

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria Energetica e Nucleare

Tesi di Laurea Magistrale

*Analisi dei dati di consumo e diagnosi energetica del sito G.T.T. di  
Collegno e delle stazioni metropolitane Re Umberto e Porta Nuova*



13 dicembre 2019

## **Relatori**

Enrico Pons

Pietro Colella

Andrea Tortora

## **Candidato**

Guido Albonico

Anno Accademico 2018/2019

## Sommario

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ABSTRACT .....                                                                               | 6  |
| Introduzione.....                                                                            | 9  |
| 1. Quadro legislativo .....                                                                  | 11 |
| 1.1 Direttiva europea 2012/27/UE.....                                                        | 11 |
| 1.2 Decreto Legislativo 102/14 del 4 luglio .....                                            | 12 |
| 1.3 Normativa UNI CEI EN 16247 .....                                                         | 12 |
| 1.4 Linee guida ENEA.....                                                                    | 15 |
| 1.4.1 Rapporto di diagnosi.....                                                              | 16 |
| 1.4.2 Schema energetico aziendale.....                                                       | 16 |
| 1.5 Linee guida ASSTRA.....                                                                  | 17 |
| 2. Clusterizzazione dei siti GTT .....                                                       | 18 |
| 3. Dati dell'azienda sottoposta a diagnosi energetica.....                                   | 20 |
| 3.1 I dati industriali 2018 di GTT.....                                                      | 21 |
| 4. Sito GTT di Collegno .....                                                                | 22 |
| 4.1 Descrizione sito .....                                                                   | 22 |
| 4.2 Caratteristiche dei fabbricati.....                                                      | 28 |
| 5. Documentazione su cui si è basata l'analisi .....                                         | 31 |
| 6. Descrizione dei centri di consumo sito Collegno .....                                     | 33 |
| 7. Vettore energia elettrica .....                                                           | 34 |
| 7.1 Energia elettrica: distribuzione e principali utenze .....                               | 34 |
| 7.1.1 BANCO DI CARICO.....                                                                   | 39 |
| 7.1.2 GRUPPI FRIGORIFERI .....                                                               | 48 |
| 7.1.3 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE LOCALI E AREE ESTERNE.....                                   | 49 |
| 7.1.4 COMPRESSORI .....                                                                      | 52 |
| 7.1.5 UTENSILI OFFICINA.....                                                                 | 53 |
| 7.2 Energia elettrica : misure spot eseguite sulle principali utenze .....                   | 54 |
| 7.3 Energia elettrica: consumi da bollette GTT Sito Metro-Collegno.....                      | 58 |
| 7.4 Costi energia elettrica bollette GTT Comprensorio Metro/Collegno .....                   | 63 |
| 7.5 Energia elettrica: analisi delle curve di carico.....                                    | 68 |
| 7.6 Energia elettrica: ripartizione consumi Comprensorio di Collegno .....                   | 71 |
| 8. Vettore gas naturale.....                                                                 | 76 |
| 8.1 Energia termica: produzione e principali utenze .....                                    | 76 |
| 8.2 Energia termica: modello di calcolo dell'edificio per la simulazione dei fabbisogni..... | 81 |
| 8.2.1 Dati di base per le simulazioni .....                                                  | 81 |

|        |                                                                                        |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.2.2  | Caratteristiche climatiche per il calcolo dei carichi termici .....                    | 85  |
| 8.2.3  | Caratteristiche climatiche per il calcolo dei fabbisogni di energia .....              | 86  |
| 8.2.4  | Risultati del calcolo: potenze termiche.....                                           | 89  |
| 8.2.5  | Risultati del calcolo del consumo di energia termica .....                             | 92  |
| 8.2.6  | Risultati del calcolo: fabbisogno di energia consegnata.....                           | 96  |
| 8.2.7  | Confronto consumi energetici calcolati con i consumi reali del Sito .....              | 97  |
| 8.3    | Energia termica: consumo da bollette GTT Sito Metro-Collegno.....                      | 97  |
| 8.4    | Energia termica: costi gas metano bollette GTT Compensorio Metro/Collegno .....        | 101 |
| 9.     | Vettore carburanti per autotrazione .....                                              | 104 |
| 9.1    | Carburanti per autotrazione: elenco veicoli.....                                       | 104 |
| 9.2    | Consumo di carburanti per autotrazione.....                                            | 106 |
| 9.3    | Costi carburanti per autotrazione.....                                                 | 112 |
| 10.    | Energia primaria sito GTT di Collegno.....                                             | 112 |
| 10.1   | Consumi di energia primaria .....                                                      | 112 |
| 10.2   | Energia primaria: costi globali Sito GTT di Collegno.....                              | 120 |
| 11.    | Indicatori di consumo sito di Collegno e costruzione di una baseline.....              | 120 |
| 11.1   | Indicatori del consumo di energia elettrica e baseline.....                            | 121 |
| 11.2   | Indicatori del consumo di energia elettrica per condizionamento estivo e baseline..... | 122 |
| 11.3   | Indicatori del consumo di energia termica e baseline.....                              | 122 |
| 11.4   | Indicatori del consumo di carburanti per autotrazione e baseline .....                 | 125 |
| 11.5   | Indicatore di energia primaria su mezzi in dotazione al sito .....                     | 127 |
| 11.6   | Tabella riassuntiva indicatori.....                                                    | 127 |
| 12.    | Descrizione Linea 1 Metropolitana di Torino .....                                      | 128 |
| 13.    | Descrizione dei centri di consumo.....                                                 | 130 |
| 14.    | Energia elettrica stazioni metro .....                                                 | 131 |
| 15.    | Stazione Metropolitana Re Umberto .....                                                | 131 |
| 15.1   | Descrizione stazione Re Umberto .....                                                  | 131 |
| 16.    | Vettore energia elettrica.....                                                         | 132 |
| 16.1   | Energia elettrica: distribuzione e principali utenze .....                             | 132 |
| 16.1.1 | Illuminazione di stazione e di galleria tra due stazioni.....                          | 136 |
| 16.1.2 | Scale mobili.....                                                                      | 136 |
| 16.1.3 | Ascensori .....                                                                        | 137 |
| 16.1.4 | Ventilatori.....                                                                       | 138 |
| 16.1.5 | Condizionamento locali tecnici .....                                                   | 139 |
| 16.2   | Energia elettrica: misure spot eseguite sulle principali utenze .....                  | 140 |
| 16.3   | Energia elettrica ripartizione consumi della stazione Re Umberto.....                  | 142 |

|        |                                                                                                       |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 16.3.1 | Stima del consumo di energia elettrica per illuminazione stazione e galleria .....                    | 144 |
| 16.3.2 | Stima del consumo di energia elettrica degli ascensori .....                                          | 145 |
| 16.3.3 | Stima del consumo di energia elettrica delle scale mobili.....                                        | 145 |
| 16.3.4 | Stima del consumo di energia elettrica per la ventilazione .....                                      | 146 |
| 16.3.5 | Stima del consumo di energia elettrica per il condizionamento .....                                   | 147 |
| 16.3.6 | Stima del consumo di energia elettrica per i tornelli e le erogatrici di biglietti.....               | 147 |
| 16.3.7 | Altri consumi di energia elettrica .....                                                              | 147 |
| 16.3.8 | Riepilogo ripartizione consumi energia elettrica stazione Re Umberto .....                            | 148 |
| 17.    | Stazione metropolitana Porta Nuova .....                                                              | 151 |
| 17.1   | Descrizione stazione Porta Nuova.....                                                                 | 151 |
| 18.    | Vettore energia elettrica.....                                                                        | 153 |
| 18.1   | Energia elettrica: distribuzione e principali utenze .....                                            | 153 |
| 18.1.1 | Illuminazione di stazione.....                                                                        | 157 |
| 18.1.2 | Scale mobili.....                                                                                     | 158 |
| 18.1.3 | Ascensori .....                                                                                       | 159 |
| 18.1.4 | Ventilatori.....                                                                                      | 169 |
| 18.1.5 | Condizionamento locali tecnici .....                                                                  | 169 |
| 18.2   | Energia elettrica: misure spot eseguite sulle principali utenze .....                                 | 169 |
| 18.3   | Energia elettrica ripartizione consumi della stazione Porta Nuova .....                               | 172 |
| 18.3.1 | Stima del consumo di energia elettrica per illuminazione stazione.....                                | 174 |
| 18.3.2 | Stima del consumo di energia elettrica degli ascensori oleodinamici .....                             | 174 |
| 18.3.3 | Stima del consumo di energia elettrica delle scale mobili.....                                        | 175 |
| 18.3.4 | Stima del consumo di energia elettrica per la ventilazione .....                                      | 176 |
| 18.3.5 | Stima del consumo di energia elettrica per il condizionamento .....                                   | 177 |
| 18.3.6 | Stima del consumo di energia elettrica per i tornelli e le erogatrici biglietti.....                  | 177 |
| 18.3.7 | Altri consumi di energia elettrica .....                                                              | 178 |
| 18.3.8 | Riepilogo ripartizione consumi energia elettrica stazione Porta Nuova.....                            | 179 |
| 19.    | Indicatori di consumo stazioni metro e costruzione di una baseline .....                              | 182 |
| 19.1   | Indicatore di consumo di energia elettrica annua di stazione per passeggero .....                     | 183 |
| 19.2   | Indicatore di consumo di energia elettrica annua per illuminazione di stazione a m <sup>2</sup> ..... | 186 |
| 19.3   | Tabella riassuntiva indicatori delle stazioni .....                                                   | 187 |
| 20.    | Criticità e spunti di miglioramento riscontrati nell'analisi .....                                    | 187 |
| 21.    | Suggerimenti di interventi di efficienza energetica .....                                             | 190 |
| 21.1   | Interventi di efficienza energetici suggeriti per il sito di Collegno .....                           | 193 |
| 21.1.1 | Monitoraggio in continuo del consumo di energia elettrica .....                                       | 193 |
| 21.1.2 | Impianto fotovoltaico .....                                                                           | 196 |

|        |                                                                                  |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 21.2   | Interventi di efficienza energetica suggeriti per le stazioni metropolitane..... | 198 |
| 21.2.1 | Monitoraggio in continuo del consumo di energia elettrica .....                  | 198 |
| 21.2.2 | Illuminazione a LED .....                                                        | 199 |
| 21.2.3 | Riduzione delle ore di funzionamento dell'illuminazione di stazione .....        | 201 |
| 21.2.4 | Regolazione della ventilazione .....                                             | 203 |
| 21.2.5 | Rifasamento .....                                                                | 203 |
| 21.2.6 | Sostituzione ascensori.....                                                      | 204 |
| 22.    | Conclusioni.....                                                                 | 205 |
| 23.    | Bibliografia.....                                                                | 209 |

## ABSTRACT

La presente tesi è stata sviluppata presso l'azienda GTT a seguito di un percorso di tirocinio ed è basata sulla diagnosi energetica elaborata con la ditta MCDUE Engineering e ha come finalità l'analisi dei consumi del deposito della metropolitana della linea 1 di Torino del Gruppo Trasporti Torinese (GTT) situato a Collegno e delle stazioni metropolitane Re Umberto e Porta Nuova con l'obiettivo di individuare eventuali sprechi e proporre misure atte ad un miglioramento nella gestione energetica del servizio.

Il lavoro svolto prende spunto dall'obbligo di diagnosi per le grandi imprese o le imprese energivore previsto dal D. Lgs. 102/14 e dalle collegate Linee Guida ENEA.

Sono stati effettuati sopralluoghi nei siti analizzati nella tesi per una valutazione in loco della gestione dei vettori energetici e per la misura spot dei consumi elettrici di alcune utenze.

Altro oggetto d'interesse della tesi è la ripartizione dei consumi elettrici del Comprensorio Metropolitana di Collegno per estrapolare dal valore totale da bolletta la quota di consumi di energia elettrica imputabile al deposito di Collegno, alle 21 stazioni metropolitane e alla trazione. Dalle indicazioni di GTT i consumi di energia elettrica del Comprensorio Metropolitana Collegno possono essere divisi a metà tra trazione treni e la somma dei consumi del deposito e delle 21 stazioni metropolitane. La quota di consumo qui analizzata è pari al 50% della bolletta imputabile ai siti fisici del Comprensorio Metropolitana Collegno, stazioni e deposito di Collegno.

Per la valutazione dei consumi elettrici globali del deposito di Collegno sono state eseguite letture ripetute del quadro generale dei valori cumulati di energia a fine maggio e a fine ottobre 2019, potendo così calcolare il consumo totale per 5 mesi suddivisi su 3 stagioni diverse.

La scelta di indagare le stazioni di Re Umberto e Porta Nuova è stata invece dettata dalla necessità di avere un campione significativo delle differenti tipologie di stazioni metropolitane della linea 1 di Torino.

La stazione Re Umberto è per dimensioni ed utenza rappresentativa della maggior parte delle 21 stazioni del comprensorio. La stazione Porta Nuova invece è unica nel suo genere e può permettere una valutazione più

accurata dei consumi imputabili ad una stazione a servizio di un elevato numero di passeggeri/anno e si discosta fortemente dalle altre per dimensioni e tipologia delle utenze installate.

Per la stima dei consumi elettrici delle stazioni sono state effettuate delle misure su diverse utenze del quadro generale QGBT che hanno avuto luogo in due date diverse, in momenti differenti della giornata per poter avere un'idea del profilo dei consumi elettrici. I giorni analizzati sono il 26 giugno 2019, esemplificativo per il periodo estivo con un'utenza di stazione ridotta, e il 17 settembre 2019, giorno rappresentativo dei consumi registrabili in periodo scolastico.

Sono stati eseguiti degli approfondimenti e misure su alcune utenze specifiche del deposito di Collegno e di stazione quali il banco di carico di Collegno e gli ascensori di Porta Nuova e Marconi.

Il banco di carico ha il compito di dissipare in calore, tramite resistenze elettriche, l'energia elettrica in eccesso ottenuta dalla frenata elettrica dei treni che non può essere recuperata in linea da altri treni in transito. La misura effettuata ha avuto la finalità di quantificare l'entità dell'energia dissipata per poter fare delle valutazioni sulla fattibilità e la convenienza di un recupero tramite accumulo termico o elettrico.

L'approfondimento sugli ascensori di stazione ha invece avuto un doppio obiettivo:

- Ottenere una stima più accurata dei profili di utilizzo e quindi di consumo degli ascensori della stazione metropolitana di Porta Nuova
- Ottenere un confronto in termini di consumo di energia elettrica tra due tipologie di tecnologia, tra l'ascensore oleodinamico presente a Porta Nuova e l'ascensore elettrico presente nella stazione metropolitana di Marconi

La mancanza di misure in continuo delle diverse utenze e la mancanza di una contabilizzazione precisa dei consumi globali sia delle stazioni metropolitane che del deposito di Collegno ha fatto sì che per la ripartizione dei consumi elettrici fosse necessario, oltre alle misure spot, effettuare delle ipotesi sui profili di funzionamento delle diverse utenze.

In particolare, per il deposito della metropoli di Collegno la stima dei consumi per climatizzazione è stato basato su modello di calcolo del consumo per energia termica come previsto dalla norma UNI TS 11300 che considera un edificio reale, un clima reale e un uso reale.

Per quanto riguarda le stazioni metropolitane sono state effettuate alcune ipotesi di utilizzo della stazione e di consumo globale basate su due campagne di misura. L'ipotesi adottata è una separazione dei consumi globali di stazione in due fasi, una fase di "consumo di base" nelle ore a minor affluenza e una fase di "carichi di picco" legati al passaggio del treno e al conseguente utilizzo di utenze energivore come ascensori e scale mobili.

Per la ripartizione dei consumi delle utenze ad utilizzo variabile di stazione, quali ascensori e scale mobili, sono state fatte ipotesi di funzionamento. Per quanto riguarda gli ascensori, i profili di utilizzo sono stati ipotizzati basandosi sulla campagna di monitoraggio di circa 4 giorni e mezzo effettuati nelle stazioni di Porta Nuova e Marconi. Per quanto riguarda invece le scale mobili si è fatta un'ipotesi di utilizzo e di potenza assorbita legata all'esperienza delle misure spot effettuate nei giorni di sopralluogo.

Sono stati individuati indicatori che possano fungere da valore di riferimento per un confronto con i valori di consumo dei prossimi anni per avere un rimando immediato su eventuali variazioni di efficienza nella gestione dei vettori energetici.

Sono stati individuati alcuni interventi di efficientamento energetico. In base alle stime effettuate sono state indicate le utenze i cui consumi risultano essere più significativi e quindi di maggiore interesse per eventuali interventi di efficientamento attuabili sia nelle stazioni che nel deposito di Collegno, non dimenticando però che per una maggior accuratezza dei reali valori di consumo imputabili alle diverse utenze sarebbe opportuna l'installazione di un sistema di monitoraggio in continuo.

## Introduzione

La costante crescita demografica globale e l'auspicabile aumento della qualità di vita media della popolazione mondiale nel futuro prossimo richiedono una rivoluzione energetica e sociale senza precedenti. Il World Population Prospects, stilato dall'ONU nel 2017, prevede un incremento costante di 83 milioni di abitanti per ogni anno fino al 2100 [1].

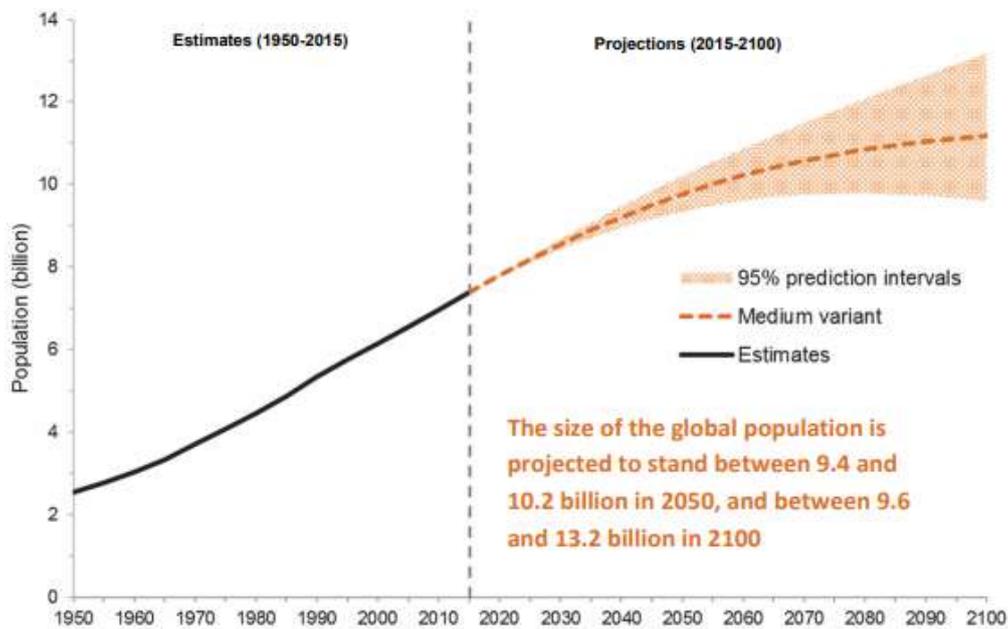


Figura 1 Proiezioni di crescita demografica 2015-2100 World Population Prospects (2017)

Questo fenomeno, per lo più guidato dai paesi dell'est asiatico e dall'Africa, comporterà un incremento della domanda di energia primaria globale. La previsione per il 2040 nel cosiddetto New Policies Scenario dell'International Energy Agency, presentato nel "World Energy Outlook 2018", è di un aumento del 25% dei consumi di energia primaria a livello mondiale, attualmente a circa 14000 Mtep, dovuto soprattutto alla crescita delle nazioni emergenti, tra tutte Cina e India, che insieme andranno a coprire circa il 40% dei consumi globali, mentre l'Unione Europea e gli Stati Uniti d'America, principali consumatori fino ad oggi, peseranno solamente il 20% sulla bilancia energetica mondiale [2].

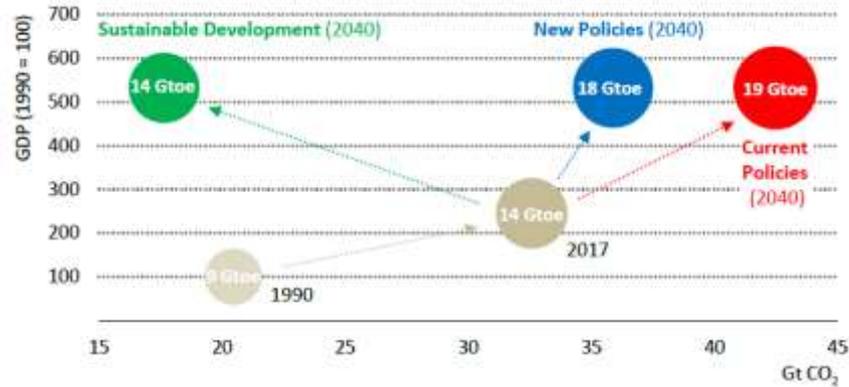


Figura 2 World Energy Outlook scenari di sviluppo energetico ed emissioni al 2040

Diretta conseguenza degli scenari presentati sarà l'aumento delle emissioni di gas serra legate sia al ciclo produttivo energetico, per cui è prevista nel 2040 ancora una dipendenza del 50% da combustibili fossili, sia ai settori d'utilizzo, come quello industriale, dei trasporti, del terziario e degli edifici. In questo contesto si colloca una crescente necessità di riduzione degli sprechi energetici volti a garantire una maggiore efficienza nell'utilizzo delle fonti primarie. Il miglioramento delle strutture esistenti e l'adeguamento agli standard di efficienza è una sfida multisetoriale che ha un grande impatto economico, energetico ed ambientale. Nel Market Report Series Energy Efficiency 2018 dell'International Energy Agency viene presentato l'Efficient World Scenario, una configurazione del Sistema energetico al 2040 conseguenza della messa in atto, continuativamente dal 2017 al 2040, di tutte le misure di efficientamento energetico attualmente conosciute. Questo tipo di scenario prevede un aumento del tenore di vita globale con il raddoppio del Prodotto Interno Lordo mondiale entro il 2040, rispetto ai dati odierni, garantendo però una riduzione delle emissioni di gas serra rispetto ai valori attuali. Nello studio è inoltre presentato l'impatto che ha avuto l'efficienza energetica negli anni tra il 2000 e il 2017. Risulta evidente che in assenza di misure di efficientamento energetico gli usi finali di energia sarebbero aumentati di circa il 55% rispetto all'incremento reale misurato che si attesta a circa il 38% [3].

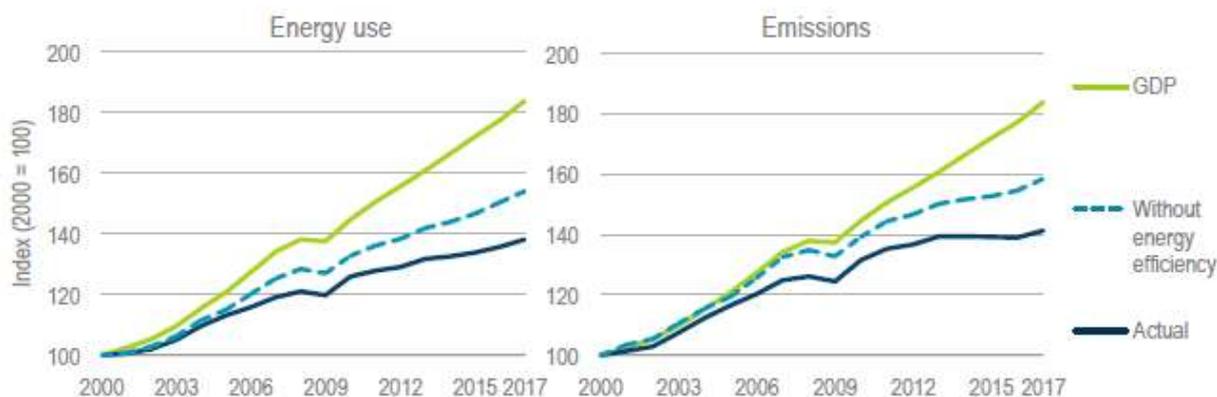


Figura 3 Usi finali di energia ed emissioni con e senza interventi di efficientamento energetico

Lo studio sottolinea quanto sia importante, quindi, porre attenzione su questa tematica a livello globale e quanto sia fondamentale, e necessario, il contributo politico nel sottoporre ai criteri di efficienza energetica tutte le misure messe in atto da ora in poi in ogni singolo stato.

## 1. Quadro legislativo

### 1.1 Direttiva europea 2012/27/UE

Per dare una risposta in questo senso, la comunità europea ha deciso di mettere in evidenza la centralità del programma di efficienza energetica attraverso la direttiva europea 2012/27/UE [4]. L'efficienza energetica è descritta come un valido strumento per migliorare la sicurezza di approvvigionamento dell'Unione contenendo il consumo di energia primaria e riducendo le importazioni di energia. Gli obiettivi posti dal documento sono il raggiungimento entro il 2020 di un risparmio dei consumi di energia primaria per l'Unione del 20% passando dai 1842 Mtoe previsti a circa 1474 Mtoe. Per raggiungere questi obiettivi la direttiva invita gli Stati membri a fissare obiettivi nazionali ed esplicitarne i programmi in concordanza con la Commissione. Riconoscendo le strette tempistiche di intervento la Comunità Europea invita ad attuare misure che sfruttino le possibilità di risparmio energetico nei settori dell'edilizia, dei trasporti e nei prodotti i processi e produzione. Il documento introduce una serie di definizioni utili nell'ambito dell'efficienza energetica, in particolare presenta l'audit energetico come una procedura sistematica atta a conoscere il profilo di consumo di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati per individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo

costi-benefici. L'audit energetico, aggiunge la direttiva, va svolto da un ente qualificato, di cui si comprovata l'assenza di conflitto d'interesse e va presentato almeno ogni 4 anni.

## 1.2 Decreto Legislativo 102/14 del 4 luglio

La direttiva europea 2012/27/UE viene recepita in Italia dal Decreto Legislativo 102/14 del 4 luglio 2014 [5]. Nel Decreto viene definito l'obiettivo di risparmio energetico in Italia entro il 2020. Si indica come valore di riferimento un risparmio di 20 Mtep dei consumi di energia primaria e di 15.5 Mtep di energia finale rispetto ai valori 2010. Si afferma, inoltre, che incorrono in obbligo di diagnosi energetica tutte le grandi imprese, definite come imprese che occupano più di 250 persone, il cui fatturato annuo supera i 50 milioni di euro o il cui totale di bilancio annuo supera i 43 milioni di euro. Il D. Lgs. 102/14 delinea nell'allegato 2 i criteri minimi per gli audit energetici stessi. Viene riportato che gli audit devono essere basati su dati operativi relativi al consumo di energia aggiornati, misurati e tracciabili e, per l'energia elettrica, i profili di carico; devono essere fondati sull'analisi del costo del ciclo di vita invece che su semplici periodi di ammortamento per tenere in conto dei risparmi a lungo termine, dei valori residuali degli investimenti a lungo termine e dei tassi di sconto. Nell'articolo 8 si afferma inoltre che le imprese soggette a diagnosi sono tenute, indipendentemente dalla loro dimensione, a dare progressiva attuazione degli interventi di efficienza energetica individuati dalle diagnosi stesse o in alternativa devono adottare sistemi di gestione conformi alla normativa ISO 50001.

## 1.3 Normativa UNI CEI EN 16247

Punto di riferimento per il corretto svolgimento di un audit energetico a livello europeo è la normativa UNI CEI EN 16247 composta da 5 parti: la prima parte descrive i requisiti generali comuni a tutte le diagnosi, la seconda è incentrata sugli audit energetici degli edifici, la terza si sofferma sui processi, la quarta sui trasporti e la quinta definisce i requisiti che deve avere il soggetto che compie la diagnosi quindi l'auditor.

Nella UNI CEI EN 16247 parte 1 [6] si afferma che l'auditor e l'organizzazione soggetta a diagnosi devono concordare in un incontro preliminare gli obiettivi, le necessità e le aspettative dell'audit, il grado di dettaglio, l'entità delle strutture coinvolte dalla diagnosi, i criteri economici su cui basare eventuali misure di miglioramento e le tempistiche richieste per l'audit. L'auditor deve poter effettuare misure e raccogliere dati

garantendo la completa discrezionalità nell'utilizzo degli stessi e deve potersi avvalere di eventuali diagnosi precedenti. Tra i dati d'interesse per l'auditor ci sono i consumi energetici, le schede delle apparecchiature di processo utilizzate in azienda e le ore di funzionamento, eventuali dati economici legati ai consumi di energia. Le misure prese in sede di audit devono essere rappresentative del normale funzionamento della struttura. In base al quadro generale ottenuto da misure e analisi dei dati l'auditor deve valutare l'impatto di ogni opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica tenendo conto dei risparmi economici legati agli efficientamenti energetici, valutando l'entità degli investimenti richiesti e i connessi ritorni, considerando l'interazione tra i possibili diversi interventi proposti. Il report finale della diagnosi energetica deve rispettare gli obiettivi concordati con l'organizzazione, deve dichiarare se i dati ottenuti sono basati su calcoli, stime o simulazioni, deve affermare il grado di incertezza sulle stime di risparmio energetico ed economico e deve classificare le opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica individuate.

Nella UNI CEI EN 16247 parte 2 [7] si descrive il percorso da intraprendere per la diagnosi di edifici o parti di edificio. L'auditor deve comprendere le interazioni tra i diversi sistemi ospitati dall'edificio e quali impatti hanno sullo stesso stabile. L'obiettivo finale, che deve essere chiaro fin dall'incontro preliminare tra l'auditor e l'organizzazione, è quello di contenere i costi e consumi energetici e ridurre l'impatto ambientale. L'auditor deve avere a disposizione i valori delle condizioni ambientali previste all'interno degli stabili, ed eventuali variazioni stagionali, e i dati di occupazione degli edifici. Devono essere chiari i vettori energetici coinvolti, i dati di consumo d'energia ed eventuali fonti di produzione di energia legati agli edifici. I dati raccolti vanno pesati in base ai valori climatici dell'area in cui sono collocati gli stabili e dai rateo di occupazione. Gli indicatori di performance possono essere pesati sulla superficie calpestabile o sul volume interno dei siti. Devono essere noti, per la diagnosi, gli schemi tecnici degli stabili e gli elenchi delle aree asservite da climatizzazione, riscaldamento o ventilazione. Nel caso in cui i dati siano incompleti o insufficienti per soddisfare gli obiettivi posti nell'incontro preliminare il cliente dovrà accettare che l'auditor faccia delle assunzioni. Per valutare la validità dei dati ricevuti l'auditor è tenuto a fare un sopralluogo nel sito e verificare misure e dati tecnici.

Nel proporre misure di risparmio energetico l'auditor deve tenere in conto di non compromettere la qualità dei valori ambientali del sito. È necessario valutare le performances dell'involucro degli stabili e confrontare

i vari sistemi tecnici con i valori di riferimento per valutare i margini di intervento. I piani di risparmio energetico devono essere riportati suddivisi nelle categorie: misure ad alto costo, misure a basso costo, misure per accrescere la consapevolezza e la preparazione degli utenti finali e valutazioni sui requisiti di comfort, salute e benessere.

La UNI CEI EN 16247 parte 3 [8] e parte 4 [9], relative rispettivamente ai processi e ai trasporti non rientrano nelle finalità di questa tesi per cui non sono state analizzate nel dettaglio.

Nella UNI CEI EN 16247 parte quinta ed ultima parte [10] della normativa sono presentate le caratteristiche e i requisiti che si chiedono al soggetto che si occupa di redigere una diagnosi energetica. L'auditor deve essere una persona competente, con esperienza, in grado di servirsi nel concreto della propria conoscenza e capacità di sintesi e comunicazione. Deve, inoltre, essere oggettivo e imparziale nel suo agire. In sede di diagnosi è tenuto a evidenziare gli utilizzi principali e rilevanti di energia in base alle priorità concordate con l'azienda diagnosticata. Deve avere bene chiare le linee guida nazionali o locali e gli standard internazionali, per potersene avvalere nel confronto con i dati, le misure e le informazioni ottenute durante la diagnosi. L'auditor è tenuto a pianificare la diagnosi energetica in cooperazione con l'organizzazione e rispettarne la scadenza. La conoscenza dei principi fisici, degli usi appropriati di energia e delle tecnologie legate al settore è requisito indispensabile per l'auditor, che deve avere consapevolezza del materiale e della strumentazione necessaria per affrontare nel migliore dei modi la diagnosi. Per poter proporre la soluzione migliore nell'approvvigionamento d'energia l'auditor deve avere ben chiaro il mercato e la disponibilità dei diversi vettori energetici e il relativo impatto ambientale.

Il riconoscimento delle performances energetiche dell'organizzazione sottoposta a diagnosi è vitale per poter proporre misure adeguate di efficientamento energetico e di riduzione degli sprechi. Le opportunità di miglioramento vanno analizzate non solamente come interventi singoli ma anche analizzando l'interazione tra di loro. In sede di analisi economica deve conoscere i costi e la durata di vita delle apparecchiature e tecnologie installate o da installare e gli eventuali incentivi presenti. Per migliorare e ampliare la capacità di analisi e diagnostica dell'auditor è importante avere una formazione continua determinata dall'esperienza accumulata nel settore, dalla partecipazione a conferenze, dal confronto con colleghi e dall'aggiornamento tramite articoli tecnici.

## 1.4 Linee guida ENEA

Nel contesto italiano, per quanto riguarda l'effettivo svolgimento delle diagnosi energetiche, il punto di riferimento sono le linee guida di ENEA [11] che riprendono l'articolo 8 del decreto legislativo 102 del 4 luglio 2014 e forniscono un regolamento attuativo. In particolare viene presentata la procedura per determinare le sedi da sottoporre a diagnosi. Le grandi aziende o le aziende energivore soggette all'obbligo di diagnosi, se multi sito, hanno l'obbligo di sottoporre a diagnosi tutti i siti la cui somma dei vettori energetici utilizzati supera il valore ( $C_{obbl}$ ) che vale 10.000 tep per il settore industriale e 1.000 tep per il primario e terziario. Per tutti i rimanenti siti i cui consumi globali siano inferiori alla soglia di diagnosi obbligatoria si procede ad una clusterizzazione. Si evince dalle linee guida che sono esclusi da diagnosi tutti i siti aventi consumi inferiori a 100 tep, perché risulterebbe economicamente non conveniente, posto però che la somma dei consumi ascritti a tali siti non superi il 20% dei consumi totali dell'organizzazione. Nel caso in cui non risultino completamente escludibili i siti con consumo inferiore a 100 tep verranno suddivisi in ulteriori due fasce di raggruppamento da 1 a 50 tep e da 51 a 99 tep con percentuale di campionamento rispettivamente di 1% e 3%. Nel settore primario e terziario, per i siti compresi tra 1000 tep e 100 tep, si deve procedere ad una selezione dei siti da sottoporre a diagnosi secondo fasce di consumo. Si riporta in Fig. 4 la tabella con le fasce di consumo e le rispettive percentuali di rappresentanza previste da normativa.

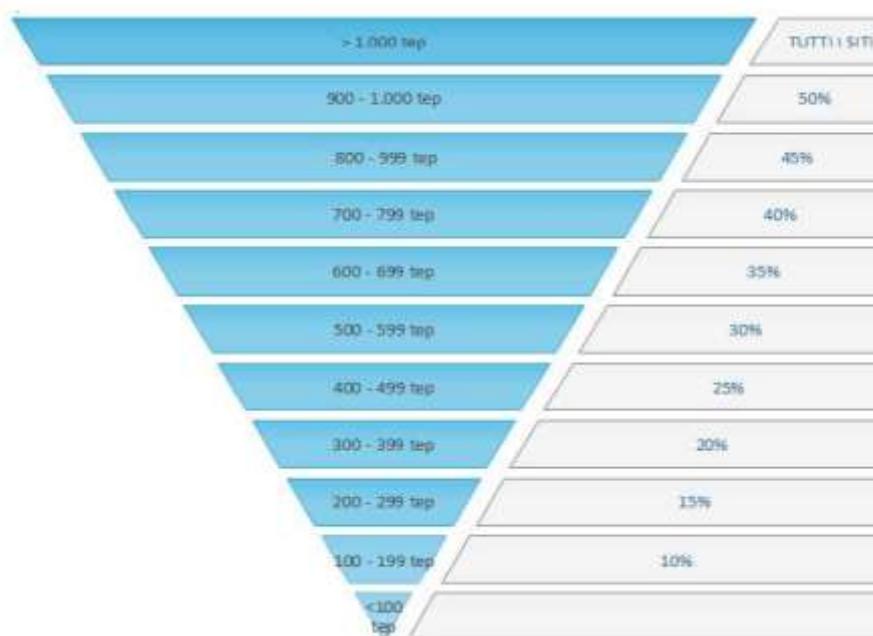


Figura 4 Fasce di consumo clusterizzazione settore terziario

### 1.4.1 Rapporto di diagnosi

Le linee guida ENEA forniscono nel dettaglio l'elenco dei paragrafi e del loro contenuto per garantire che il rapporto di diagnosi contenga una descrizione completa ed esaustiva del sito aziendale sottoposto a diagnosi e del soggetto certificato che redige l'audit. Il periodo di riferimento della diagnosi, i consumi energetici, il processo produttivo e i prodotti dell'azienda devono essere indicati e descritti nel rapporto di diagnosi. Devono essere presenti inoltre paragrafi in cui vengano descritti: il metodo di raccolta dati, i suggerimenti per implementare il monitoraggio e il metodo di compilazione dei modelli energetici. Nelle sezioni finali, descritta la metodologia di calcolo degli indicatori energetici e gli interventi precedenti, vanno presentati i possibili interventi individuati, elencandoli secondo il rapporto tra il Valore Attualizzato Netto e l'investimento avendo cura di indicare il tempo di ritorno, i flussi di cassa e il risparmio.

### 1.4.2 Schema energetico aziendale

È il documento che descrive l'utilizzo di ciascun vettore energetico preso in considerazione nell'ambito della diagnosi. Ogni singolo vettore energetico verrà quantificato in consumi annui e ne verrà presentata la suddivisione tra le diverse utenze del sito. L'obiettivo è individuare il peso relativo e generale della singola utenza rispetto al consumo del vettore energetico specifico. Nel primo livello (livello A) dello schema si individuano i vettori energetici direttamente consumati nel sito estrapolando un indice prestazionale significativo che correli l'energia consumata con il prodotto finito e con la destinazione d'uso. Inoltre si descrive l'azienda indicandone i dati generali. Nel livello B si riportano l'entità del vettore energetico in esame e la potenza installata dei principali macchinari che compongono l'area e che utilizzano il vettore in questione. Va definita la metodologia di acquisizione dei dati di consumo, quindi se si è effettuata una misura continua, discontinua, se si è fatto un mero calcolo o se il calcolo è basato su una misura-spot. Nel livello C si procede alla suddivisione del singolo vettore energetico nelle macro aree denominate come:

- Attività Principali
- Servizi Ausiliari e Accessori
- Servizi Generali

Le attività principali sono quelle che rappresentano il "core business" aziendale cioè strettamente legate alla destinazione d'uso generale dell'azienda.

Nei servizi ausiliari confluiscono le attività di trasformazione del vettore energetico in ingresso in diversi vettori energetici utilizzati nell'ambito delle aree funzionali delle attività principali. Un esempio può essere la centrale dell'aria compressa che traduce l'energia elettrica in aria compressa usata dagli azionamenti presenti nel processo aziendale.

I servizi generali sono attività legate a quelle principali i cui fabbisogni però non sono ad esse strettamente correlati, come l'illuminazione, il riscaldamento, la climatizzazione, gli uffici, la mensa, gli spogliatoi ecc.

Nel livello C si riprendono le indicazioni presentate in maniera più generica nel livello B ascrivendole ad ogni singola macro area sopra descritta. Nel livello D la valutazione dei consumi del vettore energetico scende nel dettaglio fino ad arrivare alle singole aree funzionali che costituiscono le tre macro aree.

## 1.5 Linee guida ASSTRA

ENEA, in caso di organizzazioni di settore, rimanda alle linee guida specifiche redatte dalle Associazioni di categoria. Per il settore del trasporto pubblico si fa riferimento alle linee guida ASSTRA l'Associazione Trasporti[12]. Nelle linee guida ASSTRA (versione novembre 2019) viene seguita l'impostazione di ENEA per la definizione della struttura energetica aziendale. Viene proposta una diversa suddivisione per le fasce di consumo nella clusterizzazione. Questa diverso campionamento, con fasce di consumo più ampie, è giustificabile dalla natura delle aziende di trasporto pubblico che difficilmente hanno un numero ingente di siti produttivi energivori. Il sito virtuale (che racchiude al suo interno tutti i vettori di trasporto eserciti dall'azienda) generalmente è il principale responsabile dei consumi.

Il maggior raggruppamento riduce la quantità di siti produttivi da sottoporre a diagnosi e permette di focalizzare l'attenzione sulla diagnosi del sito virtuale. Nelle linee guida ASSTRA sono presentati i modelli da applicare sia nella diagnosi del sito virtuale sia di quella dei siti produttivi. Nell'individuazione dei siti da sottoporre a diagnosi si seguono le stesse regole presentate da ENEA per il settore primario e terziario. I siti produttivi nell'ambito delle aziende di trasporto pubblico sono i luoghi dove si svolgono le attività complementari al trasporto come le officine, i depositi, gli uffici, le stazioni ferroviarie e metrotranviarie e le strutture per i servizi alla mobilità come i parcheggi. Poiché è evidente che ci sono tante tipologie diverse di sito produttivo, non esiste un esempio universale per la trattazione della struttura energetica e ogni azienda

dovrà personalizzare il proprio. Una volta presentata la struttura energetica del sito bisogna definire gli indicatori energetici che permettono il monitoraggio delle performances energetiche del sito stesso ed individuare gli impianti con maggiore incidenza sul consumo energetico totale, garantendo un appropriato strumento di confronto con gli standard del settore. Nella parte conclusiva del rapporto di diagnosi energetica va individuato un percorso virtuoso in termini di efficienza energetica che consenta una riduzione dei consumi lasciando invariata la qualità dell'attività e del servizio forniti. Deve essere chiaro in questa sezione che le aziende di trasporto pubblico hanno alcune peculiarità che possono limitare la portata e l'impatto di provvedimenti di efficientamento energetico.

Alcuni interventi di ottimizzazione, soprattutto per quanto riguarda il sito virtuale che solitamente è prevalente in termini di consumi energetici, come la realizzazione delle corsie riservate e sistemi di priorità semaforica o modifiche alla viabilità e al traffico fanno capo ad Enti esterni e non rientrano nella competenza esclusiva dell'azienda esercente. In più, in funzione della natura dei contratti di servizio tra azienda ed ente committente, la capacità di intervento autonomo in investimenti è limitata. Le risorse per investimenti generalmente dipendono da finanziamenti pubblici. Per quantificare i margini di intervento e valutarne l'effettivo impatto si suggerisce di focalizzare l'attenzione su alcune voci per le quali è possibile estrapolare degli indicatori di efficienza energetica. In particolare si pone attenzione all'organizzazione del servizio, ai veicoli, alle risorse umane e agli edifici e alle infrastrutture.

## 2. Clusterizzazione dei siti GTT

Il Gruppo Torinese Trasporti, in qualità di grande impresa, è tenuto a sottoporsi a diagnosi energetica ogni 4 anni secondo il decreto legislativo 102/14 del 4 luglio. La diagnosi di cui si interesserà questa tesi è quella relativa all'anno solare 2018 redatta entro il 5 dicembre 2019 e caricata sul portale ENEA entro il 22 dicembre 2019. Secondo le linee guida ENEA, l'azienda di trasporto pubblico ha come siti ad obbligo di diagnosi tutte le strutture con consumi superiori ai 1000 tep. Sui rimanenti siti produttivi si procede alla clusterizzazione secondo le linee guida ASSTRA. Tra i siti da sottoporre a diagnosi obbligatoria figurano il sito virtuale dei trasporti, il sito Gerbido, il deposito ed officina Manin-Tortona, il deposito ed officina di

Venaria e il comprensorio metro di Collegno, comprese le stazioni. In tabella 1 viene riportato il valore di consumo dei siti più energivori del Gruppo Torinese Trasporti ad obbligo di diagnosi.

| <b>Denominazione</b>           | <b>Indirizzo</b>                                           | <b>TEP</b>    |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------|
| SITO VIRTUALE TRASPORTO        |                                                            | <b>32.251</b> |
| SITO TORTONA/MANIN             | CORSO TORTONA 55 /VIA MANIN17 - TORINO                     | <b>1.969</b>  |
| SITO GERBIDO                   | VIA GORINI 26 - TORINO                                     | <b>1.398</b>  |
| SITO METRO COLLEGNO + STAZIONI | CORSO PASTRENGO 59/STAZIONI - TORINO POD<br>IT001E00237153 | <b>1.300</b>  |
| SITO VENARIA                   | VIA AMATI 178 - VENARIA                                    | <b>1.076</b>  |
| SITO METRO COLLEGNO + STAZIONI | CORSO PASTRENGO 59/STAZIONI - TORINO POD<br>IT020E00664161 | <b>1.044</b>  |

**Tabella 1 Siti GTT ad obbligo di diagnosi**

È evidente come la fonte principale di consumo GTT sia il sito virtuale dei trasporti, fattore comune a tutte le aziende di trasporto pubblico locale. Secondo valutazioni della diagnosi del 2015 e valutazioni dello stesso Gruppo Torinese Trasporti, i consumi della metropolitana di Torino sono per metà ascrivibili al comprensorio di Collegno e per metà al sito virtuale, in quanto l'energia elettrica destinata alla sola trazione dei veicoli. Obiettivo di questa tesi sarà analizzare e suddividere i consumi del comprensorio della metropolitana tra quelli legati alle 21 stazioni metropolitane e quelli dovuti al comprensorio di Collegno e proporre eventuali misure di efficientamento e riduzione dei consumi.

Oltre ai siti ad obbligo di diagnosi vanno sottoposti ad audit energetico anche i siti produttivi individuati dalla clusterizzazione di cui si riporta l'elenco in tabella 2.

| <b>Denominazione</b>           | <b>Indirizzo</b>                                           | <b>TEP</b> |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|------------|
| SITO METRO COLLEGNO + STAZIONI | CORSO PASTRENGO 59/STAZIONI - TORINO POD<br>IT001E00241194 | <b>964</b> |
| SITO SAN PAOLO                 | CORSO TRAPANI 154/180 - TORINO                             | <b>599</b> |
| SITO NIZZA                     | CORSO BRAMANTE - TORINO                                    | <b>382</b> |
| RIVAROLO - FERROVIE            | P.ZA ZANOTTI - RIVAROLO                                    | <b>279</b> |
| DISTRIBUTORE METANO GERBIDO    | VIA GORINI 30 - TORINO                                     | <b>271</b> |
| PORTA MILANO - FERROVIE        | VIA PRINCIPI DАCAJA - TORINO                               | <b>183</b> |
| PARCHEGGIO                     | CORSO GIULIO CESARE SN                                     | <b>154</b> |
| PARCHEGGIO                     | ACHILLE MARIO DOGLIOTTI - TORINO                           | <b>130</b> |
| DISTRIBUTORE METANO            | CORSO NOVARA 120 - TORINO                                  | <b>129</b> |

|            |          |     |
|------------|----------|-----|
| NOVARA     |          |     |
| PARCHEGGIO | PALATINA | 118 |

Tabella 2 Siti GTT sottoposti a clusterizzazione

Di questi siti e degli altri siti a diagnosi obbligatoria non ci sarà ulteriore approfondimento in questo documento.

### 3. Dati dell'azienda sottoposta a diagnosi energetica

| <b>GRUPPO TORINESE TRASPORTI SPA – CORSO FILIPPO TURATI 19/6 – 10128 TORINO</b> |                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| PROPRIETÀ                                                                       | SOCIO UNICO FCT HOLDING SRL                     |
| NUMERO ADDETTI AL 31/12/2018                                                    | 4.462                                           |
| FATTURATO 2018                                                                  | EURO 371.831.715,04                             |
| TIPO DI SERVIZIO                                                                | TRASPORTO PUBBLICO LOCALE DI PASSEGGERI         |
| LEGALE RAPPRESENTANTE                                                           | ARCH. FOTI GIOVANNI                             |
| ENERGY MANAGER                                                                  | ING. ANDREA TORTORA                             |
| CAPITALE SOCIALE INTERAMENTE VERSATO                                            | EURO 76.006.664                                 |
| REGISTRO IMPRESE DI TORINO E CODICE FISCALE                                     | 08555280018                                     |
| PARTITA IVA                                                                     | 08559940013                                     |
| CLASSIFICAZIONE ATTIVITÀ: CODICE ATECO                                          | 49.31 (RIF. VISURA CAMERALE DEL 24/03/2015)[13] |

Tabella 3 Dati commerciali GTT anno 2018

Il Gruppo Torinese Trasporti è una società per azioni controllata dalla società FCT Holding s.r.l., di proprietà del Comune di Torino. Le attività svolte direttamente e/o indirettamente da GTT sono:

- trasporto con la linea 1 delle metropolitana automatica di Torino;
- trasporto di linea urbano e suburbano di superficie nell'area di Torino e cintura;
- trasporto su autolinee urbane di Ivrea ed extraurbane regionali (referenti dei contratti di servizio: Comune di Ivrea, Città Metropolitana di Torino, Province di Alessandria, Asti e Cuneo, nell'ambito dei Consorzi aggiudicatari) ;
- Tratte ferroviarie SFMA Torino - Ceres e SFM1 Canavesana (+ tratta Torino - Chieri su rete RFI e sub affidamento Trenitalia);
- gestione dei parcheggi a pagamento, a raso e in struttura nel Comune di Torino.

La rete di servizi serve complessivamente 268 Comuni e un bacino di 2,6 milioni di residenti.

GTT svolge inoltre le seguenti attività:

- gestione della segnaletica per la mobilità del Comune di Torino e altri servizi vari alla viabilità;

- ascensore della Mole Antonelliana, tranvia a cremagliera Sassi – Superga, tram ristorante, linea tranviaria storica, treno a vapore del Museo Ferroviario Piemontese.

### 3.1 I dati industriali 2018 di GTT

In tabella 4 si riportano i dati relativi ai km percorsi nel 2018 dall'intera flotta GTT

| <b>VETTURE KM</b>                                       |                                                          |
|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Produzione commerciale urbana e suburbana di superficie | 40,13 milioni di cui 5,6 prodotti con vetture tranviarie |
| Produzione metro                                        | 9,8 milioni                                              |
| Produzione commerciale extraurbana su gomma             | 10,4 milioni                                             |
| Produzione ferroviaria (treni km)                       | 1,2 milioni                                              |

Tabella 4 Km vetture GTT anno 2018

In tabella 5 è riportata la composizione della flotta GTT in servizio nel 2018

| <b>PARCO ROTABILE CIRCOLANTE</b>             |                                                                   |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Numero tram in esercizio                     | 219 tram compresi 23 mezzi storici e 10 cremagliera Sassi-Superga |
| Numero vetture metropolitana                 | 58                                                                |
| Numero bus (urbani+extraurbani) in esercizio | 1.002 e 1 da noleggio                                             |
| Numero treni                                 | 40                                                                |

Tabella 5 Parco rotabile circolante GTT anno 2018

In tabella 6 è indicato il numero di posti auto per tipologia, gestiti da GTT nel 2018

| <b>PARCHEGGI-NUMERO POSTI AUTO a pagamento (al 31/12/2018)</b> |        |
|----------------------------------------------------------------|--------|
| In struttura soggetti a canone                                 | 5.877  |
| Pertinenziali                                                  | 781    |
| Su suolo pubblico-raso (al 31/12/2018)                         | 48.297 |

Tabella 6 Numero posti auto parcheggi a pagamento GTT anno 2018

In tabella 7 è presentata l'utenza del servizio di trasporto pubblico offerto da GTT nel 2018

| <b>AREA SERVITA</b>                        |             |
|--------------------------------------------|-------------|
| Numero di comuni serviti (compreso Torino) | 268         |
| Popolazione servita                        | 2,6 milioni |

Tabella 7 Utenza servizio GTT anno 2018

In tabella 8 si riporta la ripartizione degli addetti GTT impegnati nel 2018

| <b>NUMERO ADDETTI (forza puntuale al 31/12/2018)</b> |                                  |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Totale                                               | 4.462                            |
| Di cui conducenti di linea                           | 2.137                            |
| Di cui macchinisti e capi treno                      | 81 (76+5 in corso di formazione) |
| Di cui addetti ai servizi accessori ed ausiliari     | 348                              |
| Di cui operai                                        | 704                              |

Tabella 8 Numero addetti GTT anno 2018

In tabella 9 si riporta l'inquadramento aziendale di GTT

| <b>PERIODO DI RIFERIMENTO: ANNO 2018</b> |                                                                        |           |           |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| <b>Capitoli</b>                          | <b>Descrizione sintetica elementi di classificazione</b>               | <b>SI</b> | <b>NO</b> |
| 2.1                                      | GTT è una grande impresa                                               | X         |           |
| 2.1                                      | GTT è inserita nell'elenco delle Imprese Energivore                    |           | X         |
| 2.3                                      | GTT è certificata ISO 14001:2004                                       | X         |           |
| 2.3                                      | GTT ha inserito un audit energetico nel proprio piano di audit interno |           | X         |
| 2.1                                      | GTT deve dare progressiva attuazione agli interventi                   |           | X         |
| 4.1                                      | GTT è un'impresa multisito                                             | X         |           |

Tabella 9 Inquadramento GTT

## 4. Sito GTT di Collegno

### 4.1 Descrizione sito

Lo stabilimento di Collegno è ubicato in Via Tampellini 58 a Collegno(TO). Il sito è denominato Compensorio Tecnico (CTe) Metro di Collegno è la sede dove avviene la gestione e la manutenzione della metropolitana di Torino. La struttura è stata ultimata nel 2005. Le attività svolte nel sito sono:

- Servizi al personale
- Lavaggio treni
- Manutenzione ordinaria e straordinaria dei veicoli VAL
- Rimessaggio treni VAL
- Gestione completa della linea metropolitana di Torino e delle stazioni metro.

Lo stabilimento comprende reparti produttivi e di logistica. Le attività sono legate al servizio di trasporto metropolitano, non sono soggette a cicli stagionali, perciò l'occupazione del sito è generalmente costante per tutto l'anno, salvo chiusure per feste nazionali.

Per quanto riguarda le ore e i turni di lavoro, le attività d'ingegneria e amministrative seguono il normale orario di lavoro di un turno al giorno, 5 giorni alla settimana.

Le attività di officina vengono svolte in 3 turni al giorno da lunedì a domenica:

- due squadre di manutenzione da 13 risorse l'una coprono la fascia oraria 5.30-22.00 (primo turno dalle 5.30/6.30 alle 13.18/14.18, secondo turno dalle 14.12 alle 22.00)
- una squadra di manutenzione da 7 risorse copre la fascia oraria 6.30-17.30, sul nastro lavorativo 6.30-14.18 o 9.42-17.30
- il deposito treni è operativo 24 ore su 24 e le operazioni di manutenzione straordinaria vengono fatte soprattutto di notte

Nella tabella 10 si riporta, negli anni tra il 2016 e il 2018, il numero dei lavoratori del sito di Collegno composti da impiegati, addetti alla manutenzione dei treni, addetti alla manutenzione degli impianti di linea e alla gestione e supervisione del servizio.

| Anno | Numero addetti |
|------|----------------|
| 2016 | 188            |
| 2017 | 188            |
| 2018 | 184            |

Tabella 10 Numero addetti sito GTT di Collegno

Il Deposito Metropolitana Collegno, è composta dai seguenti edifici:

- Officina e deposito materiali a rischio e area officina (Edificio A)
- Deposito dei treni e magazzino (Edificio D)
- Sito di lavaggio a spazzole (Edificio D)
- Pista di prova
- Uffici e mensa (Edificio A)
- PCC (Edificio A)
- Portineria
- Parcheggio dipendenti

Nell'officina avviene la riparazione manutenzione dei treni e può essere effettuata la manutenzione di 7 treni da 26 metri in contemporanea.



Figura 5 Officina manutenzione sito GTT di Collegno esterno

Le principali operazioni di manutenzione consistono in:

- sostituzione dei pneumatici
- saldatura di piccole parti

- controlli e misure
- riparazioni varie e delle apparecchiature elettriche
- lavaggio carrelli



Figura 6 Officina manutenzione sito GTT di Collegno interno

Nel deposito materiali a rischio si trovano il deposito pneumatici, il deposito batterie, il locale compressori, il deposito oli grassi e il deposito materiali misti ferrosi e plastici.



Figura 7 Deposito materiali a rischio sito GTT di Collegno

L'area Deposito Treni-Magazzino è costituita da un capannone di circa 5.400 mq circa, con altezza interna media di circa 8,00 m e comprende due comparti distinti: area deposito treni e area depositi attrezzature per ricambi.

Nell'area del Deposito l'accesso è consentito soltanto a personale autorizzato e in condizioni di sicurezza.

Il deposito ospita i treni VAL (Véhicule Automatique Léger) nei periodi di fermo e di bassa frequenza (ore non di punta) su quali vengono svolte operazioni di controllo e pulizia interna.

Oltre ad essi nel Deposito sono ospitati due treni di servizio diesel (numero 105 e 108) che percorrono tutta la linea durante la notte: un treno di lavaggio e un treno di controllo e manutenzione linea.



Figura 8 Deposito treni sito GTT di Collegno

L'area **magazzino** occupa complessivamente circa 1.320 mq ed è destinata all'appoggio dei materiali di riparazione della linea e di alimentazione del treno lavori.



Figura 9 Magazzino sito GTT di Collegno

L'area di **Lavaggio a Spazzole** si trova all'aperto ed è destinata al lavaggio dei treni. Nella stessa area all'aperto è presente un deposito di gasolio per rifornimento dei mezzi portatili.

Anche in quest'area l'accesso è consentito soltanto a personale autorizzato e in condizioni di sicurezza.

L'invio dei treni al lavaggio è gestito in automatico dal Posto di Controllo e Comando (PCC) ed il lavaggio avviene in orario notturno.



