio inferiore	-
Solaio superiore	-
Copertura	-
Serramenti	-

Consumi medi annuali (2014-2017)	
1610 MWh	20,3 kWh/m^3





L.C. ALFIERI

DATI GENERALI	
Denominazione	L.C. Alfieri
Comune	Torino
Indirizzo	Corso Dante, 80
Codice	L1-007-168
Altitudine edificio	230 m
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239 m
Anno costruzione	1960/1970
Anno riqualificazione	2017
Tipologia intervento	Upgrade sist. controllo + TLR

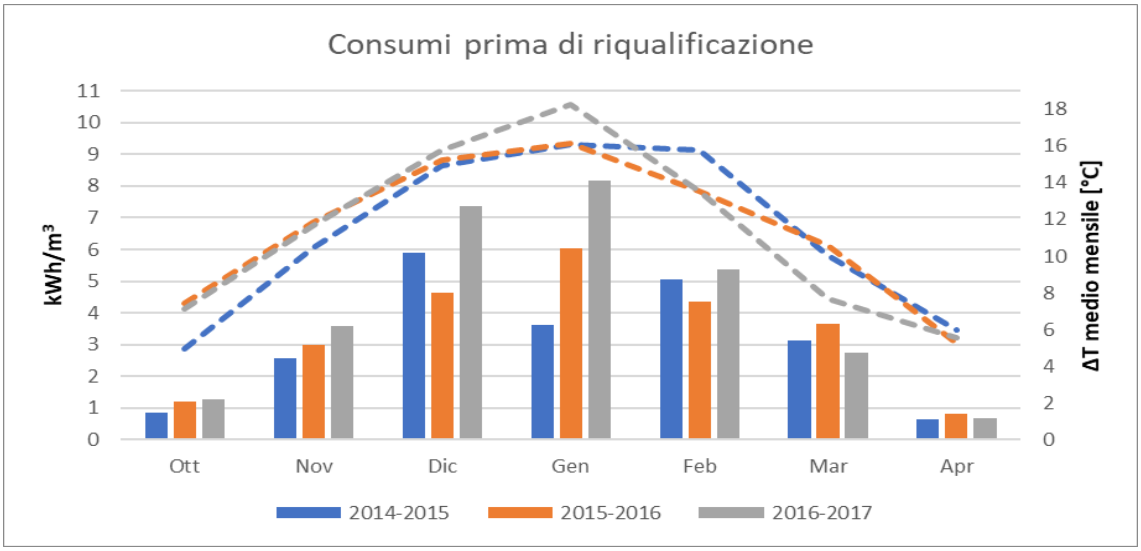
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,793)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	Climatica
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

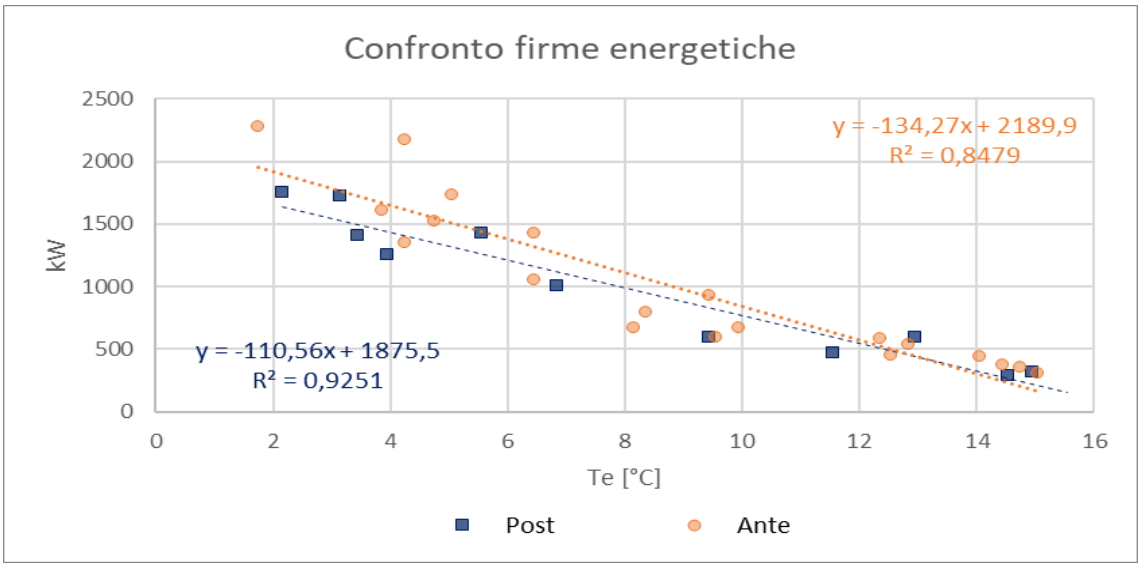
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven /Sab
Orario utilizzo scolastico	08:00-14:00 /08:00-13:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	33479,9
A_f [m^2]	7451,5
S/V [m^{-1}]	0,42
n° piani riscaldati	5