Figura 10 Area lavaggio spazzole sito GTT di Collegno

La **Pista di Prova** è utilizzata per il collaudo dei treni a seguito delle operazioni di manutenzione e/o riparazione. La pista è costituita da un binario, alimentato a 750 V in corrente continua, che si sviluppa per circa 700 metri tra l'officina e il deposito treni. I treni sulla pista di prova possono raggiungere una velocità massima di 60 km/h.

La pista di prova è affiancata da una strada percorribile con autovetture per le emergenze.



Figura 11 Pista di prova sito GTT di Collegno

Nell'edificio A ai piani 1° e 2° e 3° si trovano gli **uffici** amministrativi e tecnici, sale riunioni e audiovisivi. Vengono svolte attività da ufficio, con uso di Pc e stampanti. Il locale **Mensa** si sviluppa su parte del 1° e del 2° piano ed offre servizio di ristorazione per i dipendenti a pranzo e cena.



Figura 12 Palazzina uffici sito GTT di Collegno

Il **PCC** (Posto di Controllo e Comando) è una sala operativa dove si trovano tutte le apparecchiature di controllo necessarie per il monitoraggio dei treni, delle stazioni e dell'intera linea di metropolitana.

In essa lavorano un supervisore e tre addetti per turno.

Le principali attività del PCC sono:

- gestione dell'immissione dei treni in linea
- gestione del ritiro dei treni dalla linea e del rimessaggio nel deposito
- gestione del lavaggio automatico dei treni nell'impianto di lavaggio a spazzole
- telesorveglianza dei treni e delle stazioni metropolitane
- rilevamento e gestione anomalie
- rilevamento e gestione situazioni di emergenza

**La portineria** si trova all'ingresso del comprensorio ed è attivo ventiquattro ore al giorno per consentire l'ingresso del personale, dei visitatori, delle ditte esterne e di veicoli autorizzati.

**Il parcheggio** riservato ai dipendenti si trova in prossimità dell'ingresso principale.



Figura 13 Vista aerea sito GTT di Collegno

I **treni VAL208 sono 29**, ogni treno è composto da due veicoli bidirezionali per un totale di 58 veicoli.

Gli interventi di manutenzione ai treni VAL, per gli anni di interesse ai fini della diagnosi, sono riportati in sintesi in tabella 11.

| Anno | Interventi di manutenzione sui treni |
|------|--------------------------------------|
| 2015 | 792                                  |
| 2016 | 519                                  |
| 2017 | 519                                  |
| 2018 | 422                                  |

Tabella 11 Interventi di manutenzione sui treni

## 4.2 Caratteristiche dei fabbricati

Il Comprensorio GTT di Collegno è costituito da due fabbricati distinti:

1. il primo contenente gli uffici, locali a servizio, vani tecnici e l'officina per la manutenzione dei treni di linea (edificio A);
2. il secondo adibito a deposito dei mezzi, con annessi un magazzino e una serie di uffici minori (edificio D).

L'edificio A, adibito ad officina e uso uffici è costituito da più piani fuori terra e un piano interrato:

- Piano interrato adibito a locali tecnici
- Piano terra adibito per la maggior parte ad officina, magazzini e locali tecnici (cabine elettriche)

- Piano primo ad uso uffici
- Piano secondo ad uso uffici
- Piano terzo e piano quarto con locali tecnici

Annesso all'Officina si trova un fabbricato isolato adibito a deposito materiali a rischio e nei pressi la centrale idrica.

L'edificio D è costituito da un piano fuori terra ed è adibito a deposito treni e magazzino.

Nell'edificio A la volumetria riscaldata è quella relativa all'Officina, ai magazzini e agli uffici.

Nell'edificio D il deposito treni non è riscaldato ma sono riscaldati il magazzino con gli uffici annessi e la zona spogliatoi.

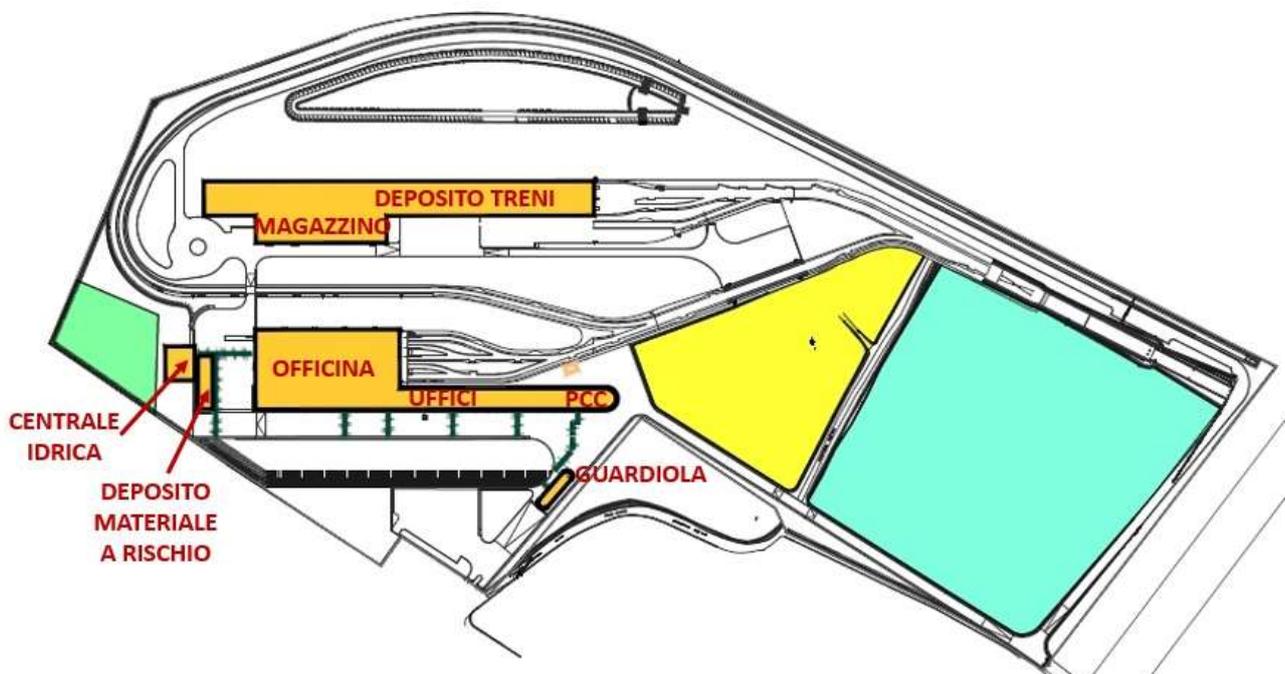


Figura 14 Divisione in aree del sito di GTT di Collegno

La superficie coperta complessiva è pari a 12.523 m<sup>2</sup> corrispondente ad un volume lordo pari a 121.334 m<sup>3</sup>, parte della quale è occupata da fabbricati riscaldati, aventi un volume lordo pari a 74.494 m<sup>3</sup>.

I fabbricati riscaldati hanno una superficie complessiva in pianta, al lordo delle murature perimetrali, pari a circa 11.194 m<sup>2</sup>, suddivise su più piani nel caso degli uffici del fabbricato principale. Il volume riscaldato maggiore è quello della palazzina uffici PCC, corrispondente ad una superficie lorda in pianta ai vari piani pari a circa 4.357 m<sup>2</sup>.

La tecnologia costruttiva utilizzata per il comprensorio è caratterizzata da una struttura portante a telaio in CA.

I tamponamenti opachi verticali sono realizzati principalmente con pareti in calcestruzzo con interposto isolamento. In alcune porzioni, invece, sono stati utilizzati dei blocchi in calcestruzzo senza isolamento.

I solai di pavimento sono realizzati in calcestruzzo, mentre quelli interpiano sono realizzati in latero cemento.

Le coperture risultano essere di 2 tipologie: la prima, piana in latero cemento e coibentata sull'estradosso; la seconda, la copertura a shed dei locali delle officine e del deposito, realizzata in pannelli in metallo coibentati.

Le chiusure trasparenti del comprensorio sono costituite da telai in metallo con vetrocamera a eccezione di quelle utilizzate negli shed, che sono realizzate in telaio in metallo con policarbonato alveolare. I vetri dei serramenti degli uffici presentano un trattamento su lato esterno a specchio, volto alla riduzione dell'irraggiamento solare all'interno degli ambienti.



Figura 15 Dettaglio parete esterna e solaio - fabbricato Palazzina uffici PCC verso interno cortile



Figura 16 Dettaglio serramenti - fabbricato Palazzina uffici PCC verso interno cortile



Figura 17 Ingresso sud - fabbricato Deposito + uffici verso interno cortile

## 5. Documentazione su cui si è basata l'analisi

I dati utilizzati nella redazione della presente tesi sono stati forniti dal personale di GTT. Inoltre, i dati forniti dal cliente sono stati completati da quelli raccolti in campo nel corso di un sopralluogo in sito, comunicazioni telefoniche o e-mail scambiate con i tecnici dell'azienda e con i manutentori degli impianti.

Il sopralluogo per la raccolta delle informazioni si è svolto nella giornata del 24/05/2019.

I dati utilizzati sono quelli di seguito elencati:

- Planimetrie generali del Comprensorio GTT Metro-Collegno
- Planimetrie Stazioni Porta Nuova e Re Umberto
- Orari di utilizzo del Sito Collegno e di utilizzo delle stazioni Metro
- Tabella organico personale GTT anno 2016, 2017, 2018
- Dati di fatturato 2016-2017-2018
- Dati di consumo da bollette energia elettrica 2015-2016-2017-2018
- Dati di consumo da bollette gas metano 2015-2016-2017-2018
- Da Bilanci ambientali GTT: auto aziendali e consumi di carburante per autotrazione anno 2017 e 2018
- Numero veicoli aziendali afferenti al sito
- Libretti di impianto termico (CIT)
- Diagnosi energetica 2015
- Tavole impianti elettrici di illuminazione (numero lampade e caratteristiche Collegno)
- Tabella corpi illuminanti corpi installati stazioni (Re Umberto e Porta Nuova)
- Curve di carico elettrico 2018
- Progetto impianti elettrici (con schemi dei quadri elettrici) e termici Comprensorio Collegno
- Elenco Macchine di Trattamento Aria sito Collegno
- Numero treni VAL mantenuti anni 2015-2018
- Numero passeggeri Metropolitana di Torino 2016-2018, suddivisi per stazioni
- Superfici stazioni da documento capitolato per servizio pulizie
- Elenco scale mobili di stazione con caratteristiche tecniche
- Elenco ascensori di stazione con caratteristiche tecniche
- Elenco condizionatori locali tecnici stazioni Metro
- Documento sui lavaggi dei treni VAL
- Dati giornalieri di passaggio treni
- Dati Climatici da sito Arpa Piemonte per calcolo dei Gradi Giorno
- Informazioni e documentazione da scambi confidenziali ed e-mail avvenuti con il Committente in diverse occasioni

## 6. Descrizione dei centri di consumo sito Collegno

Nel Sito GTT di Collegno si effettuano le attività di gestione della linea metropolitana di Torino, di deposito, officina manutenzione e lavaggio per i Treni VAL della Metropolitana oltre ad attività e servizi di ufficio.

Di seguito si riportano i livelli individuati nelle linee Guida ENEA nella struttura energetica aziendale

### **Livello A**

- Sito GTT Collegno

### **Livello B – Vettori energetici**

- Energia elettrica
- Gas metano
- Gasolio per autotrazione
- Benzina per autotrazione
- Gas metano per autotrazione

### **Livello C**

#### **Attività principali (legate all'attività)**

- Officina manutenzioni e riparazioni
- Deposito treni VAL
- Magazzini
- Impianti di lavaggio

#### **Servizi ausiliari**

- Compressori aria
- Impianti di aspirazione
- Depurazione (lavaggio mezzi)
- Veicoli di servizio

#### **Servizi generali**

- Riscaldamento + ACS (officina, magazzini, uffici, mensa)
- Climatizzazione estiva uffici e mensa
- Cucina/Mensa
- Uffici
- Illuminazione (Officina, magazzini, uffici, esterna)

I consumi energetici sono imputabili ad usi civili (riscaldamento ambienti, raffrescamento ambienti, produzione acqua calda sanitaria e servizi generali).

Le fonti energetiche utilizzate sono secondarie sia relativamente alla produzione di calore civile sia per quanto riguarda l'alimentazione delle utenze elettriche.

Di seguito riportiamo una descrizione dei differenti centri di consumo energetici.

## 7. Vettore energia elettrica

### 7.1 Energia elettrica: distribuzione e principali utenze

La rete di distribuzione che alimenta il comprensorio di Collegno è a servizio di tre utenze di natura molto differente:

- Il comprensorio di Collegno
- Le 21 stazioni della Metropolitana di Torino
- I treni VAL della metropolitana (trazione)

Per garantire la continuità e la sicurezza nell'approvvigionamento dell'energia elettrica sono presenti tre distinti punti di prelievo dalla rete elettrica nazionale:

- Contatore 1: POD IT001E00237153 (Collegno)
- Contatore 2: POD IT001E00241194 (Collegno)
- Contatore 3: POD IT020E00664161 (Stazione Porta Nuova)

Si ha a disposizione quindi un consumo di energia elettrica totale dei tre contatori.

| N. | Cod. POD                                                     | Potenza disponibile | Tensione     | Fornitore    | Opzione tariffaria |
|----|--------------------------------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------------|
| 1  | IT020E00664161<br>Corso Vittorio Emanuele II,<br>Porta Nuova | 25200 kW            | MT – 22000 V | NOVA AEG SpA | ALTRI<br>USI MTA3  |
| 2  | IT001E00241194<br>Via Tampellini SN                          | 23800 kW            | MT – 22000 V | NOVA AEG SpA | ALTRI<br>USI MTA3  |
| 3  | IT001E00237153<br>Via Tampellini SN                          | 23800 kW            | MT – 22000 V | NOVA AEG SpA | ALTRI<br>USI MTA3  |

**Tabella 12 Punti di distribuzione energia elettrica Comprensorio Metropolitana/Collegno**

Il comprensorio è alimentato da due quadri elettrici di media tensione che alimentano tramite due trasformatori le cabine di bassa tensione e quindi i quadri secondari a servizio delle utenze di stabilimento. Si riportano in Fig. 18 e in Fig. 19 le foto dei quadri di media e di bassa tensione.



Figura 18 Quadri di media tensione della cabina PEF (QMT1 e QMT2)



Figura 19 Quadri generali di bassa tensione della cabina PEF (QGBT1 e QGBT2)

I locali elettrici principali sono tre la cabina PL, cabina PR e cabina PEF. Il punto di consegna dell'energia da rete nazionale avviene nella cabina PL. La PR è dedicata alla trazione dei treni. Il PEF è il locale d'interesse per la diagnosi energetica e contiene i due quadri di media tensione e due quadri di bassa.

I quadri di bassa tensione del PEF denominati QGBT1 e QGBT2 sono suddivisi in due interruttori generali A e B.

Non essendo presente alcun sistema di contabilizzazione sulle linee dei quadri principali QGBT1 e QGBT2, attualmente non è possibile separare i consumi elettrici di stabilimento da quelli per trazione, né tanto meno estrapolare i consumi elettrici delle Stazioni Metro.

In base alle indicazioni di GTT (indicazioni già fornite anche per la diagnosi precedente del 2015), i consumi per trazione sono stimati in misura pari al **50% dei consumi totali**, mentre la rimanente parte è da suddividere tra le stazioni metropolitane e lo stabilimento di Collegno.

Lo schema a blocchi sintetico della distribuzione dell'energia elettrica alle diverse utenze del Sito di Collegno, a quelle delle stazioni della Metropolitana e per la trazione è riportato in Fig. 20, in Fig.21 e in Fig. 22, differenziando tra il Compensorio di Collegno e la stazione Re Umberto (stazione tipo) e la stazione Porta Nuova (presso la quale si trova appunto uno dei tre punti di consegna dell'energia elettrica da rete nazionale).

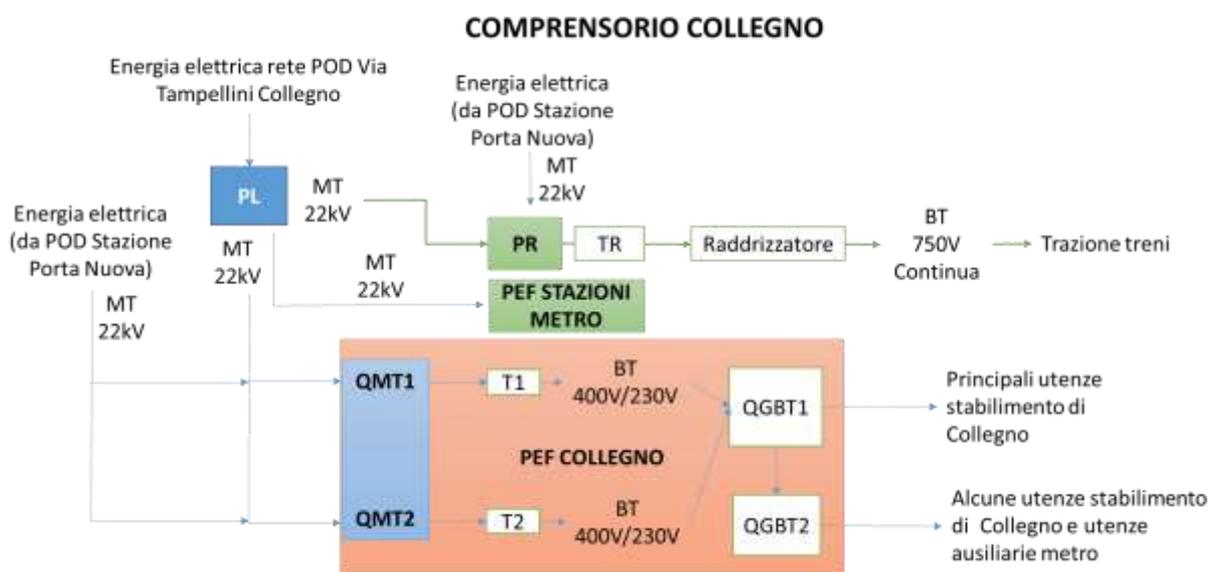


Figura 20 Schema a blocchi sistema di distribuzione energia elettrica Sito Collegno

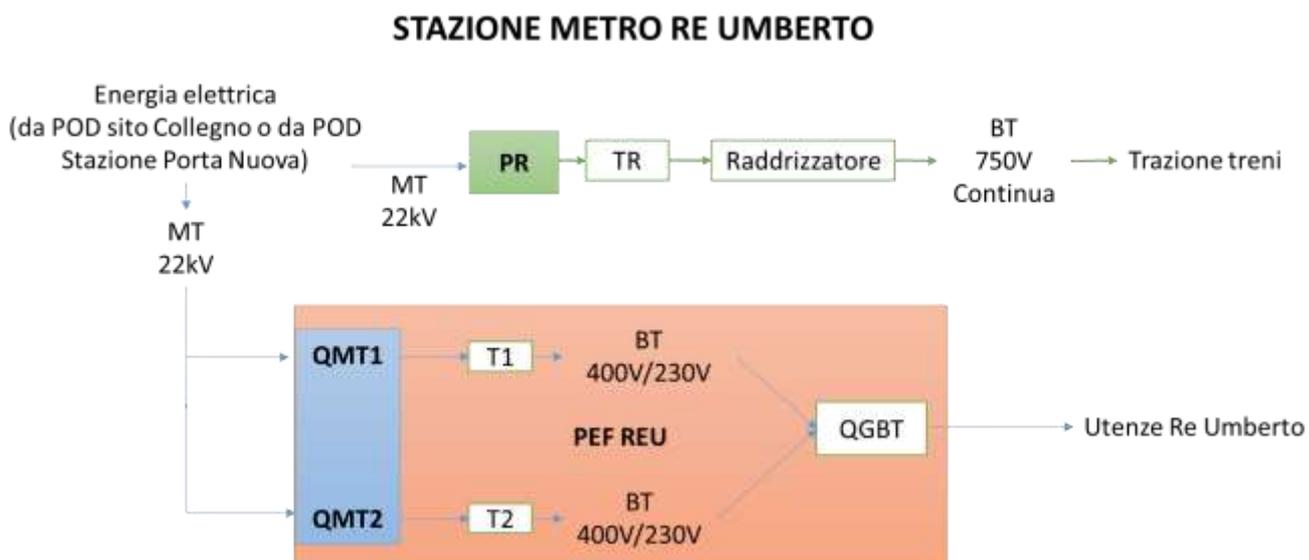


Figura 21 Schema a blocchi sistema di distribuzione energia elettrica stazione metropolitana Re Umberto

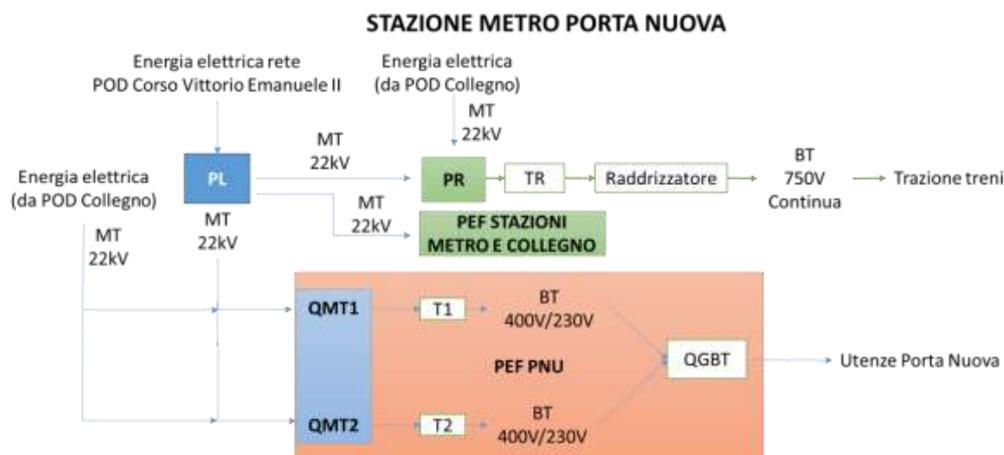


Figura 22 Schema a blocchi sistema di distribuzione energia elettrica stazione metropolitana Porta Nuova

Dagli schemi elettrici si evince che l'alimentazione del quadro QGBT2 è garantita da due linee (Q1 e Q13) che partono dal quadro QGBT1 e che i due quadri di bassa tensione non alimentano esclusivamente le utenze di stabilimento ma anche sistemi che riguardano il servizio di trasporto treni VAL.

Il QGBT1, come si evince dagli schemi dei quadri elettrici, alimenta le principali utenze di stabilimento, in parentesi vengono riportati i quadri a quali afferiscono le utenze. Le principali utenze sono:

| Quadro  | Denominazione                         | Potenza kVA | Sezione QGBT1 |
|---------|---------------------------------------|-------------|---------------|
| Q1      | Alimentazione 1 QGBT2                 | 400         | QGA           |
| Q2      | Smistamento PCC ed uffici (Quff)      | 360         |               |
| Q3      | Condizionamento PCC                   | 160         |               |
| Q4      | Carica batterie carrelli elevatori    | 100         |               |
| Q5      | Deposito treni e magazzini annessi    | 120         |               |
| Q6      | Magazzini a rischio                   | 50          |               |
| Q7      | Illuminazione esterna e guardiania    | 65          |               |
| Q8      | Deposito treni futuro                 | 100         |               |
| Q9      | Lavaggio treni futuro                 | 110         |               |
| Q10-Q11 | Riserva                               |             |               |
| Q12     | Pompa drenaggio                       |             |               |
| QA1     | Pompa antincendio 1 riserva           | 28          |               |
| QA2     | Pompa antincendio 2 riserva           | 28          |               |
| QA3     | Pompa antincendio 3 riserva           | 28          |               |
| Q13     | Alimentazione 2 QGBT2                 | 400         | QGB           |
| Q14     | Smistamento officina e locali tecnici | 330         |               |
| Q15     | Condizionamento officina CDZ2         | 235         |               |
| Q16     | Lavaggio treni fase 1                 | 110         |               |
| Q17     | Centrale idrica                       | 65          |               |
| Q18     | Pompa drenaggio galleria              | 17          |               |
| Q19     | Illuminazione locale Banco di Carico  | 24          |               |
| Q20     | Officina futuro                       | 110         |               |
| Q21-Q23 | Riserva                               |             |               |
| QB1     | Pompa antincendio idranti             | 28          |               |
| QB2     | Pompa antincendio sprinkler           | 28          |               |
| QB3     | Pompa antincendio riserva             | 28          |               |

Tabella 13 Quadri elettrici del QGBT1

Il QGBT2, invece, alimenta alcune utenze di stabilimento, come UPS e carrelli elevatori, e delle utenze ausiliarie della linea metro che dovrebbero essere scorperate poiché non afferenti al comprensorio Collegno stesso. Nello specifico si riportano i quadri del QGBT2 in tabella 14 e in tabella 15.

| <b>Quadro</b> | <b>Denominazione</b>           | <b>Potenza<br/>kVA</b> | <b>Sezione<br/>QGBT2</b> |
|---------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Q1            | Quadro scambio croce           | 8,5                    | QGA                      |
| Q2            | Quadro scambio croce           | 8,5                    |                          |
| Q3            | Quadro scambio semplice        | 3,5                    |                          |
| Q4            | Quadro scambio semplice        | 3,5                    |                          |
| Q5            | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q6            | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q7            | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q8            | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q9            | Quadro scambio semplice        | 3,5                    |                          |
| Q10           | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q11           | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q12           | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q13           | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q14           | Quadro scambio semplice        | 3,5                    |                          |
| Q15           | Quadro deviatore               | 3,5                    |                          |
| Q16 – Q28     | Quadro deviatore futuro        |                        |                          |
| Q29           | Riscaldamento scambio croce    | 8,5                    |                          |
| Q30           | Riscaldamento scambio croce    | 8,5                    |                          |
| Q31           | Riscaldamento scambio semplice | 5,8                    |                          |
| Q32           | Riscaldamento scambio semplice | 5,8                    |                          |
| Q33           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q34           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q35           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q36           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q37           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q38           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q39           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q40           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q41           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q42           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q43           | Riscaldamento deviatore        | 5,8                    |                          |
| Q44           | UPS 2                          | 60                     |                          |
| Q45           | Riserva                        |                        |                          |

Tabella 14 Quadri elettrici del QGA del QGBT2

| Quadro    | Denominazione                  | Potenza<br>kVA | Sezione<br>QGBT2 |
|-----------|--------------------------------|----------------|------------------|
| Q46       | UPS 1                          | 60             | QGB              |
| Q47       | UPS 1 - bypass                 | 60             |                  |
| Q48       | Riserva                        |                |                  |
| Q49 – Q59 | Quadro deviatore futuro        |                |                  |
| Q60       | Alimentazione QGPS             | 5,6            |                  |
| Q61       | Riserva                        | 5,6            |                  |
| Q62       | QBAT1                          | 10             |                  |
| Q63       | QBAT2                          | 10             |                  |
| Q64       | Autocommutatore sala telefoni  | 2,5            |                  |
| Q65       | QAPEF                          | 23             |                  |
| Q66       | QAPL                           | 12             |                  |
| Q67       | QAPR/PS                        | 12             |                  |
| Q68       | Riserva                        |                |                  |
| Q69       | QDUAS                          | 26,4           |                  |
| Q70       | QDUAS                          | 1,3            |                  |
| Q71       | Segnaletica                    | 2              |                  |
| Q72 – Q78 | Elevatore officina vettura VAL |                |                  |
| Q79 – Q80 | Quadro deviatore futuro        |                |                  |
| Q81 – Q84 | Riserva                        |                |                  |
| Q85       | Prese martinetto mobile        |                |                  |
| Q86       | Alimentazione QDPP             |                |                  |
| Q87       | Alimentazione QDPCC            |                |                  |
| Q88       | Alimentazione QDC              |                |                  |
| Q89 – Q93 | Riserva                        |                |                  |

Tabella 15 Quadri elettrici del QGB del QGBT2

### 7.1.1 BANCO DI CARICO

La gestione dei treni sulla linea metropolitana è ottimizzata dal posto di controllo e comando (PCC) al fine di recuperare l'energia dei treni durante la frenata. Ogniqualvolta un treno decelera il motore elettrico si converte in generatore recuperando l'energia cinetica derivante dalla frenata e convertendola in energia elettrica che viene immessa in linea. Quando un convoglio decelera, l'energia recuperata ed immessa in linea può essere assorbita da un treno in accelerazione.

Nel caso in cui l'energia elettrica recuperata ecceda quella richiesta dai treni in fase di accelerazione o se per fattori esterni viene meno il sincronismo tra i treni, per evitare sovratensioni pericolose per la linea, essa viene dissipata per effetto Joule attraverso opportune resistenze nel banco di carico sotto forma di calore.

In assenza di un sistema di accumulo termico dedicato al recupero di calore, il calore prodotto viene disperso verso l'esterno e non viene utilizzato in alcun modo.

Sulla base delle informazioni fornite da GTT, la quantità di energia elettrica recuperata è attualmente il 20% della totale prodotta in frenata dai treni, pertanto la maggior parte (80%) viene dissipata dal banco di carico.



Figura 23 Banco di carico

#### 7.1.1.1 Misure banco di carico

Per avere un ordine di grandezza della quantità di energia dissipata dal banco di carico è stata effettuata una misura in continuo della potenza scartata dal banco di carico dalle 4:00 di giovedì 21 novembre 2019 fino alle 5:00 del mattino successivo.

Per semplicità la misura non è stata effettuata direttamente sulla linea di arrivo del banco di carico ma il rilevamento è stato eseguito su un trasduttore sito nella cabina PR/PS di Collegno. Il trasduttore traduce un segnale analogico di 4-20mA proveniente da un altro trasduttore installato nel banco di carico, denominato A50.5, in un segnale di tensione con intervallo  $-10V$  e  $10V$ . Il trasduttore del banco di carico ha un fondo scala di 1900 kW perciò ad una misura di 0 kW corrisponde un segnale da 4mA che nella cabina PR/PS è letto come circa  $-10V$ . Per una potenza di 1900 kW il segnale in corrente sarebbe di 20mA e in tensione di 10V. Il trasduttore A50.5 traduce i segnali analogici provenienti dalle sonde di corrente e tensione direttamente installati sulla linea di alimentazione del banco di carico. La collocazione del misuratore alla fine del percorso di misura introduce un valore di incertezza non trascurabile, presumibilmente di qualche punto percentuale.

In Fig. 24 si riporta lo schema funzionale del sistema di raccolta e trasmissione dati (tavola DA del manuale del banco di carico). In alto a sinistra sono evidenziate le sonde di corrente e tensione, mentre in basso sono

evidenziate, a sinistra l'amplificatore isolato A50.5 trasduttore dell'energia dissipata, a destra l'amplificatore isolato A50.5 trasduttore della potenza dissipata.

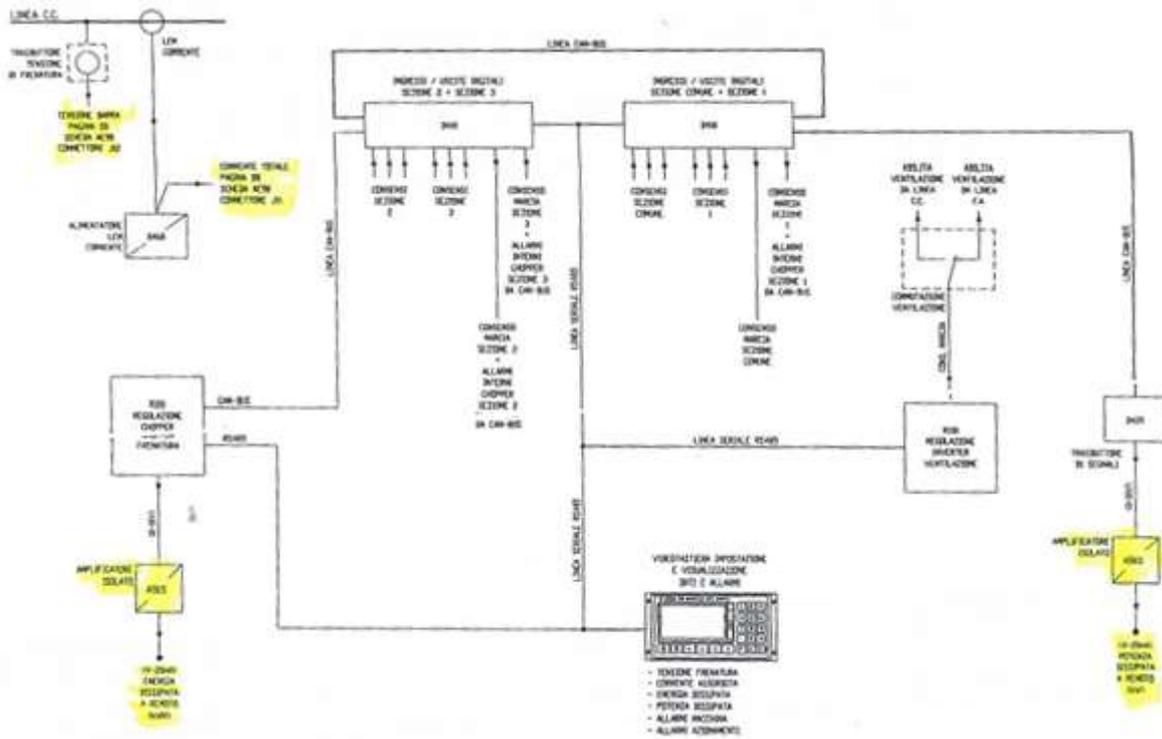


Figura 24 Tavola DA del quadro del banco di carico di Collegno

Viene mostrato il collegamento delle due sonde di tensione e corrente all'interfaccia R100 fibre ottiche per la trasmissione del dato in remoto ad una piattaforma dedicata. I collegamenti sono mostrati in Fig. 25 nella tavola DB del quadro del banco di carico. I connettori sono J11 per la sonda di corrente e J12 per la sonda di tensione.

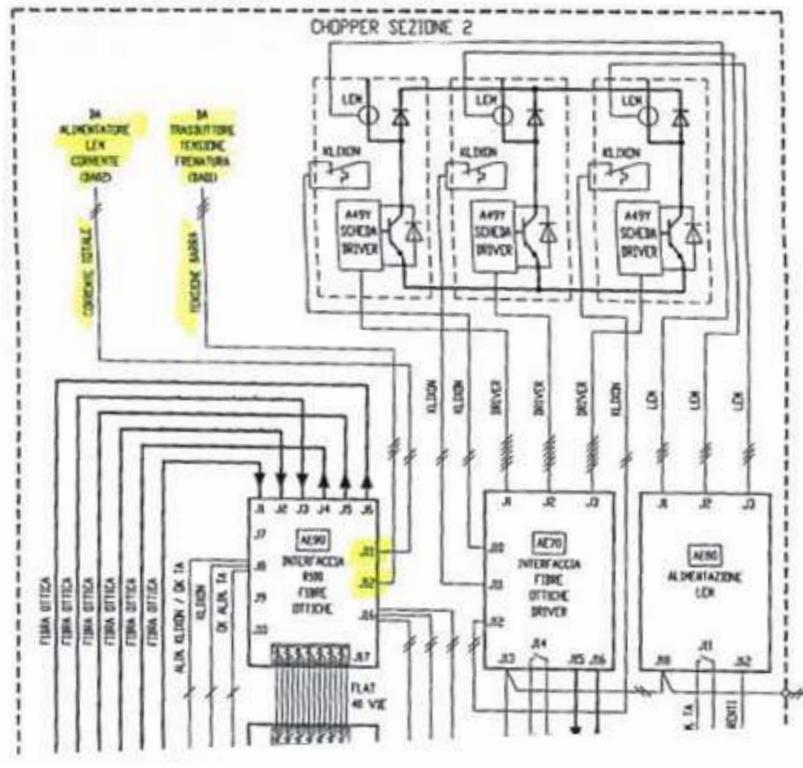


Figura 25 Tavola DB del quadro del banco di carico di Collegno

Nella tavola UA, riportata in Fig. 26, sono mostrati i trasduttori di potenza ed energia dissipata dal banco di carico con i rispettivi fondo scala.

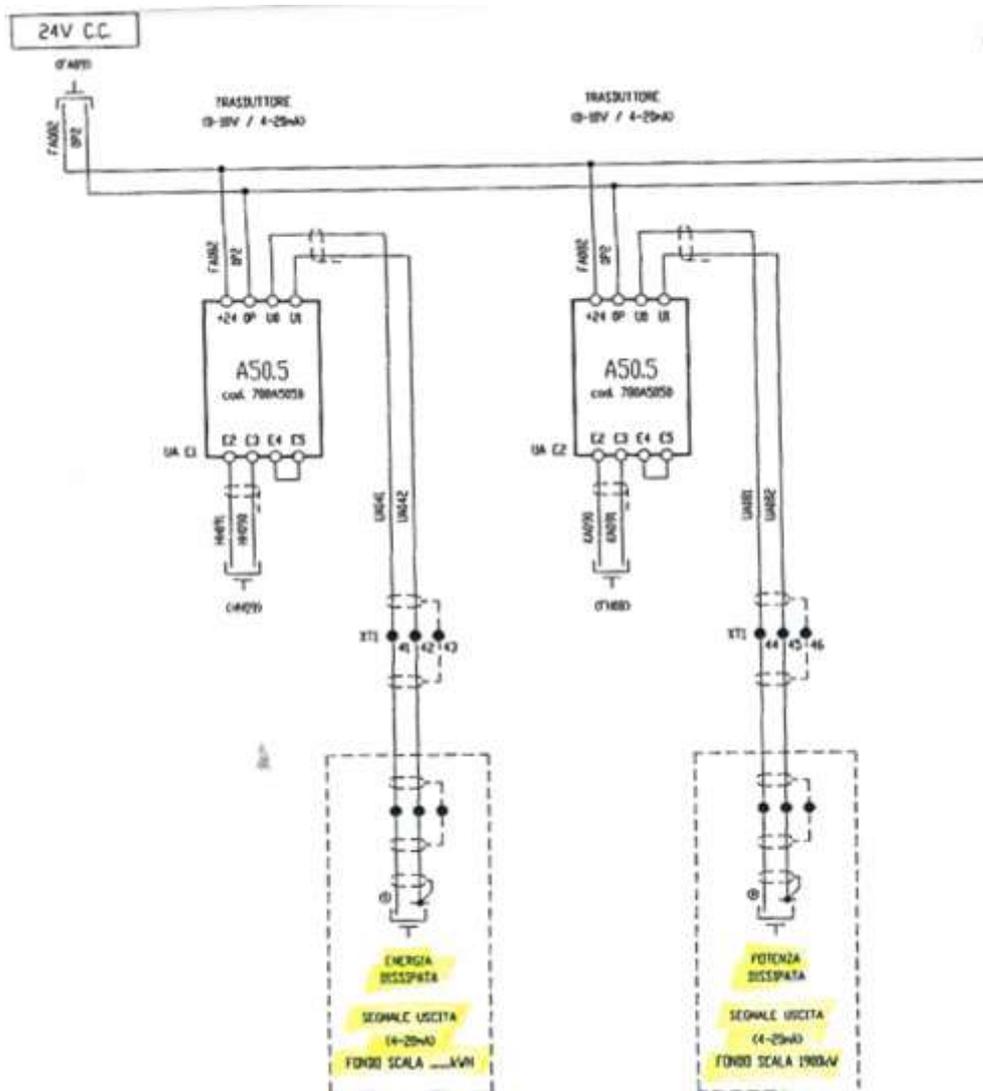


Figura 26 Tavola UA del quadro del banco di carico di Collegno

Nonostante la consapevolezza della maggiore imprecisione della misura si è adottata questa scelta per una questione di semplicità e immediatezza d'installazione del misuratore. In più la volontà del campionamento è avere un ordine di grandezza dell'energia dissipata, senza necessità di precisione assoluta.

Gli errori introdotti nel primo passo dell'acquisizione della misura sono legati alla sensibilità delle sonde di corrente e tensione e dall'accuratezza della traduzione analogica. In seguito si introduce l'incertezza data

dalla sensibilità del trasduttore nella traduzione del dato analogico in segnale di corrente a cui si aggiunge l'incertezza del trasduttore che traduce il segnale di corrente in tensione. In fine ulteriore incertezza è introdotto dall'analizzatore stesso installato alla fine del circuito con delle pinze cocodrillo ai cavi provenienti dal trasduttore di tensione.

Lo strumento utilizzato, di proprietà del Politecnico di Torino, è il modello 8880-20 della Hioki. Il passo temporale di campionamento è di 100 ms. Si è adottato questo intervallo temporale per poter apprezzare al meglio i profili della potenza dissipata dal banco di carico. La dissipazione può essere molto breve e improvvisa.



Figura 27 Registratore Hioki 8880-20

Dalla misura pare evidente che il banco di carico entra in funzione poco dopo la messa in tensione della linea di trazione, prevista per le 4 di mattina, quando i treni iniziano a circolare. Allo stesso tempo vi è un periodo di inattività che corrisponde all'arresto della linea di trazione, misurato tra le 00:30 circa e le 4:30. I picchi registrati, che corrispondono alle dissipazioni attuate dal banco di carico, hanno un profilo irregolare con valori e durate variabili. Anche l'intervallo che intercorre tra una dissipazione e un'altra non ha regolarità.

Nelle 25 ore di misura si sono registrati diversi scostamenti del valore di tensione dal limite inferiore del fondo scala, circa -10 V. Si può notare che dopo la messa in tensione alle 4 di mattina c'è un periodo di

inattività del banco di carico, poi si registrano dei picchi, e poi nuovamente un periodo senza dissipazioni fino a circa le 5:20. Questo comportamento può essere legato ad una prima movimentazione dei treni la mattina prima dell'entrata in funzione del servizio metropolitano, poi un arresto dei treni fino all'effettiva apertura delle stazioni e alle prime corse del mattino.

Il misuratore ha registrato dei picchi di potenza dissipata più fitti ed elevati nelle ore in cui i treni in servizio sono di meno e la frequenza di passaggio varia tra i 4 e i 7 minuti (10:00-13:00 e 22:00-1:00). Proprio in queste ore l'energia immessa in rete dal sistema di recupero elettrico dalla frenata può essere assorbita da meno treni e quindi viene maggiormente dissipata dal banco di carico.

Nelle ore di picco della metropolitana il grafico si fa meno fitto e i valori dei picchi di potenza più contenuti. Questo comportamento lo si registra nell'orario compreso tra le 16:00 e le 19:00 quando i treni in servizio garantiscono un passaggio ogni 3 minuti.

Lo scarto di tensione dal valore di base è stato tradotto in potenza, tramite la relazione riportata precedentemente. Per la potenza dissipata si ottengono grafici il cui profilo è confrontabile con quello delle tensioni, ed i valori oscillano tra gli 0 kW e più di 600 kW. La potenza è stata calcolata secondo le proporzioni per cui una variazione di tensione da -10V a 10V corrisponde ad una variazione di potenza da 0 kW a 1900 kW. Nei momenti di inattività del banco di carico il valore registrato dallo strumento non è mai stato costante a -10V. Si è individuato un valore medio che si attesta a circa -9,87V. Qualora lo strumento registrasse un valore superiore a -9,81V (dato di tensione maggiore registrato nei periodi di inattività del banco di carico) si è confrontato lo scarto del valore registrato con la media sopra indicata e si è calcolato con la proporzione descritta la potenza equivalente registrata.

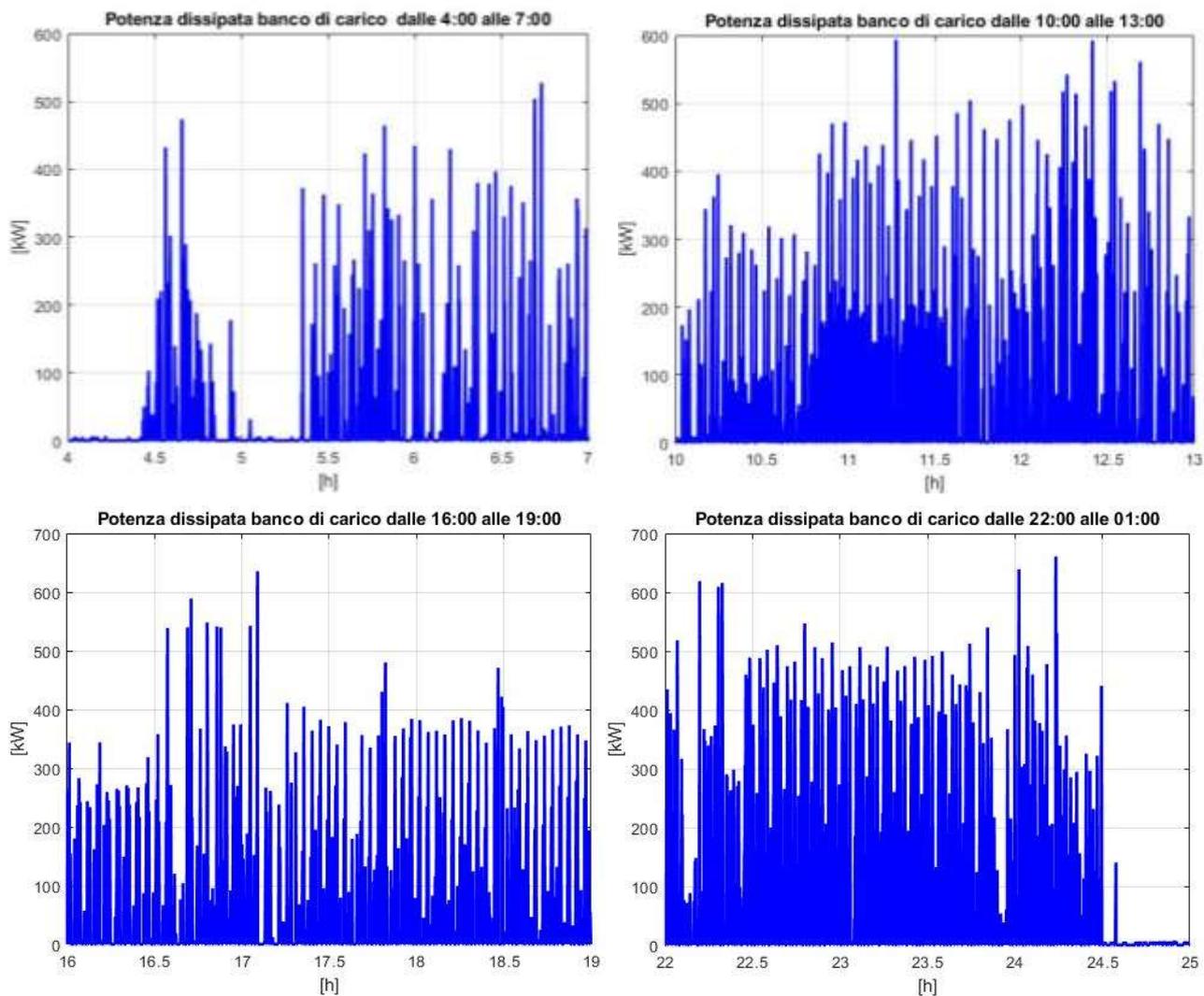


Figura 28 Potenza ricavata da misura della tensione sul trasduttore del banco di carico di Collegno

Dai grafici della potenza in Fig. 28 si può vedere che si raggiungono livelli di potenza dissipata anche molto elevata. I valori registrati però hanno una durata molto breve e il profilo di dissipazione è incostante.

Per apprezzare l'andamento di una dissipazione si riporta in Fig. 29 un ingrandimento di 100 decisecondi.

Il grafico mostra una dissipazione di media-lunga entità, il cui intervallo di tempo è circa 4 secondi.

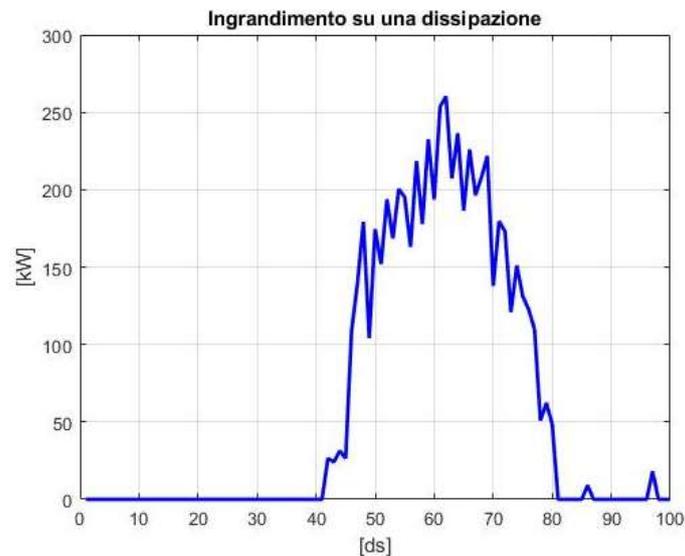


Figura 29 Ingrandimento su una dissipazione

Si sono integrate le misure di potenza nel tempo con il metodo dei trapezi che consiste nell'approssimare l'integrale di una funzione positiva con l'area di un trapezio rettangolo che ha come vertici di base i punti dell'intervallo di integrazione posizionati sulle ascisse  $[a, 0]$ ,  $[b, 0]$  e come vertici superiori i punti  $[a, f(a)]$  e  $[b, f(b)]$  dove  $f(a)$  è il valore che assume la funzione all'ascissa  $a$ . L'integrazione con la regola del trapezio è stata effettuata su ogni singolo intervallo di campionamento.

Si ottiene così un valore di energia dissipata nelle 25 ore di circa 390 kWh. Se si riporta alle 24 ore, non considerando l'ora che va dalle 4 alle 5 di mattina del secondo giorno di misure, l'energia dissipata risulta essere circa 384 kWh.

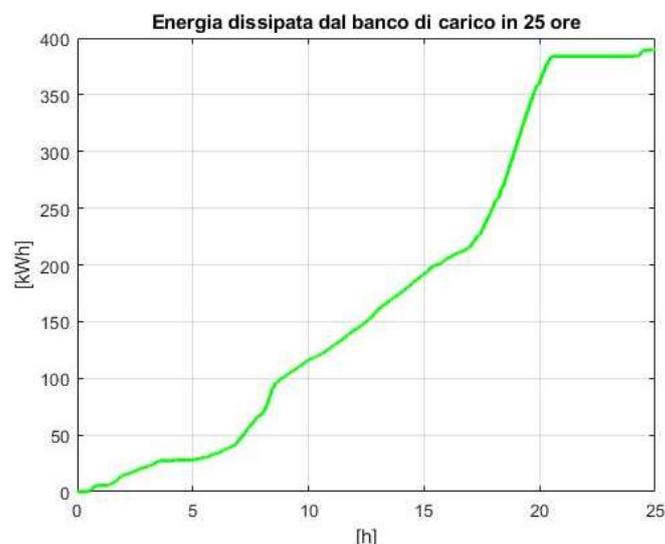


Figura 30 Energia dissipata dal banco di carico in 25 ore

Se si considera il giorno misurato come esemplificativo dell'andamento annuale dell'energia dissipata si ottiene un valore complessivo di circa 140.193 kWh che rappresenta circa lo 0,85% dei consumi annui imputati alla trazione della metropolitana della linea 1 di Torino.

### 7.1.2 GRUPPI FRIGORIFERI

Per la climatizzazione della palazzina uffici (Edificio A) sono presenti dei gruppi frigoriferi a servizio dell'area PCC, degli spogliatoi e della mensa.

La produzione di acqua refrigerata è presente tutto l'anno per la necessità continua di alimentare le unità di trattamento dell'aria ed i terminali di raffrescamento dei locali tecnici all'interno dei quali è elevata la produzione di calore dovuta ai dispositivi elettrici ed elettronici.

Ci sono due centrali frigorifere in corrispondenza delle due centrali termiche dell'edificio A, dotate entrambe di un serbatoio inerziale di acqua fredda, con capacità di 1500 litri. I gruppi frigoriferi garantiscono un salto termico 7-12°C all'acqua refrigerata.

| N. | Ubicazione      | Gruppo Frigorifero | Fluido Refrigerante | Anno di installazione | Funzione                          | Potenza [kW] |
|----|-----------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|
| 1  | CT A Edificio A | RHOSS RHTA 20380   | R407C               | 2006                  | Raffrescamento Ventilo Uffici     | 360,3        |
| 2  | CT A Edificio A | RHOSS RHTA 20380   | R407C               | 2006                  | Raffrescamento Area PCC           | 44,7         |
| 3  | CT A Edificio A | RHOSS RHTA 20380   | R407C               | 2006                  | Raffrescamento Pista Prova        | 44,7         |
| 4  | CT D Edificio A | RHOSS RHTA 20380   | R407C               | 2006                  | Raffrescamento Spogliatoi e Mensa | 360,3        |

Tabella 16 Gruppi frigo sito GTT di Collegno



Figura 31 Gruppi frigo

I gruppi frigoriferi delle due centrali termiche alimentano diverse unità di trattamento Aria a servizio degli uffici, dei locali tecnici e di alcune aree dell'Officina. Tali Unità di Trattamento Aria (UTA) sono alimentate dalle caldaie in inverno (l'elenco è riportato nel paragrafo relativo alle Centrali Termiche).

Per completezza si ricorda che (anche se questo intervento non ha influenzato i consumi oggetto della diagnosi riferita all'anno 2018) nel 2019 è stato installato un impianto di condizionamento estivo a servizio dell'officina e del deposito treni/magazzino costituito da raffrescatori evaporativi.

| Zona Servita | Numero | Portata Aria            | Prevalenza | Potenza elettrica |
|--------------|--------|-------------------------|------------|-------------------|
| MAGAZZINO    | N.03   | 20000 m <sup>3</sup> /h | 258 Pa     | 1.500 W           |
| OFFICINA     | N.10   | 20000 m <sup>3</sup> /h | 258 Pa     | 1.500 W           |
| DEPOSITO     | N.14   | 20000 m <sup>3</sup> /h | 258 Pa     | 1.500 W           |

Tabella 17 Raffrescatori evaporativi

### 7.1.3 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE LOCALI E AREE ESTERNE

Dalle tavole di progetto è stato possibile ricavare il numero e la tipologia di lampade installate per il Comprensorio di Collegno per l'illuminazione interna e d'esterna.

Sono state individuate le zone con diverso utilizzo in termini di ore giornaliere.

I dati delle luci interne installate sono riassunte nelle tabelle 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24.

| <b>Officina</b>            |          |             |
|----------------------------|----------|-------------|
| Modello                    | Quantità | Potenza [W] |
| 3F LINDA 1x58W IP65        | 65       | 58          |
| 3F LINDA 1x36W IP65        | 51       | 36          |
| I3F 751x36 AMPIO IP65      | 11       | 36          |
| L324x18 2M                 | 26       | 72          |
| I3F L322x18 3A0            | 12       | 36          |
| Dundi Pudding Expo SAP 250 | 81       | 250         |
| M32SA/3NCdardoMF           | 14       | 18          |
| Magnum 2x18W               | 26       | 32          |

**Tabella 18 Illuminazione d'officina**

Il maggior contributo di consumo nell'officina è dato dai corpi illuminanti denominati come Dundi Pudding Expo SAP 250 che devono garantire una buona visibilità per i lavori di manutenzione degli operai d'officina.

| <b>Uffici primo piano</b> |          |             |
|---------------------------|----------|-------------|
| Modello                   | Quantità | Potenza [W] |
| 3F LINDA 1x58W IP65       | 31       | 58          |
| 3F LINDA 1x36W IP65       | 12       | 36          |
| 3F LINDA 1x18W IP65       | 5        | 18          |
| L324x18 2M                | 166      | 72          |
| I3F L322x18 3A0           | 10       | 36          |
| M32SA/3NCdardoMF          | 17       | 18          |
| Magnum 2x18W              | 37       | 32          |
| L324x18 SP IP54           | 47       | 72          |
| L322x36 SP IP54           | 6        | 72          |
| I3F 751x36 AMPIO IP65     | 22       | 36          |

**Tabella 19 Illuminazione uffici primo piano**

Nel primo piano è preponderante la presenza di “L324x18 2M”, plafoniera da 4 tubi neon che è installata su tutto il piano negli uffici, nei corridoi e nella sala riunioni.

| <b>Uffici secondo piano</b> |          |             |
|-----------------------------|----------|-------------|
| Modello                     | Quantità | Potenza [W] |
| 3F LINDA 1x58W IP65         | 17       | 58          |
| 3F LINDA 1x36W IP65         | 19       | 36          |
| L324x18 2M                  | 17       | 72          |
| L324x18 2M                  | 41       | 72          |
| I3F L322x18 3A0             | 5        | 36          |
| M32SA/3NCdardoMF            | 11       | 18          |
| Magnum 2x18W                | 79       | 32          |
| I3F L372x55 2MG HF          | 28       | 32          |
| Dundi Pudding Expo SAP 250  | 4        | 250         |

**Tabella 20 Illuminazione uffici secondo piano**

Al secondo piano sono presenti dei locali in cui l'illuminazione rimane accesa 24 ore al giorno. Nella tabella c'è una ripetizione di un modello di lampada perché una parte segue gli orari di ufficio e una parte è sempre in funzione. I corpi illuminanti accesi 24 ore al giorno sono in particolare i 28 I3F L372x55 2MG HF e 17 3F LINDA 1x58W IP65.

| <b>Uffici terzo piano</b> |          |             |
|---------------------------|----------|-------------|
| Modello                   | Quantità | Potenza [W] |
| 3F LINDA 1x36W IP65       | 51       | 36          |
| Magnum 2x18W              | 17       | 32          |
| M32SA/3NCdardoMF          | 4        | 18          |

**Tabella 21 Illuminazione uffici terzo piano**

| <b>Deposito</b>            |          |             |
|----------------------------|----------|-------------|
| Modello                    | Quantità | Potenza [W] |
| 3F LINDA 1x58W IP65        | 544      | 58          |
| 3F LINDA 1x36W IP65        | 8        | 36          |
| 3F LINDA 1x18W IP65        | 4        | 18          |
| L324x18 2M                 | 8        | 72          |
| Dundi Pudding Expo SAP 250 | 37       | 250         |
| M32SA/3NCdardoMF           | 6        | 18          |
| Record DL 626/1            | 10       | 40          |
| Magnum 2x18W               | 6        | 32          |

**Tabella 22 Illuminazione deposito**

L'ampia superficie del deposito dei treni è principalmente illuminata dalle plafoniere 3F LINDA 1x58W IP65, essa deve garantire una buona visibilità poiché questa struttura ospita i lavori di manutenzione notturni.

| <b>Guardiola</b> |          |             |
|------------------|----------|-------------|
| Modello          | Quantità | Potenza [W] |
| Magnum 2x18W     | 12       | 32          |
| L322x36 SP IP54  | 1        | 72          |

**Tabella 23 Illuminazione guardiola**

| <b>Stoccaggio materiale a rischio</b> |          |             |
|---------------------------------------|----------|-------------|
| Modello                               | Quantità | Potenza [W] |
| 3F LINDA 1x58W IP65                   | 6        | 58          |
| EVF                                   | 31       | 36          |

**Tabella 24 Illuminazione magazzino materiale a rischio**

L'illuminazione dell'area di stoccaggio del materiale a rischio ha un consumo bassissimo rispetto a quelli per l'illuminazione del comprensorio, questo perché la ridotta potenza installata è utilizzata per brevi intervalli di tempo durante la giornata.

Tutte le aree esterne del comprensorio sono dotate di illuminazione, in tabella 25 si riportano le tipologie di lampada, la quantità e la potenza installata.

| <b>Illuminazione aree esterne</b>         |          |             |
|-------------------------------------------|----------|-------------|
| Modello                                   | Quantità | Potenza [W] |
| Lampade SAP                               | 16       | 250         |
| Lampade SAP                               | 133      | 400         |
| Lampade costituite da 2 corpi illuminanti | 6        | 400         |
| Lampade costituite da 1 corpo illuminante | 14       | 400         |
| Lampade SAP                               | 3        | 400         |
| Lampade da 70 W                           | 3        | 70          |

**Tabella 25 Illuminazione aree esterne**

#### 7.1.4 COMPRESSORI

Lo stabilimento è dotato di un impianto di aria compressa per garantire il funzionamento dei macchinari e delle attrezzature a supporto del ciclo produttivo aziendale generata da due compressori. Nello stesso locale è presente anche un essiccatore e un accumulo di aria compressa di 2018 litri.

I compressori lavorano uno in alternativa all'altro.

Vengono riportate in tabella 26 le caratteristiche tecniche.

| Modello        | Potenza [kW] | Caratteristiche tecniche |
|----------------|--------------|--------------------------|
| CECCATO CSB 20 | 15           | 10 bar                   |
| CECCATO CSB 20 | 15           | 10 bar                   |

**Tabella 26 Compressori Ceccato**

L'essiccatore è CECCATO DRYLIFE DLX 52 con potenza elettrica assorbita di 0,9 kW.



Figura 32 Compressori Ceccato

#### 7.1.5 UTENSILI OFFICINA

Secondo quanto riportato da GTT le macchine utensili (trapani, riscaldatori, mole, ...) presenti in officina, sono usati molto di rado (es. trapano elettrico a colonna 15 minuti ogni 2 mesi, mola da banco 5 minuti al mese). In officina vengono prevalentemente utilizzate attrezzature ad aria compressa (avvitatori pneumatici, molette, trapano). Visto il limitato impiego dei suddetti utensili, la loro influenza sui consumi elettrici verrà considerata trascurabile.

## 7.2 Energia elettrica : misure spot eseguite sulle principali utenze

Sono state eseguite due campagne di misure spot sulle principali utenze elettriche del Comprensorio Metro-Collegno, la prima in data 25/06/2019 e la seconda in data 02/10/2019 mediante pinza amperometrica Officine Elettriche modello 25353 per la misure degli assorbimenti elettrici puntuali delle principali utenze.



**Figura 33 Pinza amperometrica utilizzata per le misure spot –Le Officine Elettriche 25353**

Le misure sono state effettuate su diverse utenze elettriche del sito sui quadri generali di bassa tensione. La misura è soggetta ad un buon margine di incertezza poiché si è registrato l'assorbimento istantaneo di ogni linea considerando le correnti equilibrate e si è fatta una media ad occhio dei tre valori osservati. I valori di potenza assunta sono frutto di un'ulteriore valutazione approssimativa poiché il valore di tensione è stato supposto costante e pari al valore nominale.

Le misure sono state fatte essenzialmente sul QGBT1 che, insieme al QGBT2, alimenta tutte le principali utenze del Comprensorio di Collegno.

Sono state eseguite le seguenti misure spot sul quadro generale QGBT:

- Totale cabina QGBT1
- Carica Batterie e carrelli elevatori
- Deposito Treni e magazzini
- Magazzino materiali a rischio
- Condizionamento PCC
- PCC e Uffici
- Sezione QGA del QGBT2
- Sezione QGB del QGBT2 (UPS)
- Officina e locali tecnici
- Condizionamento Officina
- Illuminazione esterna
- PCC Piano secondo
- UTA C
- UTA B

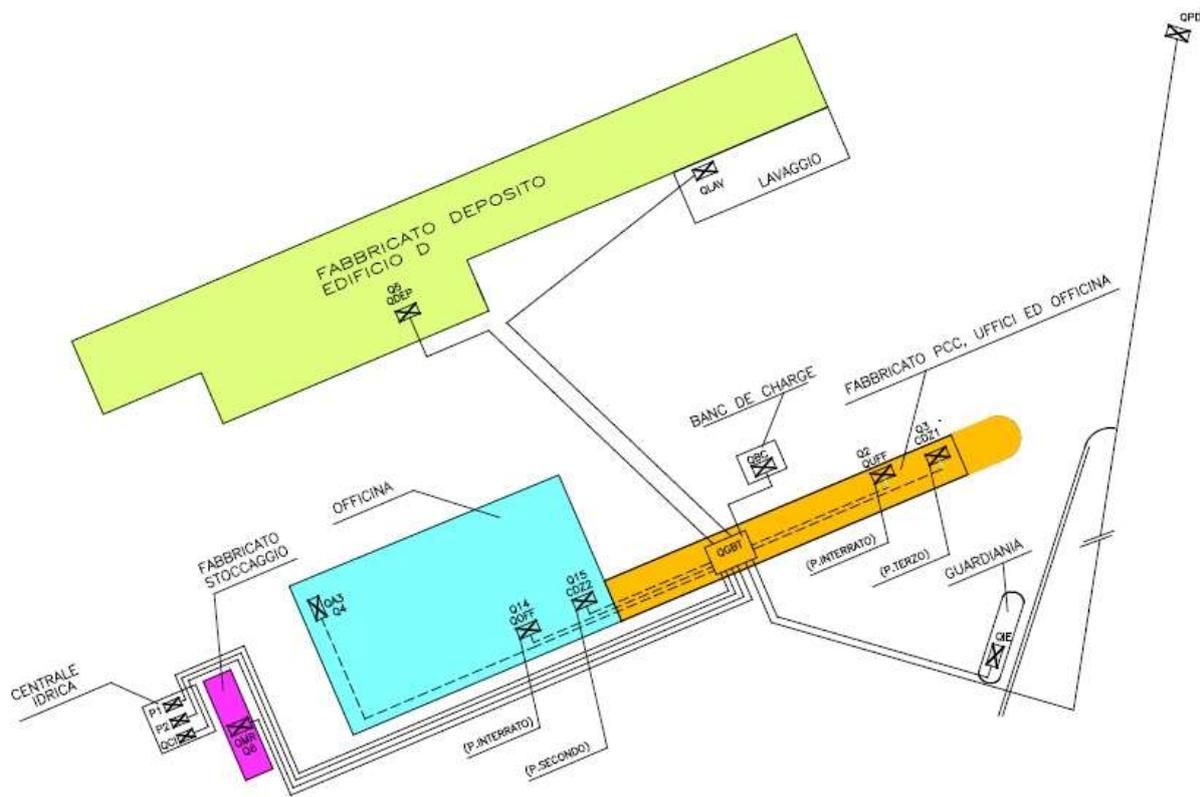


Figura 34 Principali linee elettriche partenti dal QGBT

I dati di assorbimento derivanti dalle misure effettuate sono riportate nel seguito in tabella 27.

Misure spot effettuate in data 25 giugno 2019.

| Utenza servita                                                  | Misura<br>(media tre fasi) | Potenza | Potenza<br>assunta | Quadro     |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|---------|--------------------|------------|
|                                                                 | A                          | kW      | kW                 |            |
| Deposito Treni e magazzini annessi                              | 8                          | 4,98    | 5                  | Q5         |
| Magazzini a rischio                                             | 8                          | 4,98    | 5                  | Q6         |
| Condizionamento PCC                                             | 180                        | 112,10  | 112                | Q3 - CDZ1  |
| Smistamento PCC e uffici                                        | 90                         | 56,05   | 56                 | Q2 - QUFF  |
| Carica batterie carrelli elevatori officina                     | 5                          | 3,11    | 3,5                | Q4         |
| Alimentazione QGBT2 sezione QGA                                 | 25                         | 15,57   | 16                 | Q1         |
| Alimentazione QGBT2 sezione QGB (UPS)                           | 70                         | 43,60   | 44                 | Q13        |
| Smistamento Officine e locali tecnici                           | 80                         | 49,82   | 50                 | Q14 - QOFF |
| Condizionamento Officina                                        | 110                        | 68,51   | 69                 | Q15 - CDZ2 |
| QGBT1 sezione QGA (Q7 guardiana +<br>QIE illuminazione esterna) | 90                         | 56,05   | 50                 | Q7+QIE     |
| PCC Piano secondo                                               | 6                          | 3,74    | 4                  | QU8 (QUFF) |

Tabella 27 Misure spot effettuate il 25 giugno 2019

Per quanto riguarda l'illuminazione esterna, si ha una punta di assorbimento di 90 A all'accensione delle luci e poi l'assorbimento si stabilizza sui 60 A.

Globalmente l'assorbimento totale della cabina (PEF Collegno), relativa alle utenze del Sito di Collegno, è di 460 A che corrisponde ad un assorbimento medio di circa 300 kW (senza illuminazione esterna), Sono state inoltre effettuate le misure degli assorbimenti relativi a 2 UTA i cui risultati sono riportati in tabella 28.

| <b>Utenza servita</b> | <b>Misura</b> | <b>Potenza assunta</b> | <b>Quadro</b> |
|-----------------------|---------------|------------------------|---------------|
|                       | <b>A</b>      | <b>kW</b>              |               |
| UTA 3                 | 2             | 1,5                    | QUTA C        |
| UTA 2                 | 13            | 8                      | QUTA B        |

**Tabella 28 Misure spot sulle Unità di trattamento aria**

Come ulteriore verifica delle misure spot effettuate a giugno, ai primi di ottobre sono state eseguite altre misure di assorbimento delle utenze generali del Comprensorio e delle utenze principali.

| <b>Utenza servita</b>                 | <b>Misura [A]</b> | <b>Potenza assunta [kW]</b> | <b>Quadro</b> |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------|
| QGBT1 - QGA                           |                   | 150                         | QGA QGBT1     |
| QGBT1 - QGB                           |                   | 100                         | QGB QGBT1     |
| QGBT2 - QGA                           |                   | 10                          | QGA QGBT2     |
| QGBT2 - QGB                           |                   | 35                          | QGB QGBT2     |
| Condizionamento PCC                   | 150               | 95                          | Q3 - QCDZ1    |
| Condizionamento Officina              | 120               | 75                          | Q15 - CDZOFF  |
| Smistamento Officine e locali tecnici | 80                | 50                          | Q14           |

**Tabella 29 Misure spot effettuate il 2 ottobre 2019**

Si specifica che il giorno 02/10/2019 l'illuminazione esterna era accesa perché era in corso una manutenzione all'impianto, pertanto le misure sul QGBT1 comprendono gli assorbimenti dell'illuminazione esterna a differenza delle misure precedenti.

Inoltre, da parte degli addetti alla manutenzione degli impianti elettrici del sito, è stata effettuata una lettura giornaliera dei contatori presenti sulle due sezioni del quadro QGBT1, per una settimana in due periodi diversi: dal 28 maggio al 4 giugno 2019 e dal 30 settembre al 06 ottobre 2019.

Con esse è stato possibile avere a disposizione, oltre ad alcuni dati di assorbimento giornaliero, anche il consumo reale del QGBT1 (Utenze Comprensorio Collegno) dal 28 maggio 2019 al 15 ottobre 2019.

Nelle tabelle 30, 31 e 32 sono riportati i dati rilevati in MWh giornalieri, dai quali si nota una certa costanza nei diversi giorni della settimana.

|     |                           | <b>Martedì</b><br>28/05/2019 | <b>Mercoledì</b><br>29/05/2019 | <b>Giovedì</b><br>30/05/2019 | <b>Venerdì</b><br>31/05/2019 | <b>Sabato</b><br>01/06/2019 | <b>Domenica</b><br>02/06/2019 | <b>Lunedì</b><br>03/06/2019 |
|-----|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| QGA | lettura strumento (MWh)   | 18.790,43                    | 18.792,79                      | 18.795,52                    | 18.798,14                    | 18.800,77                   | 18.803,55                     | 18.806,23                   |
|     | consumo giornaliero (MWh) |                              | 2,36                           | 2,73                         | 2,62                         | 2,63                        | 2,78                          | 2,68                        |
| QGB | lettura strumento (MWh)   | 11.970,2                     | 11.972,2                       | 11.974,54                    | 11.977,13                    | 11.979,63                   | 11.981,38                     | 11.983,98                   |
|     | consumo giornaliero       |                              | 2                              | 2,34                         | 2,59                         | 2,5                         | 1,75                          | 2,6                         |

**Tabella 30 Misure di energia cumulata QGBT1 dal 28 maggio al 3 giugno 2019**

|     |                           | <b>Lunedì</b><br>30/09/2019 | <b>Martedì</b><br>01/10/2019 | <b>Mercoledì</b><br>02/10/2019 | <b>Giovedì</b><br>03/10/2019 | <b>Venerdì</b><br>04/10/2019 | <b>Sabato</b><br>05/10/2019 | <b>Domenica</b><br>06/10/2019 | <b>Lunedì</b><br>07/10/2019 |
|-----|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| QGA | lettura strumento (MWh)   | 19.189,1                    | 19.192,02                    | 19.195,95                      | 19.199,63                    | 19.202,91                    | 19.206,32                   | 19.209,37                     | 19.212,49                   |
|     | consumo giornaliero (MWh) |                             | 2,92                         | 3,93                           | 3,68                         | 3,28                         | 3,41                        | 3,05                          | 3,12                        |
| QGB | lettura strumento (MWh)   | 12.336,34                   | 12.338,58                    | 12.340,77                      | 12.343,05                    | 12.344,95                    | 12.347,23                   | 12.349,14                     | 12.350,95                   |
|     | consumo giornaliero       |                             | 2,24                         | 2,19                           | 2,28                         | 1,9                          | 2,28                        | 1,91                          | 1,81                        |

**Tabella 31 Misure di energia cumulata QGBT1 dal 30 settembre al 7 ottobre 2019**

|     |                     | <b>Lunedì</b><br>07/10/2019 | <b>Martedì</b><br>08/10/2019 | <b>Mercoledì</b><br>09/10/2019 | <b>Giovedì</b><br>10/10/2019 | <b>Venerdì</b><br>11/10/2019 | <b>Sabato</b><br>12/10/2019 | <b>Domenica</b><br>13/10/2019 | <b>Lunedì</b><br>14/10/2019 | <b>Martedì</b><br>15/10/2019 |
|-----|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| QGA | lettura strumento   | 19.212,49                   | 19.215,48                    | 19.218,78                      | 19.222,1                     | 19.225,26                    | 19.228,29                   | 19.231,48                     | 19.234,59                   | 19.237,81                    |
|     | consumo giornaliero |                             | 2,99                         | 3,3                            | 3,32                         | 3,16                         | 3,03                        | 3,19                          | 3,11                        | 3,22                         |
| QGB | lettura strumento   | 12.350,95                   | 12.352,97                    | 12.355,33                      | 12.357,44                    | 12.359,66                    | 12.364,92                   | 12.365,99                     | 12.367,14                   | 12.368,22                    |
|     | consumo giornaliero |                             | 2,02                         | 2,36                           | 2,11                         | 2,22                         | 5,26                        | 1,07                          | 2,22                        | 2,23                         |

**Tabella 32 Misure di energia cumulata QGBT1 dal 7 ottobre al 15 ottobre 2019**

Si ricorda che nei giorni 01/10/2019 e 02/10/2019 era in corso un intervento di manutenzione sull'impianto di illuminazione esterna, pertanto le lampade erano accese anche durante il giorno.

Sulla base di queste misure è stata stimata la quota parte del consumo di bolletta attribuibile al Comprensorio di Collegno. Il consumo di energia elettrica del Sito di Collegno è stato poi parzializzato tra le utenze principali del Sito sulla base delle misure spot effettuate.

Per completezza e ulteriore verifica sono state inoltre eseguite le letture dei consumi notturni del Compensorio, nel periodo in cui l'Officina non è utilizzata. Le letture sono state prese alle 22.00 di venerdì 04/10/2019 e alle 06.30 di sabato 05/10/2019, alle 22.00 di domenica 06/10/2019 e alle 06.30 di lunedì 07/10/2019.

|                            |     |                         |           |           |           |           |
|----------------------------|-----|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>RILIEVO DELLE 22:00</i> | QGA | lettura strumento (MWh) | 19.204,54 |           | 19.210,72 |           |
|                            | QGB | lettura strumento (MWh) | 12.346,33 |           | 12.350,07 |           |
| <i>RILIEVO DELLE 06:30</i> | QGA | lettura strumento (MWh) |           | 19.205,91 |           | 19.212,03 |
|                            | QGB | lettura strumento (MWh) |           | 12.346,91 |           | 12.350,61 |

**Tabella 33 Rilievi notturni di energia QGBT1**

I consumi notturni di energia elettrica sono riportati in tabella 34 e dai rilievi si evince che tali consumi sono abbastanza elevati e corrispondono ad assorbimenti più alti di quelli diurni.

|                    |     | VENERDI/SABATO | DOMENICA/LUNEDI |
|--------------------|-----|----------------|-----------------|
| TOTALE NOTTE (MWh) | QGA | <b>1,37</b>    | <b>1,31</b>     |
|                    | QGB | <b>0,58</b>    | <b>0,54</b>     |

**Tabella 34 Consumi notturni QGBT1**

### 7.3 Energia elettrica: consumi da bollette GTT Sito Metro-Collegno

Le Bollette del Compensorio GTT Collegno-Metro sono relative ai tre punti di consegna dell'energia elettrica del sito che servono però, tutti e tre, le tre principali utenze del sito: Sito Collegno, Stazioni Metro e Trazione Treni Metro.

Infatti, non essendo presenti sistemi di misura e contabilizzazione dei consumi delle diverse utenze di cui sopra, non è possibile avere un quadro del reale consumo di tali utenze. Si ha quindi a disposizione un consumo di energia elettrica globale delle tre utenze.

In base alle indicazioni di GTT, i consumi per trazione sono stimati in misura pari al 50% dei consumi totali, la rimanente parte è da suddividere tra le stazioni metropolitane e lo stabilimento di Collegno.

Il consumo totale di energia elettrica del Compensorio di Collegno è riportato nella tabella seguente che comprende la somma dei consumi dei 3 punti di prelievo dell'energia elettrica (POD) del sito.

In sintesi possiamo evidenziare come il consumo annuo sia mediamente costante a parte l'anomalia dell'anno 2016 ma i cui dati a disposizione risentono di conguagli e aggiustamenti a seguito di problematiche relative al contratto di fornitura. In particolare negli ultimi due anni (2017, 2018) il Comprensorio ha avuto praticamente lo stesso consumo di energia elettrica.

| <b>Consumi di Energia Elettrica [kWh]</b> |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                           | 2015              | 2016              | 2017              | 2018              |
| Gennaio                                   | 3.014.617         | 2.922.453         | 2.956.498         | 2.907.878         |
| Febbraio                                  | 2.737.987         | 2.741.573         | 2.625.549         | 2.674.911         |
| Marzo                                     | 2.966.467         | 2.868.704         | 2.875.429         | 2.885.768         |
| Aprile                                    | 2.834.055         | 2.786.067         | 2.676.521         | 2.657.780         |
| Maggio                                    | 2.988.279         | 2.899.217         | 2.862.929         | 2.836.434         |
| Giugno                                    | 2.894.183         | 2.688.980         | 2.740.348         | 2.689.625         |
| Luglio                                    | 2.958.423         | 2.788.073         | 2.759.144         | 2.736.099         |
| Agosto                                    | 2.816.647         | 2.638.475         | 2.571.141         | 2.632.370         |
| Settembre                                 | 2.796.366         | 2.681             | 2.738.176         | 2.761.682         |
| Ottobre                                   | 2.971.734         | 2.879.518         | 2.857.512         | 2.859.925         |
| Novembre                                  | 2.888.848         | 2.707.210         | 2.815.217         | 2.761.419         |
| Dicembre                                  | 2.984.039         | 2.890.304         | 2.884.917         | 2.926.295         |
| <b>Totale</b>                             | <b>34.851.645</b> | <b>30.813.255</b> | <b>33.363.381</b> | <b>33.330.186</b> |

Tabella 35 Consumi di energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno [kWh]

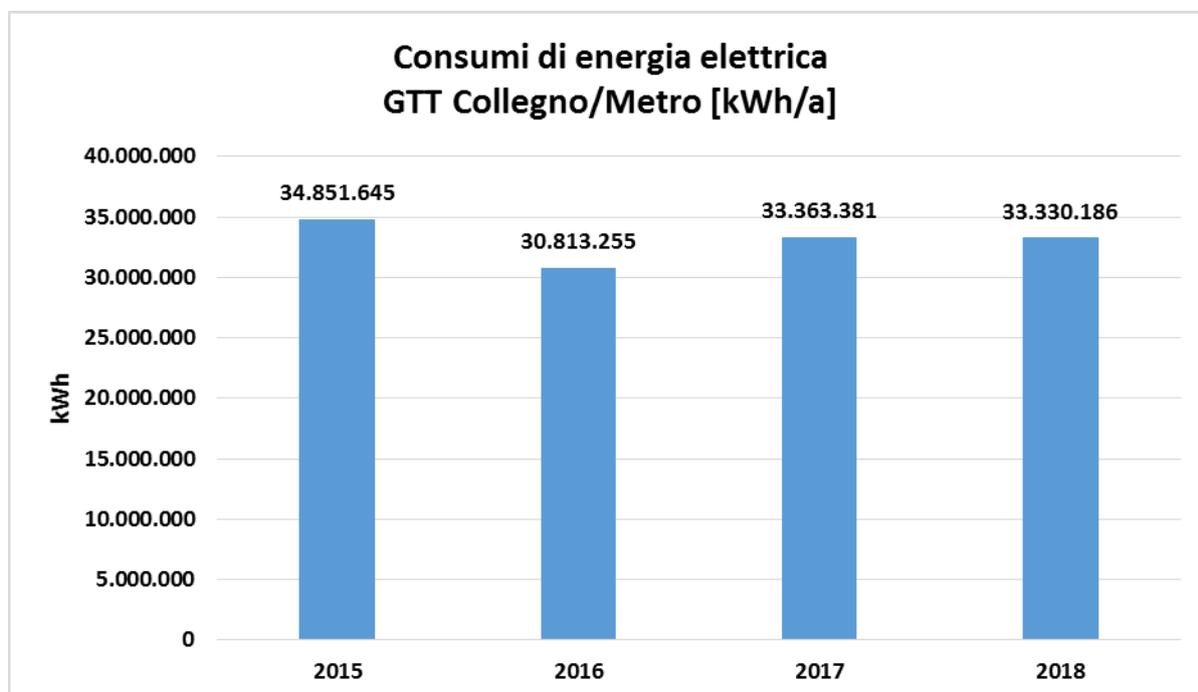


Figura 35 Consumi di energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno [kWh]

Il profilo mensile dei consumi è più o meno lo stesso nei 4 anni considerati e non risente di effetti stagionali. Questo è principalmente dovuto al fatto che la maggior parte delle utenze elettriche ha un consumo prevalentemente costante (trazione treni, stazioni metropolitana, officina Collegno, etc...).

Si evidenzia soltanto l'anomalia del settembre 2016, anno per il quale i dati di consumo a disposizione non sono attendibili.

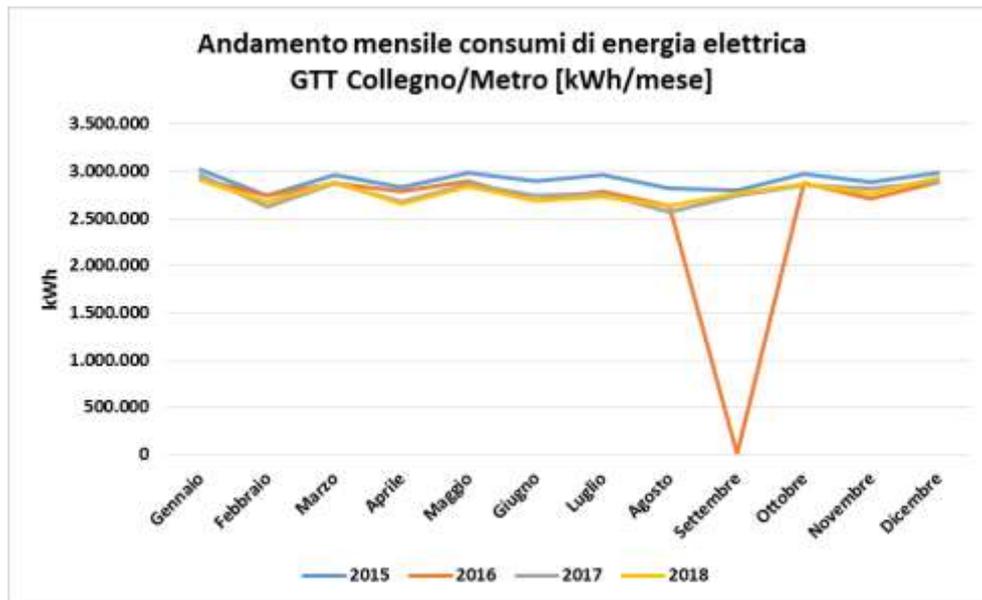


Figura 36 Andamento mensile consumi di energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno

La suddivisione del prelievo di energia elettrica dai vari POD è riportata nel seguito per i diversi anni.

Il POD di Porta Nuova è quello utilizzato meno e soltanto nel 2018 si assiste ad una ripartizione omogenea del prelievo di energia dai 3 POD.



Figura 37 Suddivisione consumi su contatori energia elettrica anno 2015

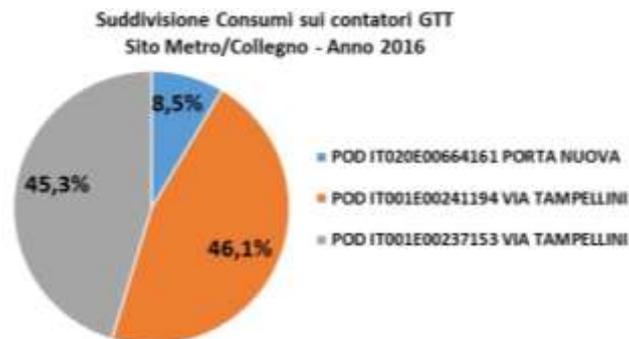


Figura 38 Suddivisione consumi su contatori energia elettrica anno 2016



Figura 39 Suddivisione consumi su contatori energia elettrica anno 2017

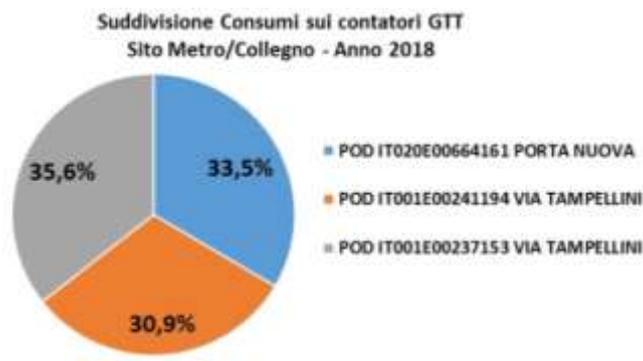


Figura 40 Suddivisione consumi su contatori energia elettrica anno 2018

I consumi in bolletta sono distribuiti in fascia F1, F2 e F3 con una preponderanza in fascia F1, seguita dalla fascia F3 e infine dalla fascia F2.

F1 sono le ore di punta (8 - 19.00 dei giorni lunedì – venerdì), F2 sono le ore intermedie (7-8 e 19-23 dei giorni lunedì-venerdì e 7-23 del sabato) ed F3 sono le ore fuori punta (00-7 e 23-24 dei giorni lunedì-sabato e tutte le ore per domenica e festivi).

Si riporta in Fig. 41 il grafico relativo alla suddivisione dei consumi nelle varie fasce dl POD IT001E00241194 MT Collegno per l'anno 2017, anno in cui c'è stato prelievo continuamente da questo POD.

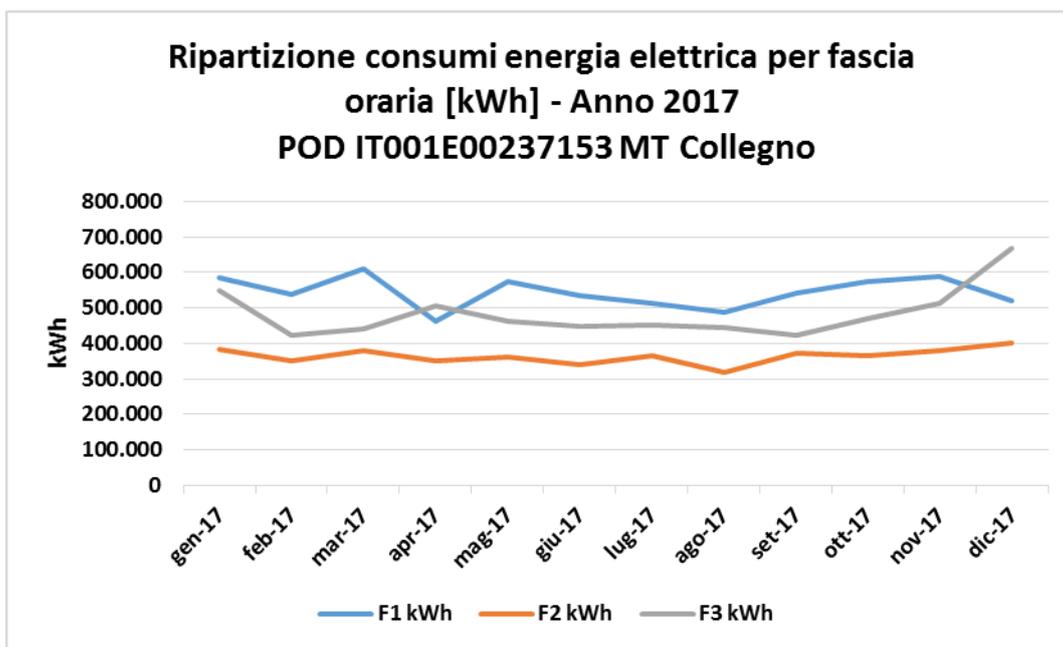


Figura 41 Ripartizione consumi di energia elettrica per fascia oraria anno 2017

Possiamo notare come oltre all'immaginabile predominanza del consumo nella fascia oraria di punta (F1), corrispondente agli orari centrali delle giornate lavorative, si trovano consumi abbastanza costanti in fascia F3 e F2. La suddivisione dei consumi nelle diverse fasce orarie è in linea con gli orari di esercizio e gestione della Metropolitana responsabile, tra stazioni metro e trazione treni, della maggior parte dei consumi energetici addebitati in bolletta.

Togliendo dai consumi totali di energia elettrica delle bollette il 50% attribuibile alla trazione dei treni della linea Metropolitana (secondo quanto riferito da GTT), si ottengono i consumi riportati in tabella 36 seguente, relativi al sito di Collegno e alle 21 stazioni della Metropolitana.

| <b>CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA</b> |                   |                   |                   |                   |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>[KWH/ANNO]</b>                   |                   |                   |                   |                   |
|                                     | 2015              | 2016              | 2017              | 2018              |
| <b>TOTALE</b>                       | <b>17.425.823</b> | <b>15.406.628</b> | <b>16.681.691</b> | <b>16.665.093</b> |

Tabella 36 Consumi di energia elettrica stazioni metropolitane + Sito GTT di Collegno

Sulla base dei dati delle misure di assorbimento elettrico del Sito di Collegno (Quadro QGBT1 cabina PEF Collegno) e delle Stazioni Metro di Porta Nuova (QGBT cabina PEF PNU) e Re Umberto (QGBT cabina

PEF REU), è stato possibile suddividere l'energia elettrica consumata dal Compensorio (esclusa quella utilizzata per la trazione dei treni) tra le stazioni metro e il sito di Collegno.

#### 7.4 Costi energia elettrica bollette GTT Compensorio Metro/Collegno

I costi energetici relativi al sito GTT di Collegno sono stati forniti direttamente da GTT sotto forma di tabelle riepilogative delle bollette di energia elettrica degli anni 2015, 2016, 2017 e 2018 (per i tre POD di consegna energia elettrica al Compensorio).

I costi relativi ai consumi di energia elettrica sono riepilogati, per i diversi anni e i diversi POD nelle tabelle seguenti.

In rosso sono evidenziati i dati che si sono ipotizzati a causa della mancanza dei dati completi.

Si nota come i costi energetici siano suddivisi tra i vari POD e che il POD di Porta Nuova è quello utilizzato meno.

Generalmente il consumo di energia elettrica è ripartita su 2 POD.

| <b>Spese per consumi di Energia Elettrica 2015 [€]</b> |                           |                           |                           |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                                        | <b>POD IT020E00664161</b> | <b>POD IT001E00241194</b> | <b>POD IT001E00237153</b> |
|                                                        | <b>PORTA NUOVA</b>        | <b>VIA TAMPELLINI</b>     | <b>VIA TAMPELLINI</b>     |
| Gennaio                                                | € 247.656,05              | € 156.821,13              | € 46.384,16               |
| Febbraio                                               | <b>€ 0,00</b>             | <b>€ 156.821,13</b>       | <b>€ 180.540,00</b>       |
| Marzo                                                  | € 77,00                   | € 196.872,93              | € 228.158,54              |
| Aprile                                                 | € 0,00                    | € 188.766,58              | € 219.586,08              |
| Maggio                                                 | € 168.999,63              | € 176.671,48              | € 101.244,55              |
| Giugno                                                 | € 84,00                   | € 193.941,63              | € 222.068,39              |
| Luglio                                                 | € 84,00                   | € 209.960,28              | € 214.566,71              |
| Agosto                                                 | € 84,00                   | € 199.332,87              | € 203.815,86              |
| Settembre                                              | € 84,00                   | € 201.706,85              | € 203.050,13              |
| Ottobre                                                | € 85,00                   | € 212.944,23              | € 220.035,45              |
| Novembre                                               | € 85,00                   | € 204.097,09              | € 216.178,86              |
| Dicembre                                               | € 85,00                   | € 207.216,71              | € 224.302,42              |
| <b>Totale</b>                                          | <b>€ 417.323,68</b>       | <b>€ 2.305.152,91</b>     | <b>€ 2.279.931,15</b>     |

**Tabella 37 Costi energia elettrica per POD compensorio Metropolitana/Collegno 2015**

| <b>Spese per consumi di Energia Elettrica 2016 [€]</b> |                           |                           |                           |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                                        | <b>POD IT020E00664161</b> | <b>POD IT001E00241194</b> | <b>POD IT001E00237153</b> |
|                                                        | <b>PORTA NUOVA</b>        | <b>VIA TAMPELLINI</b>     | <b>VIA TAMPELLINI</b>     |
| Gennaio                                                | € 82,00                   | € 185.090,21              | € 202.158,11              |
| Febbraio                                               | € 77,00                   | € 177.925,73              | € 189.023,34              |
| Marzo                                                  | € 82,00                   | € 193.133,09              | € 198.749,74              |
| Aprile                                                 | € 79,00                   | € 194.541,60              | € 196.043,73              |
| Maggio                                                 | € 82,00                   | € 202.610,35              | € 203.328,82              |
| Giugno                                                 | € 188.349,80              | € 138.475,92              | € 68.424,12               |
| Luglio                                                 | € 73.865,76               | € 188.335,11              | € 156.314,52              |
| Agosto                                                 | € 4.090,00                | € 187.955,00              | € 192.734,00              |
| Settembre                                              | € 1.148,10                | -€ 68,64                  | -€ 69,40                  |
| Ottobre                                                | € 160.313,90              | € 181.752,03              | € 184.901,52              |
| Novembre                                               | € 76,00                   | € 241.190,41              | € 249.933,73              |
| Dicembre                                               | € 81,00                   | € 248.717,30              | € 265.612,96              |
| <b>Totale</b>                                          | <b>€ 428.326,56</b>       | <b>€ 2.139.658,11</b>     | <b>€ 2.107.155,19</b>     |

Tabella 38 Costi energia elettrica per POD comprensorio Metropolitana/Collegno 2016

| <b>Spese per consumi di Energia Elettrica 2017 [€]</b> |                           |                           |                           |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                                        | <b>POD IT020E00664161</b> | <b>POD IT001E00241194</b> | <b>POD IT001E00237153</b> |
|                                                        | <b>PORTA NUOVA</b>        | <b>VIA TAMPELLINI</b>     | <b>VIA TAMPELLINI</b>     |
| Gennaio                                                | € 68,76                   | € 195.169,22              | € 205.793,48              |
| Febbraio                                               | € 68,76                   | € 168.181,96              | € 167.363,31              |
| Marzo                                                  | € 68,76                   | € 184.284,84              | € 182.355,36              |
| Aprile                                                 | € 66,94                   | € 169.776,60              | € 164.683,03              |
| Maggio                                                 | € 67,26                   | € 184.324,62              | € 176.040,00              |
| Giugno                                                 | € 67,04                   | € 177.694,08              | € 166.046,26              |
| Luglio                                                 | € 66,95                   | € 179.396,70              | € 167.411,41              |
| Agosto                                                 | € 66,92                   | € 165.991,17              | € 156.503,03              |
| Settembre                                              | € 66,97                   | € 177.935,34              | € 169.142,40              |
| Ottobre                                                | € 66,92                   | € 177.388,81              | € 171.510,97              |
| Novembre                                               | € 66,98                   | € 163.299,65              | € 181.333,71              |
| Dicembre                                               | € 66,79                   | € 156.891,84              | € 191.295,62              |
| <b>Totale</b>                                          | <b>€ 809,05</b>           | <b>€ 2.100.334,83</b>     | <b>€ 2.099.478,58</b>     |

Tabella 39 Costi energia elettrica per POD comprensorio Metropolitana/Collegno 2017

| <b>Spese per consumi di Energia Elettrica 2018 [€]</b> |                           |                           |                           |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                                        | <b>POD IT020E00664161</b> | <b>POD IT001E00241194</b> | <b>POD IT001E00237153</b> |
|                                                        | <b>PORTA NUOVA</b>        | <b>VIA TAMPELLINI</b>     | <b>VIA TAMPELLINI</b>     |
| Gennaio                                                | € 103,48                  | € 182.282,01              | € 212.374,16              |
| Febbraio                                               | € 103,72                  | € 167.194,92              | € 198.828,60              |
| Marzo                                                  | € 103,71                  | € 182.877,50              | € 210.016,52              |
| Aprile                                                 | € 106,05                  | € 169.563,46              | € 193.373,17              |
| Maggio                                                 | € 106,05                  | € 185.174,76              | € 206.661,14              |
| Giugno                                                 | € 106,05                  | € 176.134,89              | € 195.878,76              |
| Luglio                                                 | € 89,67                   | € 171.353,67              | € 190.576,30              |
| Agosto                                                 | € 89,67                   | € 161.282,99              | € 186.240,64              |
| Settembre                                              | € 350.221,53              | € 15.880,02               | € 18.171,84               |
| Ottobre                                                | € 381.212,82              | € 568,59                  | € 567,08                  |
| Novembre                                               | € 369.223,02              | € 308,08                  | € 302,58                  |
| Dicembre                                               | € 385.358,67              | € 50.309,04               | € 67.843,77               |
| <b>Totale</b>                                          | <b>€ 1.486.824,44</b>     | <b>€ 1.462.929,93</b>     | <b>€ 1.680.834,56</b>     |

Tabella 40 Costi energia elettrica per POD comprensorio Metropolitana/Collegno 2018

Sommando i consumi attribuiti ai 3 POD si ottengono valori abbastanza costanti negli ultimi 4 anni e si ottiene una spesa media per l'energia elettrica di € 4.627.200 kWh/anno.

| <b>Spesa per consumi di Energia Elettrica [€]</b> |                       |                       |                       |                       |
|---------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                   | <b>2015</b>           | <b>2016</b>           | <b>2017</b>           | <b>2018</b>           |
| Gennaio                                           | € 450.861,34          | € 387.330,32          | € 401.031,46          | € 394.759,65          |
| Febbraio                                          | € 337.361,13          | € 367.026,07          | € 335.614,03          | € 366.127,24          |
| Marzo                                             | € 425.108,47          | € 391.964,83          | € 366.708,96          | € 392.997,73          |
| Aprile                                            | € 408.352,66          | € 390.664,33          | € 334.526,57          | € 363.042,68          |
| Maggio                                            | € 446.915,66          | € 406.021,17          | € 360.431,88          | € 391.941,95          |
| Giugno                                            | € 416.094,02          | € 395.249,84          | € 343.807,38          | € 372.119,70          |
| Luglio                                            | € 424.610,99          | € 418.515,39          | € 346.875,06          | € 362.019,64          |
| Agosto                                            | € 403.232,73          | € 384.779,00          | € 322.561,12          | € 347.613,30          |
| Settembre                                         | € 404.840,98          | € 1.010,06            | € 347.144,71          | € 384.273,39          |
| Ottobre                                           | € 433.064,68          | € 526.967,45          | € 348.966,70          | € 382.348,49          |
| Novembre                                          | € 420.360,95          | € 491.200,14          | € 344.700,34          | € 369.833,68          |
| Dicembre                                          | € 431.604,13          | € 514.411,26          | € 348.254,25          | € 503.511,48          |
| <b>Totale</b>                                     | <b>€ 5.002.407,74</b> | <b>€ 4.675.139,86</b> | <b>€ 4.200.622,46</b> | <b>€ 4.630.588,93</b> |

Tabella 41 Spesa per consumi di energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno

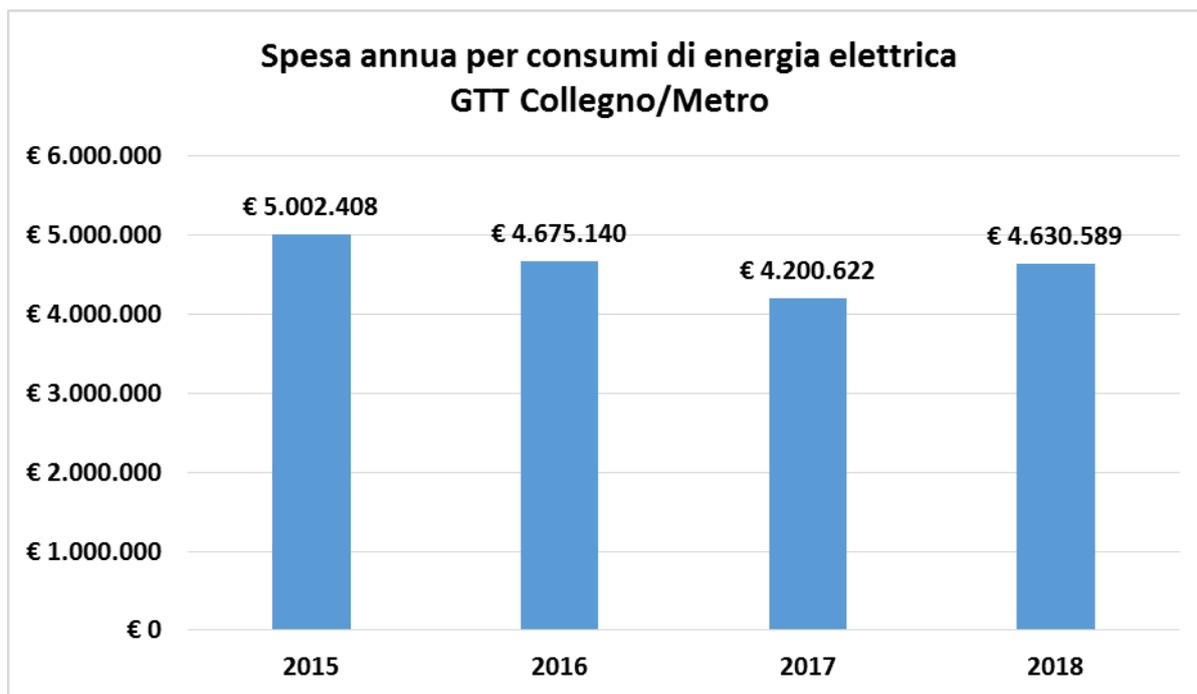


Figura 42 Spesa annua per consumi di energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno

L'andamento mensile è abbastanza costante e segue l'andamento dei consumi energetici in quanto anche il costo medio unitario dell'energia elettrica è abbastanza costante negli anni analizzati.

La media dei costi unitari di bolletta degli ultimi quattro anni restituisce un valore medio di **0,14 €/kWh**.

| Anno | POD<br>IT020E00664161 | POD<br>IT001E00241194 | POD IT001E00237153 |
|------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
|      | PORTA NUOVA           | VIA TAMPELLINI        | VIA TAMPELLINI     |
| 2015 | € 0,12                | € 0,15                | € 0,15             |
| 2016 | € 0,16                | € 0,15                | € 0,15             |
| 2017 |                       | € 0,13                | € 0,13             |
| 2018 | € 0,13                | € 0,14                | € 0,14             |

Tabella 42 Costi al kWh energia elettrica per POD comprensorio Metropolitana/Collegno

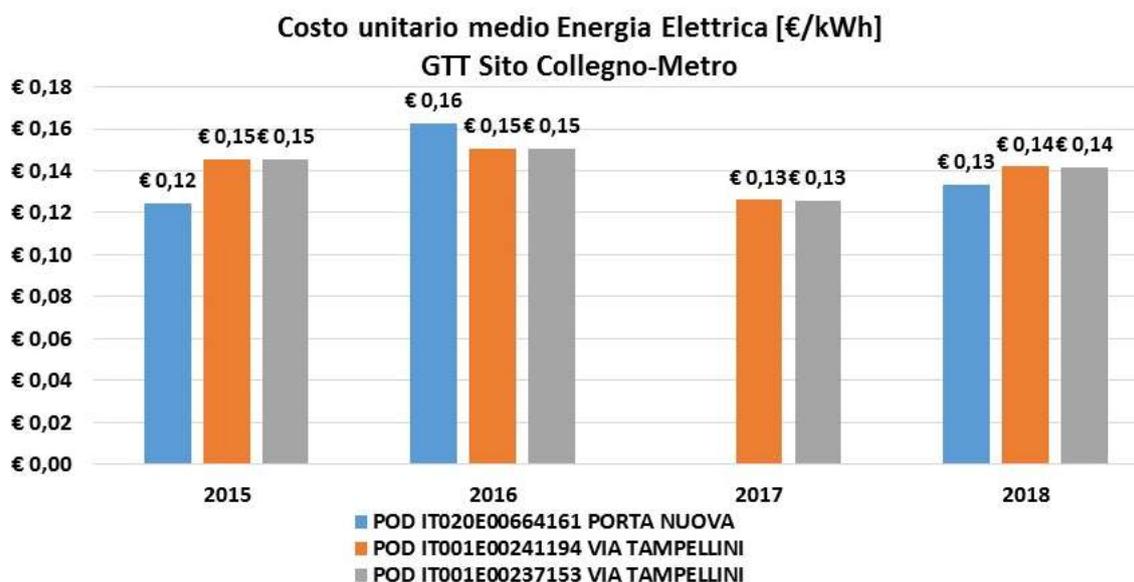


Figura 43 Costi al kWh energia elettrica per POD comprensorio Metropolitana/Collegno

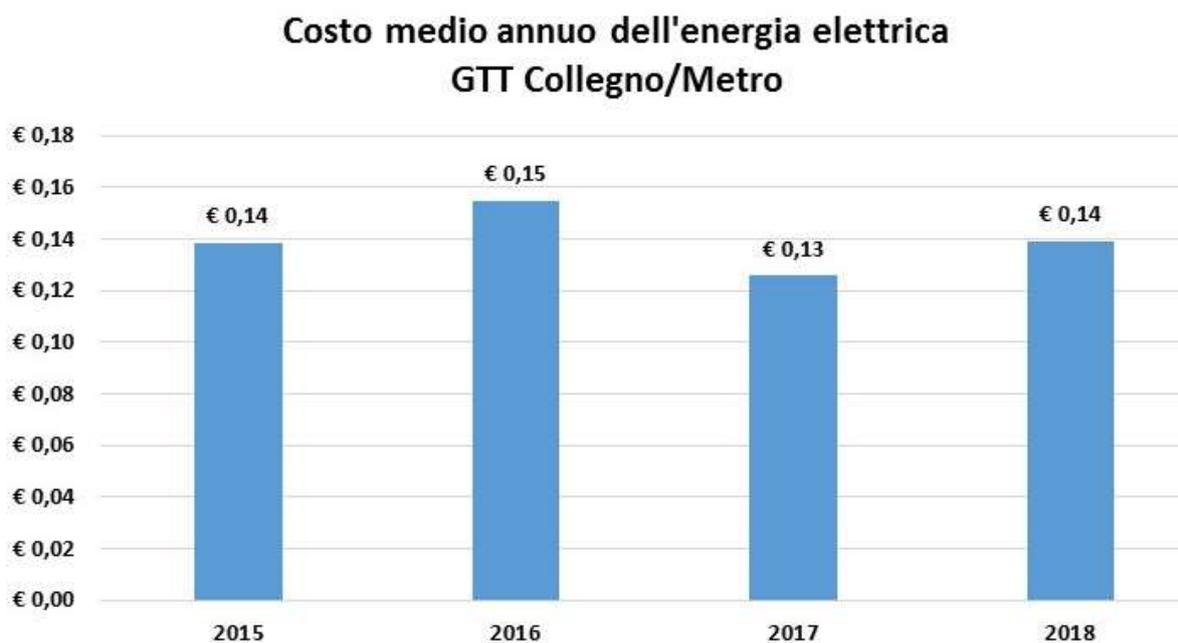


Figura 44 Costo medio annuo dell'energia elettrica al kWh comprensorio Metropolitana/Collegno

Il fornitore di energia elettrica è NOVA AEG SpA, tramite l'adesione di GTT alla convenzione SCR.

Si evidenzia un leggero aumento del costo medio in funzione perché nel 2017 la fornitura era costituita da energia elettrica proveniente al 50% da fonti energetiche rinnovabili mentre nel 2018 questa percentuale è salita al 100%, contribuendo a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>. Il dato del 2016 è da considerarsi invece anomalo visto la sopra citata difficoltà a livello di gestione contrattuale.

## 7.5 Energia elettrica: analisi delle curve di carico

E' stata effettuata un'analisi delle curve di carico elettrico del Comprensorio a partire dai dati forniti dall'Ente Fornitore a disposizione di GTT.

L'analisi delle curve di carico orario giornaliero dei consumi elettrici per il sito di Collegno deve innanzitutto tenere conto che tra i consumi sono anche registrati quelli relativi alla linea metropolitana. I dati a disposizione sono relativi soltanto al periodo maggio-dicembre 2018 e soltanto per i mesi di maggio, luglio, agosto, ottobre e dicembre. Ciò non consente un'analisi dettagliata sull'intero andamento annuale, ma sono un utile riferimento per effettuare delle considerazioni.

A partire dai dati a disposizione sono state esaminate alcune giornate tipo per verificare più nel dettaglio l'andamento giornaliero dei consumi.

Sono state analizzate le giornate tipo di due periodi dell'anno con riferimento al giorno feriale e al giorno festivo per valutarne le differenze.

I giorni analizzati sono:

- 13 e 16 maggio 2018
- 15 e 18 luglio 2018

Purtroppo i dati a disposizione non includevano anche i consumi del periodo autunno/inverno dello stesso anno e non è stato possibile avere in quanto rappresentative dei consumi giornalieri nelle differenti stagioni dell'anno.

Tuttavia, essendo la maggior parte degli assorbimenti di bolletta attribuibili alla trazione dei treni e alle Stazioni della Metro, gli effetti stagionali non sono assolutamente significativi.

I grafici sotto riportati mostrano le curve mensili per i mesi maggio, luglio e agosto. Si nota in tutti e 3 i casi come si abbia un innalzamento dei consumi corrispondente alle fasce orarie di inizio del servizio metropolitano sino a picchi compresi fra i 3.000-4.000 kW nel mese di maggio e compresi nell'intervallo 2.000-3.000 kW negli altri due mesi. Inoltre, dopo questo primo elevato assorbimento i valori tendono a scendere per rialzarsi nella fascia pomeridiana sino indicativamente alle ore 20 e stabilizzarsi su valori inferiori ai 2.000 kW nelle fasce serali prima della chiusura del servizio.

Si evidenzia quindi come nel mese di maggio, quando le scuole sono aperte, i picchi di assorbimento siano decisamente più alti rispetto ai mesi di luglio e agosto che sono mesi estivi in cui la metropolitana è utilizzata da meno persone.

L'analisi degli andamenti mostra come l'andamento dei consumi sia fortemente e inequivocabilmente condizionato dagli orari di apertura della linea metropolitana e come, all'interno di questo orario, si possano notare nei grafici in Fig. 45, 46 e 47 gli aumenti di assorbimento elettrico nelle ore in cui si intensifica il numero di passaggi orari (orari di punta della Metropolitana).

Il sito di Collegno condiziona in misura irrilevante l'andamento dei consumi.

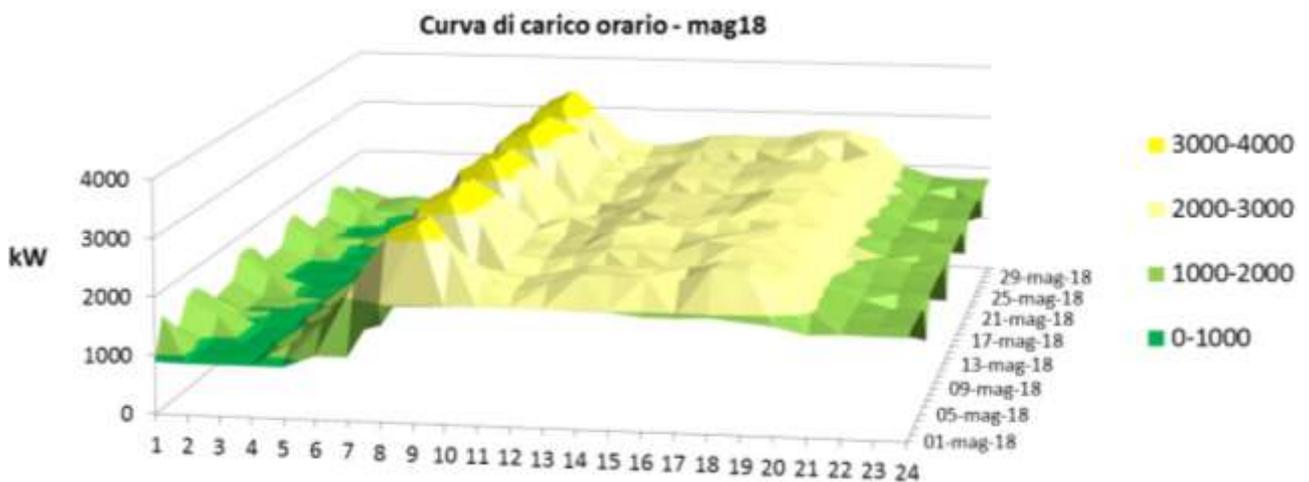


Figura 45 Curve di carico orario maggio 2018

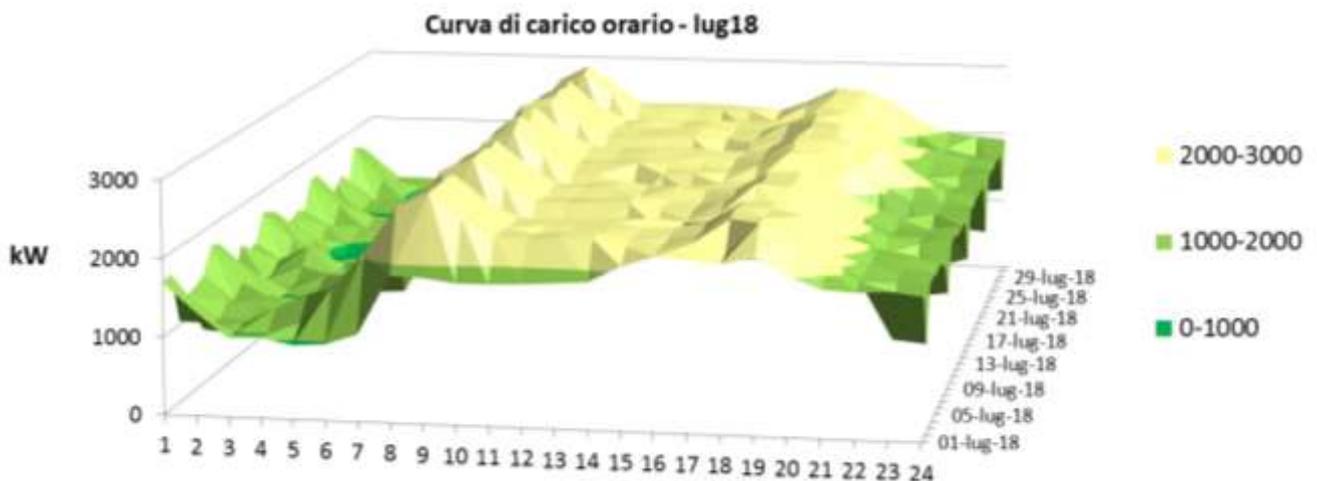


Figura 46 Curve di carico orario luglio 2018

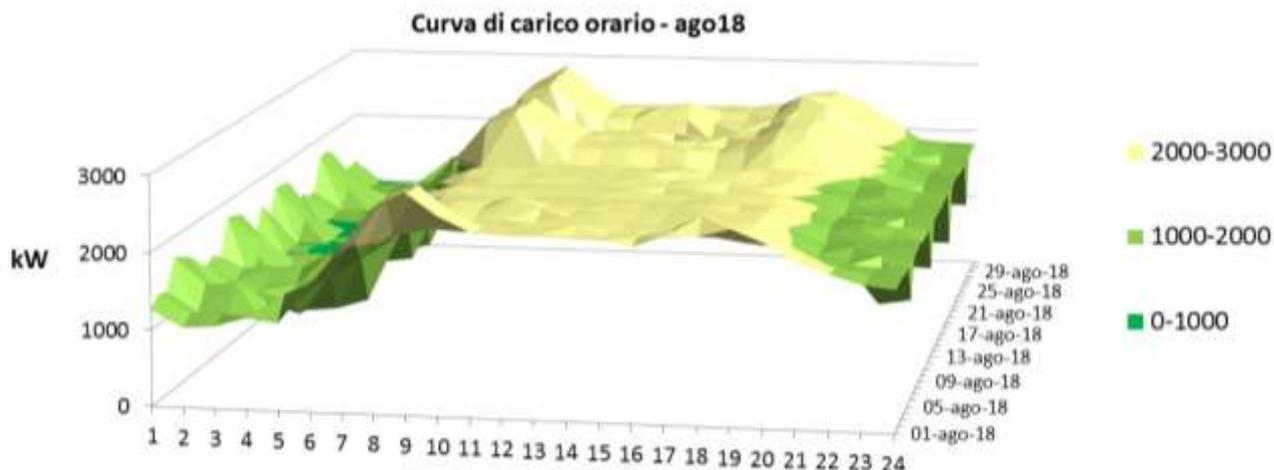


Figura 47 Curve di carico orario agosto 2018

I consumi notturni, rilevabili negli orari di chiusura della linea, scendono sino a valori inferiori ai 1.000 kW. Per comprendere ancora più nel dettaglio l'andamento di consumo giornaliero sono state esaminate le curve riferite ad alcune giornate rappresentative fra quelle per le quali si avevano dati a disposizione.