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,56
Solaio inferiore	0,96
Solaio superiore	0,90
Copertura	1,5
Serramenti	3,7 / 5,7

Consumi medi annuali (2014-2017)	
833 MWh	24,9 kWh/m^3





L.S. MARIE CURIE succursale

DATI GENERALI	
Denominazione	Nuova sede succ. L.S. Marie Curie
Comune	Collegno
Indirizzo	Via Torino, 9
Codice	L1-007-219
Altitudine edificio	297
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2646
Stazione climatica	Venaria Ceronda
Altitudine stazione	253
Anno costruzione	Prima del '76 (no iso)
Anno riqualificazione	2018
Tipologia intervento	Upgrade contr. + condensazione

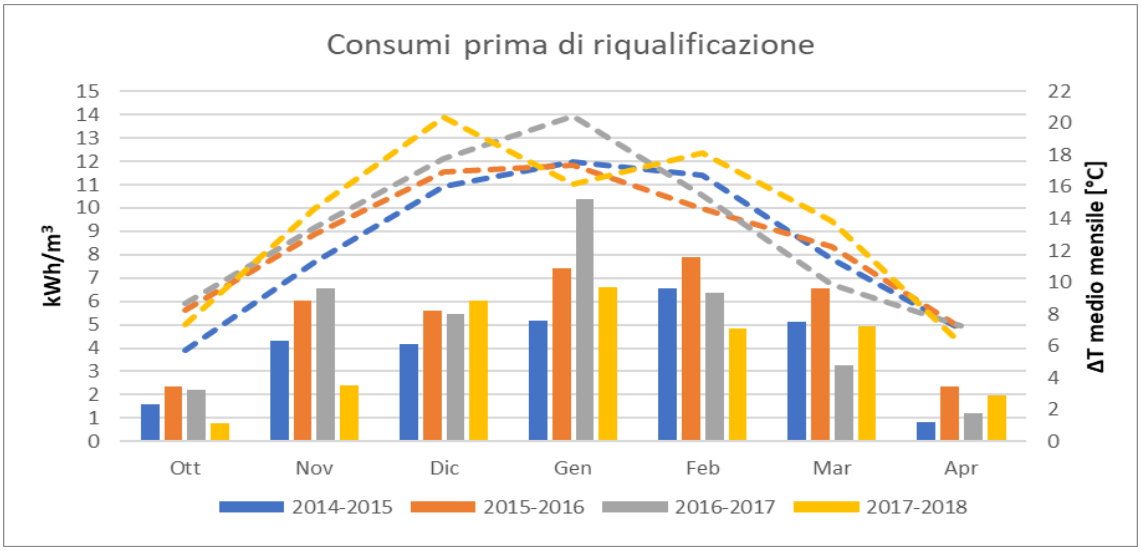
TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,756)
Distribuzione	Colonne montanti
Regolazione	On - Off
Emissione	Radiatori in ghisa
Vettore energetico	Gas naturale

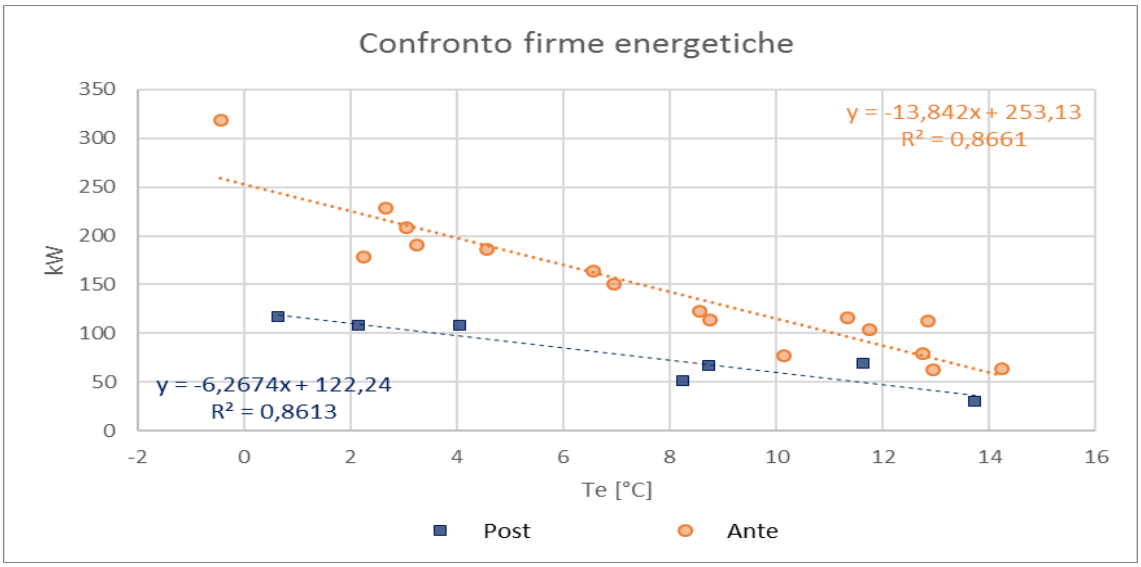
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Liceo
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-13:00