Si evince in maniera ancora più chiara come a fronte di valori "di fondo" di circa 1.000 kW si registri nelle giornate feriali una fascia di picco di circa 3.200 kW all'apertura della linea metropolitana fra le 7 e le 9.30 della mattina, una stabilizzazione dei consumi intorno a valori di circa 2.000-2.500 kW nella fascia centrale giornaliera e un lieve incremento sino a valori appena superiori ai 2.500 kW nella fascia tardo pomeridiana.

Il consumo scende poi definitivamente a valori inferiori ai 2.000 kW nelle restanti ore del giorno sino alla fascia notturna di chiusura della linea.

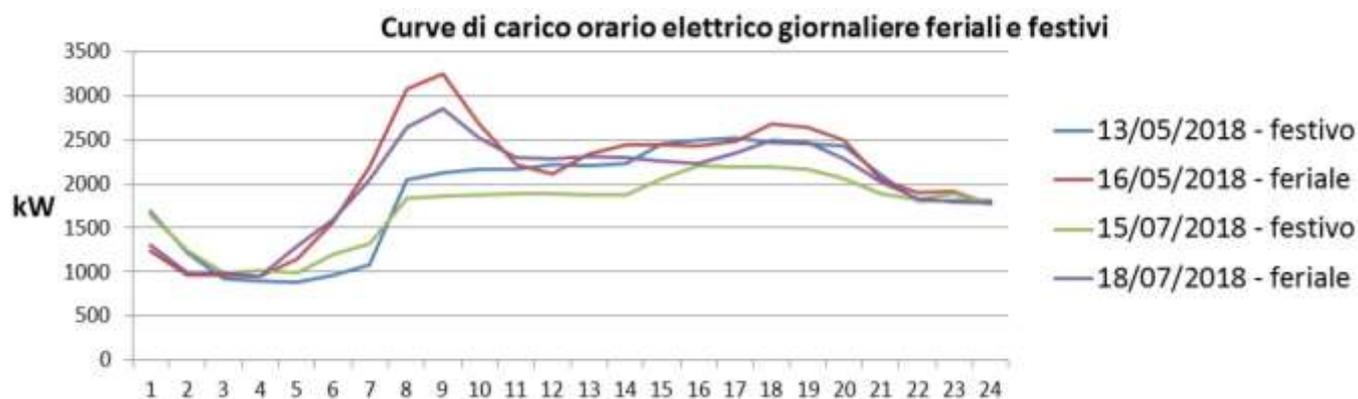


Figura 48 Andamento curve di carico orario elettrico giornaliero feriali e festive – rif. giornate tipo in primavera/estate

Per quanto riguarda le giornate festive, invece, l'intervallo di picco viene registrato nelle ore centrali del pomeriggio, con un valore compreso fra 2.000-2.500 kW mentre i valori minimi sono a quelle dei giorni feriali e sempre concentrati nelle ore notturne.

## 7.6 Energia elettrica: ripartizione consumi Comprensorio di Collegno

Le utenze principali di energia elettrica del sito di Collegno sono:

- Officina (manutenzione treni VAL)
- Uffici (gestione linea metropolitana e gestione manutenzioni)
- Climatizzazione
- Condizionamento officina
- Illuminazione esterna
- Illuminazione uffici
- Illuminazione officina
- Illuminazione deposito

Ad esse si aggiungono le utenze secondarie dei magazzini a rischio, della carica delle batterie e del utenze del deposito treni e dei magazzini annessi.

Il consumo di energia elettrico totale del sito è stato calcolato mediando le misure d'energia elettrica effettuate in due settimane distinte, collocate agli estremi della stagione estiva, considerando la variabilità stagionale e giornaliera delle utenze.

Per il periodo estivo si è preso il valore misurato di energia consumata tra il 28/05 e il 30/09. Il valore misurato è stato mediato nei giorni di misura per calcolare i consumi di maggio.

Per il periodo che va da inizio ottobre a fine aprile si è adottato come consumo medio giornaliero il valore misurato nella seconda settimana di ottobre, poiché le misure di consumo di energia elettrica della prima settimana di ottobre sono viziate da un intervento di manutenzione sulle luci esterne per cui sono state accese per due giorni interi anche durante l'orario diurno.

In tabella 43 sono riportati i calcoli effettuati, a partire dalle letture dei consumi dei periodi monitorati, per individuare la quota parte di consumo di energia elettrica attribuibile al Sito di Collegno.

|               | <b>ESTIVO</b>        | <b>ESTIVO</b>      | <b>OTTOBRE</b>     | <b>APRILE</b>      | <b>INVERNALE</b>   |                  |
|---------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
|               | <b>28/05 - 30/09</b> | <b>01/05-27/05</b> | <b>01/10-31/10</b> | <b>01/04-30/04</b> | <b>01/11-31/03</b> |                  |
|               | <b>Misurata</b>      | <b>Ipotesi</b>     | <b>Misurata</b>    | <b>Ipotesi</b>     | <b>Ipotesi</b>     |                  |
| N. giorni     | 126                  | 27                 | 31                 | 30                 | 151                |                  |
| QGA           | 398.670              | 85.429             | 98.115             | 94.950             | 477.915            |                  |
| QGB           | 366.140              | 78.459             | 66.921             | 64.762             | 325.971            | TOT              |
| <b>TOTALE</b> | <b>764.810</b>       | <b>163.915</b>     | <b>165.067</b>     | <b>159.742</b>     | <b>803.886</b>     | <b>2.057.421</b> |

Tabella 43 Ipotesi e misure consumi totali sito GTT di Collegno

Le potenze medie giornaliere calcolate per i periodi monitorati e utilizzate per il calcolo del consumo totale di energia elettrica del Sito di Collegno sono riportate in tabella 44.

| <b>Periodo</b>          | <b>Orario</b> | <b>Consumo medio giornaliero [MWh]</b> |
|-------------------------|---------------|----------------------------------------|
| 28/05/2019 - 30/09/2019 | 24 h          | 6,1                                    |
| 04/10/2019 - 07/10/2019 | 22.00 - 6.30  | 1,9                                    |
| 07/10/2019 - 15/10/2019 | 24 h          | 5,32                                   |

Tabella 44 Potenze medie giornaliere sito GTT di Collegno

La ripartizione dei consumi per utenza ha tenuto conto dei differenti orari di funzionamento dei locali del sito e degli orari di turno del personale operativo. Si ricorda che gli uffici hanno orario di lavoro 8:00/9:00-16:45, l'officina è in funzione dalle 5:30 alle 22 e il deposito, dove i lavori di manutenzione sono svolti in fascia notturna, è attivo 24 ore al giorno.

Poiché le valutazioni sono legate a campagne di misura saltuaria e non in continuo, e poiché la potenza è stata ricavata con l'ipotesi che la misura di corrente effettuata su una linea fosse esemplificativa di tutte e tre le linee (corrente equilibrata) e considerando che la tensione fosse costante pari al valore nominale, le valutazioni dei carichi elettrici hanno un elevato grado d'incertezza.

| <b>Utenza</b>              | <b>Potenza installata kW</b> | <b>Potenza misurata kW</b> | <b>Ore di funzionamento</b> | <b>Energia annuale kWh</b> |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Illuminazione interna      | 43                           |                            | 8h/giorno                   | 102.018                    |
| Illuminazione officina     | 29,64                        |                            | 16,5 h/giorno               | 178.507                    |
| Illuminazione esterna      |                              | 40                         | 4258h/anno                  | 170.320                    |
| Illuminazione deposito     | 42,44                        |                            | 12 h/giorno                 | 185.887                    |
| Uffici                     |                              | 56,12                      | 8 h/giorno                  | 163.866                    |
| Officina                   |                              | 20,18                      | 16,5 h/giorno               | 121.534                    |
| Carica batterie            |                              | 3,11                       | 24 h/giorno                 | 27.279                     |
| Magazzini a rischio        |                              | 5                          | 24 h/giorno                 | 43.625                     |
| Deposito treni e magazzini |                              | 5                          | 24 h/giorno                 | 46.325                     |

Tabella 45 Potenza misurata e ore di funzionamento per utenza sito GTT di Collegno

L'orario per l'illuminazione esterna è stato calcolato sulle ore annue di buio registrate in Collegno(4258 ore/anno).

I consumi elettrici legati alla **climatizzazione estiva ed invernale** sono stati calcolati a partire dai risultati ottenuti con il modello termico degli edifici che tiene conto dei consumi di energia elettrica per il condizionamento estivo (a partire dai fabbisogni di energia per raffrescamento degli ambienti), e per gli ausiliari dell'impianto di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria (es. i pompaggi). Il consumo che si ottiene dal modello termico degli edifici si attesta intorno a **422.000 kWh/anno** di energia elettrica. A questo valore si è aggiunto l'apporto del condizionamento dei gruppi frigo dedicati ai locali dei servizi informatici (PCC, cabine elettriche,...) che funzionano per tutto l'anno e che non sono soggetti ad effetti stagionali. Come gruppi frigo dedicati e che funzionano tutto l'anno sono stati assunti i 2 di taglia inferiore presenti nella centrale termica A che hanno un assorbimento di circa 20,5 kWe cadauno.

Globalmente, pertanto, il consumo di energia elettrica per la climatizzazione invernale ed estiva del Comprensorio di Collegno è stata stimata pari a circa **783.000 kWh/anno** e, come si evince dalla figura seguente, rappresenta circa il 38% dei consumi di energia elettrica del Comprensorio stesso.

La ripartizione del consumo di energia elettrica del Sito di Collegno tra le principali utenze elettriche è riportata in tabella 46.

| <b>Consumo di energia elettrica</b>      |                  |
|------------------------------------------|------------------|
| <b>Utenze elettriche</b>                 | <b>kWh/a</b>     |
| Illuminazione interna                    | 102.018          |
| Illuminazione officina                   | 178.507          |
| Illuminazione esterna                    | 170.320          |
| Illuminazione deposito                   | 185.887          |
| Condizionamento e ausiliari imp. termico | 782.765          |
| Uffici                                   | 163.866          |
| Officina                                 | 121.534          |
| Carica batterie                          | 27.279           |
| Magazzini a rischio                      | 43.625           |
| Deposito treni e magazzini               | 43.625           |
| Altro                                    | 237.997          |
| <b>Totale</b>                            | <b>2.057.421</b> |

Tabella 46 Consumo di energia elettrica per utenza sito GTT di Collegno



Con riferimento alle bollette di energia elettrica del Comprensorio Metro di Collegno (3 POD), considerando il 50% del consumo di energia elettrica totale per la trazione dei treni (come indicato da GTT), la ripartizione dei consumi di bolletta tra le 3 diverse utenze (la quota stazioni Metro verrà indagata nei paragrafi successivi) è riportata in tabella 47.

| <b>UTENZA</b>  | <b>CONSUMO MEDIO ANNUO ENERGIA ELETTRICA [kWh/anno]</b> |
|----------------|---------------------------------------------------------|
| Trazione treni | 16.544.808                                              |
| Stazioni Metro | 14.487.388                                              |
| Sito Collegno  | 2.057.421                                               |

Tabella 47 Ripartizione consumi da bolletta comprensorio Metropolitana/Collegno

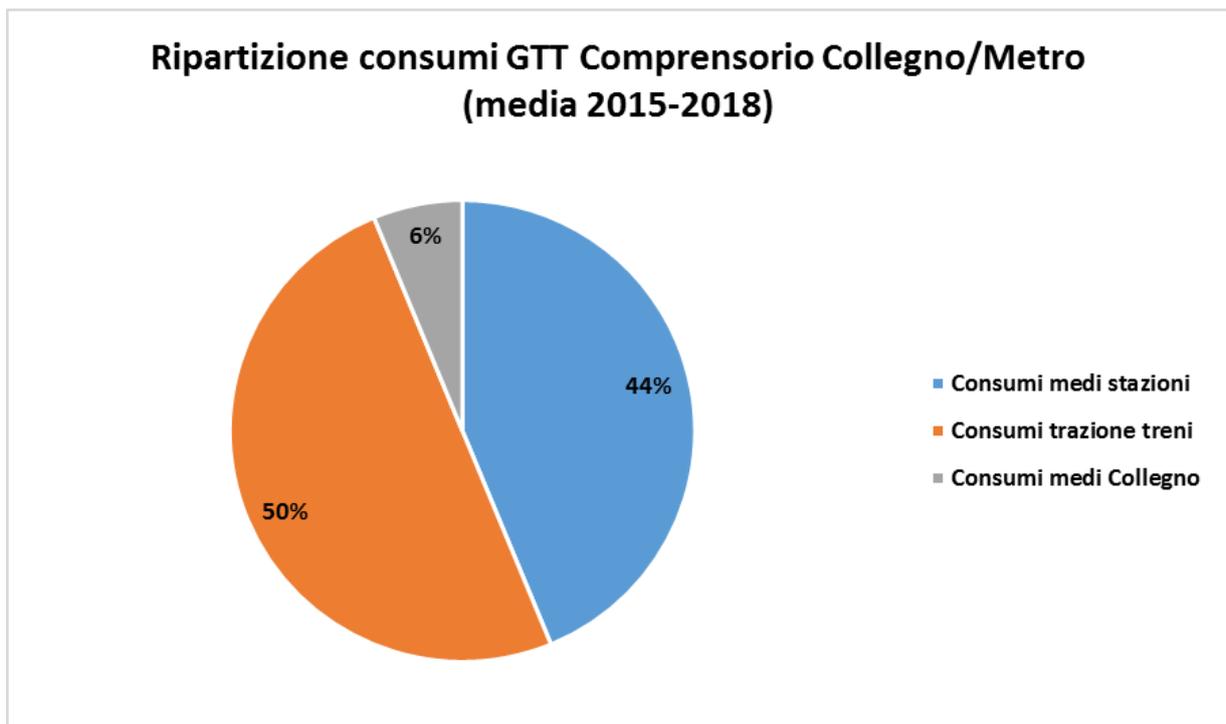


Figura 50 Ripartizione percentuale consumi da bolletta comprensorio Metropolitana/Collegno

## 8. Vettore gas naturale

### 8.1 Energia termica: produzione e principali utenze

La produzione di energia termica è finalizzata al riscaldamento degli ambienti e alla produzione di acqua calda sanitaria.

La fornitura di gas metano da ente fornitore avviene da un'unica utenza che serve sia le centrali termiche del sito che la cucina della mensa interna.

| N. | Cod. PDR       | Utenza                     | USO           | Tipo di contratto | Opzione tariffaria      |
|----|----------------|----------------------------|---------------|-------------------|-------------------------|
| 1  | 00885100532083 | Compensorio Metro-Collegno | RISCALDAMENTO | ALTRI USI         | BUSINESS A PREZZO FISSO |

Tabella 48 PDR sito GTT di Collegno

Il sistema di produzione di calore è composto da due centrali termiche a servizio dell'edificio A, sia per il riscaldamento invernale che per la produzione di acqua calda sanitaria, il raffrescamento, la mensa e per l'alimentazione dell'unità di trattamento aria. I bisogni termici dell'edificio D che contiene il deposito treni e il magazzino adiacente sono soddisfatti da 3 caldaie, due per la produzione di acqua calda sanitaria e una per il riscaldamento del magazzino.

I codici degli impianti termici (CIT) sono:

- CIT 172607 – Centrale termica A (edificio A)
- CIT 172606 – Centrale termica D (edificio A)
- CIT 172605 – Edificio D (caldaia magazzino)
- CIT 172653 – Edificio D (caldaia ACS e radiatori Spogliatoi e servizi)
- CIT 1377384 – Edificio D (caldaia ACS e radiatori uffici)

Le Centrale Termica A (CT A) lavora a servizio dell'area del PCC e degli uffici dell'edificio A e alimenta i seguenti circuiti:

- Ventilconvettori PCC
- UTA PCC pista di prova PR/PS PL PEF (funzionamento 24h/24)
- Area sottostante PCC (Sala riunioni, Ufficio e PET del PCC)
- Radiatori PCC
- UTA A1 (Sala proiezioni), A2 (Sala riunioni), A3 (PCC)

I radiatori sono alimentati soltanto in inverno mentre le altre utenze sono alimentate con acqua calda e/o fredda a seconda del locale servito. Le UTA, attive tutto l'anno, garantiscono la buona qualità dell'aria degli ambienti interni. Il raffrescamento dei locali tecnici è attivo anche in inverno per mantenere una temperatura ambiente adeguata in contrasto al calore prodotto dalle apparecchiature elettriche.

La Centrale Termica D lavora invece a servizio dell'officina, degli spogliatoi e della mensa e alimenta i seguenti circuiti:

- Boiler acqua calda sanitaria cucina mensa
- Boiler acqua calda sanitaria docce spogliatoi
- Ventilconvettori
- Radiatori
- Aerotermi
- UTA B1 (Mensa, Bar), B2 (Uffici, Direzione P1-P2), C1 (Uffici Resp. Vie di corsa, Uffici Resp. Fabbricato), D1 (Uffici Officina PT-P1)

La centrale termica provvede alla produzione dell'acqua calda sanitaria per la mensa e per gli spogliatoi sia in inverno che in estate. I radiatori sono alimentati soltanto in inverno. I circuiti dei ventilconvettori e degli aerotermi sono alimentati con acqua calda nel periodo di riscaldamento e con acqua refrigerata nel periodo di raffrescamento.

Il deposito treni non è riscaldato. All'interno del magazzino adiacente allo stesso deposito invece è presente un circuito di riscaldamento, alimentato da caldaia dedicata.



Figura 51 Generatori di calore

Si riportano in tabella i generatori di calore e le rispettive caratteristiche tecniche.

| N. | Ubicazione         | Generatori di calore                                                   | Combustibile utilizzato | Anno di installazione | Funzione                                          | Potenza [kW] |
|----|--------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|--------------|
| 1  | CT A<br>Edificio A | Caldaia blowtherm pack p/ar 175<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C     | Gas metano              | 2003                  | Riscaldamento/ACS<br>Area PCC e Uffici            | 203          |
| 2  | CT A<br>Edificio A | Caldaia blowtherm pack p/ar 175<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C     | Gas metano              | 2003                  | Riscaldamento/ACS<br>Area PCC e Uffici            | 203          |
| 3  | CT D<br>Edificio A | Caldaia blowtherm pack p/ar 500<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C     | Gas metano              | 2004                  | Riscaldamento/ACS<br>Officina, Spogliatoi e Mensa | 580          |
| 4  | CT D<br>Edificio A | Caldaia blowtherm pack p/ar 500<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C     | Gas metano              | 2004                  | Riscaldamento/ACS<br>Officina, Spogliatoi e Mensa | 580          |
| 5  | CT D<br>Edificio A | Caldaia blowtherm pack p/ar 500<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C     | Gas metano              | 2004                  | Riscaldamento/ACS<br>Officina, Spogliatoi e Mensa | 580          |
| 6  | Edificio D         | Caldaia blowtherm pack p/ar 200<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C     | Gas metano              | 2004                  | Riscaldamento<br>Magazzino                        | 232          |
| 7  | Edificio D         | Caldaia BERETTA CIAO GREEN<br>25CSI<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C | Gas metano              | 2013                  | ACS e radiatori uffici                            | 25           |
| 8  | Edificio D         | Caldaia BAXI Lunatec Plus<br>Fluido termovettore: Acqua 70°C           | Gas metano              | 2015                  | ACS e radiatori<br>Spogliatoi e servizi           | 24           |

Tabella 49 Generatori di calore

In tabella 50 si mostra il prospetto delle Unità di Trattamento Aria presenti nella palazzina uffici (edificio A)

|               | Localizzazione | Marca UTA    | Tipologia Impianto | Caratteristiche                              | Portata d'aria [m <sup>3</sup> /h] | Area servita                               |
|---------------|----------------|--------------|--------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>UTA A1</b> | CTA A Corpo A  | LORAN CTL070 | Tutt'Aria          | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 6400                               | Sala Proiezioni                            |
| <b>UTA A2</b> | CTA A Corpo A  | LORAN CTL060 | Tutt'Aria          | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 5400                               | Sala Riunioni                              |
| <b>UTA A3</b> | CTA A Corpo A  | LORAN CTL020 | Aria Primaria      | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 1000                               | Sala PCC                                   |
| <b>UTA B1</b> | CTA B Corpo B  | LORAN CTL160 | Tutt'Aria          | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 13000                              | Mensa P1 e Bar P2                          |
| <b>UTA B2</b> | CTA B Corpo B  | LORAN CTL030 | Aria Primaria      | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 2800                               | Uffici Direzione P1-P2                     |
| <b>UTA C1</b> | CTA C Corpo C  | LORAN CTL020 | Aria Primaria      | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 1000                               | Uffici resp. vie di corsa e resp. fabbr P1 |
| <b>UTA D1</b> | CTA D Corpo D  | LORAN CTL070 | Aria Primaria      | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 6250                               | Uffici Officina PT-P1                      |

Tabella 50 Unità di trattamento aria uffici

Sono inoltre presenti altre Unità di Trattamento Aria a servizio dei locali tecnici a piano terra e interrato, che sono esterne alle Centrali di Trattamento Aria.

|                   | Localizzazione             | Marca UTA      | Tipologia Impianto | Caratteristiche                              | Portata d'aria [m <sup>3</sup> /h] | Area servita            |
|-------------------|----------------------------|----------------|--------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| <b>UTA PL</b>     | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL020   | Tutt'Aria          | Batteria fredda e post riscaldamento         | 2100                               | PL                      |
| <b>UTA PCC PP</b> | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL040   | Tutt'Aria          | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 3400                               | PCC Pista di Prova      |
| <b>UTA PR/PS</b>  | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL060   | Tutt'Aria          | Batteria fredda e post riscaldamento         | 4500                               | PR/PS                   |
| <b>UTA PEF</b>    | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL060   | Tutt'Aria          | Batteria fredda e post riscaldamento         | 6000                               | PEF                     |
| <b>UTA PET</b>    | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL15DDS | Tutt'Aria          | Batteria fredda e post riscaldamento         | 1000                               | PET del PCC P1          |
| <b>UTA UPS</b>    | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL20DDS | Tutt'Aria          | Batteria fredda e post riscaldamento         | 1550                               | UPS P1                  |
| <b>UTA PCC</b>    | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL20DDS | Tutt'Aria          | Batteria fredda e post riscaldamento         | 1550                               | PCC P2 Sala Audiovisivi |
| <b>UTA CC</b>     | Esterne alla CTA A Corpo A | LORAN TVL40DDS | Tutt'Aria          | Batteria fredda e post riscaldamento         | 3800                               | Sala Calcolatori P2     |

Tabella 51 Unità d'aria a servizio dei locali tecnici

Le UTA seguenti sono invece state aggiunte in un secondo momento rispetto al progetto, per la climatizzazione dell'Officina in integrazione agli aerotermi.

|                | <b>Localizzazione</b> | <b>Marca UTA</b> | <b>Tipologia Impianto</b> | <b>Caratteristiche</b>                       | <b>Portata d'aria [m3/h]</b> | <b>Area servita</b>                    |
|----------------|-----------------------|------------------|---------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------|
| <b>UTA A8</b>  | CTA A Corpo A         | SABIANA OCEAN 32 | Aria Primaria             | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 2100                         | Officina meccanica ed elettromeccanica |
| <b>UTA A5</b>  | CTA A Corpo A         | SABIANA OCEAN 12 | Aria Primaria             | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 1000                         | Officina attrezzature idrauliche PT    |
| <b>UTA A5</b>  | CTA A Corpo A         | SABIANA OCEAN 22 | Aria Primaria             | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 1500                         | Officina attrezzature fisse PT         |
| <b>UTA A12</b> | CTA A Corpo A         | SABIANA OCEAN 22 | Aria Primaria             | Batteria calda e fredda e post riscaldamento | 1500                         | Officina pneumatici PT                 |

**Tabella 52** Unità di trattamento aria officina

## 8.2 Energia termica: modello di calcolo dell'edificio per la simulazione dei fabbisogni

Per completezza di descrizione si riporta il modello di calcolo dell'edificio per la simulazione dei fabbisogni energetici sviluppato all'interno della diagnosi del 2019.

I dati di consumo energetico per riscaldamento e produzione acqua sanitaria, desumibili in forma aggregata, dalle bollette del gas metano, sono stati confrontati con i risultati di simulazioni energetiche del comportamento termico degli edifici al fine di integrare i dati di consumo con informazioni non direttamente derivabili da essi e di migliorarne l'interpretazione.

Il modello di calcolo è stato sviluppato sulla base della norma UNI TS 11300, secondo una valutazione di tipo A3 "Tailord Rating" che considera un edificio reale, un clima reale e un uso reale (a differenza della valutazione di tipo A2 "Standard", impiegata ai fini della certificazione energetica, che considera un edificio reale, ma un clima e un uso standard). Il risultato della simulazione restituisce il medesimo ordine di grandezza dei consumi di energia termica ricavati dalle bollette. Lo scostamento è dovuto alla necessaria semplificazione che è stata attuata nella descrizione del modello, in particolare nella descrizione dell'occupazione (profili di utilizzo), della conduzione degli impianti termici (orari di accensione e spegnimento), del clima interno ed esterno (temperature e ricambi d'aria), dell'involucro degli edifici (i cui parametri termofisici sono stati distinti per principali categorie) e dell'impianto stesso; suddetta semplificazione, inoltre, risente di approssimazioni determinata dalla non completa disponibilità dei dati dell'impianto e della relativa gestione.

Dalle bollette non è stato possibile scorporare il consumo di energia per la produzione di acqua calda sanitaria, in quanto riferite ad un unico contatore. Tali consumi, pertanto, sono stati stimati sulla base dei fabbisogni standard espressi dalla UNI TS 11300, senza un termine di confronto reale.

Le simulazioni sono state eseguite utilizzando il software di calcolo Termolog EpiX10 della Logical Soft (Certificato CTI, di rispondenza al DM 26 giugno 2015 e alla normativa di calcolo, n. 65 del 15/03/2017).

### 8.2.1 Dati di base per le simulazioni

Il calcolo dei carichi termici invernali fa riferimento alla norma UNI 12831, mentre il calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria è stato effettuato

considerando un regime semi-stazionario, secondo la metodologia di calcolo della norma UNI TS 11300 parte 1-2, con valutazione di tipo A3 “Tailored Rating”.

Come indicato in precedenza, rispetto ad una valutazione di tipo A2 “Standard” della norma di calcolo UNI/TS 11300 (alla base dei calcoli per la certificazione energetica degli edifici e per le verifiche di legge), tale valutazione consente una descrizione dell’edificio più aderente alla realtà, in quanto considera le condizioni di uso degli ambienti derivanti da informazioni rilevate in loco e non quelle standard definite da normativa (è possibile tenere conto ad esempio dei reali profili di gestione ed utilizzo dell’edificio, dei reali carichi endogeni presenti nei locali - numero di persone, illuminazione, apparecchiature, ..., quando disponibili).

Il modello termico del comprensorio, è stato suddiviso in fabbricati e zone termiche omogenee; tale suddivisione è stata effettuata considerando:

- Tipologia di terminali di emissione;
- Sistema di distribuzione e CT di appartenenza;
- Presenza di eventuali sistemi di climatizzazione estiva;
- Destinazione d’uso e tipologia di lavorazione.

In Fig. 52 si mostra la suddivisione in fabbricati effettuata per la simulazione del modello termico.

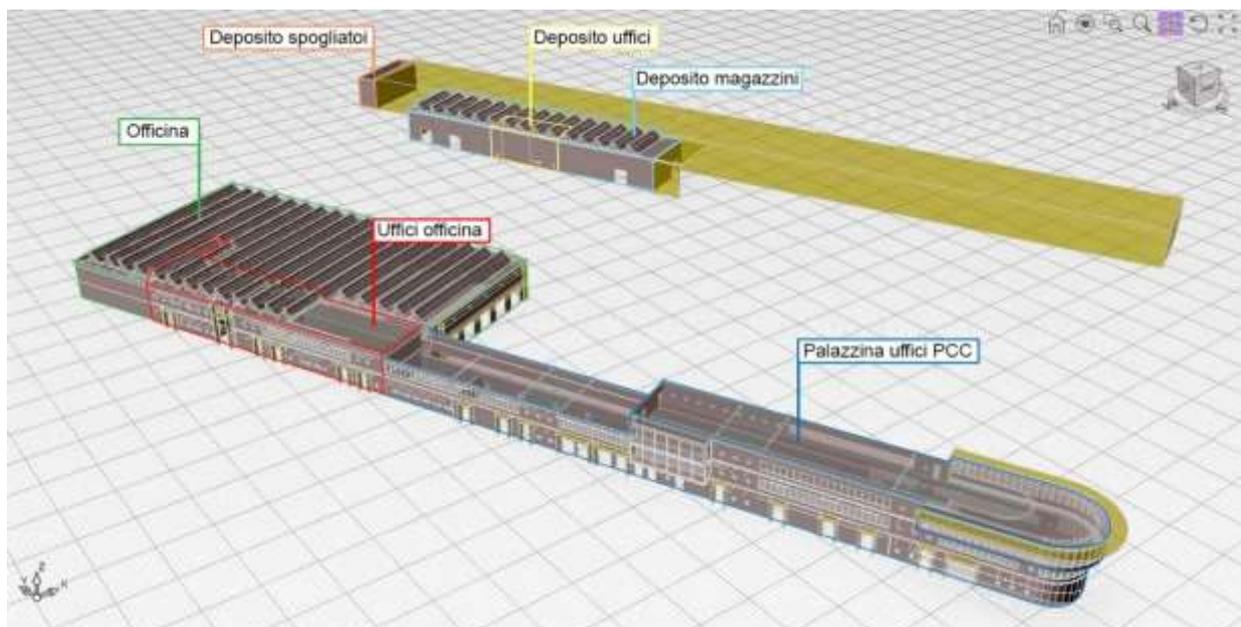


Figura 52 Vista 3D sito GTT di Collegno

Nella seguente tabella vengono riportati i valori delle caratteristiche geometriche dei 2 fabbricati del modello termico. In tabella 53 viene riportata anche la suddivisione delle differenti zone del fabbricato della palazzina A aventi ciascuna caratteristiche differenti.

| Fabbricato                                 | Piani fuori terra | Area lorda [m <sup>2</sup> ] | Altezza media lorda [m] | Volume lordo riscaldato [m <sup>3</sup> ] | Volume lordo raffrescato [m <sup>3</sup> ] | Area netta [m <sup>2</sup> ] | Altezza media netta [m] | Volume netto [m <sup>3</sup> ] |
|--------------------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Palazzina uffici PCC                       | 3                 | 4.356,70                     | 4,25                    | 18.530,27                                 | 18.530,27                                  | 4.095,10                     | 3,83                    | 15.703,97                      |
| Uffici officina                            | 2                 | 1.556,40                     | 4,75                    | 7.392,90                                  | 7.392,90                                   | 1.442,90                     | 4,35                    | 6.280,08                       |
| Officina                                   | 1                 | 3.735,70                     | 9,40                    | 35.115,58                                 | -                                          | 3.605,50                     | 8,90                    | 32.088,95                      |
| Deposito (spogliatoi + uffici + magazzino) | 1                 | 1.544,70                     | 8,71                    | 13.454,82                                 | -                                          | 1.467,90                     | 8,25                    | 12.104,57                      |
| <b>Totale</b>                              |                   | <b>11.193,50</b>             | <b>6,66</b>             | <b>74.493,57</b>                          | <b>25.923,17</b>                           | <b>10.611,40</b>             | <b>6,24</b>             | <b>66.177,57</b>               |

Tabella 53 Dati dimensionali fabbricati sito GTT di Collegno

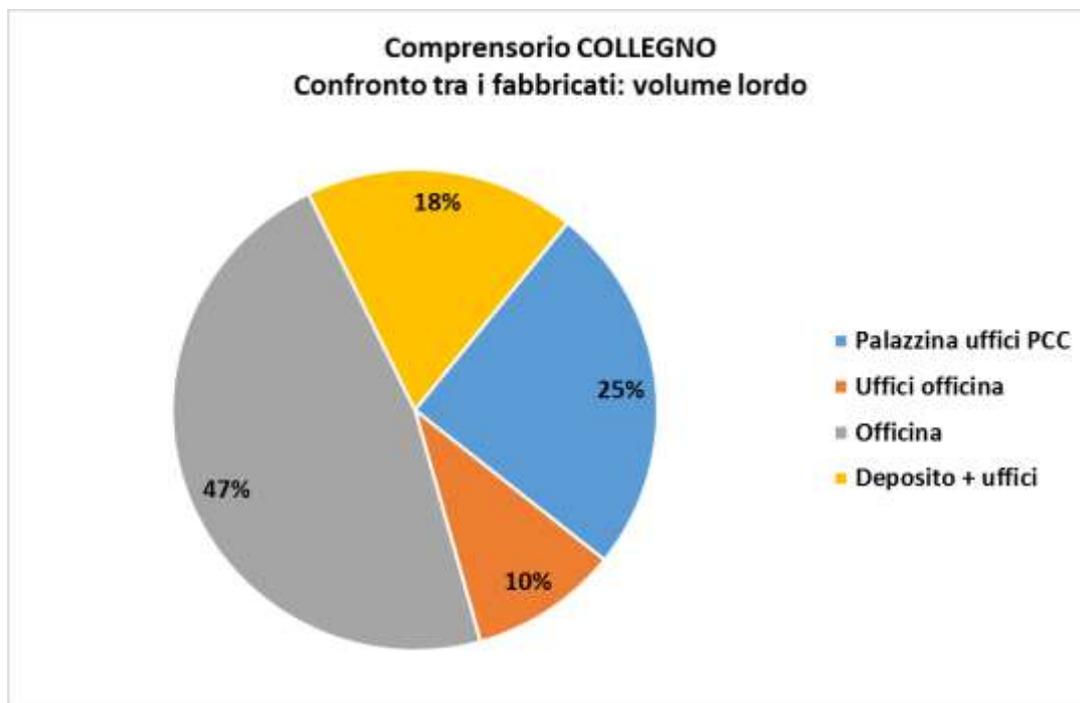


Figura 53 Volume lordo fabbricati sito GTT di Collegno

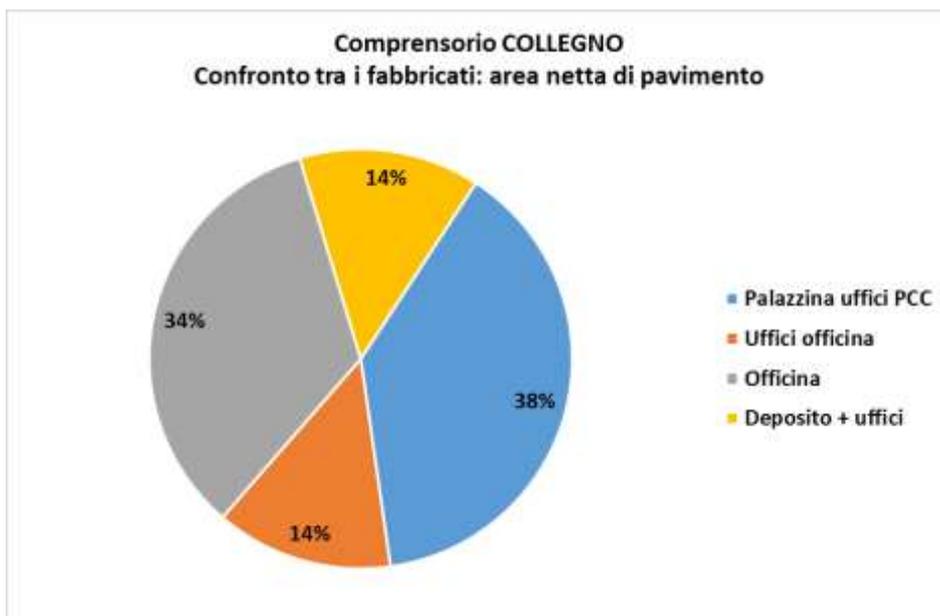


Figura 54 Area netta di pavimento fabbrica sito GTT di Collegno

Dal confronto dei grafici in Fig. 53 e 54, emerge che la proporzione tra i fabbricati in termini di volume e area di pavimento varia per effetto della diversa altezza interna.

Il volume riscaldato maggiore risulta essere quello dell'officina, pur avendo un'area netta di pavimento inferiore, mentre la maggior superficie riscaldata risulta essere quella della palazzina uffici PCC (considerando i diversi piani).

Il modello termico del Sito di Collegno ha interessato la porzione di fabbricati dotati di impianto di riscaldamento; più di un terzo di questi, quelli occupati dagli uffici, sono anche raffrescati. Nel comprensorio, il volume raffrescato è pari al 35 % rispetto a quello totale riscaldato.

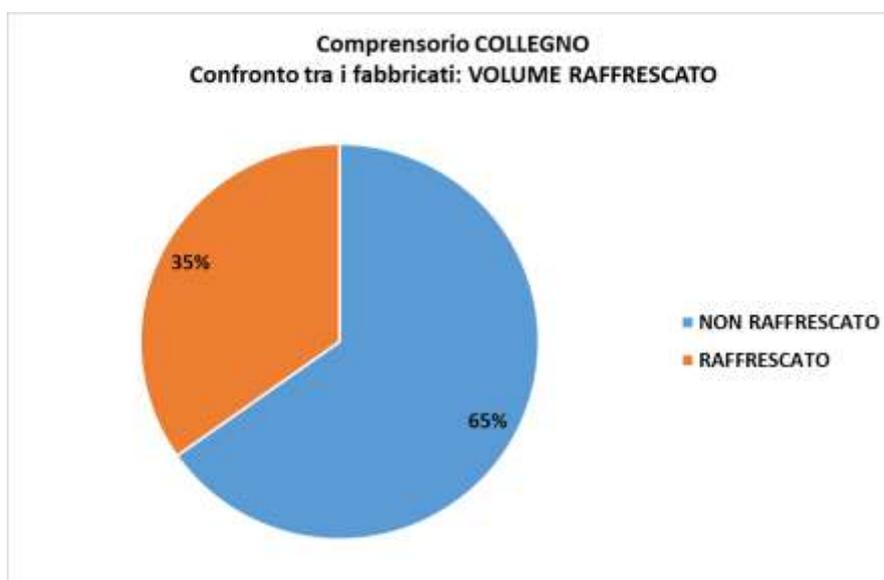


Figura 55 Percentuale volume raffrescato fabbricati sito GTT di Collegno

Le caratteristiche dell'involucro edilizio sono state rilevate durante i sopralluoghi e confrontate con la documentazione fornita da GTT; le caratteristiche termofisiche degli elementi edilizi sono state determinate facendo riferimento alla documentazione di progetto relativa al sito in analisi, quindi alla Legge 10 (datata 2004), contenente stratigrafie e valori di trasmittanze termiche.

Nella tabella 54 sono riassunte le principali tipologie di chiusure opache, verticali e orizzontali, e di chiusure trasparenti, con le loro relative trasmittanze termiche. Tali dati sono stati utilizzati nel modello di calcolo.

|                                       | <b>Elemento edilizio</b>                             | <b>Spessore [cm]</b>    | <b>Trasmittanza termica [W/m<sup>2</sup>K]</b> |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Chiusure opache verticali</b>      | Parete coibentata in calcestruzzo                    | 25                      | 0,6                                            |
|                                       | Parete in blocchi in cls                             | 25                      | 1,5                                            |
|                                       | Parete in vetrocemento                               | 25                      | 2,1                                            |
| <b>Chiusure opache orizzontali</b>    | Solaio in laterocemento                              | 30                      | 1,3                                            |
|                                       | Solaio di pavimento controterra                      | 32                      | 1,2                                            |
|                                       | Solaio di pavimento vetrocemento                     | 10                      | 2,2                                            |
|                                       | Copertura piana coibentata in laterocemento          | 40                      | 0,6                                            |
|                                       | Copertura piana coibentata in c.a. e manto in guaina | 17                      | 0,6                                            |
|                                       | Copertura shed in pannelli coibentati in metallo     | 4                       | 0,8                                            |
|                                       |                                                      |                         |                                                |
| <b>Chiusure trasparenti verticali</b> | Serramento telaio in metallo                         | Vetrocamera             | 3,6 ÷ 3,9                                      |
|                                       | Shed telaio in metallo                               | Policarbonato alveolare | 3,2                                            |

Tabella 54 Spessori e trasmittanze chiusure opache fabbricati sito GTT di Collegno

### 8.2.2 Caratteristiche climatiche per il calcolo dei carichi termici

Per la determinazione dei carichi termici si è fatto riferimento alla norma UNI 12831. La temperatura interna degli ambienti dedicati ad uffici, in regime di riscaldamento è stata assunta pari a 20°C, mentre nella stagione estiva è stata fissata a 26°C.

Per i servizi, bagni e spogliatoi, la temperatura considerata in regime di riscaldamento è di 24°C; per l'officina e per il magazzino del deposito, invece, si è assunta una temperatura di 18°C.

I ricambi d'aria assunti nei locali adibiti ad ufficio sono pari a 0,5 vol/h, nei locali a servizio, bagni e spogliatoi pari a 2,0 vol/h (come indicato dalla normativa); nell'officina sono stati considerati dei valori di ricambi d'aria pari a 1 vol/h, così come nei magazzini del deposito (non essendoci indicazioni normative, la stima è stata fatta tenendo conto delle caratteristiche di uso dei locali e ipotizzando che, nelle condizioni di progetto, ovvero con -8.4 °C esterni, i portoni rimangano aperti solamente per il tempo necessario al transito dei veicoli).

I dati di base per la determinazione dei carichi termici sono riportati, per le diverse zone e destinazioni d'uso, in tabella 55.

| <b>Fabbricato</b>    | <b>Piani fuori terra</b> | <b>Terminali di riscaldamento</b> | <b>Destinazione d'uso (progetto)</b> | <b>Ricambi d'aria (progetto) [vol/h]</b> | <b>Temperatura (progetto) [°C]</b> |
|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| Palazzina uffici PCC | 3                        | Ventilconvettori                  | Uffici                               | 0,5                                      | 20                                 |
|                      |                          | Ventilconvettori                  | Produttivo                           | 1                                        | 18                                 |
|                      |                          | Ventilconvettori                  | Spogliatoi                           | 2                                        | 24                                 |
| Uffici officina      | 2                        | Ventilconvettori                  | Uffici                               | 0,5                                      | 20                                 |
| Officina             | 1                        | Ventilconvettori                  | Produttivo                           | 1                                        | 18                                 |
| Deposito + uffici    | 1                        | Radiatori                         | Uffici                               | 0,5                                      | 20                                 |
|                      |                          | Radiatori                         | Spogliatoi                           | 2                                        | 24                                 |
|                      |                          | Ventilconvettori                  | Magazzino                            | 1                                        | 18                                 |

**Tabella 55 Ricambi d'aria e temperatura di progetto fabbrica sito GTT di Collegno**

La temperatura esterna di progetto per la località di Collegno è pari a -8,4 °C.

### 8.2.3 Caratteristiche climatiche per il calcolo dei fabbisogni di energia

Per la determinazione dei fabbisogni di energia si è fatto riferimento alla norma UNI TS 11300. La temperatura interna degli ambienti dedicati ad uffici, in regime di riscaldamento è stata assunta pari a 20°C, mentre nella stagione estiva è stata fissata a 26°C.

Per i servizi, bagni e spogliatoi, la temperatura considerata in regime di riscaldamento è di 20°C; per le officine di lavorazione e per il magazzino nel fabbricato del deposito si è assunta una temperatura di 18°C.

I ricambi d'aria presi in considerazione sono stati determinati in relazione alle portate d'aria delle UTA (un complessivo di 25.850 m<sup>3</sup>/h, con un totale di 27,4 kWe di ausiliari elettrici), nel caso di locali serviti da ventilazione meccanica controllata; in tutti gli altri locali del comprensorio sono stati assunti conformi a quelli standard della UNI 10339 secondo le indicazioni della UNI TA 11300.

Si precisa che tali ricambi di aria, a differenza di quelli considerati per il calcolo del carico termico di progetto, dovrebbero essere rappresentativi delle condizioni di uso medie degli ambienti.

Nella tabella 56 vengono riportati i ricambi d'aria e le temperature di considerate per la determinazione dei fabbisogni termici invernali.

| Fabbricato           | Piani fuori terra | Terminali di riscaldamento | Destinazione d'uso | Ricambi d'aria [m <sup>3</sup> /h] | Temperatura [°C] |
|----------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|
| Palazzina uffici PCC | 3                 | Ventilconvettori           | Uffici             | 18.466 (VMC)                       | 20               |
|                      |                   | Ventilconvettori           | Produttivo         |                                    | 18               |
|                      |                   | Ventilconvettori           | Spogliatoi         |                                    | 24               |
| Uffici officina      | 2                 | Ventilconvettori           | Uffici             | 7.384 (VMC)                        | 20               |
| Officina             | 1                 | Ventilconvettori           | Produttivo         | STD                                | 18               |
| Deposito + uffici    | 1                 | Radiatori                  | Uffici             | STD                                | 20               |
|                      |                   | Radiatori                  | Spogliatoi         | STD                                | 24               |
|                      |                   | Ventilconvettori           | Magazzino          | STD                                | 18               |

Tabella 56 Ricambi d'aria usati per il modello termico e temperatura di progetto fabbrica sito GTT di Collegno

Il calcolo teorico effettuato ha voluto verificare la potenza termica (sia invernale che estiva) richiesta dal Comprensorio di Collegno, per confrontarla con le potenze termiche degli impianti esistenti.

Gli apporti interni sono stati stimati in modo tabellare sulla base delle indicazioni della norma UNI TS 11300.

I dati climatici assunti per la simulazione fanno riferimento alla località di Collegno e sono stati desunti dalla norma UNI 10349:2016.

#### PARAMETRI GEOGRAFICI

Comune: **Collegno (TO)**

Altitudine: **302 m**

Latitudine: **45°5'**

Longitudine: **7°34'**

#### DATI TERMICI

Temperatura esterna di progetto: **-8,4 °C**

Gradi giorno: **2646**

Zona climatica: **E**

Temp. media stagione di riscaldamento: **5,5 °C**

Irr. orizz. media stagione riscaldamento: **7,53 MJ/m<sup>2</sup>**

### Stagione di riscaldamento

Durata stagione di riscaldamento: **183 giorni**

Inizio stagione di riscaldamento: **15/10**

Fine stagione di riscaldamento: **15/4**

Stazione di riferimento: **Bauducci**

Latitudine: **44°57'**

Altitudine: **226 m**

Longitudine: **7°42'**

### Vento

Zona vento: **1**

Direzione prevalente del vento: **NE**

Velocità del vento media giornaliera: **1,4 m/s**

### Dati estivi

Mese di massima insolazione: **luglio**

Temp. media mese massima insolazione: **23,3 °C**

Temperatura massima estiva: **33,9 °C**

Escursione termica nel giorno più caldo: **17,2 °C**

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: **277,78 W/m<sup>2</sup>**

## TEMPERATURE E IRRADIAZIONI GIORNALIERE MEDIE MENSILI

| Mese      | Temperatura esterna [°C] | Irradiazione orizzontale diretta [MJ/m <sup>2</sup> ] | Irradiazione orizzontale diffusa [MJ/m <sup>2</sup> ] | Pressione esterna [Pa] |
|-----------|--------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------|
| Gennaio   | 0,9                      | 2,2                                                   | 2,4                                                   | 544,5                  |
| Febbraio  | 2,8                      | 3,9                                                   | 3,8                                                   | 601,7                  |
| Marzo     | 8,0                      | 6,8                                                   | 4,9                                                   | 863,8                  |
| Aprile    | 11,6                     | 9,9                                                   | 6,1                                                   | 908,3                  |
| Maggio    | 17,7                     | 11,4                                                  | 8,3                                                   | 1.319,2                |
| Giugno    | 21,8                     | 13,7                                                  | 9,1                                                   | 1.573,4                |
| Luglio    | 23,3                     | 15,2                                                  | 8,8                                                   | 1.542,4                |
| Agosto    | 22,3                     | 12,6                                                  | 7,5                                                   | 1.950,3                |
| Settembre | 18,8                     | 8,6                                                   | 6,0                                                   | 1.614,8                |
| Ottobre   | 12,0                     | 4,7                                                   | 4,2                                                   | 1.148,6                |
| Novembre  | 6,5                      | 2,0                                                   | 2,8                                                   | 899,9                  |
| Dicembre  | 2,3                      | 1,9                                                   | 2,0                                                   | 637,9                  |

Tabella 57 Dati climatici mensili Collegno

Al fine consentire il confronto dei risultati della simulazione con i consumi reali da bolletta, sia per la stagione invernale che per quella estiva, si è fatto riferimento ai gradi giorno reali, ovvero determinati sulla

base delle temperature rilevate (che si discostano lievemente da quelle di riferimento per i calcoli - Gradi Giorno UNI 10349 pari a 2.646 con temperatura interna di riferimento di 20°C).

Per Gradi Giorno di una località si intende la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, fissata convenzionalmente a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il Grado Giorno (GG).

I Gradi Giorno reali, sono stati calcolati sulla base dei dati ARPA delle temperature giornaliere degli ultimi quattro anni (2015, 2016, 2017, 2018); questi sono riportati in tabella 58.

| <b>COLLEGNO</b> |                  |
|-----------------|------------------|
| <b>ANNO</b>     | <b>GG (20°C)</b> |
| 2015            | 2208             |
| 2016            | 2237             |
| 2017            | 2270             |
| 2018            | 2265             |
| <b>MEDIA</b>    | <b>2245</b>      |

Tabella 58 Gradi Giorno Collegno

#### 8.2.4 Risultati del calcolo: potenze termiche

I risultati dei calcoli sono riportati nella tabella seguente, che distingue per ciascun fabbricato le diverse voci che compongono il carico termico invernale, ovvero la potenza termica dispersa per trasmissione, quella per ventilazione e quella di ripresa. In tabella 59 sono rappresentate le proporzioni tra le voci dei carichi termici e il peso di ciascun fabbricato rispetto al carico termico complessivo del comprensorio.

| <b>Zona</b>          | <b>Carico termico invernale totale <math>\Phi_{hl}</math> [kW]</b> |             | <b>Pot. Termica dispersa per trasmissione, <math>\Phi_t</math> [KW]</b> | <b>Pot. termica dispersa per ventilazione, <math>\Phi_v</math> [KW]</b> | <b>Pot. termica di ripresa, <math>\Phi_{rh}</math> [KW]</b> |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Palazzina uffici PCC | 497                                                                | 33%         | 300                                                                     | 103                                                                     | 94                                                          |
| Uffici officina      | 156                                                                | 10%         | 93                                                                      | 30                                                                      | 33                                                          |
| Officina             | 561                                                                | 37%         | 324                                                                     | 155                                                                     | 83                                                          |
| Deposito + uffici    | 312                                                                | 20%         | 165                                                                     | 113                                                                     | 34                                                          |
| <b>Totale</b>        | <b>1.527</b>                                                       | <b>100%</b> | <b>882</b>                                                              | <b>401</b>                                                              | <b>244</b>                                                  |

Tabella 59 Suddivisione potenze termiche richiesta dai fabbricati sito GTT di Collegno

Nei grafici in Fig. 56 e 57 è visualizzata la ripartizione dei carichi termici invernali per ognuna delle zone termiche considerate nel modello di calcolo e corrispondente ad una specifica destinazione d'uso o edificio del complesso.

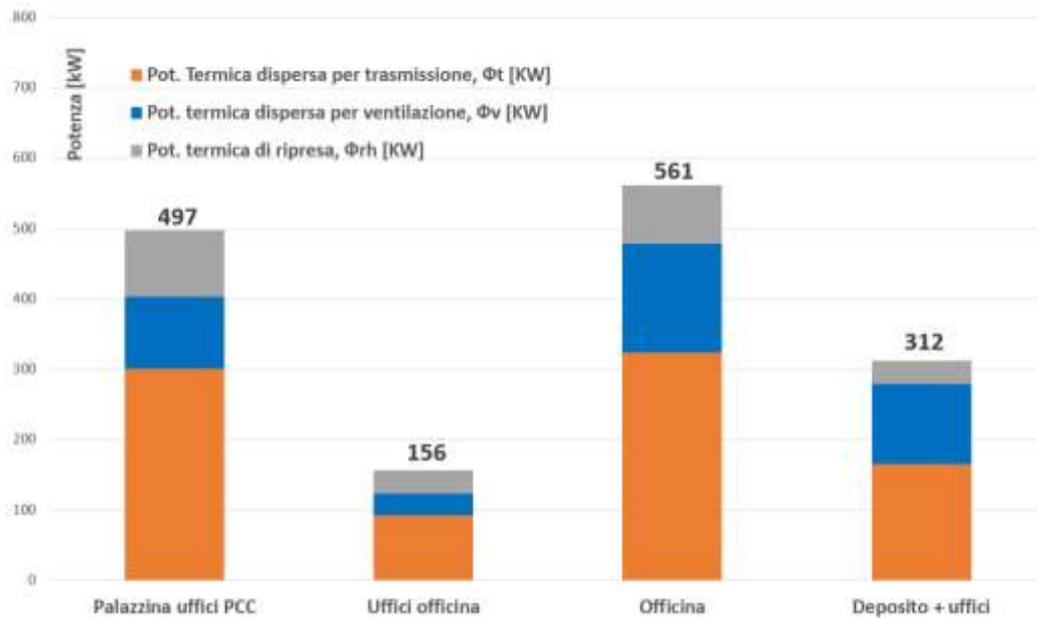


Figura 56 Suddivisione potenze termiche disperse per fabbricati sito GTT di Collegno

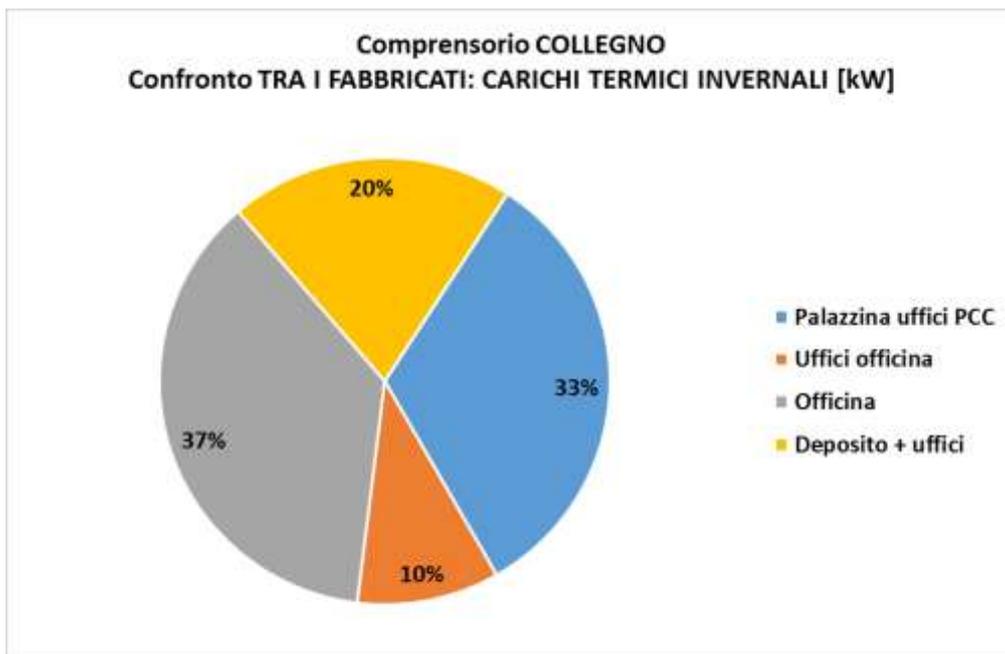


Figura 57 Confronto percentuale carichi termici invernali fabbricati sito GTT di Collegno

Il calcolo effettuato consente il confronto della potenza termica invernale di progetto richiesta dagli edifici del sito di Collegno, con le potenze termiche degli impianti esistenti e con quelle previste per l'edificio di riferimento, così come definito dal DM 26.06.2015 (che corrisponde allo standard per un edificio di nuova costruzione).

| Stagione  | Potenza termica di calcolo [kW] | Potenza termica di calcolo edificio di riferimento [kW] | Potenza termica installata [kW] |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Invernale | 1.527                           | 970                                                     | 2.192                           |
| Estiva    | 605                             | n.c.                                                    | 862                             |

**Tabella 60 Confronto potenza termica di calcolo con edificio di riferimento**

In merito al confronto dei carichi termici con le macchine installate, si osserva che a fronte di un carico termico invernale pari a circa 1527 kW, sono presenti diverse Centrali termiche con diversi generatori per una potenza termica utile complessiva di 2.192,5 kW:

- 2 generatori di potenza utile 184 kW per un totale di circa 368 kW a servizio del fabbricato della palazzina uffici PCC
- 3 generatori di potenza utile 525 kW a servizio dell'officina
- 1 generatore di potenza utile 210 kW a servizio del magazzino annesso al deposito treni
- 2 generatori minori di potenza utile 19,5 kW e 20 kW a servizio dei radiatori e dell'acqua calda sanitaria degli uffici annessi al magazzino e degli spogliatoi

Considerando le perdite della rete di distribuzione e utilizzando l'ipotesi fatta per ricambi d'aria, nel calcolo del carico termico, i generatori risultano essere correttamente dimensionati.

Anche nel caso del raffrescamento, da una prima valutazione, emerge che i gruppi frigoriferi risultano correttamente dimensionati: la potenza di calcolo è inferiore a quella installata con una differenza di circa il 25%.

In merito al secondo confronto con l'edificio di riferimento standard, con riferimento alla tabella 61 e al grafico in Fig. 58, emerge la mediocre qualità dell'involucro edilizio rispetto allo standard costruttivo attuale; l'indice che rappresenta il carico termico invernale rispetto al volume netto riscaldato, ha un valore maggiore rispetto a quello che avrebbe l'edificio di riferimento. La differenza è maggiore nel caso della palazzina uffici PCC in quanto l'involucro esistente risulta maggiormente frammentato e meno uniforme rispetto alle zone dell'officina o del deposito che sono zone più compatte.

| Zona termica         | Carico termico totale $\Phi_{hl}$ su volume netto - EDIFICIO REALE [W/m <sup>3</sup> ] | Carico termico totale $\Phi_{hl}$ su volume netto - EDIFICIO RIFERIMENTO [W/m <sup>3</sup> ] |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Palazzina uffici PCC | 32                                                                                     | 19                                                                                           |
| Uffici officina      | 25                                                                                     | 16                                                                                           |
| Officina             | 17                                                                                     | 11                                                                                           |
| Deposito + uffici    | 26                                                                                     | 17                                                                                           |
|                      | <b>25</b>                                                                              | <b>16</b>                                                                                    |

Tabella 61 Confronto tra calcolo ed edificio di riferimento carico termico totale su volume netto

Il confronto con l'edificio di riferimento è visualizzato nel grafico seguente.

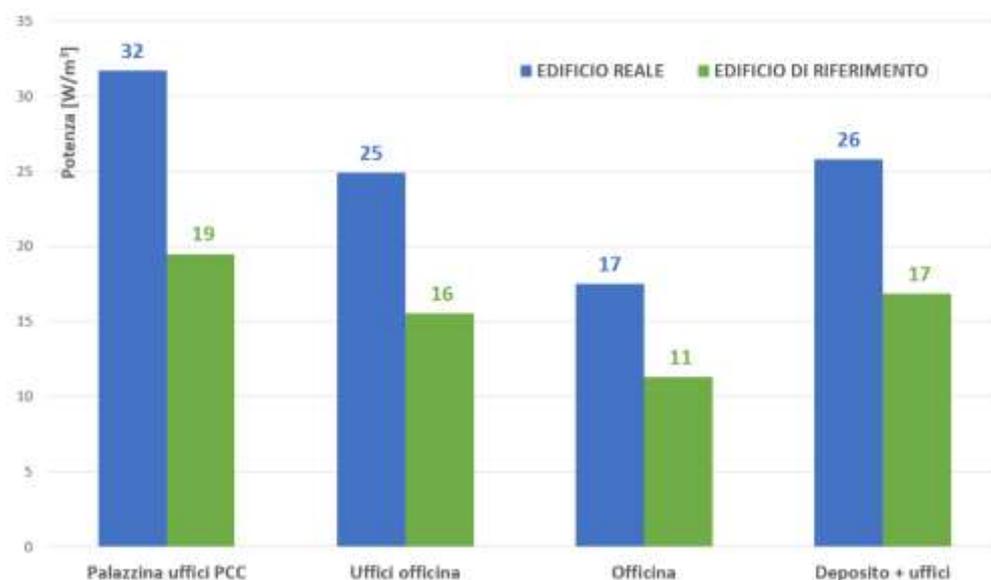


Figura 58 Confronto tra calcolo ed edificio di riferimento carico termico totale su volume netto

### 8.2.5 Risultati del calcolo del consumo di energia termica

Il fabbisogno di energia termica per il riscaldamento è stato determinato secondo la norma UNI TS 11300 parte 1.

Il grafico in Fig. 59 mostra le diverse voci del bilancio energetico invernale ed estivo, per l'intero comprensorio; a colpo d'occhio emerge l'importanza nel periodo invernale della voce relativa alla trasmissione, molto maggiore rispetto a quella della ventilazione.

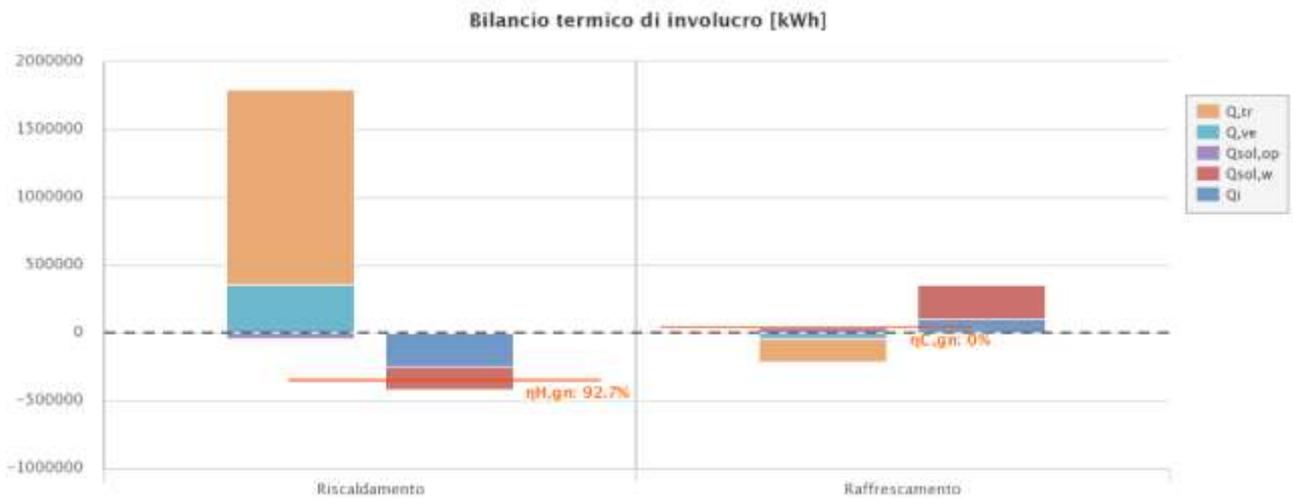


Figura 59 Bilancio termico dell'involucro stagione di riscaldamento e di raffrescamento

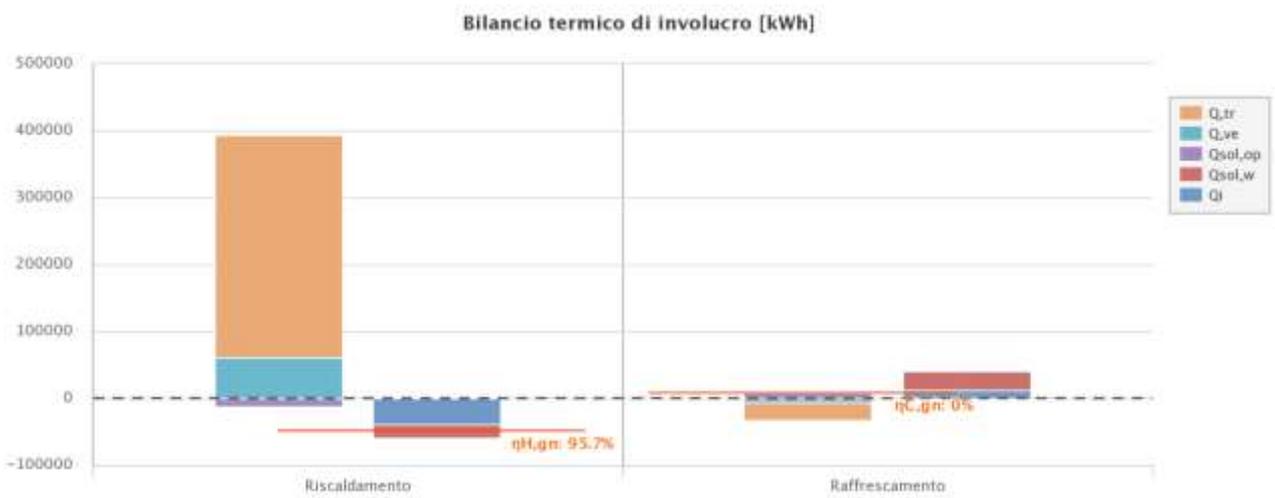


Figura 60 Bilancio termico dell'involucro stagione di riscaldamento e di raffrescamento

Considerando le sole dispersioni per trasmissione riportate nel grafico in Fig. 61, emerge come tutti gli elementi edilizi abbiano fra loro dei valori di coefficienti di scambio termico abbastanza omogenei e distribuiti per tipologia. Le chiusure trasparenti (verticali e di copertura) e le chiusure verticali opache sono quelle che incidono maggiormente nelle dispersioni.

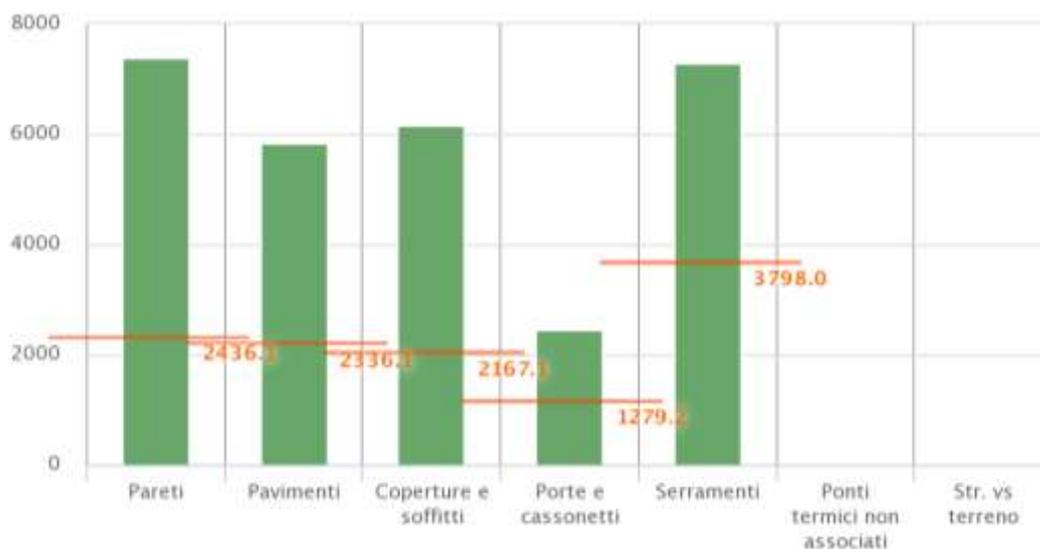


Figura 61 Dispersioni per tipo di copertura

I risultati dei calcoli invernali sono riportati nella tabella 62. In essa, per ciascun fabbricato, sono indicati:

- il fabbisogno termico invernale per il riscaldamento degli ambienti  $Q_{H,nd}$ , definito sulla base delle caratteristiche dell'involucro edilizio, tenendo conto delle dispersioni per trasmissione, quelle per ventilazione e degli apporti gratuiti nell'intera stagione compresa tra il 15 ottobre e il 15 aprile;
- la proporzione del fabbisogno di ogni fabbricato rispetto l'intero comprensorio, espressa in percentuale;
- l'indice di fabbisogno termico dell'involucro, rapportato al volume netto riscaldato, calcolato per l'edificio reale e per il corrispondente edificio di riferimento, così come definito dal DM 26.06.2015 e rappresentativo dei requisiti minimi previsti per le nuove costruzioni.

|                      | Fabbisogno termico invernale totale, $Q_{H,nd}$ [kWh] |             | $Q_{H,nd}$ rapportato ai volumi netti - EDIFICIO REALE [kWh/m <sup>3</sup> ] | $Q_{H,nd}$ rapportato ai volumi netti - EDIFICIO RIFERIMENTO [kWh/m <sup>3</sup> ] |
|----------------------|-------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Palazzina uffici PCC | 602.950                                               | 31%         | 38                                                                           | 15                                                                                 |
| Uffici officina      | 204.564                                               | 11%         | 33                                                                           | 12                                                                                 |
| Officina             | 757.077                                               | 40%         | 24                                                                           | 9                                                                                  |
| Deposito + uffici    | 336.939                                               | 18%         | 28                                                                           | 10                                                                                 |
|                      | <b>1.901.530</b>                                      | <b>100%</b> | 31                                                                           | 12                                                                                 |

Tabella 62 Confronto carico termico su volume riscaldato edificio reale ed edificio di riferimento

Le zone più energivore risultano essere la palazzina uffici PCC e l'officina; l'officina assorbe il 40 % dell'energia termica complessiva, mentre la palazzina uffici PCC ne assorbe il 31 %.

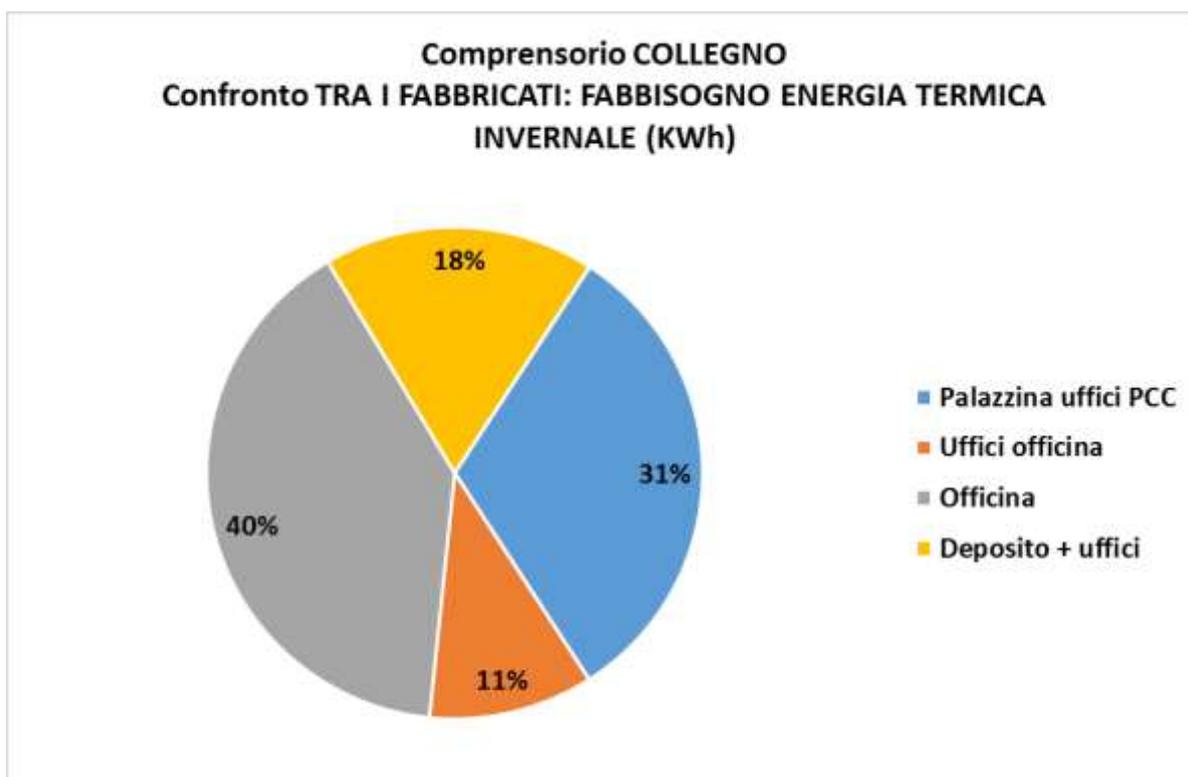


Figura 62 Confronto percentuale energia termica invernale fabbricati sito GTT di Collegno

Nel grafico in Fig. 63 è evidenziato il confronto tra gli edifici reali del comprensorio di Collegno e i relativi edifici di riferimento standard.

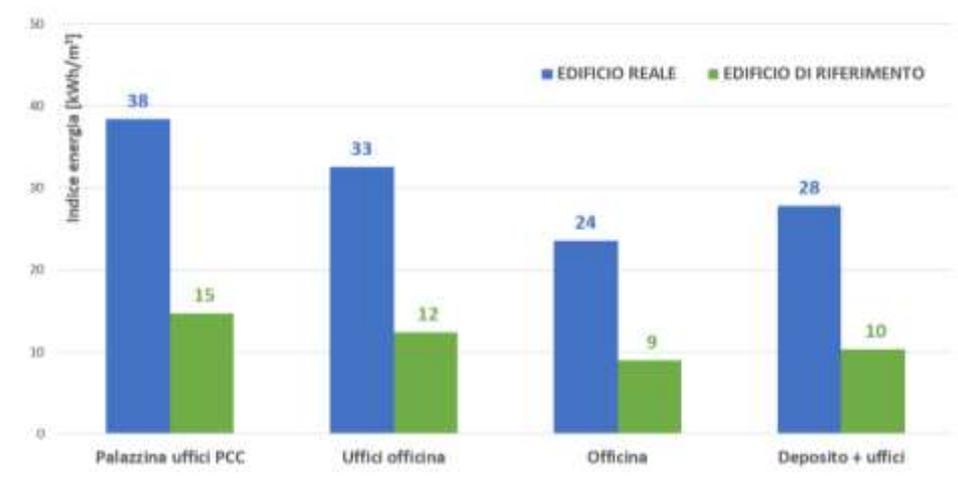


Figura 63 Confronto energia termica invernale edificio reale ed edificio di riferimento

In mancanza di specifiche indicazioni sull'utilizzo reale dell'acqua calda sanitaria nel sito, il fabbisogno termico di acqua calda sanitaria è stato determinato considerando gli standard definiti dalla norma UNI TS 11300 parte 2; in particolare comprende gli usi delle docce degli spogliatoi (50 l/giorno a doccia), della

mensa self service (25 l/giorno a coperto, il cui numero è stato stimato in 316 coperti) e degli uffici (0.2 l/giorno per area netta). I risultati sono riportati nella tabella 63.

| Mese      | Giorni mesi   | Fabbisogno mensile<br>$Q_{w,nd}$ [kWh] |
|-----------|---------------|----------------------------------------|
| Gennaio   | 31            | 10.013                                 |
| Febbraio  | 28            | 9.044                                  |
| Marzo     | 31            | 10.013                                 |
| Aprile    | 30            | 9.690                                  |
| Maggio    | 31            | 10.013                                 |
| Giugno    | 30            | 9.690                                  |
| Luglio    | 31            | 10.013                                 |
| Agosto    | 31            | 10.013                                 |
| Settembre | 30            | 9.690                                  |
| Ottobre   | 31            | 10.013                                 |
| Novembre  | 30            | 9.690                                  |
| Dicembre  | 31            | 10.013                                 |
|           | <b>Totale</b> | <b>117.893</b>                         |
|           | Invernale     | 68.475                                 |
|           | Estivo        | 49.418                                 |

Tabella 63 Fabbisogno energetico mensile produzione acqua calda sanitaria

### 8.2.6 Risultati del calcolo: fabbisogno di energia consegnata

I fabbisogni di energia consegnata per i servizi di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria, distinti per vettore energetico, sono riportati in tabella 64. In tabella 65, invece, sono riportati i rendimenti medi stagionali stimati per l'impianto, sulla base della UNI TS 11300.

| Servizio       | Gas metano<br>[m <sup>3</sup> ] | Energia elettrica<br>[kWh <sub>e</sub> ] |
|----------------|---------------------------------|------------------------------------------|
| RISCALDAMENTO  | 266.645                         | 46.951                                   |
| VENTILAZIONE   | 0                               | 239.936                                  |
| ACS            | 19.698                          | 3.468                                    |
| RAFFRESCAMENTO | 0                               | 134.965                                  |

Tabella 64 Consumi di gas metano ed energia elettrica per climatizzazione e ACS sito GTT di Collegno

| Servizio       | Rendimento medio stagionale [-] |
|----------------|---------------------------------|
| RISCALDAMENTO  | 0.72 (*)                        |
| ACS            | 0.63 (*)                        |
| RAFFRESCAMENTO | 0.98 (*)                        |

(\*) considerando i fattori di conversione in energia primaria

Tabella 65 Rendimenti medi stagionali climatizzazione e ACS sito GTT di Collegno

### 8.2.7 Confronto consumi energetici calcolati con i consumi reali del Sito

Il modello di calcolo di diagnosi energetica (UNI TS 11300 – valutazione di tipo A3 – Tailored Rating) è stato confrontato con i consumi storici delle bollette del Sito GTT di Collegno, ponderati sulla base dei gradi giorno reali. Tale confronto è riportato in tabella 66 e consente di verificare la taratura del modello di calcolo.

La differenza tra i consumi restituiti dal modello di calcolo e i consumi fatturati relativi al riscaldamento, ponderati rispetto ai Gradi giorno reali è inferiore al 2%. Il peso dell'acqua calda sanitaria è trascurabile.

Non essendo disponibili dati disaggregati, lo stesso confronto non è stato possibile per il raffrescamento.

| CONSUMI DA BOLLETTE GAS METANO |                |                |                |                |                |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                | Smc            |                |                |                |                |
| Gas metano                     | 2015           | 2016           | 2017           | 2018           | media          |
| <b>Totale</b>                  | <b>218.784</b> | <b>255.760</b> | <b>216.603</b> | <b>216.178</b> | <b>226.831</b> |
| GG                             | 2208           | 2237           | 2270           | 2265           | 2245           |
| m <sup>3</sup> /GG             | 99,07          | 114,35         | 95,43          | 95,44          | 102,24         |
| MODELLO TERMICO DIAGNOSI       |                |                |                |                |                |
| Gas metano [m <sup>3</sup> ]   | 266.645        |                |                |                |                |
| GG                             | 2646           |                |                |                |                |
| m <sup>3</sup> /GG             | 100,77         |                |                |                |                |
| <b>Differenza</b>              | <b>-1,43%</b>  |                |                |                |                |

Tabella 66 Confronto consumo reale gas metano e da modello termico

### 8.3 Energia termica: consumo da bollette GTT Sito Metro-Collegno

L'energia termica (gas metano) viene utilizzata nel sito di Collegno per:

- Riscaldamento ambienti
- Produzione acqua calda sanitaria
- Cottura cibi Mensa

Si hanno a disposizione i dati delle bollette di gas metano relativi agli anni 2015, 2016, 2017, 2018.

I consumi di gas metano negli anni 2015-2018 sono riportati in tabella 67.

|               | <b>Smc</b>     |                |                |                |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|               | <b>2015</b>    | <b>2016</b>    | <b>2017</b>    | <b>2018</b>    |
| Gennaio       | 49.118         | 45.432         | 53.367         | 34.858         |
| Febbraio      | 41.607         | 37.321         | 36.872         | 36.339         |
| Marzo         | 25.242         | 32.676         | 23.230         | 29.974         |
| Aprile        | 12.094         | 17.410         | 9.177          | 13.598         |
| Maggio        | 3.175          | 15.839         | 5.439          | 7.537          |
| Giugno        | 1.670          | 8.525          | 2.179          | 5.879          |
| Luglio        | 1.633          | 3.999          | 1.999          | 5.244          |
| Agosto        | 2.529          | 3.701          | 2.054          | 5.166          |
| Settembre     | 3.344          | 3.878          | 3.253          | 5.806          |
| Ottobre       | 12.618         | 15.939         | 9.921          | 10.955         |
| Novembre      | 27.677         | 28.654         | 27.300         | 24.050         |
| Dicembre      | 38.077         | 42.386         | 41.812         | 36.772         |
| <b>Totale</b> | <b>218.784</b> | <b>255.760</b> | <b>216.603</b> | <b>216.178</b> |

**Tabella 67 Consumi di gas naturale da bolletta sito GTT di Collegno [Smc]**

Il consumo medio annuo di gas metano (media 2015-2018) si attesta intorno ai **226.800 Smc/anno**.

Considerando uno potere calorifico del gas metano pari a 9,57 kWh/Smc si ottengono i seguenti consumi di energia termica del sito di Collegno.

|               | <b>kWh</b>       |                  |                  |                  |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|               | <b>2015</b>      | <b>2016</b>      | <b>2017</b>      | <b>2018</b>      |
| Gennaio       | 470.059          | 434.784          | 510.722          | 333.591          |
| Febbraio      | 398.179          | 357.162          | 352.865          | 347.764          |
| Marzo         | 241.566          | 312.709          | 222.311          | 286.851          |
| Aprile        | 115.740          | 166.614          | 87.824           | 130.133          |
| Maggio        | 30.385           | 151.579          | 52.051           | 72.129           |
| Giugno        | 15.982           | 81.584           | 20.853           | 56.262           |
| Luglio        | 15.628           | 38.270           | 19.130           | 50.185           |
| Agosto        | 24.203           | 35.419           | 19.657           | 49.439           |
| Settembre     | 32.002           | 37.112           | 31.131           | 55.563           |
| Ottobre       | 120.754          | 152.536          | 94.944           | 104.839          |
| Novembre      | 264.869          | 274.219          | 261.261          | 230.159          |
| Dicembre      | 364.397          | 405.634          | 400.141          | 351.908          |
| <b>Totale</b> | <b>2.093.763</b> | <b>2.447.623</b> | <b>2.072.891</b> | <b>2.068.823</b> |

**Tabella 68 Consumi di gas naturale da bolletta sito GTT di Collegno [kWh]**

Il consumo medio annuo di energia termica del sito di Collegno si attesta intorno a 2.170.775 kWh/anno.

La media risente però dell'anomalia che interessa le bollette del 2016.

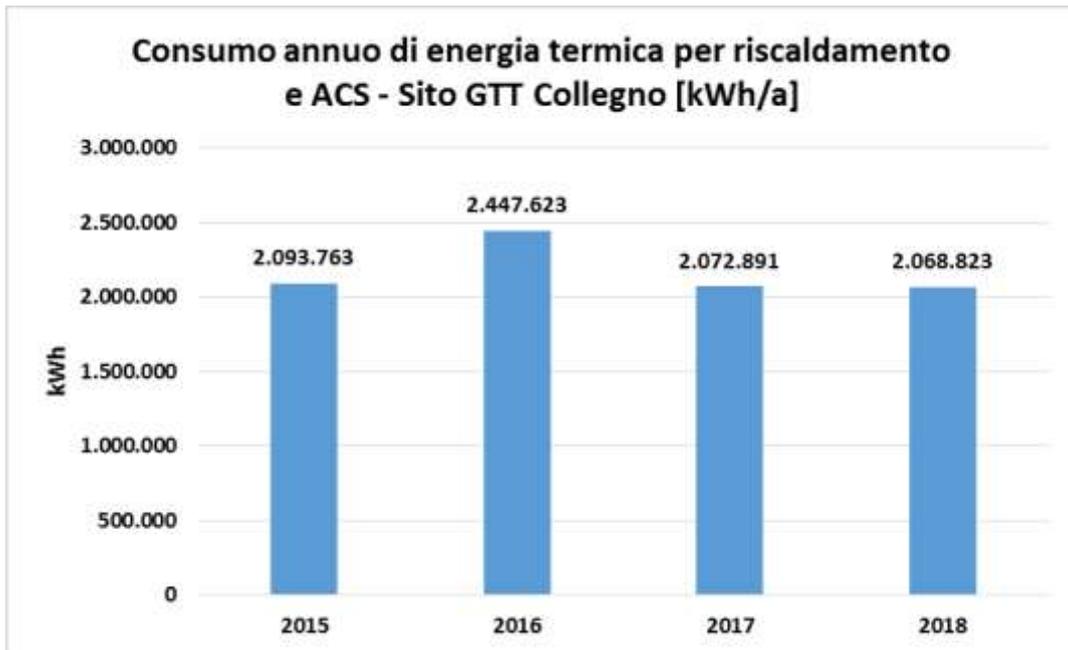


Figura 64 Consumo annuo di energia termica per riscaldamento e ACS sito GTT di Collegho [kWh]

Il consumo di gas metano del Sito si rivela abbastanza costante nei diversi anni analizzati ma nell'anno 2016 si assiste ad un consumo anomalo, superiore di circa il 17% rispetto agli altri anni.

L'andamento mensile dei consumi di gas metano del Comprensorio è visualizzato nel grafico in Fig. 65 nel quale si nota un andamento costante negli anni con qualche dato anomalo di consumo relativo sempre all'anno 2016.

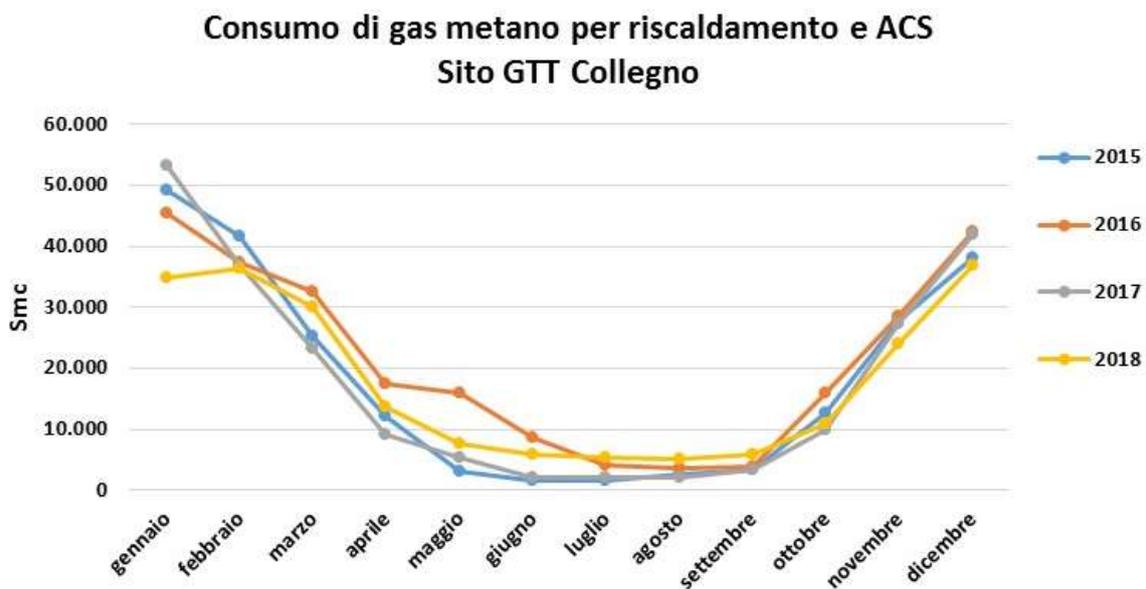


Figura 65 Consumo di gas metano per riscaldamento e ACS sito GTT di Collegho

Il consumo di energia termica nei quattro anni presi in considerazione è stato rapportato ai Gradi Giorno degli stessi anni per poter individuare una prestazione energetica del sito indipendentemente dal clima.

| <b>COLLEGNO</b> |                  |
|-----------------|------------------|
| <b>Anno</b>     | <b>GG (20°C)</b> |
| 2015            | 2208             |
| 2016            | 2237             |
| 2017            | 2270             |
| 2018            | 2265             |

Tabella 69 Gradi Giorno Collegno

Questa analisi ha permesso di confrontare il consumo di energia termica degli ultimi 4 anni a parità di condizioni climatiche, evidenziando eventuali differenze.

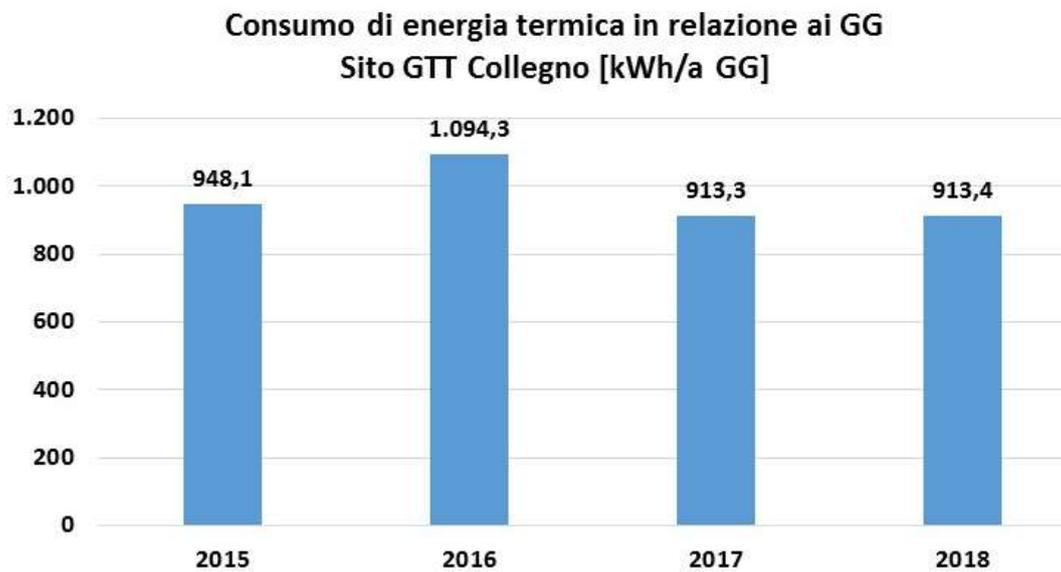


Figura 66 Consumo di energia termica in relazione ai Gradi Giorno sito GTT di Collegno

In relazione ai Gradi Giorno, quindi in relazione al clima, i consumi di energia termica del sito sono abbastanza costanti, a parte una leggera anomalia relativa all'anno 2016.

## 8.4 Energia termica: costi gas metano bollette GTT Comprensorio Metro/Collegno

I Costi energetici relativi al sito GTT di Collegno sono stati forniti direttamente da GTT sotto forma di tabelle riepilogative delle bollette di gas metano degli anni 2015, 2016, 2017 e 2018.

La consegna del gas metano avviene in unico punto di consegna (PDR 00885100532083).

I costi relativi ai consumi di gas metano sono riepilogati, per i diversi anni analizzati, in tabella 70

|               | €/anno           |                  |                  |                  |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|               | 2015             | 2016             | 2017             | 2018             |
| Gennaio       | 21.532,62        | 18.199,07        | 17.646,21        | 12.781,96        |
| Febbraio      | 17.880,79        | 14.868,17        | 11.935,59        | 13.185,63        |
| Marzo         | 10.241,78        | 12.055,78        | 7.130,30         | 10.273,51        |
| Aprile        | 4.794,89         | 6.642,68         | 3.114,00         | 4.741,56         |
| Maggio        | 1.329,99         | 6.099,93         | 2.071,31         | 2.917,74         |
| Giugno        | 744,44           | 3.573,13         | 1.115,89         | 2.134,31         |
| Luglio        | 727,95           | 2.015,83         | 972,25           | 1.952,88         |
| Agosto        | 1.079,45         | 1.912,38         | 824,32           | 1.946,66         |
| Settembre     | 1.400,32         | 1.973,83         | 1.099,05         | 2.116,76         |
| Ottobre       | 4.948,13         | 4.707,64         | 3.339,32         | 4.641,85         |
| Novembre      | 10.097,20        | 8.055,87         | 8.944,44         | 9.815,76         |
| Dicembre      | 13.107,62        | 11.306,33        | 13.135,35        | 14.334,45        |
| <b>Totale</b> | <b>87.885,18</b> | <b>91.410,64</b> | <b>71.328,03</b> | <b>80.843,07</b> |

Tabella 70 Costi gas metano da bolletta sito GTT di Collegno

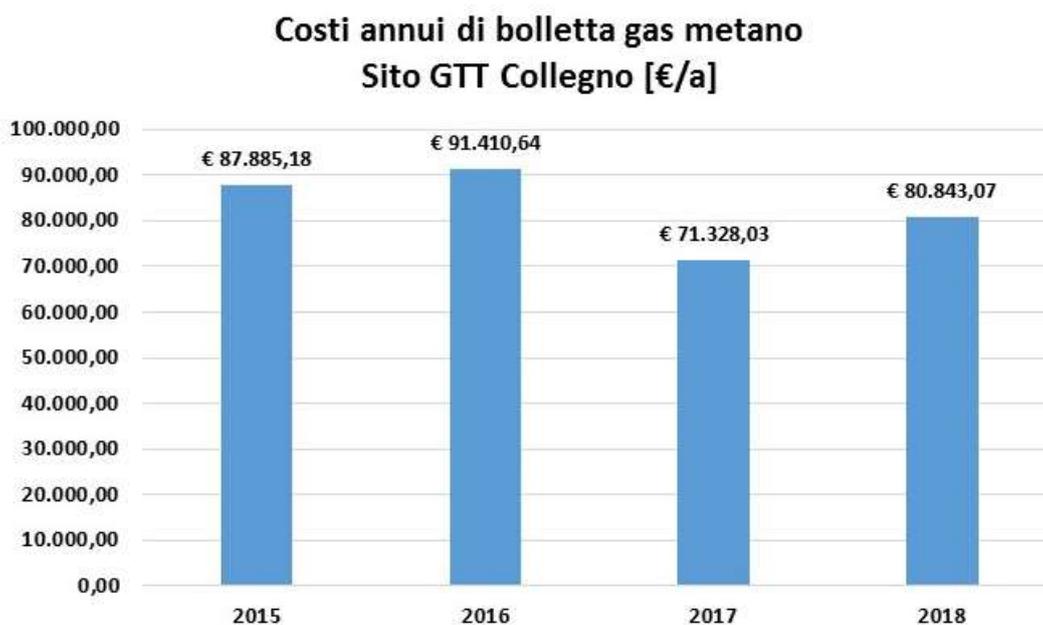


Figura 67 Costi gas metano da bolletta sito GTT di Collegno

La spesa media per il consumo di gas metano del Comprensorio di Collegno è di circa **82.866,73 €/anno**.

Il costo medio unitario del gas metano oscilla negli anni tra **0,33 €/Smc** e **0,40 €/Smc** in funzione dei prezzi del mercato.

|               | €/Smc       |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 2015        | 2016        | 2017        | 2018        |
| Gennaio       | 0,44        | 0,40        | 0,33        | 0,37        |
| Febbraio      | 0,43        | 0,40        | 0,32        | 0,36        |
| Marzo         | 0,41        | 0,37        | 0,31        | 0,34        |
| Aprile        | 0,40        | 0,38        | 0,34        | 0,35        |
| Maggio        | 0,42        | 0,39        | 0,38        | 0,39        |
| Giugno        | 0,45        | 0,42        | 0,51        | 0,36        |
| Luglio        | 0,45        | 0,50        | 0,49        | 0,37        |
| Agosto        | 0,43        | 0,52        | 0,40        | 0,38        |
| Settembre     | 0,42        | 0,51        | 0,34        | 0,36        |
| Ottobre       | 0,39        | 0,30        | 0,34        | 0,42        |
| Novembre      | 0,36        | 0,28        | 0,33        | 0,41        |
| Dicembre      | 0,34        | 0,27        | 0,31        | 0,39        |
| <b>Totale</b> | <b>0,40</b> | <b>0,36</b> | <b>0,33</b> | <b>0,37</b> |

Tabella 71 Costo mensile gas naturale al Smc sito GTT di Collegno

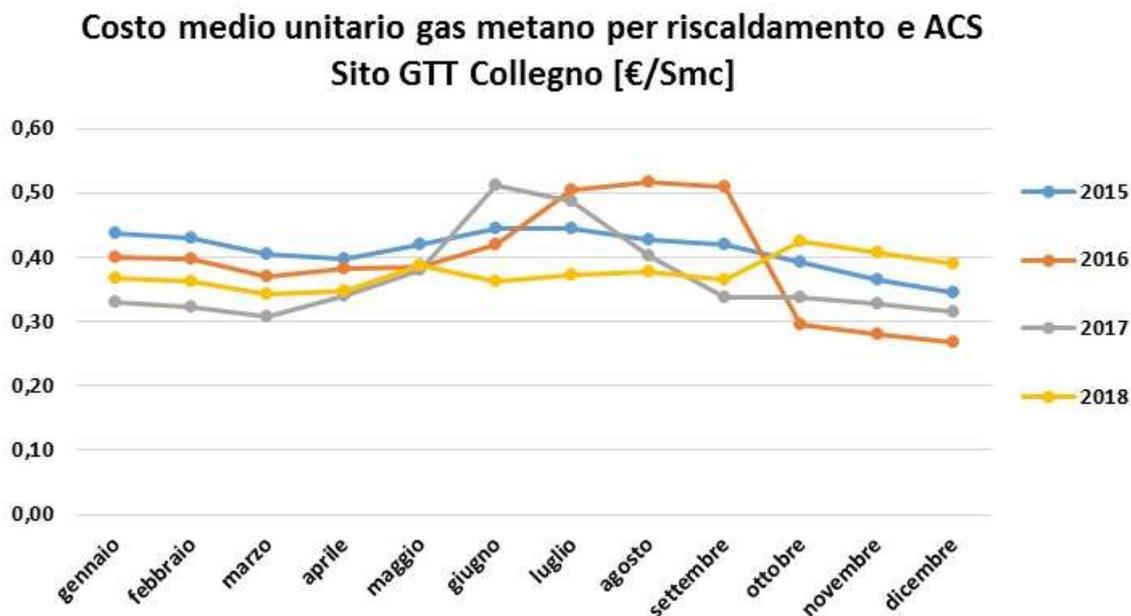


Figura 68 Costo medio unitario gas metano per riscaldamento e ACS sito GTT di Collegno

Il costo medio unitario del gas metano si attesta intorno allo **0,37 €/Smc**.

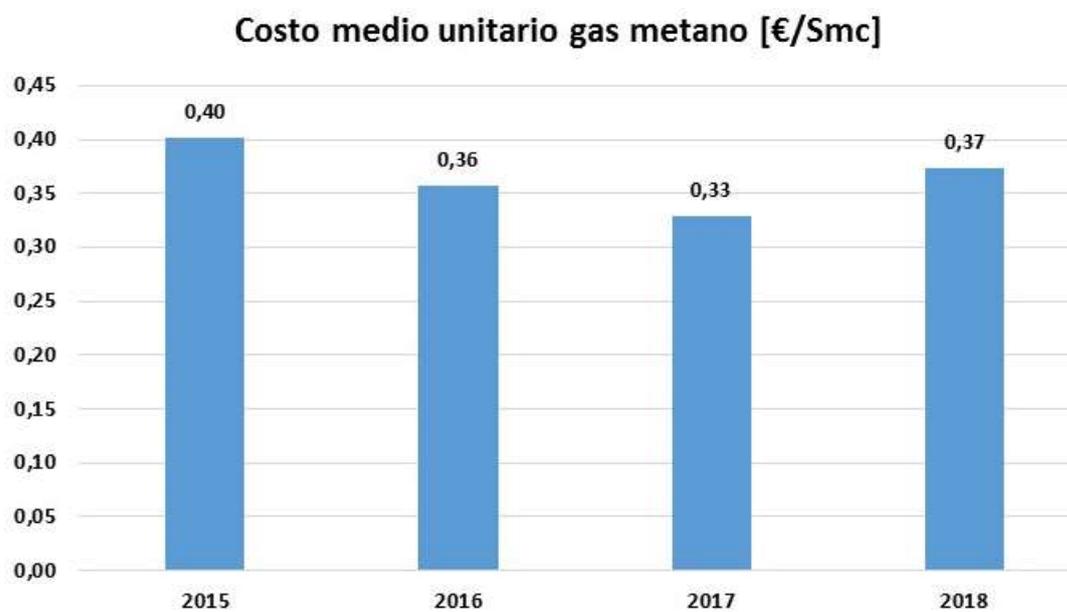


Figura 69 Costo medio unitario annuale gas naturale sito GTT di Collegno

## 9. Vettore carburanti per autotrazione

### 9.1 Carburanti per autotrazione: elenco veicoli

Il comprensorio Metro-Collegno ha a disposizione circa 30 veicoli per uso aziendale.

Dai bilanci ambientali del Gruppo Torinese Trasporti relativi agli anni 2017 e 2018 si è ricavato il numero di veicoli, le tipologie di carburante utilizzato dalle stesse, i consumi di carburante e i km percorsi.

Tra i veicoli afferenti al sito ci sono 5 veicoli a metano, 7 veicoli a benzina ed i rimanenti a gasoli per quanto riguarda il 2018, nel 2017, invece, i veicoli a metano sono 4, a benzina 8 e i rimanenti a gasolio.

| 2017     |            | 2018     |            |
|----------|------------|----------|------------|
| Veicolo  | Carburante | Veicolo  | Carburante |
| V000057A | GASOLIO    | V000032A | BENZINA    |
| V000058A | GASOLIO    | V000057A | GASOLIO    |
| V000061A | GASOLIO    | V000058A | GASOLIO    |
| V000062A | GASOLIO    | V000061A | GASOLIO    |
| V000063A | GASOLIO    | V000062A | GASOLIO    |
| V000094A | BENZINA    | V000063A | GASOLIO    |
| V000140A | METANO     | V000094A | BENZINA    |
| V000147A | METANO     | V000147A | METANO     |
| V000150A | BENZINA    | V000150A | BENZINA    |
| V000157A | BENZINA    | V000157A | BENZINA    |
| V000160A | GASOLIO    | V000160A | GASOLIO    |
| V000161A | GASOLIO    | V000161A | GASOLIO    |
| V000162A | GASOLIO    | V000162A | GASOLIO    |
| V000163A | GASOLIO    | V000163A | GASOLIO    |
| V000164A | GASOLIO    | V000164A | GASOLIO    |
| V000165A | GASOLIO    | V000165A | GASOLIO    |
| V000300A | BENZINA    | V000300A | METANO     |
| V000376A | GASOLIO    | V000376A | GASOLIO    |
| V000380A | METANO     | V000380A | METANO     |
| V000381A | METANO     | V000381A | METANO     |
| V000382A | BENZINA    | V000382A | METANO     |
| V000415A | GASOLIO    | V000415A | GASOLIO    |
| V000428A | BENZINA    | V000428A | BENZINA    |
| V000439A | BENZINA    | V000439A | BENZINA    |
| V000054A | GASOLIO    | V000054A | GASOLIO    |
| V000056A | GASOLIO    | V000056A | GASOLIO    |
| V000498A | GASOLIO    | V000060A | GASOLIO    |
| V000305A | BENZINA    | V000498A | GASOLIO    |
| V000502A | GASOLIO    | V000305A | BENZINA    |
|          |            | V000502A | GASOLIO    |

Tabella 72 Elenco veicoli di servizio del sito GTT di Collegno

La suddivisione dei veicoli aziendali in relazione alla tipologia di carburante è riportato nel grafico in Fig. 70

**Parco veicoli aziendali Comprensorio GTT  
Metro/Collegno**

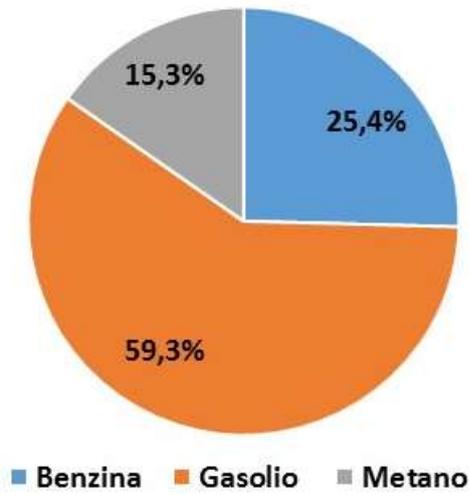


Figura 70 Veicoli di servizio per carburante

L'approvvigionamento di carburante, per quanto riguarda il gasolio e il metano, avviene in parte da distributori interni all'azienda e in parte da distributori esterni.

## 9.2 Consumo di carburanti per autotrazione

Per completezza nella seguente tesi si riportano le valutazioni del consumo di carburanti per l'autotrazione a servizio del sito di Collegno GTT analizzate nella diagnosi energetica del 2019.

Il consumo di carburante per autotrazione è stato ricavato dai bilanci ambientali della GTT relativi agli anni 2017 e 2018.

Il consumo di carburante di ciascun veicolo ed i km percorsi sono riepilogati nelle tabelle 73 e 74.

Consumi 2017

| <b>Veicolo</b> | <b>km</b> | <b>Benzina [litri/anno]</b> | <b>Gasolio [litri/anno]</b> | <b>Metano [kg/anno]</b> |
|----------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| V000032A       | 531       | 78                          | 0                           | 0                       |
| V000057A       | 7319      | 0                           | 496                         | 0                       |
| V000058A       | 6163      | 0                           | 461                         | 0                       |
| V000061A       | 2948      | 0                           | 237                         | 0                       |
| V000062A       | 6696      | 0                           | 532                         | 0                       |
| V000063A       | 6965      | 0                           | 565                         | 0                       |
| V000094A       | 6772      | 760                         | 0                           | 0                       |
| V000147A       | 3769      | 73                          | 0                           | 140                     |
| V000150A       | 9376      | 812                         | 0                           | 0                       |
| V000157A       | 3845      | 518                         | 0                           | 0                       |
| V000160A       | 7792      | 0                           | 559                         | 0                       |
| V000161A       | 8402      | 0                           | 656                         | 0                       |
| V000162A       | 4533      | 0                           | 328                         | 0                       |
| V000163A       | 9590      | 0                           | 658                         | 0                       |
| V000164A       | 12269     | 0                           | 787                         | 0                       |
| V000165A       | 7507      | 0                           | 538                         | 0                       |
| V000300A       | 4038      | 409                         | 0                           | 56                      |
| V000376A       | 5458      | 0                           | 498                         | 0                       |
| V000380A       | 6474      | 198                         | 0                           | 359                     |
| V000381A       | 2665      | 127                         | 0                           | 227                     |
| V000382A       | 1571      | 66                          | 0                           | 47                      |
| V000415A       | 6054      | 0                           | 457                         | 0                       |
| V000428A       | 4212      | 372                         | 0                           | 0                       |
| V000439A       | 4537      | 402                         | 0                           | 0                       |
| V000054A       | 7209      | 0                           | 559                         | 0                       |
| V000056A       | 3227      | 0                           | 272                         | 0                       |
| V000060A       | 6717      | 0                           | 531                         | 0                       |
| V000498A       | 6066      | 0                           | 386                         | 0                       |
| V000305A       | 2754      | 476                         | 0                           | 0                       |
| V000502A       | 3452      | 0                           | 157                         | 0                       |

Tabella 73 Consumi di carburante e km percorsi veicoli di servizio sito GTT di Collegno 2017

Consumi 2018

| <b>Veicolo</b> | <b>km</b> | <b>Benzina [litri/anno]</b> | <b>Gasolio [litri/anno]</b> | <b>Metano [kg/anno]</b> |
|----------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| V000057A       | 7529      | 0                           | 673                         | 0                       |
| V000058A       | 4950      | 0                           | 328                         | 0                       |
| V000061A       | 8081      | 0                           | 606                         | 0                       |
| V000062A       | 7430      | 0                           | 550                         | 0                       |
| V000063A       | 4088      | 0                           | 260                         | 0                       |
| V000094A       | 1959      | 187                         | 0                           | 0                       |
| V000140A       | 8482      | 796                         | 0                           | 10                      |
| V000147A       | 4248      | 411                         | 0                           | 11                      |
| V000150A       | 7125      | 576                         | 0                           | 0                       |
| V000157A       | 3177      | 288                         | 0                           | 0                       |
| V000160A       | 7029      | 0                           | 546                         | 0                       |
| V000161A       | 6111      | 0                           | 415                         | 0                       |
| V000162A       | 7213      | 0                           | 418                         | 0                       |
| V000163A       | 6326      | 0                           | 417                         | 0                       |
| V000164A       | 10854     | 0                           | 685                         | 0                       |
| V000165A       | 3315      | 0                           | 234                         | 0                       |
| V000300A       | 3891      | 387                         | 0                           | 0                       |
| V000376A       | 3633      | 0                           | 247                         | 0                       |
| V000380A       | 3292      | 161                         | 0                           | 171                     |
| V000381A       | 1691      | 120                         | 0                           | 137                     |
| V000382A       | 719       | 75                          | 0                           | 0                       |
| V000415A       | 7051      | 0                           | 517                         | 0                       |
| V000428A       | 6888      | 505                         | 0                           | 0                       |
| V000439A       | 3819      | 265                         | 0                           | 0                       |
| V000054A       | 1660      | 0                           | 162                         | 0                       |
| V000056A       | 8263      | 0                           | 638                         | 0                       |
| V000498A       | 10335     | 0                           | 738                         | 0                       |
| V000305A       | 3287      | 512                         | 0                           | 0                       |
| V000502A       | 1239      | 0                           | 412                         | 0                       |

**Tabella 74 Consumi di carburante e km percorsi veicoli di servizio sito GTT di Collegno 2018**

Globalmente i consumi totali dei carburanti sono riepilogati in tabella 75.

| <b>Anno</b> | <b>N. Auto</b> | <b>Km totali percorsi</b> | <b>Totale Benzina [litri]</b> | <b>Totale Gasolio Interno [litri]</b> | <b>Totale Gasolio Esterno [litri]</b> | <b>Totale Metano Interno [kg]</b> | <b>Totale Metano Esterno [kg]</b> |
|-------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 2017        | 30             | 168.911                   | 4.290                         | 29                                    | 8.650                                 | 827                               | 0                                 |
| 2018        | 29             | 153.685                   | 4.283                         | 283                                   | 7.563                                 | 117                               | 211                               |

**Tabella 75 Riassunto consumi di carburante e km percorsi veicoli di servizio sito GTT di Collegno (2017-2018)**

Dall'analisi dei dati si evidenzia una riduzione del consumo di carburante nel 2018 rispetto al 2017 ma anche un riduzione dei km percorsi dai veicoli aziendali.

Per effettuare un confronto con i km percorsi dalle auto, essendo utilizzate auto con carburanti diversi tra loro, si è fatto riferimento all'energia consumata per autotrazione applicando ai consumi di carburante (litri o kg) il relativo fattore di conversione in energia primaria.

I fattori di conversione utilizzati sono quelli indicati dall'ENEA nelle sue linee guida e riportati in tabella 76

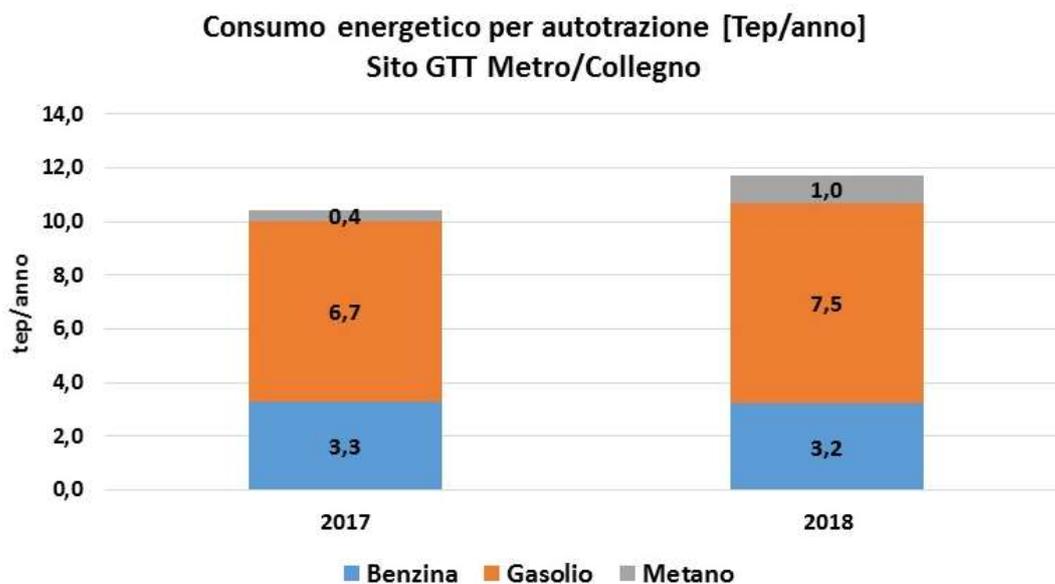
|                               |          |        |
|-------------------------------|----------|--------|
| <b>Gas naturale compresso</b> | 0,001225 | tep/kg |
| <b>Gasolio/diesel</b>         | 0,00086  | tep/l  |
| <b>Benzina</b>                | 0,000765 | tep/l  |

**Tabella 76 Conversione in tep carburanti**

In termini di energia primaria, il consumo di carburanti per autotrazione del Comprensorio Metro/Collegno, è suddiviso come indicato in tabella 77, dalla quale si evince anche una riduzione dall'anno 2017 all'anno 2018.