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	2618,0
A_f [m^2]	350,5
S/V [m^{-1}]	0,30
n° piani riscaldati	5

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	-
Solaio inferiore	-
Solaio superiore	-
Copertura	-
Serramenti	-

Consumi medi annuali (2014-2018)	
84 MWh	32,2 kWh/m^3





I.C. MARCONI ANTONELLI

DATI GENERALI	
Denominazione	I.C. "Marconi - Antonelli"
Comune	Torino
Indirizzo	Via Asigliano Vercellese, 10
Codice	C1
Altitudine edificio	230
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini reali
Altitudine stazione	239
Anno costruzione	1964
Anno riqualificazione	2014
Tipologia intervento	Cappotto + sost. finestre + valvole

TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,820)
Distribuzione	Colonne montanti (η_d=0,910)
Regolazione	Manuale (η_r=0,830)
Emissione	Radiatori in ghisa (η_e=0,900)
Rendimento impianto	η_g=0,557
Vettore energetico	Gas naturale

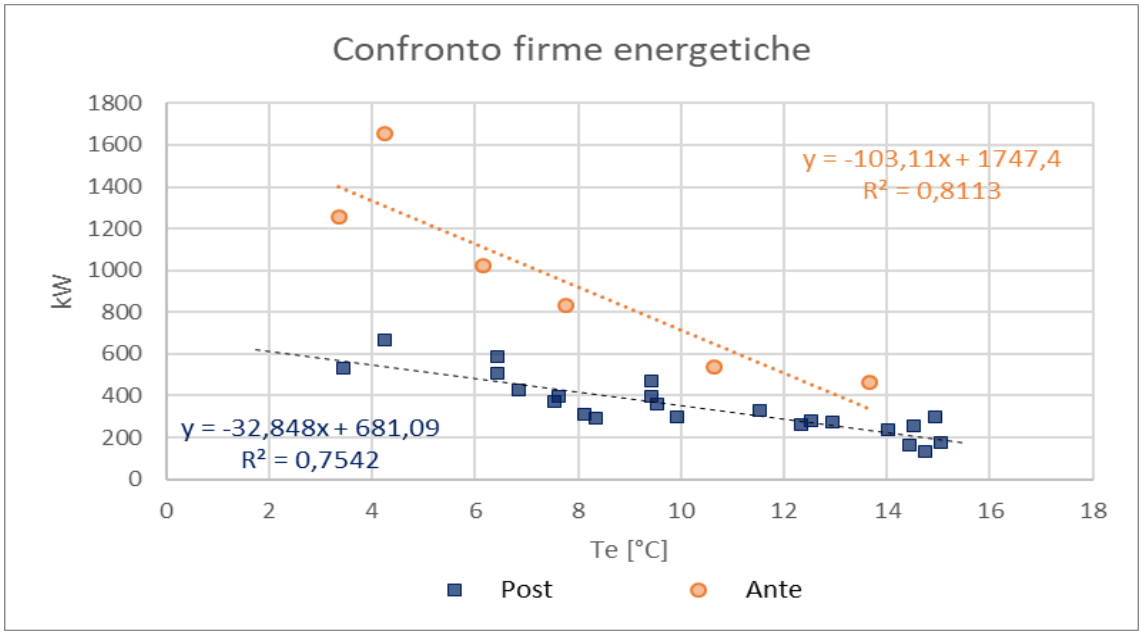
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Secondaria di I grado
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:30-13:30

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	21151,7
A_f [m^2]	4825,4
S/V [m^{-1}]	0,38
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,05 / 1.78
Solaio inferiore	1,17
Solaio superiore	1,55
Copertura	-
Serramenti	2,95

Consumi medi annuali (2011-2014)	
680 MWh	32,1 kWh/m^3

Consumi medi annuali (2014-2019)	
317 MWh	15,0 kWh/m^3



Scuola A. MANZONI

DATI GENERALI	
Denominazione	Scuola "A. Manzoni"
Comune	Torino
Indirizzo	Corso Svizzera, 59
Codice	C2
Altitudine edificio	260
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Torino Via della Consolata
Altitudine stazione	320
Anno costruzione	1972
Anno riqualificazione	2012 / 2014
Tipologia intervento	Valvole+TLR / Cappotto + sost. Finestre

TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,840)
Distribuzione	Colonne montanti (η_d=0,910)
Regolazione	Manuale (η_r=0,830)
Emissione	Radiatori in ghisa (η_e=0,900)
Rendimento impianto	η_g=0,564
Vettore energetico	Gas naturale

DATI FUNZIONALI	
Designazione	Secondaria di I grado + primaria
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	-

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	36896,1
A_f [m^2]	8208,2
S/V [m^{-1}]	0,33
n° piani riscaldati	4

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	0,95 / 1,20
Solaio inferiore	1,26
Solaio superiore	1,55
Copertura	1,39 / 1.59
Serramenti	4,00

Consumi medi annuali (2012-2014)	
792 MWh	21,5 kWh/m^3

Consumi medi annuali (2014-2019)	
557 MWh	15,1 kWh/m^3

I.C. MARCONI ANTONELLI

DATI GENERALI	
Denominazione	I.C. "Marconi - Antonelli"
Comune	Torino
Indirizzo	Via Vezzolano, 20
Codice	C3
Altitudine edificio	227
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini Reali
Altitudine stazione	239
Anno costruzione	1968
Anno riqualificazione	2014
Tipologia intervento	Cappotto + sost. finestre + valvole

TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,880)
Distribuzione	Colonne montanti (η_d=0,900)
Regolazione	Climatica (η_r=0,840)
Emissione	Radiatori in ghisa (η_e=0,910)
Rendimento impianto	η_g=0,605
Vettore energetico	Gas naturale

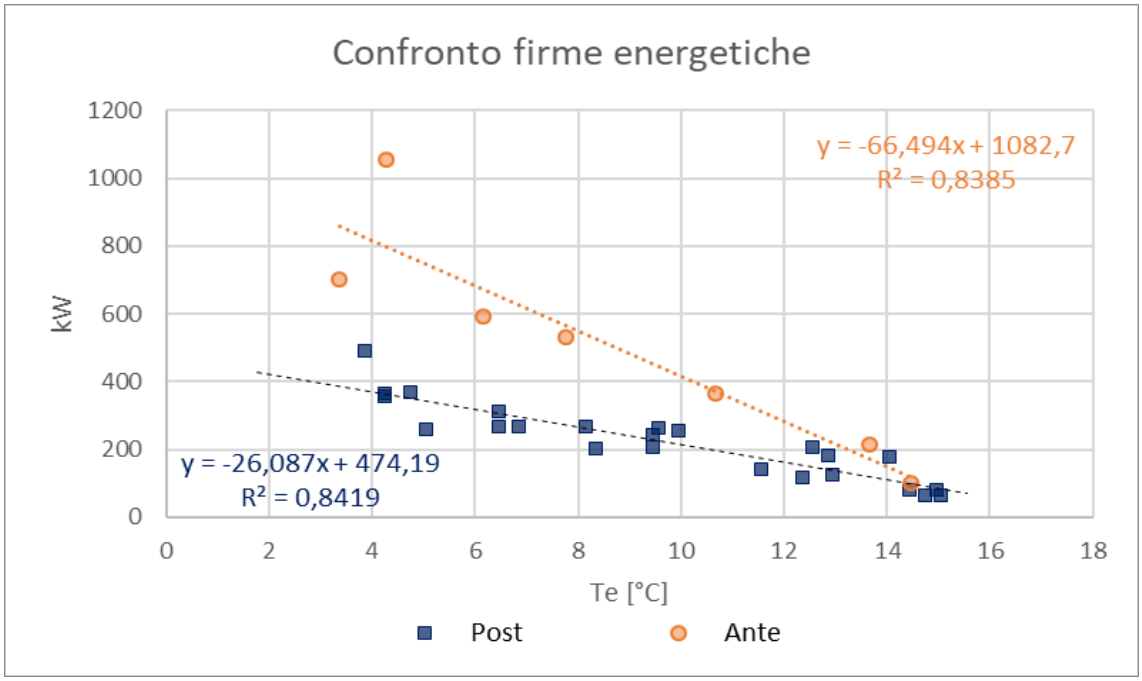
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Primaria
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00-16:30

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	18539,5
A_f [m^2]	4132,2
S/V [m^{-1}]	0,41
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,11 / 1,26 / 1,44
Solaio inferiore	2,50
Solaio superiore	1,48
Copertura	1,53
Serramenti	4,20

Consumi medi annuali (2011-2014)	
599 MWh	32,3 kWh/m^3

Consumi medi annuali (2014-2019)	
297 MWh	16,0 kWh/m^3



Scuola MARTIRI DEL MARTINETTO

DATI GENERALI	
Denominazione	Scuola "Martiri del Martinetto"
Comune	Torino
Indirizzo	Strada San Mauro, 24
Codice	C4
Altitudine edificio	224
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Giardini Reali
Altitudine stazione	239
Anno costruzione	1966
Anno riqualificazione	2014
Tipologia intervento	Cappotto + sost. finestre + valvole

TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,850)
Distribuzione	Colonne montanti (η_d=0,900)
Regolazione	Manuale (η_r=0,800)
Emissione	Radiatori in ghisa (η_e=0,900)
Rendimento impianto	η_g=0,551
Vettore energetico	Gas naturale