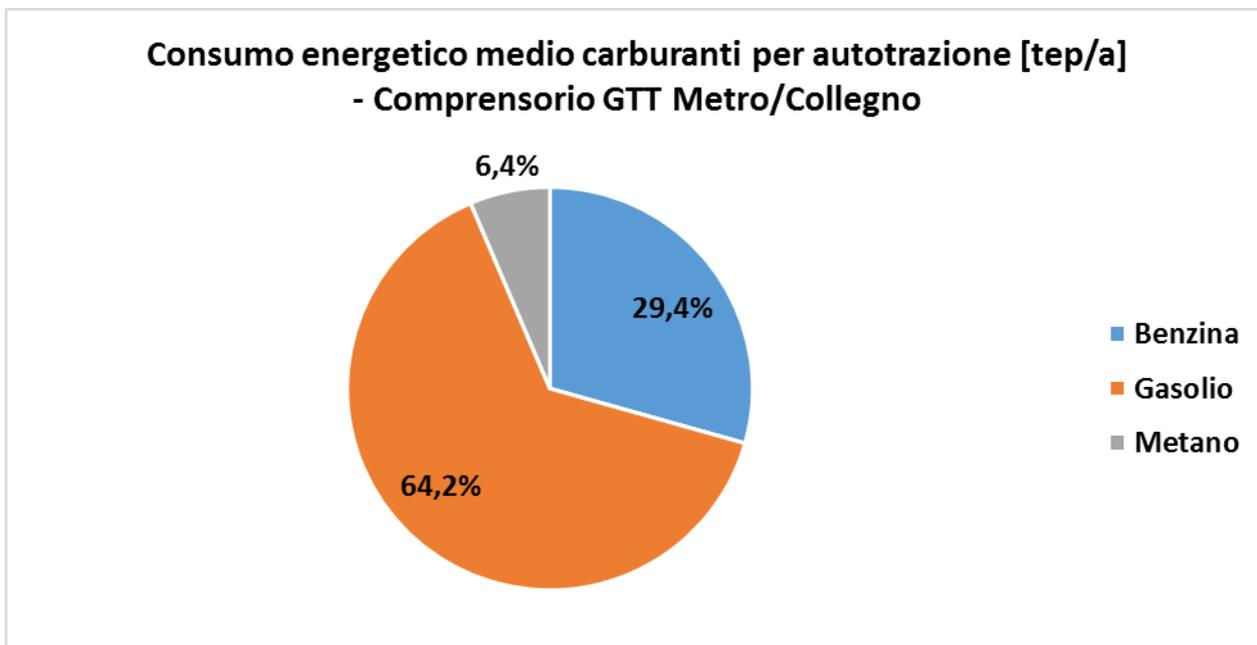
|               | <b>2017</b>        | <b>2018</b>        |
|---------------|--------------------|--------------------|
| Benzina       | 3,3 tep/a          | 3,2 tep/a          |
| Gasolio       | 6,7 tep/a          | 7,5 tep/a          |
| Metano        | 0,4 tep/a          | 1,0 tep/a          |
| <b>Totale</b> | <b>10,43 tep/a</b> | <b>11,70 tep/a</b> |

**Tabella 77 Consumi di energia per autotrazione [tep]**



**Figura 71 Consumi di energia per autotrazione [tep]**

Globalmente il gasolio incide per il 64% come carburante per autotrazione, seguito dalla benzina e in minima parte dal gas metano (solo poco più del 6%).



**Figura 72 Ripartizione percentuale consumo di energia per carburante**

Il consumo di energia primaria attribuibile ad ogni carburante è stato poi rapportato ai km effettuati dai veicoli che li utilizzano per esprimere un indicatore di prestazione confrontabile.

I calcoli effettuati, per ogni veicolo, sono riportati nelle tabelle 78 e 79.

| 2017     | km    | Benzina      | Gasolio      | Metano    | Energia primaria | tep/km  |
|----------|-------|--------------|--------------|-----------|------------------|---------|
| Veicolo  |       | [litri/anno] | [litri/anno] | [kg/anno] | [tep/anno]       |         |
| V000057A | 7529  | 0            | 673          | 0         | 0,5785           | 0,00008 |
| V000058A | 4950  | 0            | 328          | 0         | 0,2817           | 0,00006 |
| V000061A | 8081  | 0            | 606          | 0         | 0,5213           | 0,00006 |
| V000062A | 7430  | 0            | 550          | 0         | 0,4728           | 0,00006 |
| V000063A | 4088  | 0            | 260          | 0         | 0,2240           | 0,00005 |
| V000094A | 1959  | 187          | 0            | 0         | 0,1428           | 0,00007 |
| V000140A | 8482  | 796          | 0            | 10        | 0,6213           | 0,00007 |
| V000147A | 4248  | 411          | 0            | 11        | 0,3272           | 0,00008 |
| V000150A | 7125  | 576          | 0            | 0         | 0,4407           | 0,00006 |
| V000157A | 3177  | 288          | 0            | 0         | 0,2206           | 0,00007 |
| V000160A | 7029  | 0            | 546          | 0         | 0,4698           | 0,00007 |
| V000161A | 6111  | 0            | 415          | 0         | 0,3566           | 0,00006 |
| V000162A | 7213  | 0            | 418          | 0         | 0,3591           | 0,00005 |
| V000163A | 6326  | 0            | 417          | 0         | 0,3586           | 0,00006 |
| V000164A | 10854 | 0            | 685          | 0         | 0,5892           | 0,00005 |
| V000165A | 3315  | 0            | 234          | 0         | 0,2013           | 0,00006 |
| V000300A | 3891  | 387          | 0            | 0         | 0,2962           | 0,00008 |
| V000376A | 3633  | 0            | 247          | 0         | 0,2125           | 0,00006 |
| V000380A | 3292  | 161          | 0            | 171       | 0,3323           | 0,00010 |
| V000381A | 1691  | 120          | 0            | 137       | 0,2590           | 0,00015 |
| V000382A | 719   | 75           | 0            | 0         | 0,0571           | 0,00008 |
| V000415A | 7051  | 0            | 517          | 0         | 0,4450           | 0,00006 |
| V000428A | 6888  | 505          | 0            | 0         | 0,3866           | 0,00006 |
| V000439A | 3819  | 265          | 0            | 0         | 0,2031           | 0,00005 |
| V000054A | 1660  | 0            | 162          | 0         | 0,1392           | 0,00008 |
| V000056A | 8263  | 0            | 638          | 0         | 0,5485           | 0,00007 |
| V000498A | 10335 | 0            | 738          | 0         | 0,6350           | 0,00006 |
| V000305A | 3287  | 512          | 0            | 0         | 0,3919           | 0,00012 |
| V000502A | 1239  | 0            | 412          | 0         | 0,3544           | 0,00029 |

Tabella 78 Consumi di carburante e km percorsi veicoli di servizio sito GTT di Collegno 2017 [tep]

| 2018     | km    | Benzina      | Gasolio      | Metano    | Energia primaria | tep/km  |
|----------|-------|--------------|--------------|-----------|------------------|---------|
| Veicolo  |       | [litri/anno] | [litri/anno] | [kg/anno] | [tep/anno]       |         |
| V000032A | 531   | 78           | 0            | 0         | 0,05963175       | 0,00011 |
| V000057A | 7319  | 0            | 496          | 0         | 0,426345         | 0,00006 |
| V000058A | 6163  | 0            | 461          | 0         | 0,3968556        | 0,00006 |
| V000061A | 2948  | 0            | 237          | 0         | 0,2040264        | 0,00007 |
| V000062A | 6696  | 0            | 532          | 0         | 0,4576576        | 0,00007 |
| V000063A | 6965  | 0            | 565          | 0         | 0,4863128        | 0,00007 |
| V000094A | 6772  | 760          | 0            | 0         | 0,58175955       | 0,00009 |
| V000147A | 3769  | 73           | 0            | 140       | 0,22692565       | 0,00006 |
| V000150A | 9376  | 812          | 0            | 0         | 0,62091225       | 0,00007 |
| V000157A | 3845  | 518          | 0            | 0         | 0,39647655       | 0,00010 |
| V000160A | 7792  | 0            | 559          | 0         | 0,4810238        | 0,00006 |
| V000161A | 8402  | 0            | 656          | 0         | 0,56416          | 0,00007 |
| V000162A | 4533  | 0            | 328          | 0         | 0,2824498        | 0,00006 |
| V000163A | 9590  | 0            | 658          | 0         | 0,565794         | 0,00006 |
| V000164A | 12269 | 0            | 787          | 0         | 0,6765964        | 0,00006 |
| V000165A | 7507  | 0            | 538          | 0         | 0,4630498        | 0,00006 |
| V000300A | 4038  | 409          | 0            | 56        | 0,38112825       | 0,00009 |
| V000376A | 5458  | 0            | 498          | 0         | 0,4285466        | 0,00008 |
| V000380A | 6474  | 198          | 0            | 359       | 0,5903541        | 0,00009 |
| V000381A | 2665  | 127          | 0            | 227       | 0,3744799        | 0,00014 |
| V000382A | 1571  | 66           | 0            | 47        | 0,10777995       | 0,00007 |
| V000415A | 6054  | 0            | 457          | 0         | 0,3929512        | 0,00006 |
| V000428A | 4212  | 372          | 0            | 0         | 0,28434285       | 0,00007 |
| V000439A | 4537  | 402          | 0            | 0         | 0,30747645       | 0,00007 |
| V000054A | 7209  | 0            | 559          | 0         | 0,4808346        | 0,00007 |
| V000056A | 3227  | 0            | 272          | 0         | 0,2335158        | 0,00007 |
| V000060A | 6717  | 0            | 531          | 0         | 0,456531         | 0,00007 |
| V000498A | 6066  | 0            | 386          | 0         | 0,3321664        | 0,00005 |
| V000305A | 2754  | 476          | 0            | 0         | 0,36399465       | 0,00013 |
| V000502A | 3452  | 0            | 157          | 0         | 0,1352436        | 0,00004 |

Tabella 79 Consumi di carburante e km percorsi veicoli di servizio sito GTT di Collegno 2018 [tep]

Si noti come il parco veicoli a servizio del Sito di Collegno sia rimasto pressoché costante nel periodo analizzato.

Nel grafico in Fig. 73 è visualizzato il consumo energetico (energia primaria) di ogni veicolo per km percorso nei due diversi anni analizzati (2017-2018).

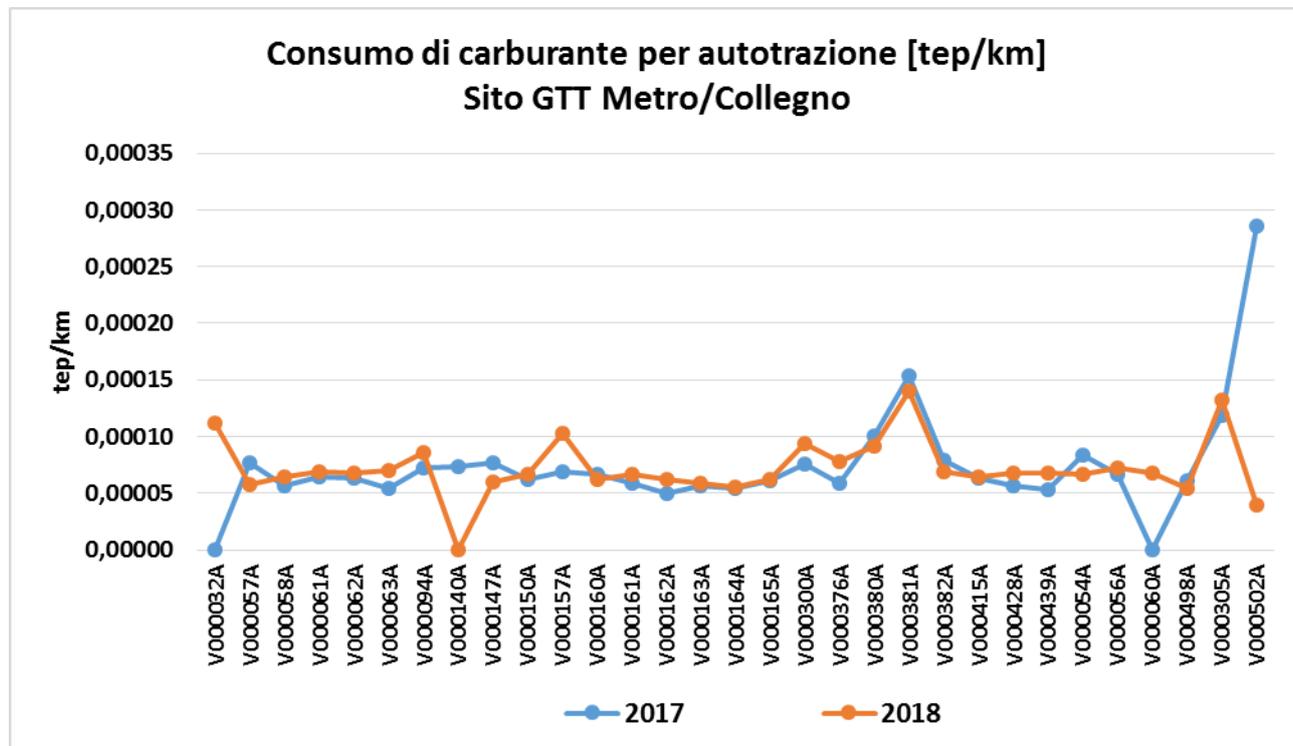


Figura 73 Consumo di carburante per autotrazione [tep/km] sito GTT di Collegno

Il consumo energetico per km percorso è in linea di massima costante nei due anni, salvo qualche veicolo che presenta dei picchi rispetto alla media.

### 9.3 Costi carburanti per autotrazione

Non sono stati considerati rilevanti visto il ridotto contributo di questi consumi sui totali oggetto di indagine per il sito.

## 10. Energia primaria sito GTT di Collegno

### 10.1 Consumi di energia primaria

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, nel Comprensorio Metro-Collegno di GTT vengono utilizzati energia elettrica, gas metano, benzina, gasolio e gas metano per autotrazione come vettori energetici.

Il consumo dei vettori energetici utilizzati presso il sito GTT di Collegno, per gli anni 2015-2018, è riepilogato in tabella 80.

Per quanto riguarda l'energia elettrica i valori sotto riportati fanno riferimento alla quota parte stimata per il Sito di Collegno al netto dei consumi ipotizzati per la trazione dei treni VAL e per il funzionamento e la gestione delle 21 stazioni della linea metropolitana.

| <b>Vettore energetico</b>                      | <b>Consumo medio annuo</b> |
|------------------------------------------------|----------------------------|
| Tot Energia elettrica Sito Collegno [kWh/anno] | 2.057.421                  |
| Tot Gas metano sito Collegno [Smc/anno]        | 226.831                    |
| Tot Gasolio autotrazione [litri/anno]          | 8.263                      |
| Tot. Benzina Autotrazione [litri/anno]         | 4.287                      |
| Tot. Gas metano Autotrazione [kg/anno]         | 578                        |

**Tabella 80 Consumi medi annui per vettore energetico sito GTT di Collegno**

I consumi dei diversi vettori energetici riportati in tabella sono stati tradotti in termini di energia primaria (tonnellate equivalenti di petrolio - tep) utilizzando i seguenti fattori di conversione:

- $8250 \times 10^{-7}$  tep/Smc per quanto riguarda il gas metano
- $0,187 \times 10^{-3}$  tep/kWh per quanto riguarda l'energia elettrica.
- $0,86 \times 10^{-3}$  tep/litro per quanto riguarda il gasolio per autotrazione
- $0,765 \times 10^{-3}$  tep/litro per quanto riguarda la benzina per autotrazione
- $1,225 \times 10^{-3}$  tep/kg per quanto riguarda il metano per autotrazione

Nella tabella 81 viene riportato il consumo medio annuo di energia primaria relativo ai diversi vettori energetici utilizzati nel sito GTT Di Collegno

| <b>Consumo di energia primaria – Sito GTT Collegno</b> |                   |                                 |                                 |                                |               |
|--------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------|
| <b>Energia elettrica</b>                               | <b>Gas metano</b> | <b>Benzina per autotrazione</b> | <b>Gasolio per autotrazione</b> | <b>Metano per autotrazione</b> | <b>Totale</b> |
| 384,73                                                 | 187,14            | 7,10                            | 3,28                            | 0,71                           | 582,96        |

**Tabella 81 Consumo di energia primaria sito GTT di Collegno**

Considerando anche il peso dei carburanti per autotrazione (Gasolio, benzina e gas metano), si ottiene la seguente ripartizione dei consumi di energia primaria

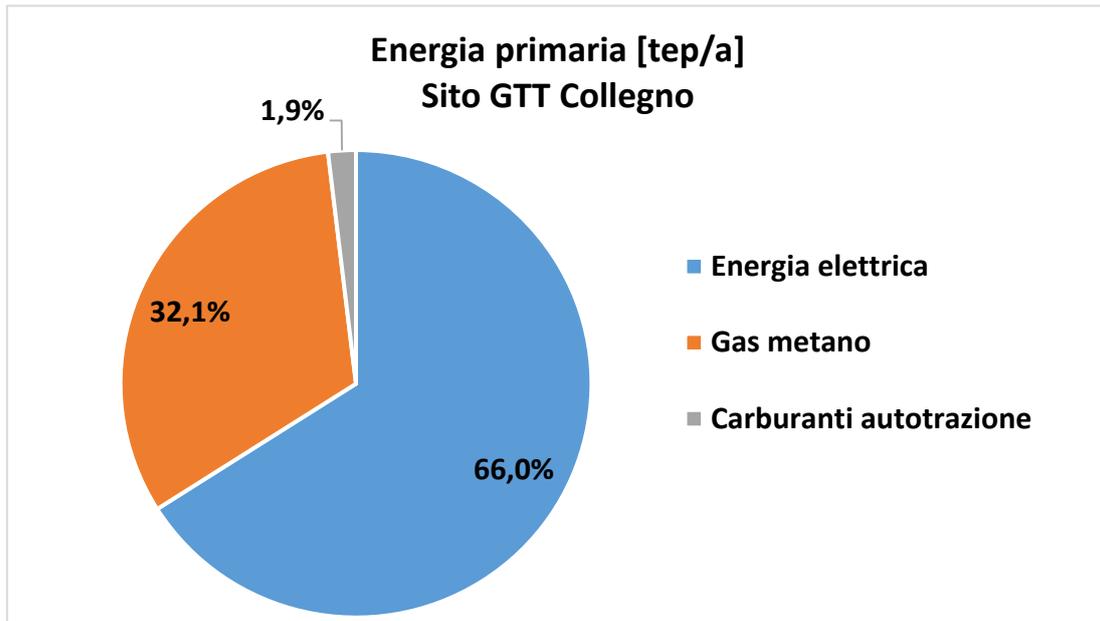


Figura 74 Ripartizione percentuale consumi die energia primaria per vettore energetico sito GTT di Collegno

Si nota che l'energia elettrica è il vettore energetico che pesa di più sui consumi totali di energia primaria del Sito GTT di Collegno. Il consumo dei carburanti per autotrazione ha un peso molto ridotto.

I consumi di energia primaria del Sito sono visualizzati in Fig. 75

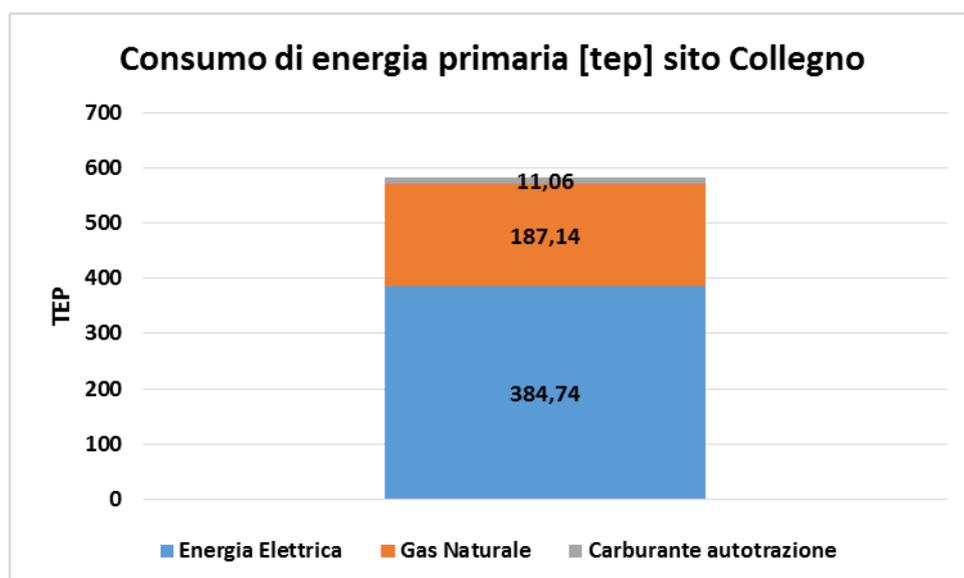


Figura 75 Ripartizione consumi die energia primaria per vettore energetico sito GTT di Collegno

Facendo riferimento ai consumi dei vettori energetici gas metano ed energia elettrica in termini di energia primaria, considerando la suddivisione dei consumi tra attività principali, servizi generali e servizi ausiliari, si nota che la quota maggiore (79%) è rappresentata dai servizi generali quali la climatizzazione invernale ed estiva e l'illuminazione.

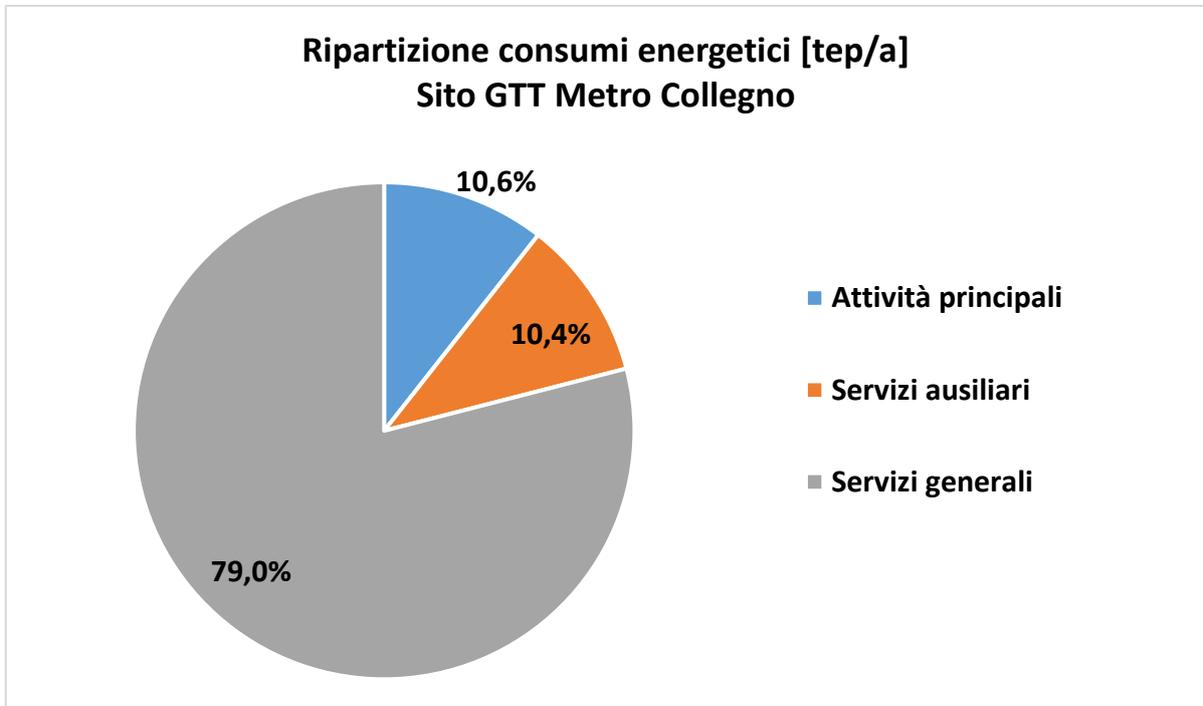


Figura 76 Ripartizione percentuale consumi energetici per settori sito GTT di Collegno

Dal grafico in Fig. 76 si evince che il peso delle attività principali è molto contenuto rispetto ai consumi globali del comprensorio e le stesse lavorazioni d'officina hanno comunque un ruolo marginale sui consumi globali.

Considerando i consumi energetici delle attività principali svolte nel Sito mostrati in Fig. 77, l'officina è reponsabile del 37% mentre la quota più significativa è legata agli uffici di gestione della linea metropolitana che pesano per il 50%.

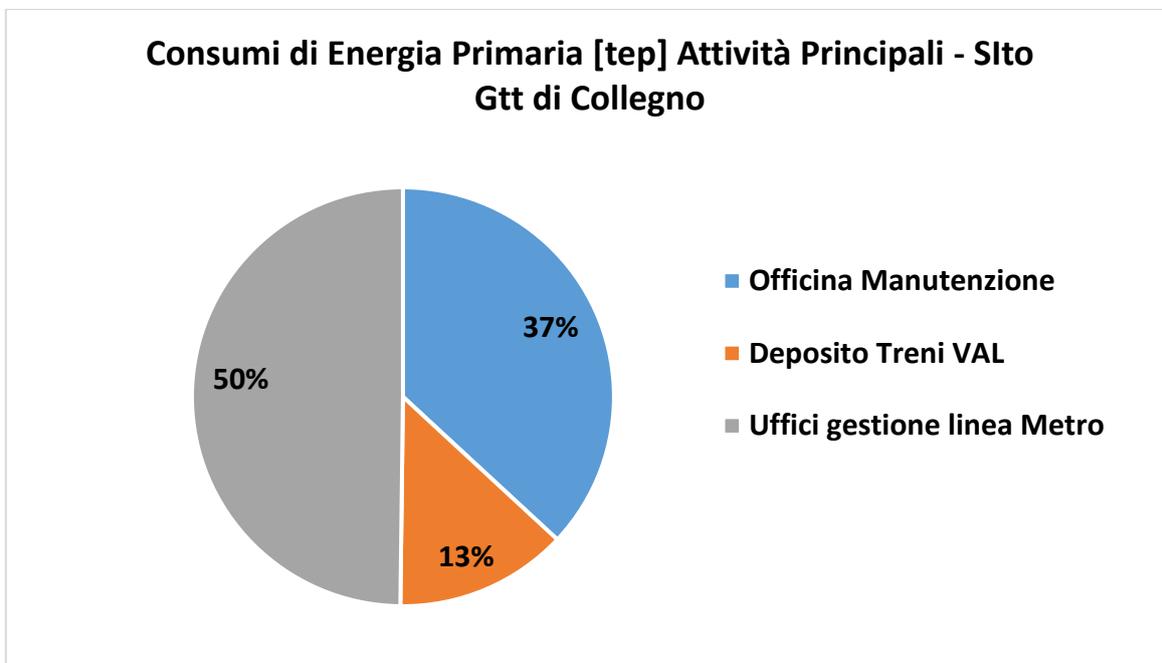


Figura 77 Ripartizione percentuale consumi energetici per attività principali sito GTT di Collegno

Tra le attività principali non sono stati considerati i consumi di energia elettrica dell'impianto di lavaggio Treni poiché, secondo le indicazioni di GTT, non è quasi mai stato utilizzato nel periodo considerato dalla diagnosi.

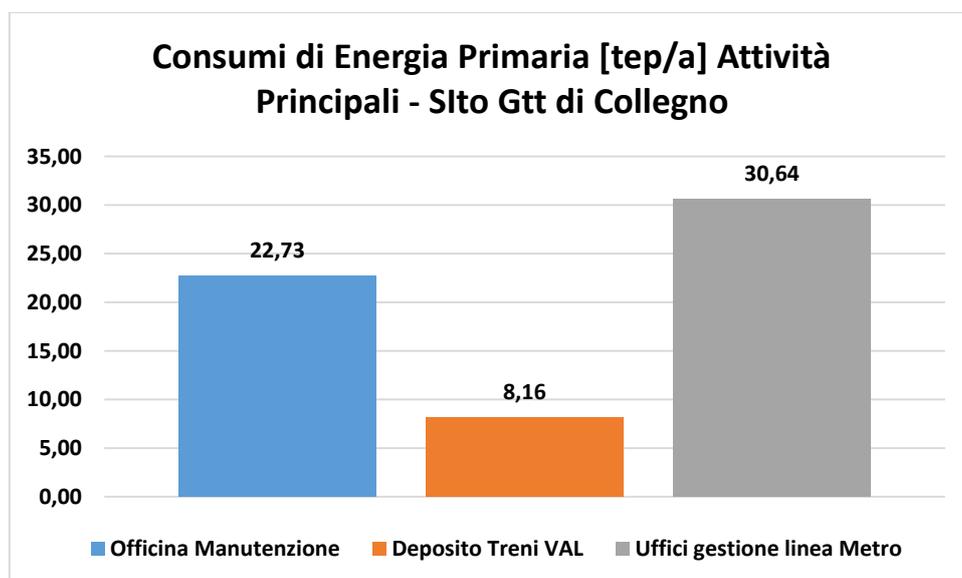


Figura 78 Consumo di energia primaria attività principali sito GTT di Collegno [tep/a]

Per quanto riguarda i servizi generali, i consumi energetici sono ripartiti nel grafico in Fig. 79 dal quale si evince che il peso maggiore è rappresentato dal gas metano per riscaldamento ambienti, produzione acqua calda sanitaria e Mensa (40,6%), seguito dall'energia elettrica per condizionamento estivo e funzionamento ausiliari di impianto termico (31,8%). In pratica nel Sito di Collegno il 72,4% dei consumi generali è rappresentato da quelli per climatizzazione degli edifici.

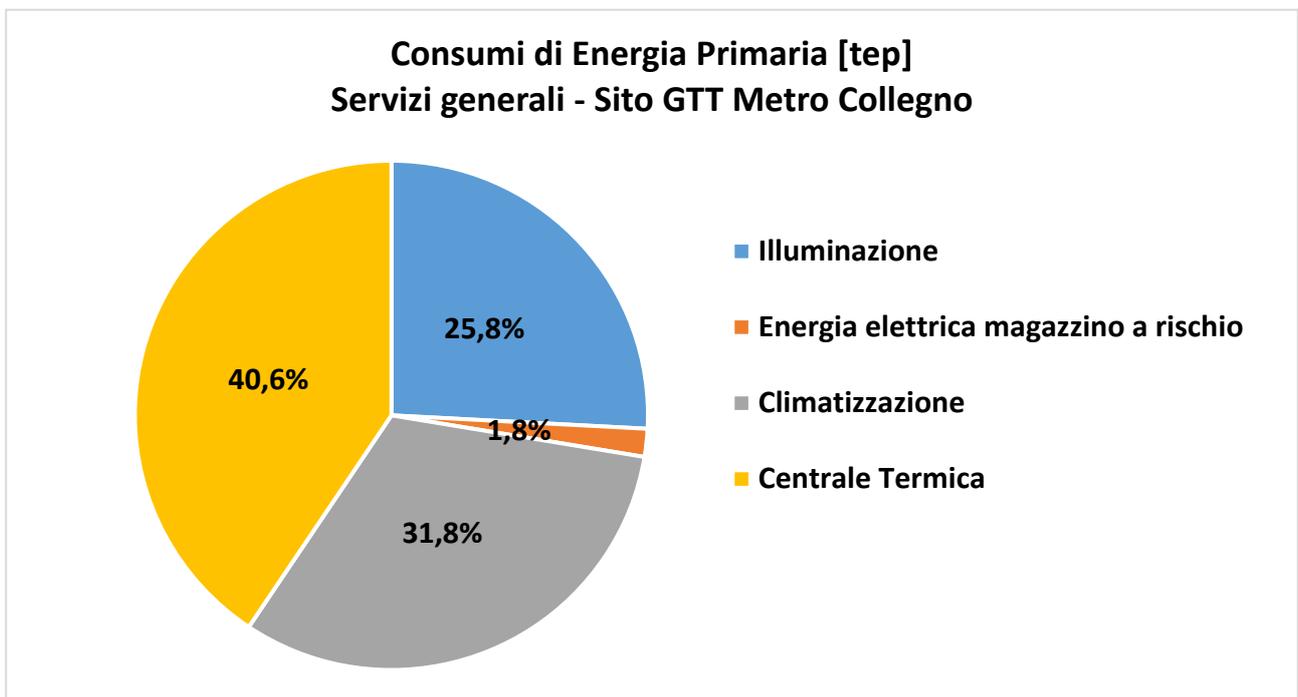


Figura 79 Ripartizione percentuale consumi energetici per servizi generali sito GTT di Collegno

Se si considera che i servizi generali rappresentano l'83% dei consumi energetici del Sito di Collegno, si capisce quanto pesi la climatizzazione ambienti sui consumi energetici totali del Sito.

I consumi di energia primaria (tep) dei principali servizi generali del Sito sono riportati nel grafico in Fig. 80

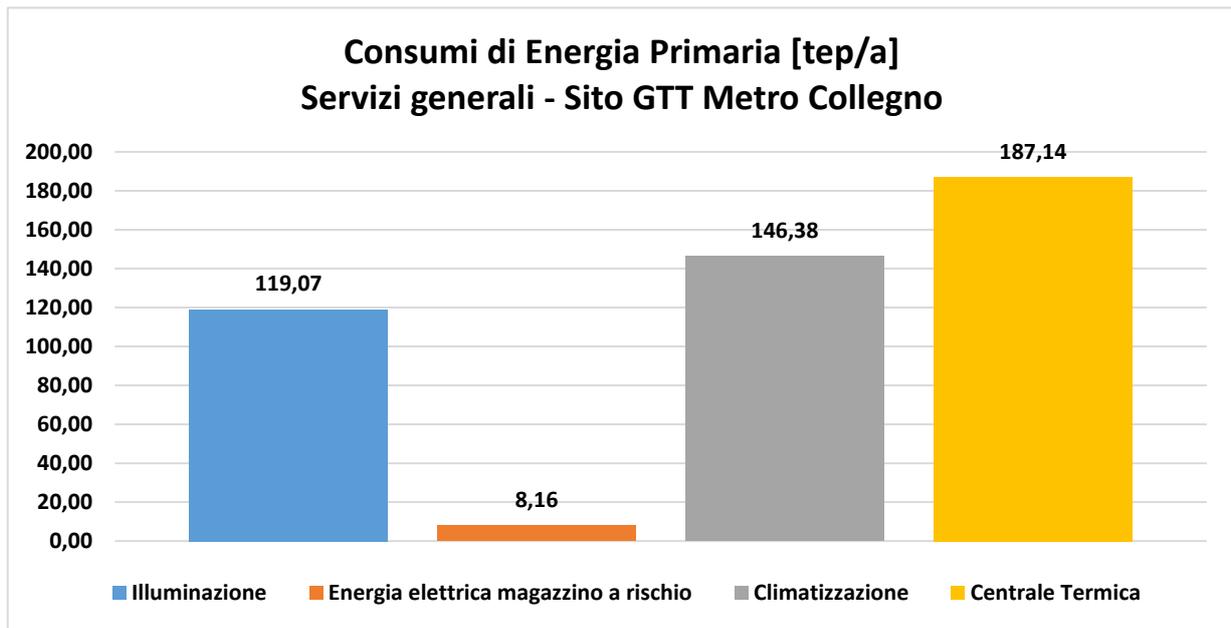


Figura 80 Consumo di energia primaria servizi generali sito GTT di Collegno [tep/a]

Considerando tutte le voci di consumo energetico, si ottiene la suddivisione dei consumi mostrata in tabella 82

| Utilizzo                                       | Consumo energetico [Tep/a] | Fonte dei dati                 |
|------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Illuminazione esterna                          | 31,85                      | Da misura spot e calcolo       |
| Illuminazione interna Uffici                   | 19,08                      | Da misura spot e calcolo       |
| Illuminazione interna Officina                 | 33,38                      | Da misura spot e calcolo       |
| Illuminazione Deposito                         | 34,76                      | Da misura spot e calcolo       |
| Condizionamento estivo, ausiliari imp. termico | 146,38                     | Da misura e modello di calcolo |
| Utilities uffici                               | 30,64                      | Da misura spot e calcolo       |
| Officina                                       | 22,73                      | Da misura spot e calcolo       |
| Deposito treni Val                             | 8,15                       | Da misura spot e calcolo       |
| Magazzini a rischio                            | 8,15                       | Da misura spot e calcolo       |
| Carica batterie                                | 5,10                       | Da misura spot e calcolo       |
| Utenze elettriche varie                        | 44,51                      | Da calcolo                     |
| Carburanti per autotrazione                    | 11,09                      | Da dato di consumo             |
| Gas naturale per riscaldamento, mensa e ACS    | 187,14                     | Da dato di bolletta            |
| <b>Totale</b>                                  | <b>582,96</b>              |                                |

Tabella 82 Ripartizione per utenza del sito GTT di Collegno dei consumi energia primaria

### Ripartizione percentuale consumi energia primaria [tep] Sito GTT di Collegno

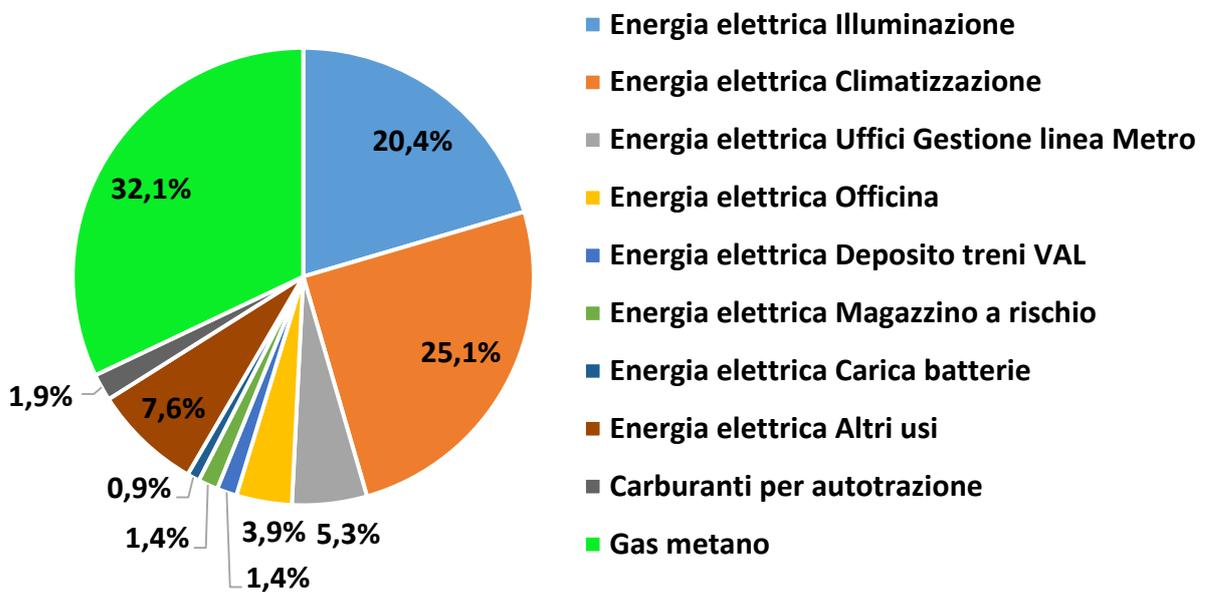


Figura 81 Ripartizione percentuale consumi di energia primaria sito GTT di Collegno

La quota maggiore di consumo è rappresentata dall'energia elettrica nell'ambito della quale il servizio che ha il maggior peso è quello del condizionamento estivo e degli ausiliari dell'impianto di riscaldamento (climatizzazione). Il gas metano che nel sito è usato per le centrali termiche per il riscaldamento, la produzione di acqua calda sanitaria e per la mensa del Comprensorio, ha comunque un certo peso e pesa per poco più del 32%.

Globalmente si può quindi asserire che i consumi maggiori del sito sono quelli per la climatizzazione estiva e invernale che pesano in totale per il 57,2%.

## 10.2 Energia primaria: costi globali Sito GTT di Collegno

L'analisi dei costi energetici del Comprensorio di Collegno è riportata nei paragrafi seguenti suddivisa per vettore energetico.

Globalmente i costi medi energetici sono riepilogati in tabella 83.

|                             |                      |
|-----------------------------|----------------------|
| Energia elettrica           | 4.627.189,75 €       |
| Gas per riscaldamento e ACS | 82.866,73 €          |
| Carburanti per autotrazione | Non disponibile €    |
| <b>Totale</b>               | <b>4.710.056,58€</b> |

Tabella 83 Costi annuali per vettore energetico comprensorio Metropolitana/Collegno

## 11. Indicatori di consumo sito di Collegno e costruzione di una baseline

Sulla base dell'analisi dei consumi energetici è possibile individuare le baseline energetiche rispetto alle quali misurare eventuali variazioni nelle performance energetiche ottenute con interventi di risparmio energetico e di miglioramento dell'efficienza energetica. Una baseline energetica è una quantità di riferimento identificata come base per i confronti delle prestazioni energetiche di un'attività o di un processo. Per definire delle baseline sono stati definiti degli indicatori di misura delle prestazioni energetiche che permettano di misurare l'efficacia di azioni di miglioramento dell'efficienza energetica delle differenti aree di consumo. Tali indici fanno riferimento a valori medi di consumo del triennio 2015-2018.

I principali indicatori di prestazione energetica individuati per effettuare delle analisi, in relazione agli usi energetici del sito GTT di Collegno, sono:

- consumo di energia elettrica per metro quadrato ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )
- consumo di energia elettrica rispetto al numero di manutenzioni ( $\text{kWh}/\text{h}$ )
- consumo di energia elettrica per condizionamento estivo per metro quadrato ( $\text{kWh}_e/\text{m}^2$ )
- consumo di energia elettrica per condizionamento a Grado giorno estivo ( $\text{kWh}/\text{GGE}$ )
- consumo energetico di carburanti per autotrazione per km ( $\text{tep}/\text{km}$ )
- consumo di energia termica e volume riscaldato ( $\text{kWh}_{\text{ter}}/\text{m}^3$ )
- consumo di energia termica a grado giorno ( $\text{kWh}/\text{GG}/\text{m}^3$ )

Si ritiene che i dati di baseline che descriveremo nel presente capitolo possano costituire per l'azienda un primo passo verso un adeguato monitoraggio delle proprie performance di consumo energetico.

Rispetto alla diagnosi precedente si sono analizzati degli indicatori differenti in relazione ai dati di consumo disponibili.

### 11.1 Indicatori del consumo di energia elettrica e baseline

Per quanto riguarda il consumo di energia elettrica, sono stati individuati due indicatori energetici significativi:

- consumo di energia elettrica per metro quadrato (kWh/m<sup>2</sup>)
- consumo di energia elettrica rispetto al numero di manutenzioni (kWh/num manutenzioni)

Il calcolo degli indicatori è stato fatto con riferimento alla media dei consumi delle bollette del Comprensorio GTT Metro Collegno relativi agli ultimi 4 anni (2015-2018) considerando la quota parte stimata per il Sito di Collegno (al netto cioè dei consumi per la trazione dei treni e dei consumi delle 21 stazioni della metropolitana).

La baseline relativa all'energia elettrica è definita dal consumo di kWh elettrici per m<sup>2</sup> di uffici.

I consumi elettrici del sito di Collegno (una quota parte del consumo totale di bolletta che non è contabilizzato) sono stati stimati con calcoli. Il valore calcolato è un dato medio. Non è possibile quindi ottenere degli indicatori che varino negli anni. Si può considerare il risultato del calcolo fatto, come baseline di confronto per eventuali misure effettuate nei prossimi anni.

Come baseline si è voluto rapportare il dato di consumo elettrico del sito di Collegno con la superficie netta dello stabilimento. Il valore ottenuto è circa **17,82 kWh<sub>e</sub>/mq**.

Per completezza di analisi si sono provati a mettere in relazione i dati di consumo di energia elettrica anche con la variazione del numero di manutenzioni effettuate nel sito su base annuale per considerare l'influenza dell'attività svolta.

Vista, però, la grande variabilità annuale degli interventi di manutenzione ai treni e considerato un valore di consumo del sito pressoché costante negli anni, si è ritenuto di poca rappresentatività l'indicatore sopra citato.

## 11.2 Indicatori del consumo di energia elettrica per condizionamento estivo e baseline

Per quanto riguarda il consumo di energia elettrica per condizionamento estivo, in questo sito costituita da energia elettrica consumata per funzionamento gruppi frigoriferi, sono stati individuati due indicatori energetici:

- consumo di energia elettrica per condizionamento estivo per metro quadrato ( $\text{kWh}_e/\text{m}^2$ )
- consumo di energia elettrica per condizionamento a Grado giorno estivo ( $\text{kWh}/\text{GGE}/\text{m}^2$ )

Il calcolo degli indicatori è stato fatto con riferimento al consumo di energia elettrica stimato per i fabbisogni di energia per raffrescamento estivo dei locali calcolato con il modello termico dell'edificio.

La baseline relativa all'energia elettrica per condizionamento estivo è definita dal consumo di  $\text{kWh}$  termici a  $\text{m}^2$  di uffici. Il valore calcolato di consumo di energia elettrica per condizionamento estivo riferiti alla superficie è presentato come dato di confronto per eventuali futuri interventi di regolazione e di efficientamento del condizionamento.

Per il raffrescamento del sito si è calcolato un consumo di circa **515060  $\text{kWh}_e$  annui**. La superficie netta raffrescata è di circa **4095  $\text{m}^2$** . Si ha quindi un valore base pari circa a **125,77  $\text{kWh}_e$  per metro quadro raffrescato**.

Per avere una baseline che, oltre a tenere in conto della superficie raffrescata, permetta di valutare l'influenza del clima sul condizionamento si è deciso di confrontare il valore calcolato anche con i gradi giorno estivi medi. Avendo registrato una media di **415 GGE** a Collegno negli anni tra il 2015 e il 2018, l'indicatore di base vale **0,303  $\text{kWh}_e$  al metro quadro raffrescato per grado giorno estivo**.

## 11.3 Indicatori del consumo di energia termica e baseline

Per quanto riguarda il consumo di energia termica, in questo sito prodotta con gas metano, sono stati individuati due indicatori energetici:

- consumo di energia termica e volume riscaldato ( $\text{kWh}_{\text{ter}}/\text{m}^3$ )
- consumo di energia termica a grado giorno ( $\text{kWh}/\text{GG}/\text{m}^3$ )

Il calcolo degli indicatori è stato fatto con riferimento ai valori relativi agli ultimi 4 anni (2015-2018).

La baseline relativa all'energia termica è definita dal consumo di kWh termici a m<sup>3</sup> riscaldato. La tabella 84 riporta i valori di consumo di calore da teleriscaldamento riferiti alla volumetria riscaldata nei quattro anni considerati.

|                                                   | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      |
|---------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Energia termica [kWh<sub>ter</sub>]</b>        | 2.093.763 | 2.447.623 | 2.072.891 | 2.068.823 |
| <b>Volumetria riscaldata [m<sup>3</sup>]</b>      | 74.494    | 74.494    | 74.494    | 74.494    |
| <b>Rapporto [kWh<sub>ter</sub>/m<sup>3</sup>]</b> | 28,11     | 32,86     | 27,83     | 27,77     |

Tabella 84 Indicatore energia termica a volume riscaldato sito GTT di Collegno

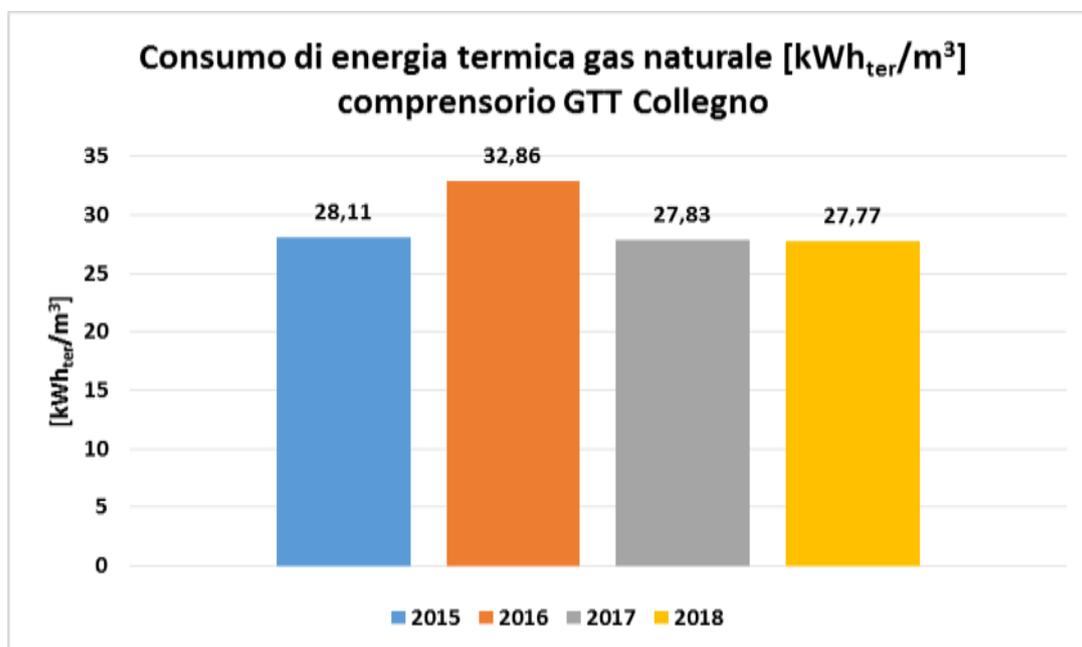


Figura 82 Indicatore energia termica a volume riscaldato sito GTT di Collegno

In termini di energia termica per riscaldamento, quindi, la baseline di riferimento risulta essere la media degli anni considerati, ossia un valore di circa **29,14 kWh<sub>ter</sub> per metro cubo riscaldato**. Il valore di tale indicatore risulta abbastanza costante negli anni.

Dalla diagnosi precedente si ricava un consumo di gas metano relativo all'anno 2014 di **221.447 Smc/anno** che corrisponde a circa **2.119.248 kWh/anno** di energia termica e l'indicatore appena descritto aveva un valore di **28,45 kWh<sub>ter</sub>/m<sup>3</sup>** riscaldato, quindi era in linea con i valori relativi agli ultimi 4 anni e dimostra una certa costanza nei consumi energetici del sito.

Per completezza di analisi si sono provati a mettere in relazione i dati di consumo di energia termica anche con la variazione dei gradi giorno su base annuale per considerare l'influenza del clima. Tale raffronto ha permesso di definire un'ulteriore baseline di riferimento.

|                                                      | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      |
|------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Energia termica [kWh<sub>ter</sub>]</b>           | 2.093.763 | 2.447.623 | 2.072.891 | 2.068.823 |
| <b>Volumetria riscaldata [m<sup>3</sup>]</b>         | 74.494    | 74.494    | 74.494    | 74.494    |
| <b>GG</b>                                            | 2208      | 2237      | 2270      | 2265      |
| <b>Rapporto [kWh<sub>ter</sub>/GG/m<sup>3</sup>]</b> | 0,01273   | 0,01469   | 0,01226   | 0,01226   |

Tabella 85 Indicatore energia termica a volume riscaldato e al Grado Giorno invernale sito GTT di Collegno

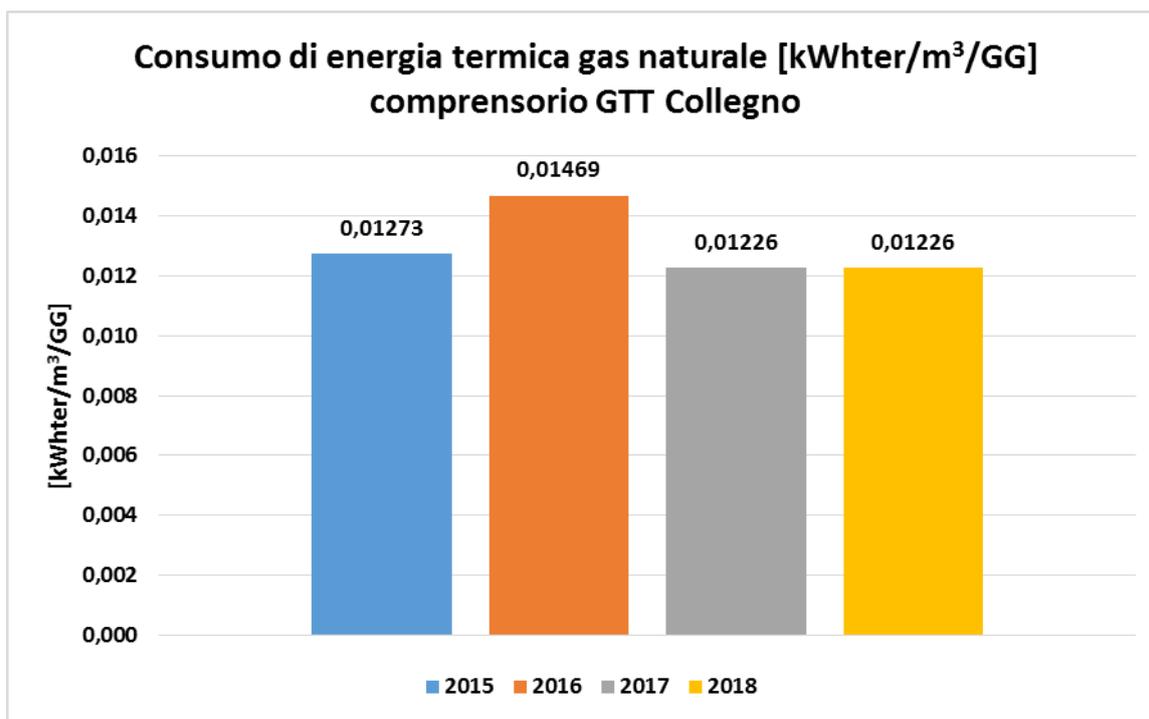


Figura 83 Indicatore energia termica a volume riscaldato e al Grado Giorno invernale sito GTT di Collegno

In termini di energia termica per riscaldamento, la baseline di riferimento relativa a questo indicatore risulta essere la media degli anni considerati, ossia un valore di circa **0,01299 kWh<sub>ter</sub> al metro cubo riscaldato per Grado Giorno**. Il valore di tale indicatore risulta abbastanza costante negli anni.

## 11.4 Indicatori del consumo di carburanti per autotrazione e baseline

Per quanto riguarda il consumo di carburante per autotrazione sono stati individuati due indicatori energetici significativi:

- consumo di energia primaria per autotrazione per km percorsi (tep/km)
- consumo di energia primaria per autotrazione per auto (tep/num auto)

Il calcolo degli indicatori è stato fatto con riferimento ai valori di consumo di carburante relativi agli ultimi 2 anni (2017-2018).

La baseline relativa al consumo di carburante per autotrazione è definita in termini di energia primaria dai tep consumati rispetto ai km percorsi all'anno dai veicoli (ricavati dai bilanci ambientali del 2017 e 2018).

La tabella 86 riporta i valori di consumo di carburante riferiti ai km percorsi dai veicoli nei due anni considerati.

|                              | 2017       | 2018        |
|------------------------------|------------|-------------|
| <b>Carburante [tep]</b>      | 10,4       | 11,7        |
| <b>Km percorsi [km/anno]</b> | 153685     | 168911      |
| <b>Rapporto [tep/km]</b>     | 0,00006767 | 0,000069267 |

Tabella 86 Indicatore consumo unitario per autotrazione [tep/km]

Nel 2018 sono stati percorsi più km rispetto all'anno precedente e risulta anche un consumo energetico associato ai carburanti maggiore. Dal punto di vista dell'efficienza però si assiste ad una lieve riduzione in quanto l'indicatore aumenta di poco più del 2%.

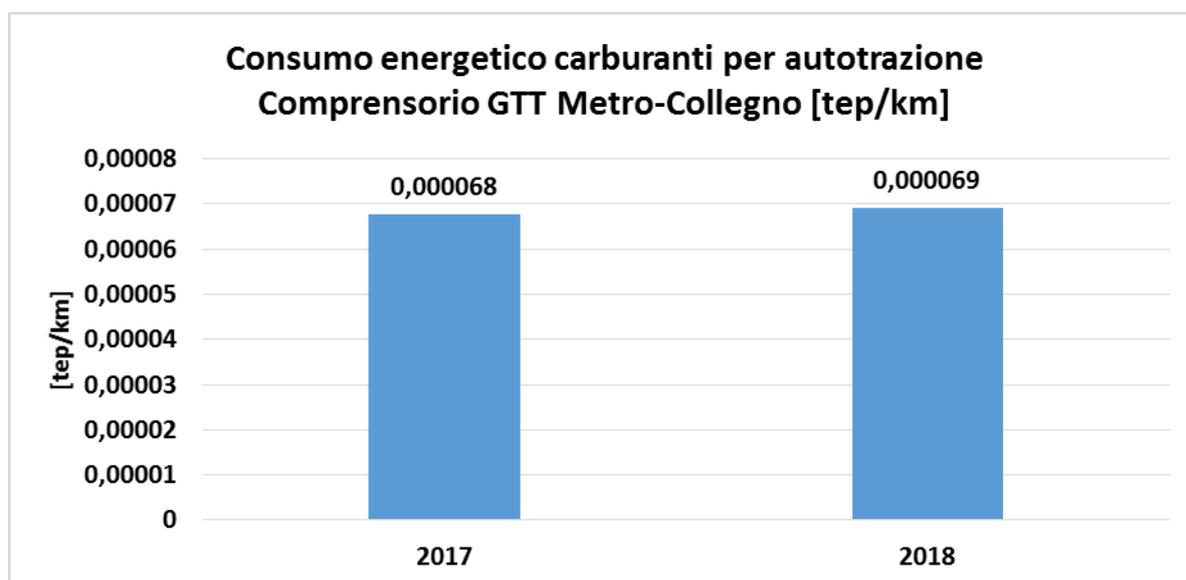


Figura 84 Indicatore consumo unitario per autotrazione [tep/km]

In termini di consumo di carburante per autotrazione, la baseline di riferimento risulta essere la media dei due anni considerati, ossia un valore di circa **0,00006855 tep per km percorso**.

Per completezza di analisi si sono provati a mettere in relazione i dati di consumo di carburante anche con il numero dei veicoli utilizzati in quell'anno. Tale raffronto ha permesso di definire un'ulteriore baseline di riferimento.

|                                   | 2017   | 2018   |
|-----------------------------------|--------|--------|
| <b>Energia Carburante [tep]</b>   | 10,4   | 11,7   |
| <b>Numero veicoli</b>             | 30     | 29     |
| <b>Rapporto [tep/num veicolo]</b> | 0,3475 | 0,4034 |

Tabella 87 Indicatore energia primaria a veicolo [tep/num veicolo]

Anche secondo questo indicatore l'efficienza si è ridotta nel 2018 rispetto al 2017. Tale indicatore non è significativo in quanto è vero che nel 2018 è stato utilizzato un veicolo in meno ma sono stati comunque percorsi più km.

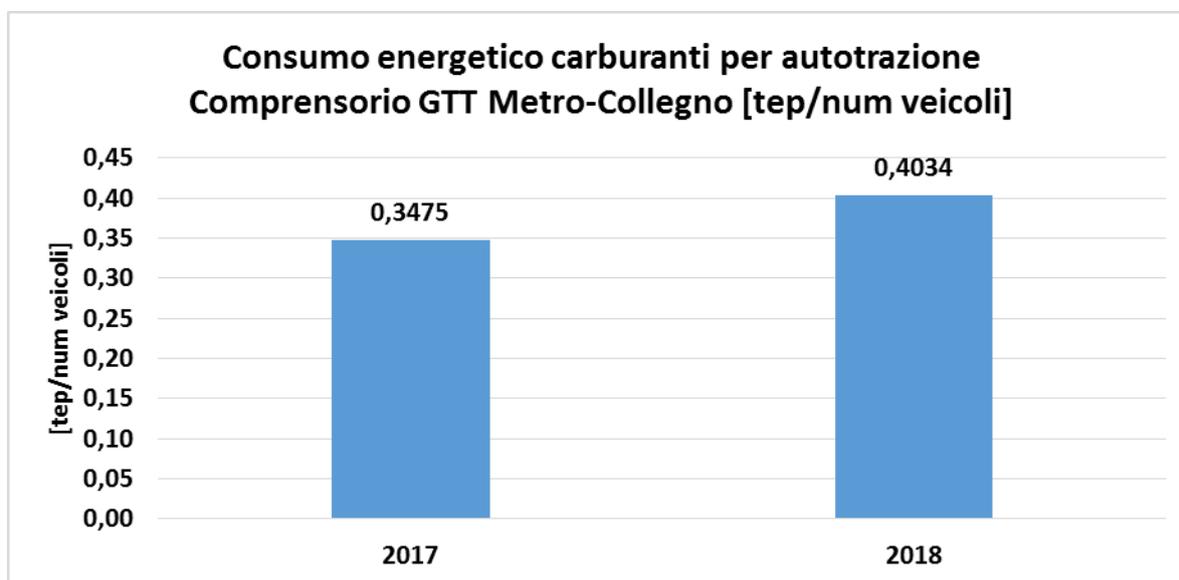


Figura 85 Indicatore energia primaria a veicolo [tep/num veicolo]

In termini di consumo di carburante per autotrazione, la baseline di riferimento relativa a questo indicatore risulta essere la media degli anni considerati, ossia un valore di circa **0,3755 tep per veicolo**. Il valore di tale indicatore risulta abbastanza costante negli anni e si nota un peggioramento dell'indicatore nel 2018 rispetto al 2017.

## 11.5 Indicatore di energia primaria su mezzi in dotazione al sito

Per quanto riguarda i consumi totali di energia primaria del sito Collegno si è individuato un unico indicatore energetico significativo, che permetta un confronto con gli altri siti di GTT:

- Consumo di energia primaria globale del sito per treno VAL del comprensorio (tep/treno VAL)

Il valore di tep di energia primaria adottato è la media dei consumi dal 2015 al 2018 per ogni vettore energetico utilizzato dal comprensorio.

Il sito di Collegno gestisce 29 treni VAL, ciascuno composto da 2 veicoli bidirezionali. La dotazione è rimasta invariata negli anni descritti da diagnosi.

Il valore dell'indicatore di baseline è di **20,1 tep per treno VAL**.

## 11.6 Tabella riassuntiva indicatori

Si riassumono in tabella 88 gli indicatori energetici calcolati nell'analisi del Sito di Collegno

| <b>Indicatore</b>                                                                                              | <b>Baseline</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Consumo di energia elettrica per metro quadrato (kWh/m <sup>2</sup> )                                          | 17,82           |
| Consumo di energia elettrica per condizionamento estivo per metro quadrato (kWh <sub>e</sub> /m <sup>2</sup> ) | 125,77          |
| Consumo di energia elettrica per condizionamento a Grado giorno estivo (kWh/GGE/m <sup>2</sup> )               | 0,303           |
| Consumo di energia primaria per autotrazione per km percorsi (tep/km)                                          | 0,00006855      |
| Consumo di energia primaria per autotrazione per auto (tep/num auto)                                           | 0,3755          |
| Consumo di energia primaria globale del sito per treno VAL afferente al comprensorio (tep/treno VAL)           | 20,1            |

**Tabella 88 Indicatori di consumo calcolati per il Sito di Collegno**

## 12. Descrizione Linea 1 Metropolitana di Torino

Il percorso della linea 1 della Metropolitana di Torino, attualmente, conta 21 stazioni. Fermi è il capolinea terminale nel comune di Collegno, Lingotto è il capolinea opposto posto nella zona sud est della città.

I treni che percorrono la tratta Lingotto-Fermi dopo l'ultima stazione vanno nel comprensorio di Collegno dov'è collocato il deposito, i treni che da Fermi vanno Lingotto, una volta arrivati al capolinea, tornano indietro sulla stessa corsia per qualche decina di metri per poi passare all'altra e iniziare il proprio servizio per la tratta Lingotto-Fermi.

La linea 1 della Metropolitana di Torino è la prima d'Italia completamente automatica e ferma ad ogni stazione per un numero preimpostato di secondi. Il suo funzionamento è guidato dai comandi inviati dal Posto di Controllo e Comando presente nel comprensorio di Collegno.

Il percorso da capolinea a capolinea è lungo 13,2 km e viene percorso in circa 25 minuti. La distanza media che intercorre tra due stazioni continue è di 500m. L'utenza della Metropolitana di Torino è in crescita continua dal giorno dell'inaugurazione nel 2006. Nel 2018 la linea 1 ha trasportato circa 42.5 milioni di passeggeri.



Figura 86 Percorso Linea 1 della Metropolitana di Torino

In sede di diagnosi si è deciso di analizzare i consumi della stazione Re Umberto poiché per dimensioni e struttura è esemplificativa per 19 stazioni metropolitane su 21 e per avere un confronto con l'audit precedente. Inoltre si è optato di analizzare i consumi della stazione di Porta Nuova poiché è la stazione che maggiormente si discosta dalle altre per dimensioni ed utenza.

|               | <b>2016</b>       | <b>2017</b>       | <b>2018</b>       |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Gennaio       | 3.407.547         | 3.422.488         | 3.645.241         |
| Febbraio      | 3.680.066         | 3.552.984         | 3.538.003         |
| Marzo         | 3.934.237         | 4.348.337         | 4.105.441         |
| Aprile        | 3.888.824         | 3.492.925         | 3.659.418         |
| Maggio        | 4.039.747         | 4.119.002         | 4.127.386         |
| Giugno        | 3.316.326         | 3.391.229         | 3.466.671         |
| Luglio        | 2.877.220         | 2.877.471         | 2.909.406         |
| Agosto        | 1.701.720         | 1.694.480         | 1.694.421         |
| Settembre     | 3.471.021         | 3.276.611         | 3.298.334         |
| Ottobre       | 3.962.890         | 4.196.158         | 4.242.359         |
| Novembre      | 4.059.548         | 4.050.109         | 4.108.534         |
| Dicembre      | 3.742.797         | 3.546.684         | 3.722.909         |
| <b>Totale</b> | <b>42.083.959</b> | <b>41.970.495</b> | <b>42.520.141</b> |

Tabella 89 Passeggeri mensili Linea 1 della Metropolitana di Torino

## 13. Descrizione dei centri di consumo

Le stazioni della linea 1 della Metropolitana di Torino sono demandate alla fermata dei treni per l'accoglienza dei passeggeri. Le principali aree di consumo energetico sono riportate nel seguito.

L'unico vettore energetico utilizzato è l'energia elettrica in quanto le stazioni non sono riscaldate.

Di seguito si riportano i livelli individuati nelle linee Guida ENEA nella struttura energetica aziendale

### **Livello A**

- Stazione GTT Re Umberto

### **Livello B – Vettori energetici**

- Energia elettrica

### **Livello C**

#### **Attività principali (legate all'attività)**

- Ascensori
- Scale mobili
- Distributori biglietti
- Tornelli

#### **Servizi ausiliari**

- Diffusione sonora
- Distributori bevande/snacks

#### **Servizi generali**

- Ventilazione
- Illuminazione
- Raffrescamento locali tecnici

## 14. Energia elettrica stazioni metro

I consumi di energia elettrica di tutte le Stazioni della Metropolitana fanno capo ai 3 punti di consegna (POD) che servono anche il Comprensorio di Collegno e i treni di linea, per i quali si hanno a disposizione le bollette.

Come già indicato per il comprensorio di Collegno togliendo dai consumi totali di energia elettrica delle bollette il 50% attribuibile alla trazione dei treni della linea Metropolitana (indicazione di GTT), si ottengono i consumi riportati in tabella 90, relativi al sito di Collegno e alle 21 stazioni della Metropolitana.

| <b>Consumi di Energia Elettrica [kWh/anno]</b> |                   |                   |                   |                   |
|------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                                                | 2015              | 2016              | 2017              | 2018              |
| <b>Totale</b>                                  | <b>17.425.823</b> | <b>15.406.628</b> | <b>16.681.691</b> | <b>16.665.093</b> |

Tabella 90 Consumi energia elettrica da bolletta si GTT di Collegno e stazioni metropolitana

Sulla base dei dati delle misure di assorbimento elettrico delle Stazioni Metro di Porta Nuova (QGBT cabina PEF PNU) e Re Umberto (QGBT cabina PEF REU), è stato possibile fare una stima dei consumi di energia di tali stazioni.

## 15. Stazione Metropolitana Re Umberto

### 15.1 Descrizione stazione Re Umberto

La stazione si colloca lungo la linea 1 tra le stazioni di Porta Nuova e di Vinzaglio da cui dista rispettivamente 437m e 671m. La stazione è sotterranea ed è ubicata all'intersezione tra Corso Vittorio Emanuele II e corso Re Umberto I. In Fig. 87 viene riportata la collocazione della stazione al di sotto del livello stradale.

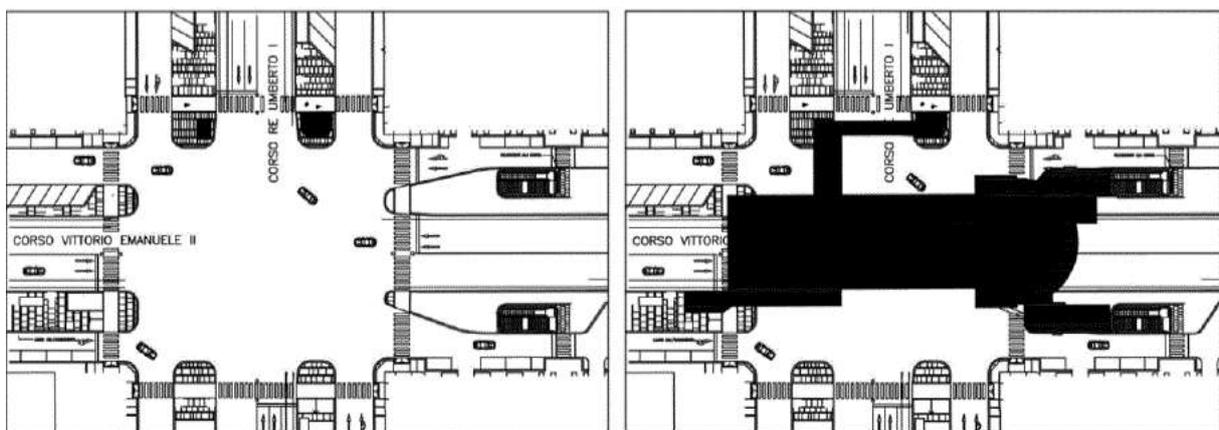


Figura 87 Collocazione sotto il livello stradale della stazione metropolitana Re Umberto

Re Umberto fa parte delle cosiddette “stazioni tipo” cioè le stazioni non dotate di interscambio con il servizio ferroviario. La stazione tipo ha una lunghezza di 60 metri e una larghezza di 19 metri. Ogni stazione tipo ha le seguenti aree:

- 1) accesso esterno
- 2) area di accesso antistante alla linea di controllo
- 3) area oltre la linea di controllo: mezzanino e circolazioni verticali
- 4) banchine e accesso ai binari

L’accesso esterno avviene tramite due ingressi dal livello strada tramite scale e scale mobili e un ingresso tramite ascensore attraverso i quali si raggiunge, percorrendo i corridoi, l’atrio antistante i tornelli.

Superati i tornelli si possono raggiungere le banchine, per accedere ai treni, attraverso due rampe di scale collegate da un piano intermedio denominato mezzanino, oppure utilizzando i due ascensori che, dall’area dell’atrio oltre i tornelli, collegano l’atrio direttamente alla banchina. Ogni banchina inoltre è dotata di una lunga scala mobile che permette di salire dall’area di accesso ai treni all’atrio.

Le quattro aree sono mostrate in Fig. 88

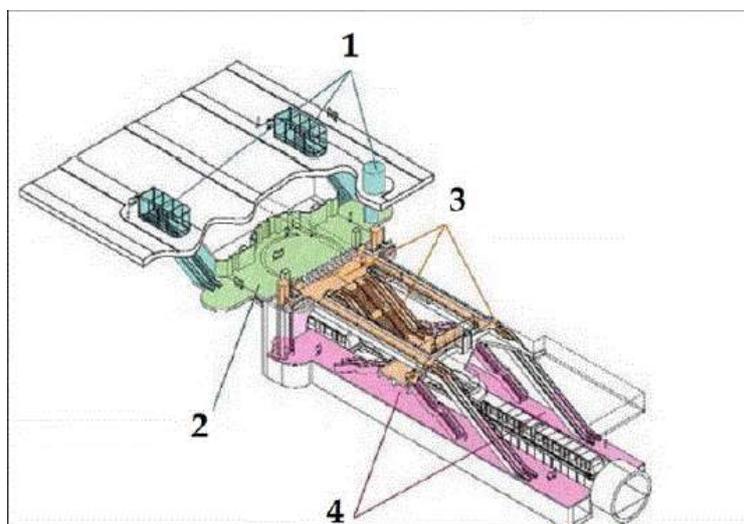


Figura 88 Vista 3D delle aree della stazione metropolitana Re Umberto

Sono presenti alcuni locali tecnici al piano atrio e altri sottobanchina con accesso consentito al solo personale autorizzato GTT.

## 16. Vettore energia elettrica

### 16.1 Energia elettrica: distribuzione e principali utenze

La rete di distribuzione elettrica che alimenta la stazione di Re Umberto proviene da due contatori posti nel sito del comprensorio di Collegno e da un contatore presente nella stazione Porta Nuova.

Come ogni stazione della metropolitana Re Umberto è fornita di due cabine, la cabina PEF per l'alimentazione delle utenze di stazione, la cabina PR per la trazione. Per quanto riguarda le utenze di stazione, la corrente in media tensione, proveniente dai punti di consegna, confluisce in due quadri di media tensione QMT1 e QMT2, collocati nella cabina PEF. I quadri di media tensione alimentano, tramite due trasformatori in ridondanza, il quadro a bassa tensione (400V/230V) QGBT che rifornisce le utenze di stazione.

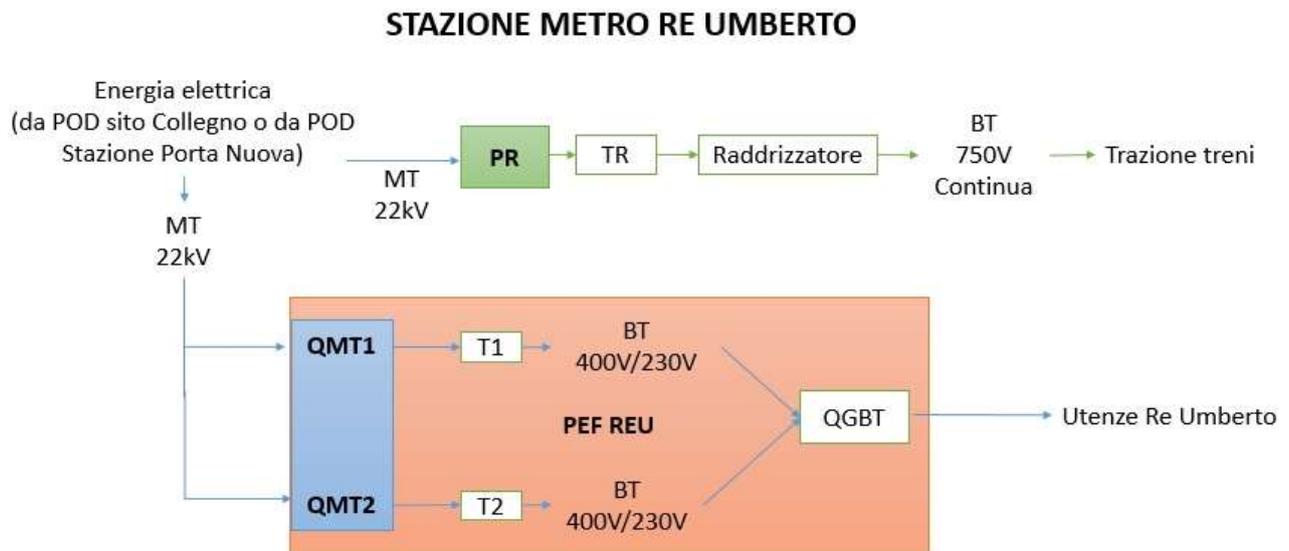


**Figura 89** Quadri di media e bassa tensione cabina PEF stazione metropolitana Re Umberto



**Figura 90** Trasformatori cabina PEF stazione metropolitana Re Umberto

Per la stazione tipo, come Re Umberto, lo schema di alimentazione elettrica è mostrato in Fig. 91



**Figura 91 Schema a blocchi sistema di distribuzione energia elettrica stazione metropolitana Re Umberto**

Il quadro di bassa tensione, suddiviso in due sezioni (QGA, QGB), alimenta tutte le utenze della stazione, ed in particolare:

- Illuminazione di stazione e del tratto di galleria tra due stazioni
- Ventilazione di stazione e di galleria
- Scale mobili
- Ascensori
- Tornelli, erogatrici biglietti e distributori di alimenti
- Condizionamento locali tecnici

Si riporta in tabella 91 l'elenco dei quadri e la relativa denominazione:

| <b>RE UMBERTO</b> |                           |                                |                   |
|-------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------|
|                   | <b>Quadro</b>             | <b>Denominazione</b>           | <b>Potenza kW</b> |
| QGA               | Q1                        | Riserva                        |                   |
|                   | Q2                        | Ventilatore pozzo 13AM         | 100               |
|                   | Q3-Q5                     | Riserva                        |                   |
|                   | Q6                        | Q ventilatore 1                | 40                |
|                   | Q7                        | Qascensore banchina 1          | 12                |
|                   | Q8                        | Q scalamobile accesso nord     | 15                |
|                   | Q9                        | Riserva                        |                   |
|                   | Q10                       | Q scalamobile mezzanino 1      | 12                |
|                   | Q11                       | Riserva                        |                   |
|                   | Q12                       | Q aggottamento stazione        | 30                |
|                   | Q13                       | Q atrio mezzanino              | 32                |
|                   | Q14                       | Q scalamobile banchina 1       | 24                |
|                   | Q15-Q16                   | Riserva                        |                   |
|                   | Q17                       | Alimentazione QA PR/PS         |                   |
|                   | Q18                       | Alimentazione UPS              | 30                |
|                   | Q19                       | Quadro Banchina/galleria via 1 | 15                |
|                   | Q20-Q21                   | Riserva                        |                   |
|                   | Q22                       | Qbat 1                         |                   |
|                   | Q23                       | QA PEF                         |                   |
|                   | Q24                       | QD UAS1                        |                   |
|                   | Q25                       | Riserva                        |                   |
|                   | Q26                       | Q ventilatore A pozzo 14AV     | 100               |
|                   | Q27-Q28                   | Riserva                        |                   |
|                   | Q29                       | Quadro Banchina/galleria via 2 | 15                |
|                   | Q30                       | Q ventilatore 2                | 40                |
| Q31               | Riserva                   |                                |                   |
| Q32               | Q ascensore banchina 2    | 12                             |                   |
| Q33               | Q ascensore acceso nord   | 12                             |                   |
| Q34               | Q scalamobile accesso sud | 15                             |                   |
| Q35               | Q scalamobile mezzanino 2 | 12                             |                   |
| Q36-Q39           | Riserva                   |                                |                   |
| Q40               | Bypass UPS                | 24                             |                   |
| Q41               | Riserva                   |                                |                   |
| Q42               | Q aggottamento linea      | 30                             |                   |
| Q43               | Q tornelli/emittitrici    | 6                              |                   |
| Q44               | QD UAS2                   |                                |                   |
| Q45               | Q scalamobile banchina 2  | 24                             |                   |
| Q46               | Qbat2                     |                                |                   |
| Q47-Q48           | Riserva                   |                                |                   |
| Q49               | Q locali tecnici          | 30                             |                   |
| QA                | Pompa antincendio 1       | 27                             |                   |
| QB                | Pompa antincendio 2       | 27                             |                   |

Tabella 91 Quadri elettrici del QGBT della stazione metropolitana Re Umberto

### 16.1.1 Illuminazione di stazione e di galleria tra due stazioni

I dati relativi al sistema di illuminazione della stazione e del tratto di galleria annessa sono stati forniti da GTT, sotto forma di tabella completi di numero e potenza delle lampade presenti.

La potenza complessiva installata è pari a circa 19,1 kW, inferiore al dato della precedente diagnosi in quanto negli anni tra 2015 e 2018 sono stati sostituiti alcuni apparecchi illuminanti con nuovi a LED. Le luci installate nella stazione sono 519. Di seguito viene riportato l'inventario dei corpi illuminanti e delle rispettive potenze.

| <b>CORPI ILLUMINANTI RE UMBERTO</b>          |                          |      |
|----------------------------------------------|--------------------------|------|
| Localione/tipologia                          | Numero corpi illuminanti | Watt |
| Soffitto circolare                           | 138                      | 20*  |
| Parete                                       | 82                       | 26   |
| Conchiglie                                   | 54                       | 29*  |
| Vision                                       | 24                       | 153  |
| Pavimento                                    | 30                       | 5    |
| Cartelli                                     | 6                        | 72   |
| Locali tecnici                               | 23                       | 36   |
| Esterno ascensore                            | 2                        | 35   |
| Esterno Country                              | 2                        | 168  |
| Esterno Palo metro                           | 2                        | 54   |
| Esterno nome stazione su scala               | 2                        | 72   |
| Corpi galleria nella tratta REU PN           | 77                       | 18   |
| Corpi galleria nella tratta REU PN emergenza | 77                       | 72   |

**Tabella 92 Corpi illuminanti stazione metropolitana Re Umberto**

\* Potenza a seguito di sostituzione con LED

### 16.1.2 Scale mobili

Nella Stazione Re Umberto sono installate 6 scale mobili. In tabella 93 vengono riportati i dati tecnici e gli assorbimenti elettrici.

| Localizzazione  | Dislivello | Potenza motore [kW] | Correnti assorbite all'avvio [A] | Corrente a regime [A] |
|-----------------|------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Banchina/Atrio  | 9,25       | 2 X 11              | 102                              | 51                    |
| Banchina/Atrio  | 9,25       | 2 X 11              | 102                              | 51                    |
| Mezzanino/Atrio | 4,45       | 11                  | 51                               | 25,5                  |
| Mezzanino/Atrio | 4,45       | 11                  | 51                               | 25,5                  |
| Atrio/Esterno   | 7,03       | 18,5                | 85                               | 41                    |
| Atrio/Esterno   | 7,08       | 18,5                | 85                               | 41                    |

**Tabella 93 Scale mobili stazione metropolitana Re Umberto**



Figura 92 Scale mobili stazione metropolitana Re Umberto

### 16.1.3 Ascensori

Nella Stazione Re Umberto sono installati 3 ascensori oleodinamici: un ascensore che dall'atrio porta in superficie e un ascensore per ognuna delle due direzioni della metropolitana che trasporta i passeggeri dalla banchina all'atrio. In tabella 94 si riportano i dati tecnici dei 3 ascensori.

| Localizzazione | Tipologia | Corsa [m] | Portata [kg] | Potenza motore [kW] | Correnti all'avvio [A] | Corrente a regime [A] |
|----------------|-----------|-----------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Banchina/Atrio | Schindler | 9,22      | 900          | 30                  | 142                    | 71                    |
| Banchina/Atrio | Schindler | 9,22      | 900          | 30                  | 142                    | 71                    |
| Atrio/Esterno  | Schindler | 7,17      | 1050         | 30                  | 142                    | 71                    |

Tabella 94 Ascensori stazione metropolitana Re Umberto



Figura 93 Ascensori stazione metropolitana Re Umberto

#### 16.1.4 Ventilatori

Ogni stazione è dotata di due ventilatori di stazione e due di pozzo per la ventilazione della galleria. Ogni ventilatore è dotato d'inverter.

I **ventilatori di stazione** hanno il compito di ricambiare l'aria e di controllare la temperatura di stazione. L'intervallo di regolazione va da una temperatura minima di 16°C ad una massima di 26°C. All'interno di questa fascia la ventilazione viene modulata per mantenere una differenza massima di temperatura tra esterno ed interno stazione al di sotto di 6°C.

I **ventilatori di pozzo** servono per il ricambio d'aria della galleria e sono stati dimensionati per far fronte alle emergenze antincendio in galleria. Pertanto il lavoro combinato dei due ventilatori di pozzo scongiura il rischio che il fumo proveniente da galleria possa raggiungere le stazioni.



Figura 94 Ventilatore di stazione della stazione metropolitana Re Umberto

### 16.1.5 Condizionamento locali tecnici

All'interno della stazione non ci sono unità di trattamento d'aria né di climatizzazione.

Le uniche aree climatizzate sono i locali tecnici dotati di condizionatori per mantenere una temperatura costante e contrastare i carichi endogeni dovuti ai quadri elettrici di stazione. I condizionatori presenti sono del tipo con unità esterna e con possibilità di funzionamento in Free-Cooling.

La potenza frigorifera totale installata presso la stazione Re Umberto è pari a 52 kWf.

| CASA        | MODELLO       | ZONA SERVITA | MATRICOLA     | TIPO REFRIGERANTE | kW | kg GAS |
|-------------|---------------|--------------|---------------|-------------------|----|--------|
| Climaveneta | HED HCAT      | UPS          | 63114CH427280 | R407C             | 6  | 2,79   |
| Climaveneta | HED HCAT 0051 | PR1          | -             | R407C             | 10 | 3,26   |
| Climaveneta | HED HCAT 0061 | PEF          | 63114CH427280 | R407C             | 16 | 6,36   |
| Climaveneta | HED HCAT 0051 | PET          | 63114CH427213 | R407C             | 10 | 3,58   |
| Climaveneta | HED HCAT 0051 | PR2          | 63114CH427291 | R407C             | 10 | 3,26   |

Tabella 95 Condizionatori locali tecnici della stazione metropolitana Re Umberto



Figura 95 Condizionatori locali tecnici della stazione metropolitana Re Umberto

## 16.2 Energia elettrica: misure spot eseguite sulle principali utenze

Le misurazioni nella stazione metropolitana Re Umberto hanno avuto luogo nella cabina PEF di stazione in due periodi diversi: le prime misure spot sono state fatte il 26 giugno 2019 nella fascia oraria tra le 11 e le 12 di mattina (periodo con scuole chiuse), il secondo campionamento di misure è stato effettuato in periodo scolastico e lavorativo, tra le 7:40 e le 9:00 del 17 settembre 2019 (orario di punta della Metropolitana).

Mediante pinza amperometrica Officine Elettriche modello 25353 si è effettuata lettura delle correnti trifase dei consumi generali di bassa tensione sul quadro QGBT: quadro generale stesso e su singole utenze dei quadri.



Figura 96 Pinza amperometrica utilizzata per le misure spot –Le Officine Elettriche 25353

Le misure effettuate sulle utenze elettriche della stazione sono soggette ad un buon margine di incertezza poiché si è registrato l'assorbimento istantaneo di ogni linea considerando le correnti equilibrate e si è fatta una media ad occhio dei tre valori osservati. I valori di potenza assunta sono frutto di un'ulteriore valutazione approssimativa poiché il valore di tensione è stato supposto costante e pari al valore nominale.

Sono state eseguite le seguenti misure sul quadro generale QGBT:

- Totale cabina sezione QGA del QGBT
- Totale cabina sezione QGB del QGBT
- Scale mobili
- Ascensori
- Ventilatori di pozzo
- Ventilatori di stazione
- Locali tecnici

I dati delle misure effettuate sono riportati nelle tabelle 96 e 97.

Misure effettuate il 26 giugno 2019.

| <b>Utenza servita</b>                                    | <b>Misura<br/>(media tre fasi)</b> | <b>Potenza<br/>assunta</b> | <b>Quadro</b> |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
|                                                          | <b>A</b>                           | <b>kW</b>                  |               |
| Scala mobile di banchina (velocità minima senza carico)  | 2                                  | 1,2                        | Q14           |
| Scala mobile di banchina (velocità massima senza carico) | 4,5                                | 2,8                        | Q14           |
| Scala mobile di banchina (assorbimento carico medio)     | 7,5                                | 4,7                        | Q14           |
| Ventilatore pozzo 1                                      | 12                                 | 7,5                        | Q2            |
| Ventilatore stazione 1                                   | 3                                  | 1,9                        | Q6            |
| Ventilatore pozzo 2                                      | 12                                 | 7,5                        | Q26           |
| Ventilatore stazione 2                                   | 5                                  | 3,1                        | Q30           |
| Ascensore                                                | 50                                 | 31,1                       | Q32           |
| Locali tecnici                                           | 20                                 | 12,5                       |               |

Tabella 96 Misure spot effettuate sul QGBT della stazione metropolitana Re Umberto il 26 giugno 2019

Misure effettuate il 17 settembre 2019.

| <b>Utenza servita</b>                                      | <b>Misura<br/>(media tre fasi)</b> | <b>Potenza<br/>assunta</b> | <b>Quadro</b> |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
|                                                            | <b>A</b>                           | <b>kW</b>                  |               |
| Scala mobile di banchina (velocità minima senza carico)    | 2                                  | 1,2                        | Q14           |
| Scala mobile di banchina (velocità massima senza carico)   | 4                                  | 2,5                        | Q14           |
| Scala mobile di banchina (assorbimento carico medio-basso) | 7                                  | 4,4                        | Q14           |
| Ventilatore pozzo 1                                        | 10                                 | 6,2                        | Q2            |
| Ventilatore stazione 1                                     | 4                                  | 2,5                        | Q6            |
| Ventilatore pozzo 2                                        | 10                                 | 6,2                        | Q26           |
| Ventilatore stazione 2                                     | 5                                  | 3,1                        | Q30           |
| Ascensore                                                  | 45                                 | 28                         | Q32           |
| QGA (T1)                                                   | 100                                | 62,3                       | QGA           |
| QGB (T2)                                                   | 80                                 | 49,8                       | QGB           |
| QGA (T1) picco                                             | 145                                | 90,3                       | QGA           |
| QGB (T2) picco                                             | 125                                | 77,9                       | QGA           |

Tabella 97 Misure spot effettuate sul QGBT PEF della stazione metropolitana Re Umberto il 17 settembre 2019

### 16.3 Energia elettrica ripartizione consumi della stazione Re Umberto

Dai rilevamenti effettuati si è potuto constatare che il carico elettrico di base della Stazione (dovuto principalmente alla ventilazione e all'illuminazione, oltre che al condizionamento dei locali tecnici) risulta in minima parte dipendente dall'utenza.

Durante le misurazioni si sono evidenziati dei picchi di carico in corrispondenza dell'arrivo dei treni alla stazione. Il picco è dovuto principalmente all'utilizzo degli ascensori e, in parte, all'incremento dei consumi delle scale mobili nei momenti di trasporto passeggeri. Per estrapolare i consumi annui globali della singola stazione si è proceduto come descritto:

- Calcolo delle ore medie giornaliere di utilizzo della stazione sulla base degli orari settimanali della metropolitana forniti da GTT
- Calcolo delle corse medie giornaliere dei treni per ogni tratta (Lingotto-Fermi e ritorno) in base alle frequenze dei treni per fasce orarie (da sito web di GTT)
- Misura della durata del carico di picco ad ogni arrivo del treno in stazione

| Ore medie giornaliere di funzionamento delle stazioni | Passaggi medi giornalieri dei treni nelle stazioni | Durata del picco di assorbimento elettrico |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>17,94 ore</b>                                      | <b>552</b>                                         | <b>15 secondi</b>                          |

Tabella 98 Dati per la stima dei consumi globali di stazione

In base alle misure effettuate è stato possibile stimare i consumi annuali di base delle stazioni della Metro.

La potenza di base, letta sul QGA e sul QGB, moltiplicata per le ore di attività giornaliere della stazione e per i giorni annuali di funzionamento ha fornito la stima del consumo di energia elettrica di base delle stazioni. Il consumo di energia elettrica di base ha valori diversi tra le ore di picco e le ore a minor passaggio di persone, la giornata quindi è stata divisa in due fasce per le quali si è riconosciuto il rispettivo carico.

Il consumo elettrico di base della Stazione risulta pari a circa **601.000 kWh/anno**.

I picchi sono stati ipotizzati sempre presenti ad ogni passaggio del treno per la stazione e si è valutato l'incremento rispetto alla base considerandolo per i 15 secondi di effettivo aumento di consumo.

Il consumo di energia elettrica dovuto ai picchi di utilizzo della stazione è pari a circa **43.700 kWh/anno**.

La ventilazione rimane in funzione 24 ore al giorno, anche al termine dell'orario di funzionamento della stazione. L'illuminazione di stazione, invece, rimane attiva anche dopo la chiusura delle stazioni per permettere le pulizie. Non essendo stato possibile contabilizzare le ore di accensione fuori orario della

stazione, si è ritenuto verosimile un ulteriore prolungamento dell'orario di utilizzo di un'ora dopo chiusura e di un'ora prima dell'apertura. Da queste valutazioni si ricavano dei consumi ulteriori che per la stazione Re Umberto sono circa **52.530 kWh/anno**.

Il consumo totale della stazione Re Umberto è stimata pari a circa **697.000 kWh/anno**.

In tabella 99 viene riportata la ripartizione dei consumi dei 3 POD del comprensorio Collegno/Metro per evidenziare il peso che ha la stazione Re Umberto sulla bolletta.

| <b>CONSUMI TOTALI [kWh/anno]</b> | <b>Consumo medio annuo</b> |
|----------------------------------|----------------------------|
| Trazione treni                   | 16.544.808                 |
| Re Umberto                       | 697.081                    |
| Le altre stazioni Metro          | 13.790.306                 |
| Sito Collegno                    | 2.057.421                  |

Tabella 99 Riassunto consumi di energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno

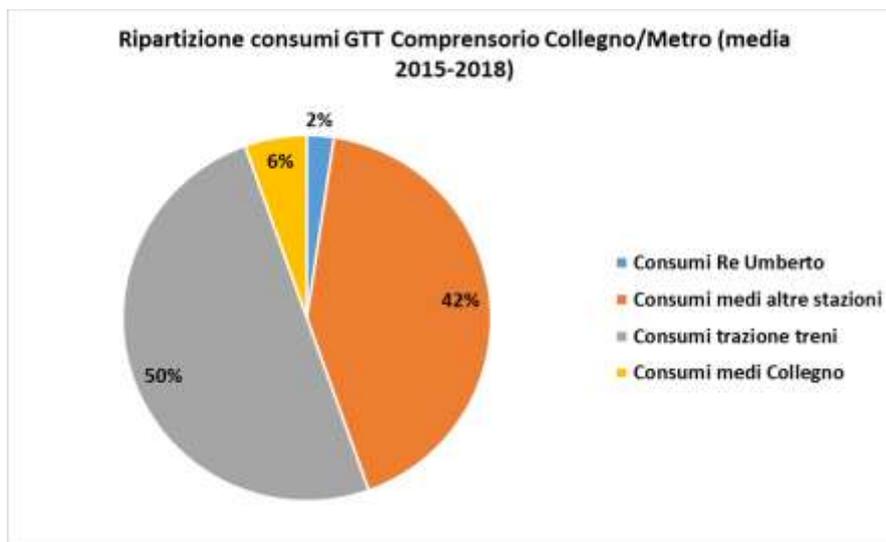


Figura 97 Ripartizione consumi di energia elettrica del comprensorio Metropolitana/Collegno

Il consumo globale della stazione è stato poi ripartito tra le principali utenze elettriche presenti in sito.

Le utenze principali sono:

- Illuminazione di stazione e di galleria
- Ascensori
- Scale mobili
- Ventilatori di pozzo e di stazione
- Tornelli, erogatrici biglietti e distributori di alimenti
- Condizionatori locali tecnici

A queste utenze si sommano i carichi dovuti alle perdite di trasformazione, all'alimentazione dei locali tecnici quali il PET e il PR, all'alimentazione dell'UPS e al sistema di videosorveglianza e diffusione sonora.

### 16.3.1 Stima del consumo di energia elettrica per illuminazione stazione e galleria

La potenza installata di 19,1 kWe comprende anche quella dei corpi della galleria d'emergenza della tratta Re Umberto-Porta Nuova che però sono per la maggior parte del tempo spenti. Tale potenza è stata trascurata nel calcolo dei consumi per illuminazione.

La potenza effettiva per il calcolo del consumo per illuminazione è stato assunto pari a circa 13,6 kWe.

Attualmente non è possibile conoscere di preciso quante ore rimanga acceso il sistema di illuminazione di Stazione, ma su indicazioni GTT si è a conoscenza che le luci rimangono accese per più ore rispetto all'orario di funzionamento delle Stazioni e cioè durante la notte per il periodo necessario all'effettuazione delle operazioni di pulizia e di manutenzione secondo programma settimanale.

Pertanto nella diagnosi è stato assunto un orario di funzionamento delle luci di Stazione pari a 20 ore al giorno per tutti i corpi illuminanti presenti, considerando le 18 ore di funzionamento della Metro più altre 2 ore per consentire le operazioni di pulizia e di eventuale manutenzione.

Il consumo per illuminazione è stato quindi stimato pari a circa **100.000 kWh/anno**.

### 16.3.2 Stima del consumo di energia elettrica degli ascensori

L'assorbimento base dell'ascensore oleodinamico, pur essendo molto basso, ha un impatto rilevante sui consumi. Per la maggior parte del tempo, infatti, gli ascensori non sono in funzione e gli elevati assorbimenti registrati nella fase di discesa e risalita sono circoscritti ad un tempo ridotto nella giornata.

Per valutare l'utilizzo degli ascensori, vista l'impossibilità di prevedere il numero di corse giornaliere, si è assunto un valore pari ad una corsa ad ogni passaggio del treno per i due ascensori che portano dalla banchina all'atrio e viceversa. Questa stima non considera le volte in cui si effettuano più corse tra un passaggio di treno e l'altro, ma allo stesso tempo sovrastima l'impiego degli ascensori nei periodi di minor utilizzo della stazione. Per quanto riguarda l'ascensore che porta dall'atrio alla superficie si sono considerate circa 400 corse giornaliere, dato medio registrato per un ascensore analogo a Marconi, stazione che per valore di utenza si avvicina molto alla realtà di Re Umberto.

Il consumo giornaliero è stato calcolato moltiplicando la potenza misurata in servizio dell'ascensore (47 A, 21 kWe) per il tempo della corsa (variabile a seconda della lunghezza del percorso) e per il numero medio di corse giornaliere valutate come scritto in precedenza. Il valore di potenza è ottenuto dalle misure in continuo su ascensore oleodinamico.

La stima del consumo annuale degli ascensori, quando sono in funzione, è stata fatta moltiplicando il consumo giornaliero per i giorni dell'anno di operabilità della stazione.

Ad esso va aggiunto il consumo base giornaliero (ad ascensore fermo) presente per tutte le ore dell'anno.

Il consumo dovuto al funzionamento degli ascensori è stato quindi stimato pari a circa **77.000 kWh/anno**.

### 16.3.3 Stima del consumo di energia elettrica delle scale mobili

Dalle misure effettuate, si è potuto constatare che le potenze di targa delle scale mobili non vengono mai raggiunte anche in situazione di pieno carico di passeggeri.

Le scale sono dotate d'inverter e la potenza viene modulata a seconda del carico di passeggeri da trasportare e a seconda della velocità della scala; le scale infatti hanno una velocità massima nel momento in cui sono utilizzate, e una velocità minima che scatta dopo circa 30 secondi dall'inizio della salita dell'ultimo passeggero trasportato. All'aumentare del carico di passeggeri, aumenta di conseguenza la potenza richiesta al motore della scala.

L'utilizzo da parte dei passeggeri delle scale mobili non è prevedibile, né può essere considerato costante.

In linea con ciò si è constatata una grande variabilità dei valori misurati di corrente assorbita con le misure spot.

Per avere una descrizione accurata della realtà è necessaria una misura in continuo (per almeno tutto l'anno) che, per essere esaustiva, dovrebbe coinvolgere ogni singola scala mobile, visto che l'utilizzo varia anche a seconda della posizione e della lunghezza della scala.

Fatte queste considerazioni, per il calcolo si è assunto un dato di assorbimento medio di potenza che coincide con il valore misurato a scala mobile scarica, ma a massima velocità.

Questa assunzione è dettata dal fatto che per la maggior parte del tempo le scale mobili vanno a velocità massima, poiché si attivano per circa 30 secondi ogni qualvolta anche un solo passeggero le utilizza.

La configurazione appena descritta corrisponde ad una potenza pari circa al 14% di quella nominale della scala mobile stessa (dato che è confermato dalle misure effettuate).

Questo valore (circa 14,4 kW totali a fronte di una potenza totale delle 6 scale mobili di circa 103 kW) è stato assunto come il consumo base delle scale mobili.

I picchi di consumo, conseguenti al trasporto dei passeggeri, hanno dei valori molto più elevati di quello base ma si verificano per un periodo molto ristretto rispetto al funzionamento totale giornaliero della scala.

Vista l'alta variabilità dei consumi di picco si è assunto un carico medio di picco che si presenta per ogni scala mobile per circa 1 minuto ad ogni passaggio del treno in stazione (in media circa 5 kWe per ogni scala mobile).

Il consumo annuo di energia elettrica complessiva delle scale mobili è stato calcolato sulla base delle precedenti assunzioni ed è risultato pari a circa **140.000 kWh/anno**.

#### 16.3.4 Stima del consumo di energia elettrica per la ventilazione

Per la valutazione dei consumi attribuibili alla ventilazione (di pozzo e di stazione) sono state effettuate delle misure per ogni singolo ventilatore e si è assunto che la potenza assorbita sia circa costante per tutto il giorno, anche negli orari di chiusura delle stazioni, per tutti i giorni dell'anno. Le misure effettuate in orari e giorni diversi hanno restituito sempre più o meno lo stesso valore.

Per una valutazione più precisa del consumo di energia elettrica per la ventilazione sarebbe necessaria una misura in continuo (per tutto l'anno) sul singolo ventilatore.

La ventilazione gioca un ruolo importante sul totale di consumi della stazione e un possibile risparmio energetico potrebbe dipendere in gran parte dalla modifica delle logiche di regolazione impostate e applicate. Il consumo di energia elettrica imputabile alla ventilazione è stimato pari a circa **164.000 kWh/anno**.

#### 16.3.5 Stima del consumo di energia elettrica per il condizionamento

Il condizionamento risente poco dei cambiamenti stagionali di temperatura esterna poiché i locali sono interrati e gli effetti della variazione di temperatura esterna sono fortemente stemperati.

La potenza nominale dei condizionatori non viene mai raggiunta nell'operazione di contrasto ai carichi termici dei locali tecnici. Si è misurata una potenza elettrica di condizionamento effettiva di circa 13 kW che risulta sufficiente per il mantenimento della temperatura nei locali tecnici.

La potenza rilevata è stata assunta costante per 24 ore al giorno. Questo è giustificabile poiché è stato registrato un valore medio che durante la giornata può avere degli incrementi o dei decrementi.

Il consumo di energia elettrica per il condizionamento dei locali tecnici è stimato pari a circa **109.000 kWh/anno**.

#### 16.3.6 Stima del consumo di energia elettrica per i tornelli e le erogatrici di biglietti

I tornelli e le erogatrici di biglietti sono alimentati dal quadro elettrico dell'atrio. I carichi sono pressoché invariati durante tutte le ore di funzionamento della stazione. Con riferimento alla potenza del quadro Q43 su QGB del QGBT pari a 6 kW si assume che l'assorbimento dell'utenza rappresentata sia circa l'80% del valore assegnato all'interruttore sul quadro. Si è stimato quindi il consumo moltiplicando tale carico per tutte le ore dell'anno, poiché è presumibile che rimangano in funzione anche negli orari di chiusura.

La stima di consumi per le utenze dell'atrio è di circa **42.000 kWh/anno**.

#### 16.3.7 Altri consumi di energia elettrica

Tra i consumi di energia elettrica della Stazione ci sono altre utenze non collegabili alle utenze principali e presenti in tutte le stazioni della linea metropolitana. I carichi ad esse collegate non sono stati misurati, perciò una quantificazione precisa non è stata possibile.

I consumi non misurati sono legati a:

- Perdite a vuoto dei trasformatori che si possono stimare da scheda tecnica. Per i trasformatori da 800 kVA sono quantificabili allo 0,3% della potenza nominale. La perdite sono presenti per tutta la vita dei trasformatori.
- Sistema di videosorveglianza delle stazioni
- Sistema di diffusione sonora delle stazioni
- Alimentazione locali tecnici PET
- Alimentazione locali tecnici PR e UPS
- Televisori di banchina e monitor
- Distributori di alimenti

Gli altri consumi di energia elettrica della stazione sono pari circa a **29.000 kWh/anno**.

### 16.3.8 Riepilogo ripartizione consumi energia elettrica stazione Re Umberto

Si riportano in tabella 100 i consumi annui elettrici, parzializzati per le principali utenze individuate precedentemente:

| Utenza elettrica                      | Consumo annuo stimato |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Illuminazione di stazione e galleria: | 101.304 kWh/anno      |
| Ascensori:                            | 76.752 kWh/anno       |
| Scale mobili:                         | 140.113 kWh/anno      |
| Ventilazione:                         | 163.672 kWh/anno      |
| Condizionamento locali tecnici:       | 109.115 kWh/anno      |
| Tornelli, erogatrici biglietti        | 42.048 kWh/anno       |
| Perdite per trasformazione            | 35.000 kWh/anno       |
| Altro                                 | 29.078 kWh/anno       |

Tabella 100 Ripartizione consumi di energia elettrica stazione Re Umberto

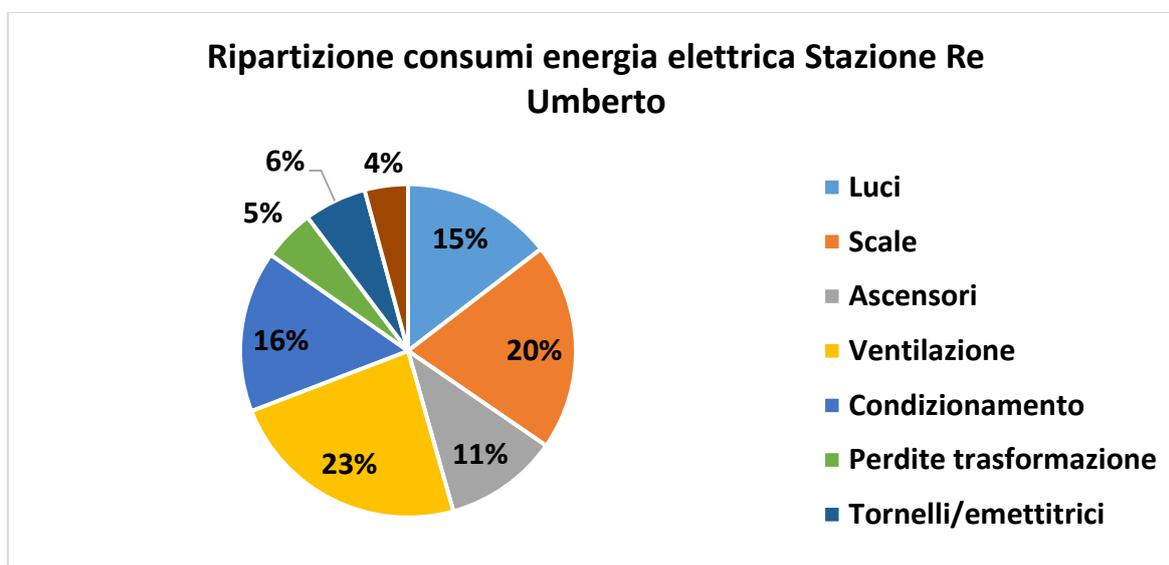


Figura 98 Ripartizione percentuale consumi energia elettrica stazione metropolitana Re Umberto

Mentre per il sito di Collegno è stato possibile ripartire i consumi di energia elettrica tra servizi generali (illuminazione, ventilazione, raffrescamento locali tecnici), attività principali e servizi ausiliari, le stazioni delle Metro dovrebbero essere considerati come ausiliari del servizio di trasporto metropolitano (intesa come attività principale).

Dal punto di vista delle aree di consumo del Sito è stato possibile ripartire i consumi di energia elettrica tra servizi generali (illuminazione, ventilazione, raffrescamento locali tecnici) e attività principali + servizi ausiliari.

Volendo però rappresentare i consumi della Stazione Re Umberto secondo la suddivisione tra servizi generali, attività principali e servizi ausiliari sono state fatte le seguenti considerazioni.

Le utenze elettriche relative alle attività principali di stazione sono quelle destinate alla fruibilità della stazione per consentire a tutti i passeggeri di entrare, uscire dalla stazione e usufruire del servizio di trasporto (ascensori, scale mobili...)

Le utenze elettriche identificabili, invece, come servizi generali sono l'illuminazione di stazione e di galleria, la climatizzazione, che è presente solo nei locali tecnici e la ventilazione, sia di stazione che di galleria.

Sono stati considerati come servizi ausiliari per le stazioni le attività a servizio della clientela come i display di atrio e banchina, i televisori di stazione, la diffusione sonora e il distributore di bevande. In questa categoria sono considerate anche le perdite di trasformazione. Non è stato possibile determinare i consumi ascrivibili alla diffusione sonora e ai distributori di alimenti essendo collegato allo stesso quadro dei tornelli.

In ogni caso il peso dei servizi ausiliari è stimabile in pochi punti percentuali.

La ripartizione dei consumi tra i settori di consumo energetico è visualizzata in Fig. 99.

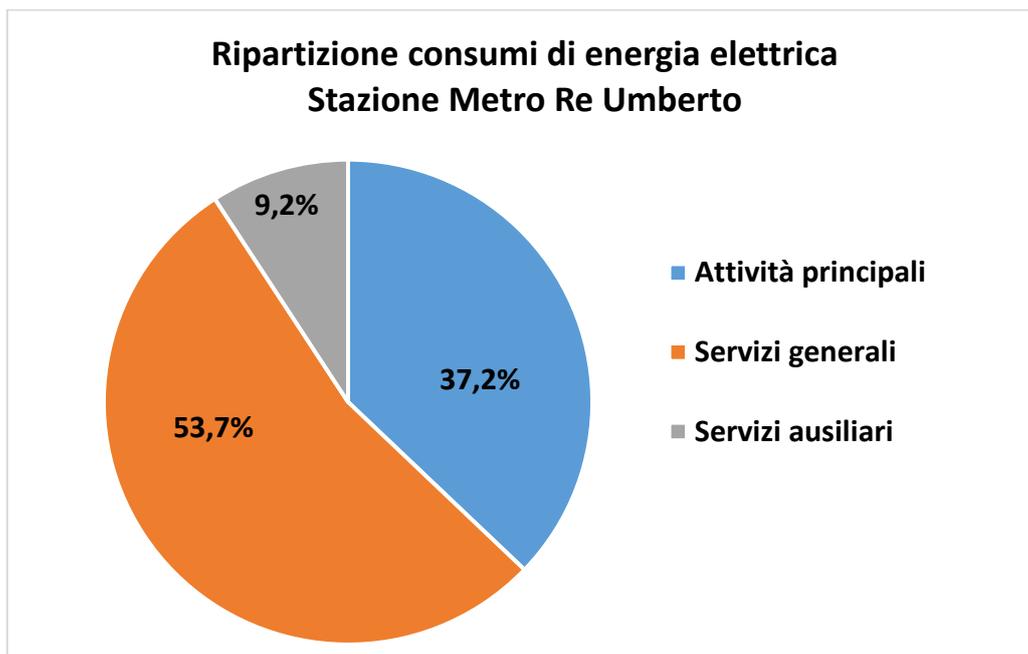


Figura 99 Ripartizione percentuale consumi di energia elettrica per settori stazione metropolitana Re Umberto

Quindi nella stazione Re Umberto i servizi generali, ossia in prevalenza, l'illuminazione e la ventilazione sono le fonti di maggior consumo ed il loro peso è superiore in assoluto (53,7%) rispetto alle altre voci.

Tra le attività principali il consumo maggiore è invece certamente ascrivibile alle scale mobili, come mostrato nella figura seguente. Esse infatti incidono per il 54,1% sul totale dei consumi delle attività principali.

Questo è dovuto alla potenza installata e al massiccio impiego di questa utenza. Nella voce tornelli rientrano anche le altre apparecchiature alimentate dal quadro dell'atrio come i distributori di alimenti e gli erogatori di biglietti.

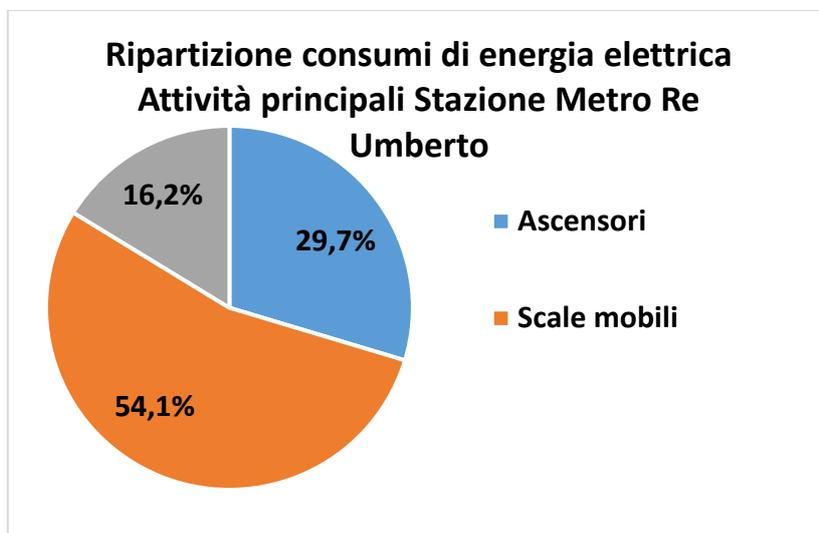


Figura 100 Ripartizione percentuale consumi di energia elettrica attività principali stazione Re Umberto

La sostituzione con apparecchiatura LED dei corpi illuminanti più energivori fa sì che il peso dei consumi per l'illuminazione non sia il maggiore. I consumi di ventilazione, quasi uguali per tutte le stazioni, rappresentano una quota importante dei consumi della stazione Re Umberto.

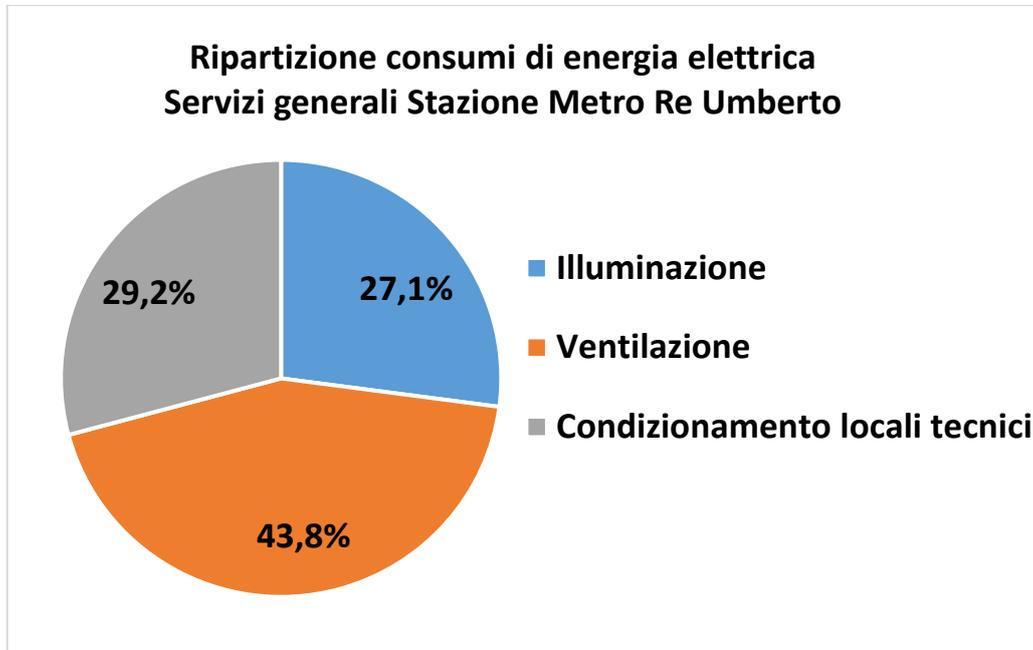


Figura 101 Ripartizione percentuale consumi di energia elettrica servizi generali stazione Re Umberto

## 17. Stazione metropolitana Porta Nuova

### 17.1 Descrizione stazione Porta Nuova

La stazione di Porta Nuova è collocata sotto il livello stradale di Corso Vittorio Emanuele II tra l'omonima stazione dei treni e Piazza Carlo Felice. È la stazione più grande tra tutte le 21 della linea 1 della Metropolitana di Torino ed è la più utilizzata, con ogni anno circa 7 milioni di passeggeri.