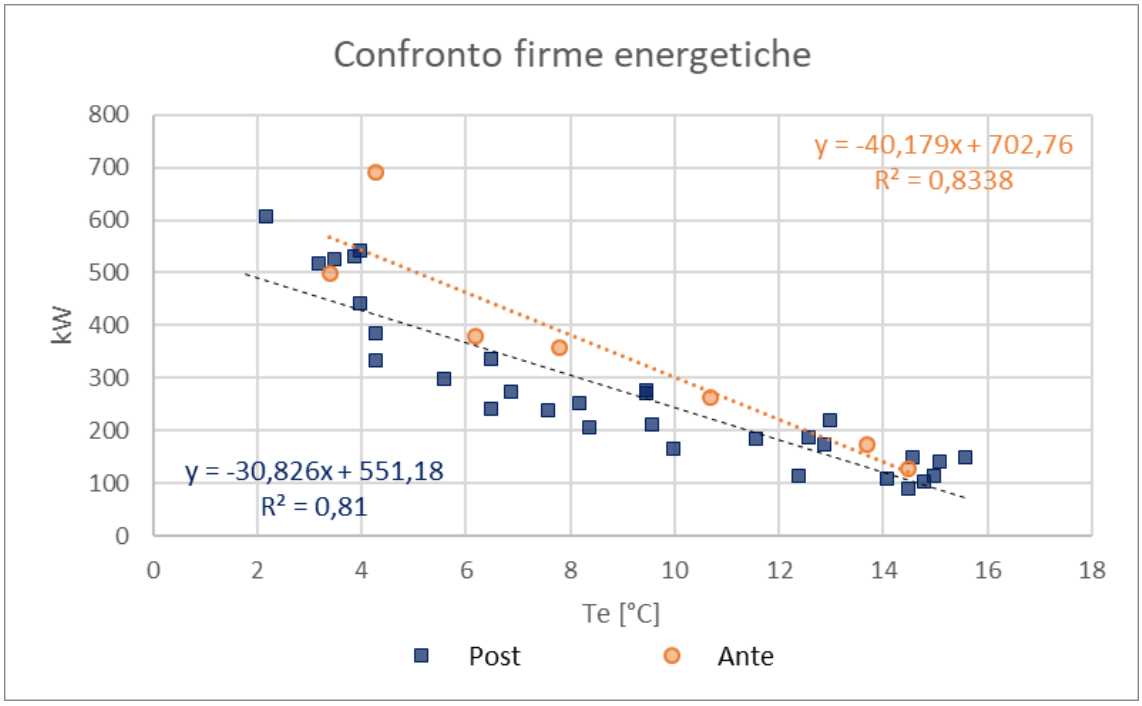
DATI FUNZIONALI	
Designazione	Secondaria di I grado
Giorni utilizzo	-
Orario utilizzo scolastico	-

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	14868,5
A_f [m^2]	4113,6
S/V [m^{-1}]	0,40
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,76
Solaio inferiore	1,45
Solaio superiore	1,59
Copertura	-
Serramenti	4,20

Consumi medi annuali (2011-2014)	
403 MWh	27,1 kWh/m^3

Consumi medi annuali (2014-2019)	
285 MWh	19,2 kWh/m^3



Complesso scolastico di via Passoni

DATI GENERALI	
Denominazione	Complesso scolastico via Passoni
Comune	Torino
Indirizzo	Via Passoni, 9
Codice	C5
Altitudine edificio	278
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Alenia
Altitudine stazione	320
Anno costruzione	1980
Anno riqualificazione	2012 / 2015
Tipologia intervento	Valvole+TLR / Cappotto + sost. Finestre

TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,850)
Distribuzione	Colonne montanti (η_d=0,900)
Regolazione	Manuale (η_r=0,840)
Emissione	Radiatori in ghisa (η_e=0,880)
Rendimento impianto	η_g=0,572
Vettore energetico	Gas naturale

DATI FUNZIONALI	
Designazione	Scuola primaria + infanzia
Giorni utilizzo	Lun-Ven
Orario utilizzo scolastico	08:00 - 16:30

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	46673,9
A_f [m^2]	11534,5
S/V [m^{-1}]	0,39
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,18
Solaio inferiore	1,55
Solaio superiore	1,75
Copertura	-
Serramenti	4,60

Consumi medi annuali (2012-2015)	
901 MWh	19,3 kWh/m^3

Consumi medi annuali (2015-2019)	
616 MWh	13,2 kWh/m^3

Scuola ITALO CALVINO

DATI GENERALI	
Denominazione	Scuola "Italo Calvino"
Comune	Torino
Indirizzo	Via Zumaglia, 39/41
Codice	C6
Altitudine edificio	267
Zona climatica	E
GG D.P.R. 412/93	2617
Stazione climatica	Alenia
Altitudine stazione	320
Anno costruzione	1983
Anno riqualificazione	2012 / 2014
Tipologia intervento	Valvole+TLR / Cappotto + sost. Finestre

TIPO IMPIANTO RISCALDAMENTO	
Generazione	Caldaia tradizionale (η_{gn}=0,860)
Distribuzione	Colonne montanti (η_d=0,900)
Regolazione	Manuale (η_r=0,800)
Emissione	Radiatori in ghisa (η_e=0,900)
Rendimento impianto	η_g=0,557
Vettore energetico	Gas naturale

DATI FUNZIONALI	
Designazione	Scuola primaria
Giorni utilizzo	-
Orario utilizzo scolastico	-

DATI GEOMETRICI	
V_l [m^3]	34410,6
A_f [m^2]	8270,5
S/V [m^{-1}]	0,28
n° piani riscaldati	-

INVOLUCRO - U [W/(m^{2}K)]	
Parete	1,22 / 1,55
Solaio inferiore	1,17
Solaio superiore	1,39
Copertura	-
Serramenti	5,20

Consumi medi annuali (2012-2014)	
627 MWh	18,2 kWh/m^3

Consumi medi annuali (2014-2019)	
461 MWh	13,4 kWh/m^3

Stagione termica 2002/03 (in blu gli edifici alimentati a gasolio)							
Codice	**V [m^3]**	**GG DPR**	**GG reali**	**η_{gn}**	**ore reali**	**ore conv**	**Consumi combustibile [Sm^3 o L]**
1	19.478	2928	2638	0,926	731	1098	80.032
3	14.418	2928	2638	0,880	729	1098	46.130
4	2.694	2928	2638	0,980	660	1098	9.814
5	12.900	3014	2715	0,890	944	1260	45.774
6	14.210	3014	2715	0,840	871	1260	61.793
8	11.399	2578	2323	0,860	942	1098	38.297
9	11.600	2714	2445	0,796	731	1098	21.367
10	23.783	2714	2445	0,840	873	1098	73.634
13	38.590	3113	2804	0,757	800	1260	99.779
14	146.710	2687	2421	0,874	871	1098	607.430
16	12.788	3065	2761	0,900	871	1260	29.500
17	35.154	2634	2373	0,820	1013	1098	108.430
23	45.972	2735	2464	0,948	871	1098	158.140
24	14.308	2815	2536	0,894	942	1098	31.825
25	2.000	2815	2536	0,840	873	1098	36.427
28	27.363	2815	2536	0,878	802	1098	80.255
29	5.065	2815	2536	0,886	731	1098	14.962
30	7.422	2815	2536	0,868	802	1098	28.108
31	16.882	2815	2536	0,878	802	1098	21.792
32	4.050	2815	2536	0,360	802	1098	43.767
33	40.779	2815	2536	0,754	802	1098	121.464
35	5.567	2939	2648	0,734	660	1098	22.462
36	82.012	2939	2648	0,854	731	1098	245.857
38	38.794	3108	2800	0,774	1149	1260	142.816
40	10.972	3108	2800	0,840	838	1260	51.552
41	18.841	2555	2302	0,889	980	1098	37.581
44	7.900	2617	2358	0,775	909	1098	44.236
45	13.800	2617	2358	0,820	909	1098	52.988
46	9.000	2617	2358	0,927	838	1098	53.742
47	20.601	2617	2358	0,873	1122	1098	130.832
48	24.970	2617	2358	0,863	696	1098	52.365
49	56.131	2617	2358	1,010	1297	1098	117.849
51	35.870	2617	2358	0,679	944	1098	198.347
53	34.502	2617	2358	0,618	660	1098	105.278
54	36.970	2617	2358	0,776	1015	1098	79.637
55	78.102	2617	2358	0,746	944	1098	243.539
57	84.742	2617	2358	0,844	1149	1098	329.060
59	22.340	2617	2358	0,945	802	1098	63.483
60	30.024	2617	2358	0,850	873	1098	71.919
61	37.347	2617	2358	0,823	873	1098	110.372
62	20.873	2617	2358	0,786	1086	1098	81.871
63	10.615	2617	2358	0,765	660	1098	38.254

64	11.610	2617	2358	0,942	944	1098	32.999
66	44.184	2617	2358	0,906	873	1098	185.584
68	18.000	2617	2358	0,745	518	1098	60.375
69	56.619	2617	2358	0,877	1228	1098	205.001
70	25.788	2617	2358	0,818	817	1098	94.645
73	14.450	2617	2358	0,868	1086	1098	26.281
75	2.574	2617	2358	0,927	731	1098	45.790
80	12.539	2714	2445	0,885	802	1098	36.482
99	29.562	2808	2530	0,840	731	1098	91.769
101	62.779	2778	2503	0,877	944	1098	255.391
105	45.749	2628	2368	0,900	731	1098	191.559
107	17.827	2628	2368	0,858	660	1098	53.763
109	12.120	2628	2368	0,916	802	1098	68.150
110	13.300	2870	2586	0,641	802	1098	33.007
111	36.670	2870	2586	0,850	802	1098	145.337
113	11.428	2870	2586	0,874	589	1098	54.984
116	11.645	2975	2680	0,906	802	1098	46.055
118	61.822	2737	2466	0,904	873	1098	158.182
119	31.100	2737	2466	0,946	802	1098	96.754
125	21.623	3197	2880	0,862	873	1260	94.048
127	10.500	3197	2880	0,971	873	1260	38.554
129	3.546	2553	2300	0,813	873	1098	4.536
130	74.689	2553	2300	0,673	1297	1098	224.296
131	6.121	2553	2300	0,757	1101	1098	11.996
132	47.981	2553	2300	0,940	731	1098	154.035
133	36.195	2537	2286	0,834	731	1098	81.725
134	43.200	2537	2286	0,923	802	1098	88.734
135	1.938	2727	2457	0,840	802	1098	9.915
136	26.966	2600	2358	0,934	731	1098	121.687
137	13.949	2600	2358	0,741	731	1098	50.866
142	34.654	2617	2358	0,874	873	1098	56.606
144	36.979	2617	2358	0,822	731	1098	137.887
145	13.043	2617	2358	0,718	660	1098	46.854
147	40.824	2617	2358	0,829	1297	1098	77.554
148	300	2617	2358	0,652	1149	1098	6.241
149	38.212	2617	2358	0,841	660	1098	104.429
150	43.990	2617	2358	0,834	873	1098	124.188
154	69.446	2617	2358	0,850	1226	1098	192.262
155	28.221	2617	2358	0,854	1297	1098	124.442
156	9.139	2617	2358	0,785	1368	1098	101.395
157	38.080	2617	2358	0,840	873	1098	95.241
159	36.529	2617	2358	0,825	802	1098	112.761
160	8.910	2617	2358	0,840	660	1098	29.605
165	91.600	2617	2358	0,858	1297	1098	203.426
167	45.231	2617	2358	0,867	1155	1098	116.244

168	32.500	2617	2358	0,916	802	1098	87.946
170	82.846	2617	2358	0,776	731	1098	299.705
197	2.295	2617	2358	0,854	1086	1098	13.324
202	63.535	2617	2358	0,886	1122	1098	92.881
204	88.000	2617	2358	0,929	1122	1098	166.638
205	42.682	2617	2358	0,840	1122	1098	171.943
206	16.125	2617	2358	0,834	1122	1098	30.331
22	10.352	2735	2464	0,754	871	1098	18.108
50	16.821	2617	2358	0,793	909	1098	43.929
65	19.100	2617	2358	0,749	802	1098	75.327
72	22.773	2617	2358	0,760	1086	1098	42.842
74	26.658	2617	2358	0,830	1368	1098	94.693
115	2.900	2975	2680	0,754	802	1098	9.967
121	5.625	2737	2466	0,785	1297	1098	7.352
122	9.255	2737	2466	0,485	1297	1098	97.465
123	4.500	2737	2466	0,730	1243	1098	19.566
128	16.233	2553	2300	0,850	660	1098	57.256
169	18.358	2617	2358	0,784	660	1098	54.429
200	2.355	2617	2358	0,736	1122	2562	10.757
207	7.212	2617	2358	0,791	1122	1098	10.590

Stagione termica 2004/05 (in blu gli edifici alimentati a gasolio)	
Codice	**Consumo convenzionale di energia secondaria [MWh]**
1	751
3	313
4	132
5	790
6	673
8	486
9	411
10	565
13	762
14	7553
16	412
17	1949
23	2088
24	351
25	394
28	741
29	259
30	423
31	213
32	426
33	1028
35	143
36	4137
38	1350
40	417
41	668
44	454
45	656
46	662
47	662
48	857
49	1048
51	1475
53	921
54	629
55	2599
57	2743
59	973
60	806
61	1278
62	466
63	573

64	440
66	1557
68	624
69	1361
70	803
73	478
75	764
80	459
99	546
101	2139
105	1292
107	1079
109	599
110	335
111	1280
113	2053
116	432
118	1793
119	635
125	537
127	394
129	117
130	1855
131	229
132	1481
133	764
134	1069
135	152
136	1327
137	499
142	727
144	1427
145	481
147	1447
148	101
149	1907
150	1600
154	1801
155	1007
156	589
157	1091
159	1014
160	368
165	1720
167	1050

168	1008
170	3156
197	126
202	539
204	1980
205	865
206	174
22	127
50	462
65	873
72	478
74	910
115	107
121	58
122	704
123	219
128	564
169	574
200	190
207	171

8 Bibliografia

[1] «Paris Agreement,» [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en.

[2] C. Europea, *COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI - Il Green Deal Europeo,* 2019.

[3] ENEA, «RAEE - Rapporto Annuale Efficienza Energetica,» ENEA, 2019.

[4] MIUR, «Portale Unico dei Dati della Scuola,» [Online]. Available: https://dati.istruzione.it/opendata/opendata/catalogo/elements1/?area=Edilizia%20Scolastica.

[5] C. Delmastro, G. Mutani, M. Pastorelli e G. Vicentini, «Urban morphology ad energy consumption in Italian residential buildings,» Palermo, 2015.

[6] *D.P.R. 26 Agosto 1993, n.412.*

[7] *UNI EN ISO 52000-1 : 2018 - Prestazione energetica degli edifici - Valutazione globale EPB - Parte 1: struttura generale e procedure.*

[8] V. Corrado, I. Ballarini e S. P. Corgnati, «Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana (nuova edizione),» in *Building Typology Brochure - Italy*, 2014.

[9] *UNI EN 15378-3:2018 - Prestazione energetica degli edifici - Sistemi di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria - Parte 3: Prestazione energetica misurata, Moduli M3-10 , M8-10,* 2018.

[10] Regione Piemonte, «Istruzione, Formazione e Lavoro,» [Online]. Available: https://www.regione.piemonte.it/web/temi/istruzione-formazione-lavoro/istruzione/calendario-rete-scolastica/calendario-scolastico.

[11] CSI Piemonte, «Applicazione "meteoweb" - Arpa Piemonte,» [Online]. Available: https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html.

[12] *UNI 10349-1:2016 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati Climatici -,* 2016.

[13] S. Mezzano e V. Suffiotti, Il catasto e la diagnosi energetica degli edifici scolastici della Provincia di Torino, Tesi magistrale - Politecnico di Torino, 2013.

[14] L. Belussi e L. Danza, «Method for the prediction of malfunctions of building through real energy consumption analysis: Holistic and multidisciplinary approach of Energy Signature,» *Energy and buildings,* 2012.

[15] G. V. Fracastoro e M. Serraino, «Valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici alla scala provinciale,» Contratto di consulenza 1064/2008: Provincia di Torino , Dipartimento di Energetica - Politecnico di Torino, Torino, 2009.

[16] P. Gabriele, E. Giacone e S. Mancò, «Appendice A - Richiami di statistica,» in *Dispense del corso di Gestione dei Sistemi Energetici*, Torino, Dipartimento Energia, Politecnico di Torino, Epics edizioni, 2018, p. 276.

[17] *ISO 13789 : 2017 - Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat trasnfer coefficients - Calculation method,* 2017.

[18] Consip S.P.A., «Gara comunitaria a procedura aperta per la fornitura di gas naturale e dei servizi connessi per le Pubbliche Amministrazioni (edizione 11),» 2019. [Online]. Available: http://www.consip.it/bandi-di-gara/gare-e-avvisi/gara-gas-naturale-11.

[19] Consip S.P.A., «Convenzione per la fornitura di gas naturale e dei servizi connessi per le Pubbliche Amministrazioni, ed.11 - ID 2038 - Lotti nn.1,5,6 e 8,» 2019. [Online]. Available: http://www.consip.it/bandi-di-gara/gare-e-avvisi/gara-gas-naturale-11.

[20] Consip S.P.A., «Gara a procedura aperta ai sensi del D.Lgs n.50/2016 e s.m.i., per l'affidamento della fornitura di gas naturale e dei servizi connessi per le Pubbliche Amministrazioni. ed.11 - ID 2038 - Allegato 5 - Capitolato Tecnico,» 2019. [Online]. Available: http://www.consip.it/bandi-di-gara/gare-e-avvisi/gara-gas-naturale-11.

[21] S. P. Corgnati, V. Corrado, F. Ariaudo e L. Rollino, «Analisi dei consumi storici per il riscaldamento ambientale e definizione dei valori di riferimento normalizzati (benchmarks) per edifici di proprietà e competenza della Provincia di Torino,» Torino, 2009.

[22] Provincia di Torino, «Capitolato speciale d'Appalto per il Servizio Energetico negli edifici di proprietà e competenza della Provincia di Torino - Periodo 01/10/2014 - 30/09/2015,» Torino, 2014.

[23] Città Metropolitana di Torino - Area Edilizia - Servizio Impianti Tecnologici e Gestione Energia, «CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO - Servizio Energetico negli Edifici di Proprietà e Competenza della Città Metropolitana di Torino - Periodo 1/10/2015 - 30/09/2016 - ALLEGATO A9,» Torino, 2015.

[24] Consip S.P.A., «Gara a procedura aperta ai sensi del D.Lgs. n. 163/2006 e s.m.i., per l'affidamento del Servizio Integrato Energia per le Pubbliche Amministrazioni - Allegato 5 - Capitolato Tecnico,» 2016. [Online]. Available: http://www.consip.it/bandi-di-gara/gare-e-avvisi/gara-sie-3.

[25] V. Corrado, S. P. Corgnati e C. Maga , «Analisi dei dati relativi ai consumi energetici per riscaldamento ambientale degli edifici della Provincia di Torino ai fini dell'attribuzione del "coefficiente di consumo specifico" proprio di ogni singolo sistema edificio-impianto,» Torino, 2003.

[26] C. Delmastro, G. Mutani e S. Perassi, «In Use Monitoring of Public Buildings. Case Study in North Italy,» *International Journal of Heat and Technology,* vol. 34, n. Special Issue 2, Ottobre 2016.

[27] Eurostat, «Enegy statistics - an overview,» 2019.

[28] IEA, «IEA World Energy Balances 2019,» [Online]. Available: https://webstore.iea.org/world-energy-balances-2019.

[29] Regione Piemonte - Settore Sviluppo Energetico Sostenibile, «Proposta di Piano Energetico Ambientale Regionale,» 2017.

[30] G. Mutani, S. Mezzano e V. Suffiotti, «Analisi sul consumo di energia termica per gli edifici scolastici della provincia di Torino,» 2014.