Le aree della stazione metropolitana di Porta Nuova sono:

- 1) Accesso esterno
- 2) Area di accesso antistante la linea di controllo (tornelli) e corridoi di accesso
- 3) Area oltre la linea di controllo (tornelli): atrio e circolazioni verticali
- 4) Banchine e accesso ai binari

Si può notare in Fig. 102 che le file di tornelli sono due, poiché alla stazione si può accedere sia dal lato di Porta Nuova sia dal lato di piazza Carlo Felice.

La stazione, oltre ai corridoi d'accesso, ha dei corridoi di comunicazione tra i due ingressi di stazione, esterni all'area compresa tra le due fila di tornelli (atrio).

A differenza delle stazioni standard Porta Nuova è sprovvista del mezzanino, il piano intermedio tra l'atrio e la banchina. I punti d'accesso alla stazione dal livello stradale sono 6, mentre le uscite sono 8.

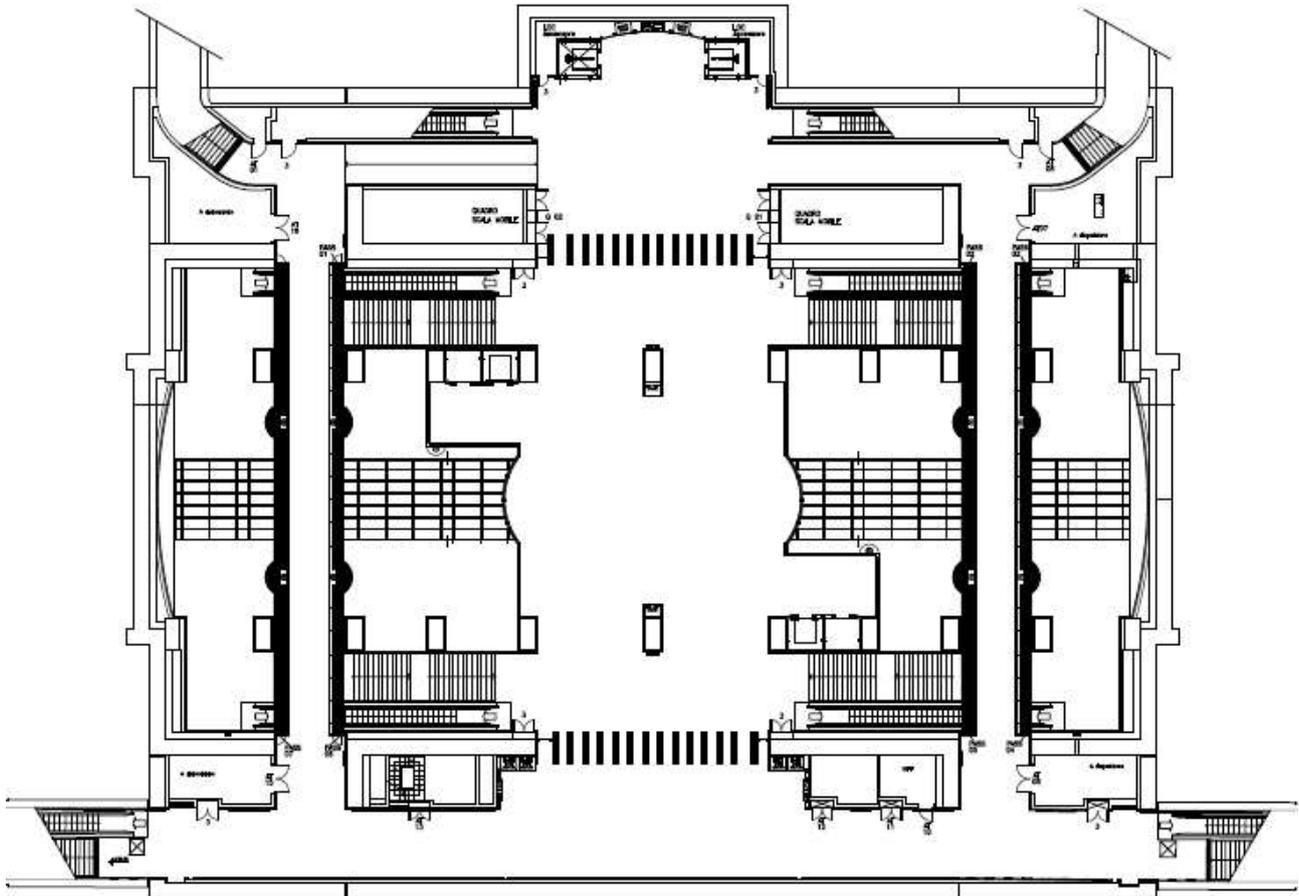


Figura 102 Pianta aerea atrio stazione metropolitana Porta Nuova

I locali tecnici, di accesso riservato al solo personale GTT autorizzato, sono collocati a livello banchina al di sotto della zona dell'atrio compresa tra le due scale che portano alla banchina per la linea Fermi-Lingotto.

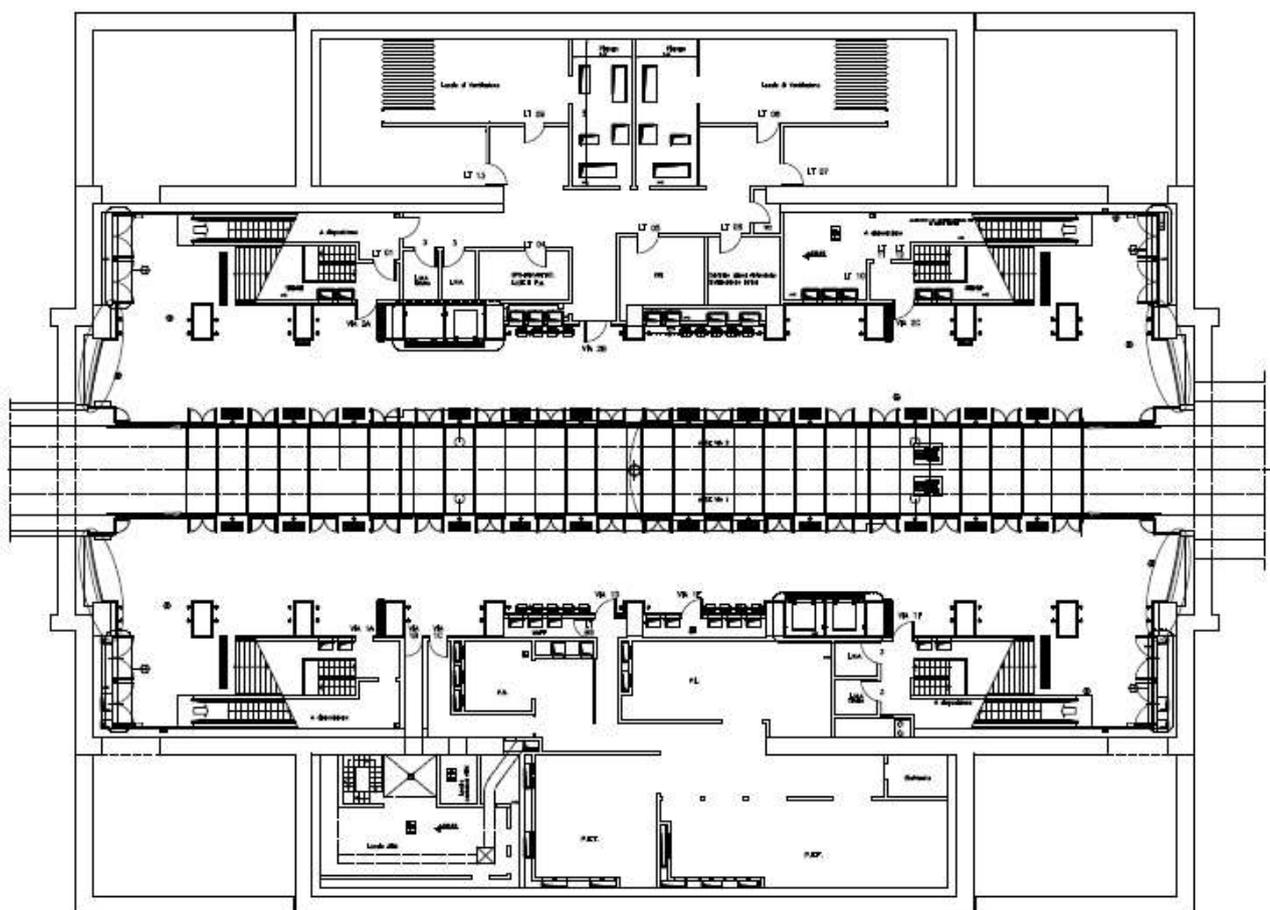


Figura 103 Pianta aerea banchina stazione metropolitana Porta Nuova

## 18. Vettore energia elettrica

### 18.1 Energia elettrica: distribuzione e principali utenze

La rete di distribuzione elettrica che alimenta la stazione di Porta Nuova proviene da due contatori posti nel sito del comprensorio di Collegno e da un contatore presente nella stessa stazione Porta Nuova. I tre POD servono nel complesso tre utenze molto differenti tra loro:

- Il comprensorio di Collegno,
- Le 21 stazioni della Metropolitana di Torino
- I treni VAL della metropolitana (trazione).

La stazione della metropolitana Porta Nuova è fornita di tre cabine, la cabina PEF per l'alimentazione delle utenze di stazione, una cabina PR per la trazione e la cabina PL dove viene consegnata l'energia elettrica in MT dalla rete nazionale.

La corrente in media tensione, proveniente dal PL, confluisce in due quadri di media tensione QMT1 e QMT2, collocati nella cabina PEF e nel quadro di MT della cabina PR della stazione. I quadri di media

tensione nella cabina PEF alimentano, tramite due trasformatori in ridondanza, il quadro a bassa tensione (400V/230V) QGBT che rifornisce le utenze di stazione. Mentre nella cabina PR, attraverso un trasformatore dedicato e un raddrizzatore, la corrente alternata viene raddrizzata a continua e alimenta, con tensione di 750V, la trazione dei treni.

La corrente in media tensione, proveniente dal PL della Stazione Porta Nuova (POD IT020E00664161) alimenta anche le altre stazioni della Metropolitana e il Sito di Collegno, insieme agli altri due punti di consegna presenti a Collegno.



Figura 104 Quadro di media e di bassa tensione cabina PEF stazione metropolitana Porta Nuova

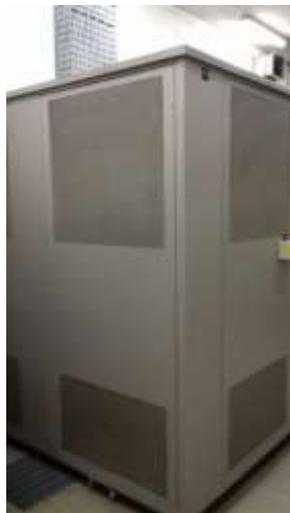


Figura 105 Trasformatore cabina PEF stazione metropolitana Porta Nuova

La stazione di Porta Nuova è l'unica della linea 1 per suo genere anche per quanto riguarda lo schema di alimentazione elettrica poiché è dotata di una cabina PL per il punto di consegna della corrente a media tensione dalla rete elettrica nazionale. In Fig. 106 si riporta lo schema di alimentazione elettrica della stazione Porta Nuova.

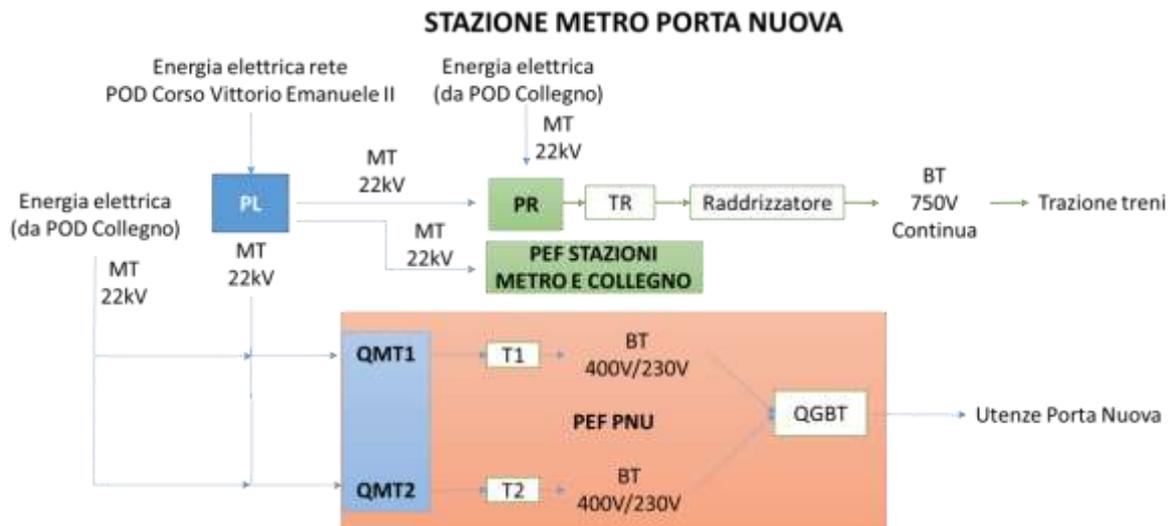


Figura 106 Schema a blocchi sistema di distribuzione energia elettrica stazione metropolitana Porta Nuova

Il quadro di bassa tensione, suddiviso in due sezioni (QGA, QGB) alimenta tutte le utenze della stazione, ed in particolare:

- Illuminazione di stazione e del tratto di galleria tra due stazioni
- Ventilazione di stazione e di galleria
- Scale mobili
- Ascensori
- Tornelli, erogatrici biglietti e distributori di alimenti
- Condizionamento locali tecnici

Si riporta in tabella 101 l'elenco dei quadri e la relativa denominazione:

| <b>PORTA NUOVA</b> |               |                                          |                   |
|--------------------|---------------|------------------------------------------|-------------------|
|                    | <b>Quadro</b> | <b>Denominazione</b>                     | <b>Potenza kW</b> |
| QGA                | QA            | Pompa antincendio 1                      | 27                |
|                    | Q1            | Quadro sottobanchina                     |                   |
|                    | Q2            | Ventilatore B pozzo 14AM                 | 100               |
|                    | Q3            | Ventilatore 1                            | 100               |
|                    | Q4            | Riserva                                  | 31                |
|                    | Q5            | Q. Atrio 1 luce/FM QA1                   | 14                |
|                    | Q6            | Riserva                                  | 14                |
|                    | Q7            | Q scalamobile 1                          | 27                |
|                    | Q8            | Q scalamobile 2                          | 27                |
|                    | Q9            | Q scalamobile 5                          | 18                |
|                    | Q10           | Q scalamobile 6                          | 18                |
|                    | Q11           | Q tornelli ed emettitrici                | 5                 |
|                    | Q12           | Q. ascensore banchina 1 QAS 5            | 14                |
|                    | Q13           | Q. ascensore banchina 1 QAS 6            | 14                |
|                    | Q14           | Q. ascensore atrio lato FS QAS3 (futuro) | 14                |
|                    | Q15           | Q banchina e galleria via 1 QBG1         | 20                |
|                    | Q16           | Q. ascensore atrio lato FS QAS4 (futuro) | 16                |
|                    | Q17           | Alimentazione UPS                        | 33                |
|                    | Q18-Q19       | Riserva                                  |                   |
|                    | Q20           | QD-UAS                                   | 7                 |
|                    | Q21           | Riserva                                  |                   |
|                    | Q22           | QA PEF                                   | 3                 |
|                    | Q23           | QBat1                                    | 21                |
|                    | Q24           | QAPS                                     | 11                |
| QGB                | Q25           | Riserva                                  |                   |
|                    | Q26           | Q ventilatore A pozzo 15AV               | 100               |
|                    | Q27           | Q ventilatore 2 stazione                 | 100               |
|                    | Q28           | Riserva                                  | 31                |
|                    | Q29           | Q ascensore banchina 2 QAS8              | 14                |
|                    | Q30           | Q atrio FM/A2                            | 14                |
|                    | Q31           | Q scala mobile 3                         | 27                |
|                    | Q32           | Q scalamobile 4                          | 27                |
|                    | Q33           | Q scalamobile 7                          | 18                |
|                    | Q34           | Q scalamobile 8                          | 18                |
|                    | Q35           | Tornelli emettitrici 2                   | 5                 |
|                    | Q36           | Q ascensore banchina 2 QAS7              | 14                |
|                    | Q37           | Q ascensore piazza C Felice QAS1         | 14                |
|                    | Q38           | Q ascensore piazza C Felice QAS2         | 14                |
|                    | Q39           | Riserva                                  | 14                |
|                    | Q40           | Q banchina e galleria via 2 QBG2         | 20                |
|                    | Q41           | Riserva                                  |                   |
|                    | Q42           | Alimentazione bypass UPS                 | 33                |
|                    | Q43           | Q pompa aggotamento stazione             | 22                |
|                    | Q44           | QCCA-C6-C7                               | 1                 |
|                    | Q45           | QCCA-C6-C7                               | 1                 |
|                    | Q46           | QD-UAS                                   | 7                 |
|                    | Q47           | QAPL                                     | 3                 |
|                    | Q48           | QBAT2                                    | 21                |

|  |     |                                                  |    |
|--|-----|--------------------------------------------------|----|
|  | Q49 | Alimentazione gruppo frigorifero condizionamento |    |
|  | QB  | Pompa antincendio 2                              | 27 |

Tabella 101 Quadri elettrici del QGBT della stazione metropolitana Porta Nuova

### 18.1.1 Illuminazione di stazione

I dati relativi al sistema di illuminazione della stazione sono stati forniti da GTT sotto forma di tabella con riportati numero e potenza delle lampade presenti.

La potenza complessiva installata nella stazione di Porta Nuova è circa 65 kW. I corpi illuminanti installati sono 921, quasi il doppio di quelli delle stazioni più piccole. In tabella 102 viene riportato l'inventario dei corpi illuminanti e della rispettiva potenza.

| <b>CORPI ILLUMINANTI PORTA NUOVA</b> |                                 |             |
|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|
| <b>Locazione/tipologia</b>           | <b>Numero corpi illuminanti</b> | <b>Watt</b> |
| Soffitto circolare                   | 278                             | 42          |
| Parete                               | 169                             | 26          |
| Conchiglie                           | 168                             | 156         |
| Vision                               | 24                              | 159         |
| Pavimento                            | 74                              | 10          |
| Cartelli                             | 6                               | 72          |
| Corridoio                            | 12                              | 50*         |
| Locali tecnici                       | 70                              | 36          |
| Tamburi                              | 76                              | 150         |
| Parete banchina                      | 18                              | 70          |
| Zona espositiva                      | 4                               | 36*         |
| Esterno ascensore                    | 4                               | 35          |
| Esterno Country                      | 6                               | 168         |
| Esterno Palo metro                   | 6                               | 54          |
| Esterno nome stazione su scala       | 6                               | 72          |

Tabella 102 Corpi illuminanti stazione metropolitana Porta Nuova

\* Potenza a seguito di sostituzione con LED

Rispetto alla Stazione Re Umberto, in questa stazione, sono state sostituite meno lampade con lampade a LED.

### 18.1.2 Scale mobili

Nella Stazione Porta Nuova sono installate 8 scale mobili. In tabella 103 sono riportati i dati tecnici e gli assorbimenti.

| Localizzazione       | Dislivello | Potenza motore [kW] | Correnti assorbite all'avvio [A] | Corrente a regime [A] |
|----------------------|------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Banchina/Atrio dir 2 | 6,15       | 15                  | 66                               | 33                    |
| Banchina/Atrio dir 1 | 6,15       | 15                  | 66                               | 33                    |
| Banchina/Atrio dir 2 | 6,15       | 15                  | 66                               | 33                    |
| Banchina/Atrio dir 1 | 6,15       | 15                  | 66                               | 33                    |
| Atrio/Esterno dir 2  | 7,79       | 18,5                | 85                               | 41                    |
| Atrio/Esterno dir 1  | 7,74       | 18,5                | 85                               | 41                    |
| Atrio/Esterno dir 2  | 8,27       | 18,5                | 85                               | 41                    |
| Atrio/Esterno dir 1  | 8,31       | 18,5                | 85                               | 41                    |

Tabella 103 Scale mobili stazione metropolitana Porta Nuova

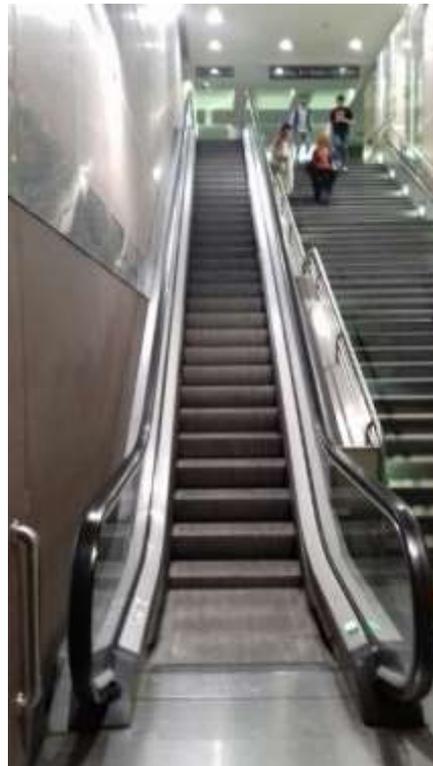


Figura 107Scala mobile stazione metropolitana Porta Nuova

### 18.1.3 Ascensori

Nell Stazione Porta Nuova sono installati 6 ascensori oleodinamici. Due ascensori dall'atrio portano in superficie in direzione Piazza Carlo Felice e due ascensori per ognuna delle due direzioni della metropolitana trasportano i passeggeri dalla banchina all'atrio. Di seguito si riportano i dati tecnici dei 6 ascensori.

| Localizzazione       | Tipologia | Corsa [m] | Portata [kg] | Potenza motore [kW] | Correnti assorbite all'avvio [A] | Corrente a regime [A] |
|----------------------|-----------|-----------|--------------|---------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Banchina/Atrio dir 1 | Schindler | 6,15      | 900          | 30                  | 142                              | 71                    |
| Banchina/Atrio dir 2 | Schindler | 6,15      | 900          | 30                  | 142                              | 71                    |
| Banchina/Atrio dir 1 | Schindler | 6,15      | 900          | 30                  | 142                              | 71                    |
| Banchina/Atrio dir 2 | Schindler | 6,15      | 900          | 30                  | 142                              | 71                    |
| Atrio/Esterno dir 2  | Schindler | 8,05      | 1050         | 30                  | 142                              | 71                    |
| Atrio/Esterno dir 1  | Schindler | 8,05      | 1050         | 30                  | 142                              | 71                    |

Tabella 104 Ascensori stazione metropolitana Porta Nuova



Figura 108 Ascensori stazione metropolitana Porta Nuova

### 18.1.3.1 Approfondimento ascensori

Mercoledì 16 ottobre 2019 si è effettuata una misura in continuo su due tipologie di ascensori OTIS installati nelle stazioni della linea 1 della metropolitana di Torino. In particolare sono stati monitorati l'ascensore oleodinamico di Porta Nuova che collega la stazione metropolitana al piano strada, lato stazione dei treni e l'ascensore elettrico della stazione metropolitana Marconi che mette in comunicazione la stazione con l'esterno. Per entrambi gli ascensori la misura in continuo è durata dal pomeriggio di mercoledì alla mattina di lunedì 21 ottobre (poco più di 4 giorni e mezzo). Entrambi gli analizzatori sono rimasti in carica per tutta la misura per garantire il funzionamento dello strumento per tutta la durata della misura.

#### 18.1.3.1.1 Misure ascensore oleodinamico di Porta Nuova

Per registrare le misure a Porta Nuova si è utilizzato l'analizzatore di rete e del consumo energetico Fluke 435 serie II. I dati sono stati accumulati con un passo temporale di un secondo, per riuscire ad apprezzare il profilo effettivo dei picchi legati alla corsa dell'ascensore.



**Figura 109** Analizzatore di rete e del consumo energetico Fluke 435 serie II installato nel PEF di Porta Nuova

Sono state misurate le correnti sulle tre fasi e sul neutro con sonde di corrente del tipo Rogowski con fondo scala da 300 A. La tensione delle tre fasi e del neutro rispetto alla terra è stata misurata su una riserva, per non dover togliere l'alimentazione all'ascensore nella fase d'installazione del misuratore.



Figura 110 Sonde di corrente elettrica di tipo Rogowski

Gli intervalli di corrente attesi sono tra l'unità e i circa 50 A. Questa grande variabilità fa sì che non si possa usare uno strumento con elevata precisione in tutto l'intervallo di valori campionati.

Le grandezze registrate sono, per ogni fase, la corrente, la tensione, la potenza attiva, la potenza reattiva, la potenza apparente, l'energia attiva, l'energia reattiva e l'energia apparente. Le correnti misurate quando l'ascensore non è in funzione non sono equilibrate, questa misura è la più soggetta all'errore dello strumento che viene stimato di circa  $\pm 0,1$  A al netto di eventuali imprecisioni delle sonde di corrente stesse.

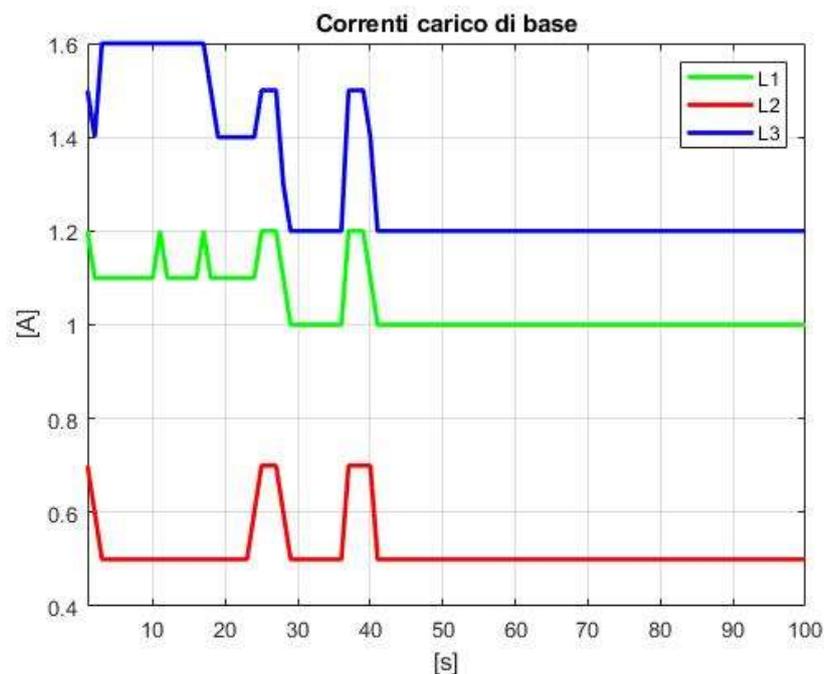


Figura 111 Correnti delle tre fasi misurate nel periodo di inattività dell'ascensore oleodinamico

Lo squilibrio rimane nella stessa misura nella fase di picco dei consumi, quando l'ascensore è in funzione. Le fasi che registrano i valori più alti durante il carico base sono le più elevate anche nella fase di consumo costante del picco.

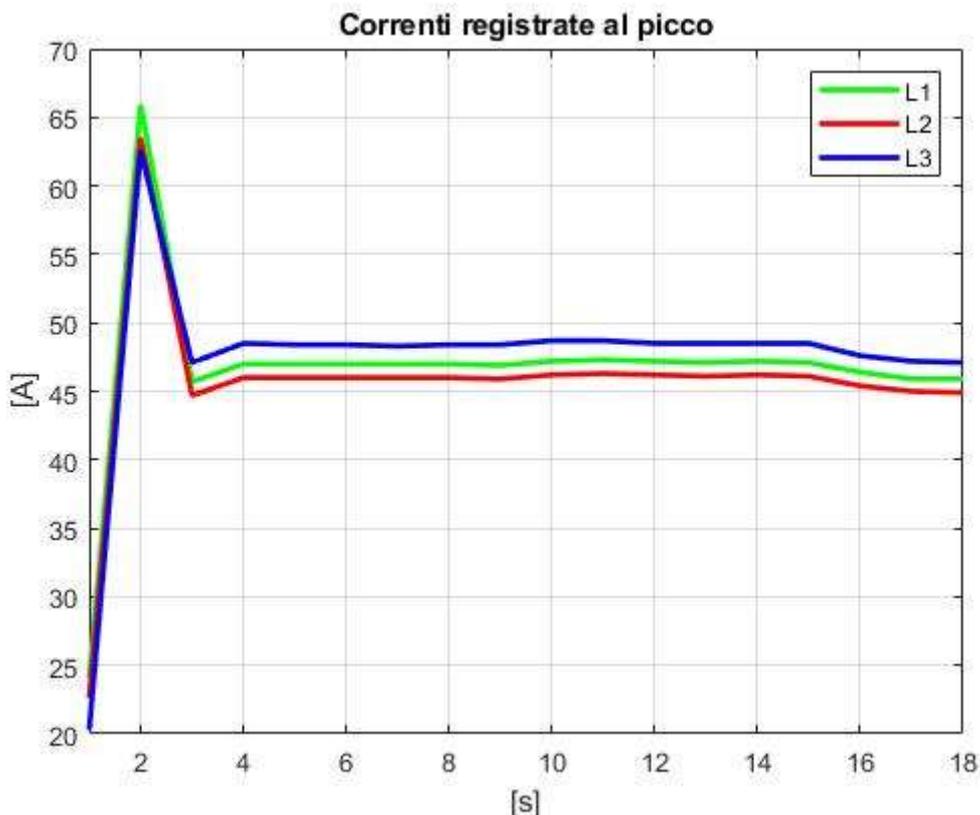


Figura 112 Correnti delle tre fasi misurate nel periodo di funzionamento dell'ascensore oleodinamico

Il quadro elettrico dell'ascensore alimenta non solamente il motore dell'ascensore ma anche altre utenze legate ad esso, come le luci dell'ascensore e della pulsantiera, la luce del locale tecnico degli ascensori (che risulta essere spenta) e la luce del pozzo dell'ascensore.

Le tensioni misurate sono simmetriche con un valore medio di circa 233 V. La potenza attiva si discosta non poco da quella apparente misurata. Questo fa dedurre che ci sia un elevato sfasamento delle correnti con le tensioni. Infatti il valore di corrente e tensione misurata equilibrato nella fase di picco è rispettivamente di circa 47 A e di 233 V. La potenza apparente che ne risulta è circa 32,5 kVA. La potenza attiva misurata invece è di circa 21 kW. Facendo il rapporto tra potenza attiva e potenza apparente si ottiene quindi un fattore di potenza di circa 0,64. In Fig. 113 lo sfasamento è ancora più evidente per i valori registrati ad ascensore fermo.

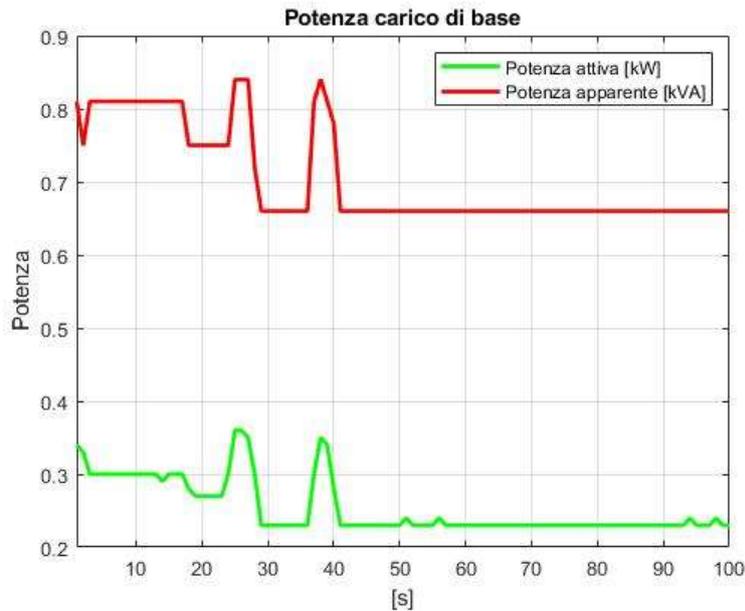


Figura 113 Potenza attiva e apparente registrate nel periodo di inattività dell'ascensore oleodinamico

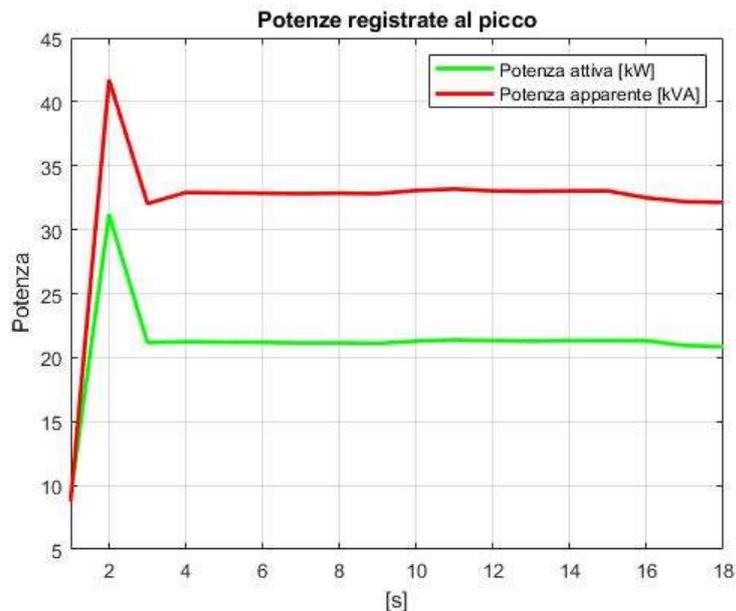


Figura 114 Potenza attiva e apparente registrate nel periodo di funzionamento dell'ascensore oleodinamico

#### 18.1.3.1.2 Misure ascensore elettrico stazione di Marconi

Per registrare le misure nella stazione Marconi si è utilizzato l'analizzatore di rete Dranetz PowerGuide® 4400. I dati sono stati accumulati con un passo temporale di un minuto a causa della memoria limitata dello strumento (128 MB). Per riuscire ad apprezzare il profilo effettivo dei picchi legati alla corsa dell'ascensore si sono compiute ulteriori misure con campionamento di un secondo per alcuni minuti nel giorno di installazione, mercoledì 16 ottobre 2019 e nel giorno di ritiro della strumentazione, lunedì 21 ottobre 2019.



**Figura 115** Analizzatore di qualità di potenza Dranetz PowerGuide® 4400 e pinze amperometriche Dranetz TR-2550A Ac Clamp-On Probe

Per la misura delle correnti sulle tre fasi e sul neutro si sono adottate delle pinze amperometriche Dranetz TR-2550 A AC Clamp-On Probe con fondo scala 100A. La tensione delle tre fasi e del neutro è stata misurata rispetto alla terra su una riserv, per non dover togliere l'alimentazione all'ascensore nella fase d'installazione del misuratore.

Le grandezze registrate sono, per ogni fase, la corrente, la tensione, la potenza attiva, la potenza reattiva, la potenza apparente, l'energia attiva, l'energia reattiva e l'energia apparente.

I valori di corrente registrati variano tra l'unità e i circa 25A. Non sapendo a priori l'intervallo di correnti assorbite misurabili si è usata una pinza amperometrica con un fondo scala molto più grande del necessario ottenendo purtroppo dei valori con un'accuratezza minore rispetto a quella ottenibile con omologa strumentazione a fondo scala più basso. La precisione della misura è affetta dalla sensibilità dell'analizzatore Dranetz PowerGuide® 4400 che introduce un errore del  $\pm 0,1\%$  della lettura a cui va aggiunto un  $\pm 0,05\%$  di accuratezza del fondo scala della pinza amperometrica stessa (1-100A). L'errore introdotto dalla pinza amperometrica Dranetz TR-2550A Ac Clamp-On Probe è del  $\pm 2\%$  per i valori nell'intervallo 1-10A e del  $\pm 1\%$  per i valori nell'intervallo 10-100A.

Le correnti misurate quando l'ascensore non è in funzione non sono equilibrate con la fase 2 attraversata da una corrente costantemente inferiore alle altre due. Come a Porta Nuova anche a Marconi è la fase 2 quella con i valori inferiori di corrente registrati.

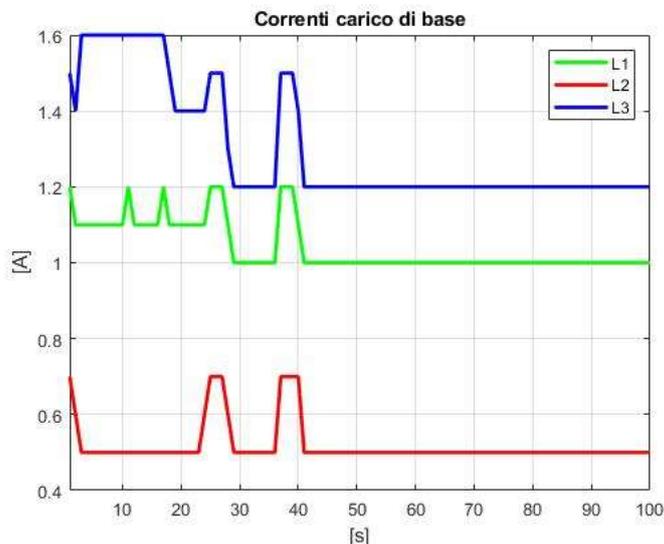


Figura 116 Correnti delle tre fasi misurate nel periodo di inattività dell'ascensore elettrico

Come si vede in Fig. 117 lo squilibrio è ancora più evidente nella fase di picco dei consumi, quando l'ascensore è in funzione. La differenza di valori di corrente registrati tra le tre fasi si dilata ulteriormente.

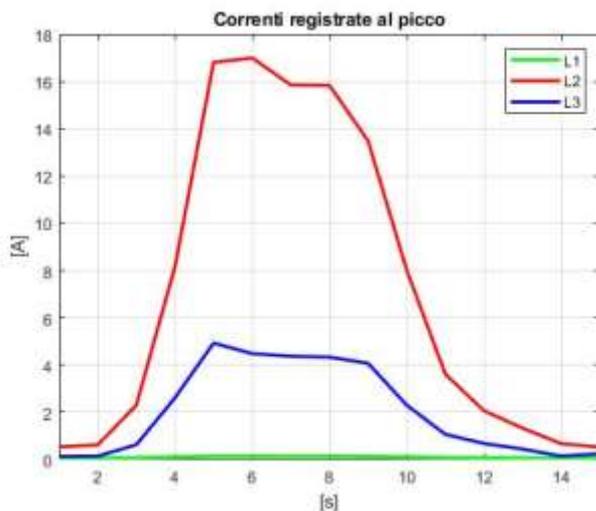


Figura 117 Correnti delle tre fasi misurate nel periodo di funzionamento dell'ascensore elettrico

Le tensioni delle diverse fasi, invece, risultano essere simmetriche con valori che oscillano tra i 235 e i 240V. Per quanto riguarda i valori della tensione l'accuratezza della misura risente della precisione dell'analizzatore Dranetz PowerGuide® 4400 che introduce un errore del  $\pm 0,1\%$  della lettura a cui va aggiunto un  $\pm 0,05\%$  di accuratezza del fondo scala dello strumento(10-600V).

Anche nel caso dell'ascensore elettrico la misura della potenza apparente si discosta molto da quella reale. Lo sfasamento è evidente sia nella fase del picco di assorbimento che nella fase di consumo base. Il fattore di potenza medio tra la fase di utilizzo dell'ascensore e quella di inattività è di circa 0,6.

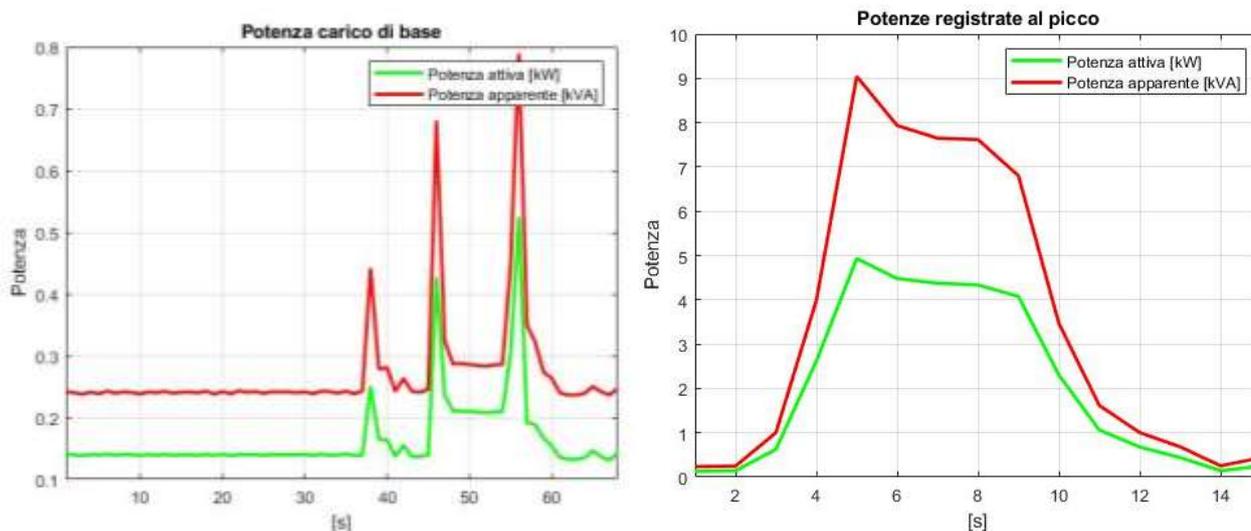


Figura 118 Potenza attiva e apparente registrate nel periodo di inattività e funzionamento dell'ascensore elettrico

### 18.1.3.1.3 Confronto tra i risultati ottenuti

Dalle misure effettuate sui due diversi ascensori si può notare che l'ascensore di tipo elettrico ha dei valori di assorbimento registrati più contenuti, sia nella fase di funzionamento che nella fase di inattività. Inoltre la potenza registrata durante la corsa dell'ascensore ha un incremento progressivo per gli elettrici, mentre gli oleodinamici presentano un picco quasi "rettangolare" con il valore massimo raggiunto allo spunto e poi un valore di picco costante che a fine corsa decresce immediatamente. Si riportano in Fig. 119 i grafici di confronto delle potenze assorbite dai due ascensori nelle rispettive fasi di funzionamento e di inattività.

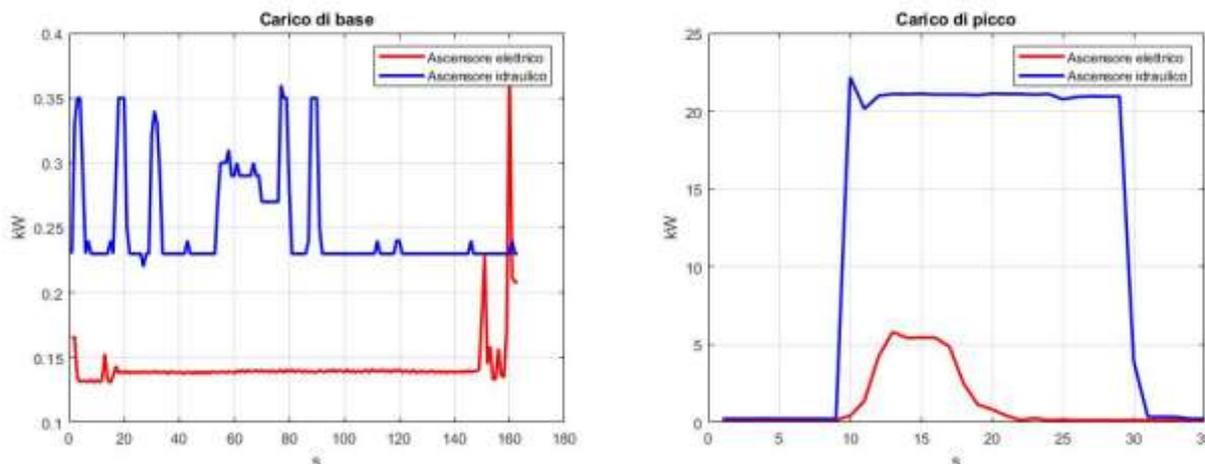


Figura 119 Confronto potenza attiva nel periodo di inattività e funzionamento delle due tipologie di ascensore

Al termine della campagna di misurazione (circa 4,7 giorni) il consumo registrato per l'ascensore oleodinamico è risultato di circa 153 kWh con un valore medio di corse giornaliere di circa 227. L'ascensore elettrico di Marconi è stato, invece, azionato per circa 400 volte al giorno e per lo stesso periodo di misure ha fatto registrare un consumo elettrico di circa 34 kWh. Il numero di corse registrate per l'ascensore della stazione di Porta Nuova risulta sensibilmente inferiore rispetto all'omologo di Marconi. Questo può essere dovuto al fatto che la stazione di Porta Nuova è provvista di 8 uscite, distribuite omogeneamente per consentire l'accesso ai portici di piazza Carlo Felice e della stazione di Porta Nuova e inoltre è dotata di un'uscita all'interno della stazione ferroviaria stessa. La grande comodità di utilizzo delle scale e scale mobili rende gli ascensori verso l'esterno meno funzionali per cui il loro utilizzo è meno appetibile per gli utenti che possono utilizzare le 8 uscite classiche, in più i passeggeri che usano l'ascensore hanno a disposizione due scelte a Porta Nuova mentre a Marconi l'ascensore che serve il piano stradale è uno solo.

Nonostante il numero di corse sia maggiore per l'ascensore elettrico i consumi registrati risultano essere decisamente inferiori rispetto all'oleodinamico o idraulico. Non bisogna trascurare però che l'ascensore di Porta Nuova ha una durata di picco di circa 20 secondi, mentre la corsa dell'ascensore elettrico di Marconi dura circa 12 secondi. La differenza della durata delle due corse è legata alla lunghezza che percorrono i due ascensori (8,05 m quello di Porta Nuova e 6,40 m quello di Marconi) dovuta alla diversa profondità rispetto al piano stradale delle due stazioni metropolitane.

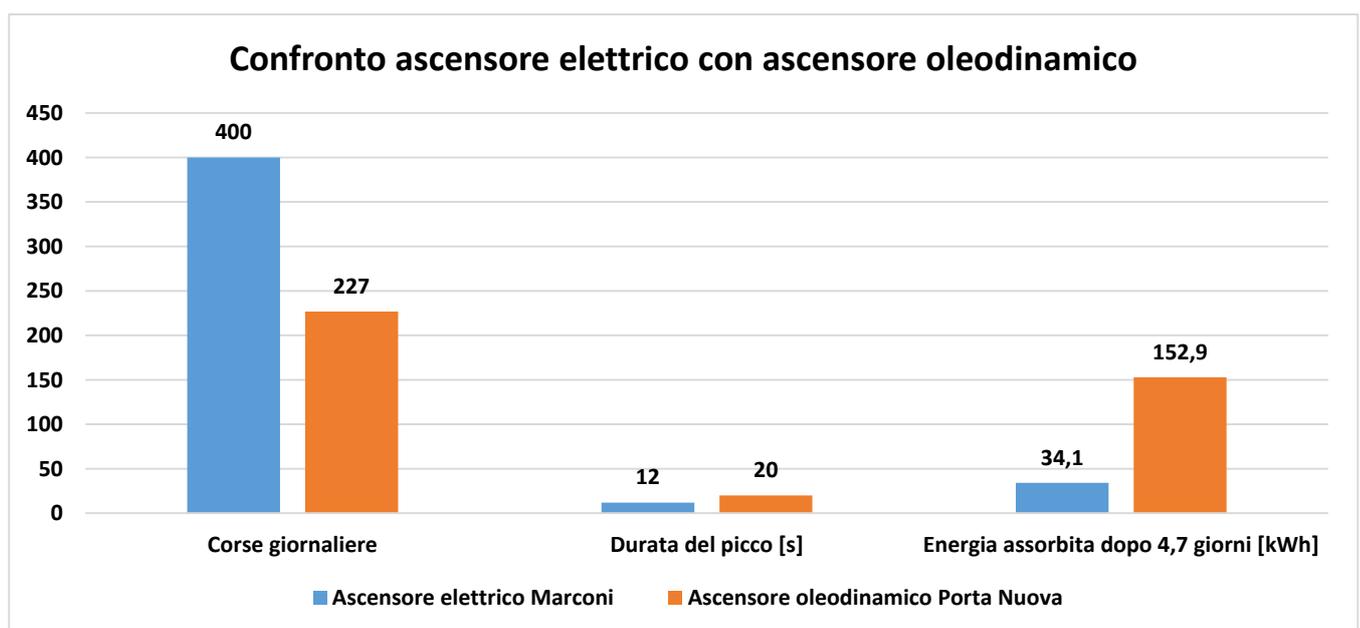


Figura 120 Riassunto confronto ascensore oleodinamico ed elettrico

Per avere un confronto di consumi di energia che riporti il numero di corse ad un valore uguale per entrambi gli ascensori si può notare in Fig. 121 che i consumi registrati per l'ascensore elettrico sono nettamente inferiori, pur sempre ricordando la minor durata della corsa registrata a Marconi rispetto a Porta Nuova. Il risultato ottenuto è riportato nella figura seguente.

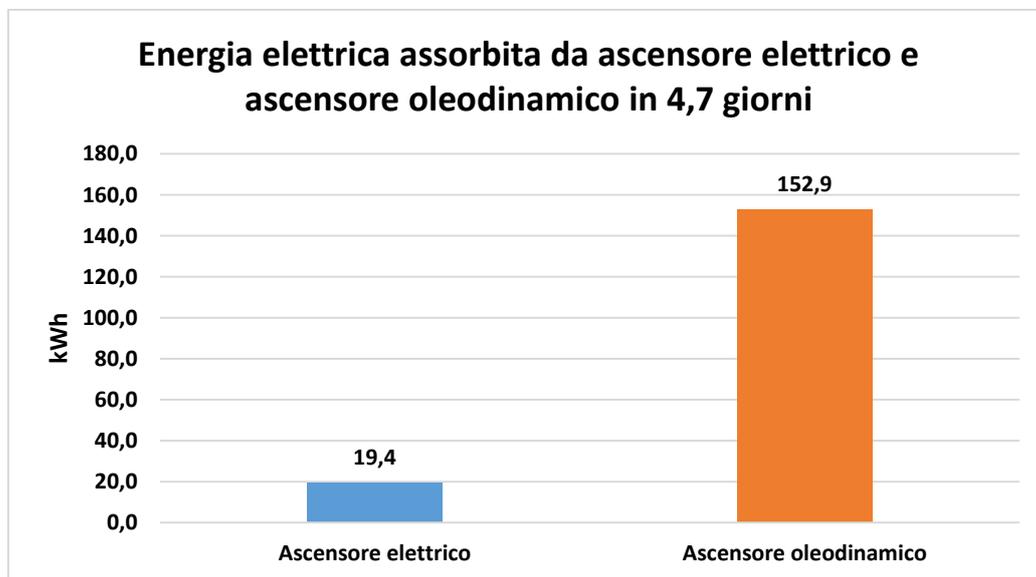


Figura 121 Confronto tra energia elettrica assorbita con stesso numero di corse

In ultima analisi si è fatta una valutazione della potenza media registrata nei circa 4,7 giorni di campionamento per entrambe le tipologie di ascensore, il risultato è riportato nel grafico in Fig. 122.

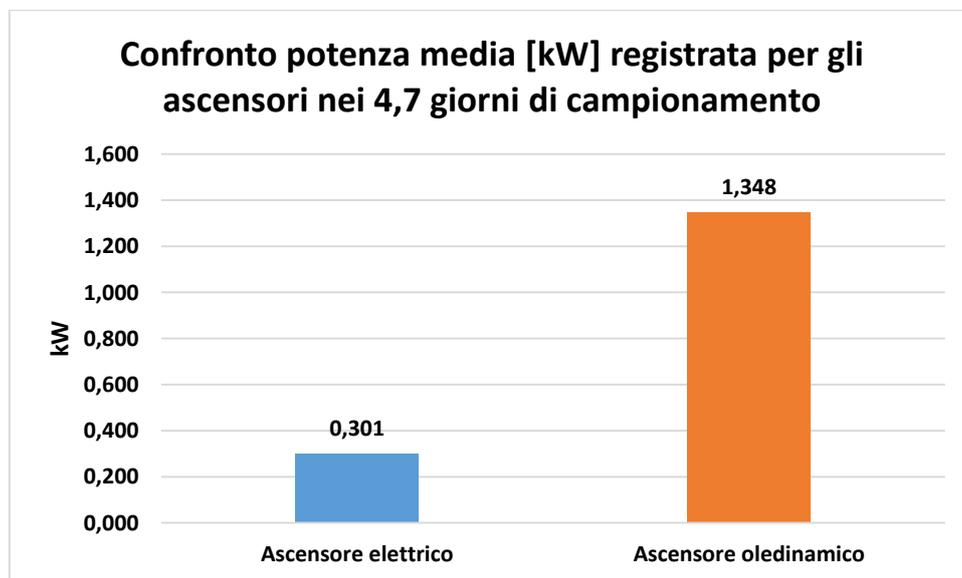


Figura 122 Confronto potenza media registrata ascensore elettrico e ascensore oleodinamico

Si può notare come l'assorbimento medio attribuibile all'ascensore elettrico sia decisamente inferiore rispetto a quello oleodinamico, in particolare i valori riportati per l'elettrico sono circa il 22% di quello oleodinamico.

#### 18.1.4 Ventilatori

Ogni stazione è dotata di due ventilatori di stazione e due di pozzo per la ventilazione della galleria. Ogni ventilatore è dotato d'inverter.

I **ventilatori di stazione** hanno il compito di ricambiare l'aria e di controllare la temperatura di stazione. L'intervallo di regolazione va da una temperatura minima di 16°C ad una massima di 26°C. All'interno di questa fascia la ventilazione viene modulata per mantenere una differenza massima di temperatura tra esterno ed interno di stazione al di sotto di 6°C.

I **ventilatori di pozzo** servono per il ricambio d'aria della galleria e sono stati dimensionati per fare fronte alle emergenze antincendio in galleria. Pertanto il lavoro combinato dei due ventilatori di pozzo scongiura il rischio che il fumo proveniente da galleria possa raggiungere le stazioni.

#### 18.1.5 Condizionamento locali tecnici

All'interno della stazione non ci sono unità di trattamento d'aria e il clima è regolato come descritto precedentemente dai ventilatori di stazione.

Le uniche aree climatizzate sono i locali tecnici che sono dotati di condizionatori per mantenere una temperatura costante e contrastare i carichi endogeni dovuti ai quadri elettrici di stazione.

Nella stazione di Porta Nuova il condizionatore a servizio dei locali tecnici è uno solo e ha potenza frigorifera installata di 73 kWf. Si riportano i dati tecnici in tabella 105.

| CASA        | MODELLO     | ZONA<br>SERVITA | MATRICOLA | TIPO<br>REFRIGERANTE | KW | KG<br>GAS |
|-------------|-------------|-----------------|-----------|----------------------|----|-----------|
| CLIMAVENETA | NECS/LN0302 | TEC             | 1023430   | R410A                | 36 | 11,2      |

Tabella 105 Condizionatori locali tecnici stazione metropolitana Porta Nuova

Il refrigeratore è del tipo con compressori rotativi di tipo Scroll.

## 18.2 Energia elettrica: misure spot eseguite sulle principali utenze

Le misure di assorbimento elettrico delle principali utenze della stazione metropolitana Porta Nuova hanno avuto luogo nella cabina PEF di stazione in due periodi diversi. Le prime misure spot sono state eseguite il 26 giugno 2019, dopo le 11 del mattino (momento non di punta con scuole chiuse), il secondo campionamento di misure è stato effettuato in periodo scolastico e lavorativo tra le 9:00 e le 10:00 del 17 settembre 2019.

La scelta della fascia oraria 9:00-10:00 è legata alla necessità di analizzare i consumi della stazione negli orari di maggiore affluenza, sapendo che la zona servita da Porta Nuova è un'area di uffici.

Mediante pinza amperometrica Officine Elettriche modello 25353 si è effettuata lettura delle correnti trifase dei consumi generali di bassa tensione sul quadro QGBT delle principali utenze elettriche: quadro generale stesso e singole utenze dei quadri.



**Figura 123** Pinza amperometrica utilizzata per le misure spot –Le Officine Elettriche 25353

Le misure effettuate sulle utenze elettriche della stazione sono soggette ad un buon margine di incertezza poiché si è registrato l'assorbimento istantaneo di ogni linea considerando le correnti equilibrate e si è fatta una media ad occhio dei tre valori osservati. I valori di potenza assunta sono frutto di un'ulteriore valutazione approssimativa poiché il valore di tensione è stato supposto costante e pari al valore nominale.

Sono state eseguite le seguenti misure sul quadro generale QGBT:

- Totale cabina sezione QGA del QGBT
- Totale cabina sezione QGB del QGBT
- Scale mobili
- Ascensori
- Ventilatori di pozzo
- Ventilatori di stazione
- Condizionamento

Le misure eseguite in data 26 giugno sono riepilogate in tabella 106.

| <b>Utenza servita</b>                                   | <b>Misura<br/>(media tre fasi)</b> | <b>Potenza<br/>assunta</b> | <b>Quadro</b> |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
|                                                         | <b>A</b>                           | <b>kW</b>                  |               |
| Scala mobile di banchina (velocità minima senza cario)  | 1,3                                | 5                          | Q10           |
| Scala mobile di banchina (velocità massima metà carico) | 7,5                                | 4,7                        | Q10           |
| Scala mobile di banchina (assorbimento medio)           | 3,5                                | 2,2                        | Q10           |
| Ventilatore di pozzo 16 AV                              | 12                                 | 7,5                        | Q26           |
| Ventilatore di pozzo 14 AM                              | 12                                 | 7,5                        | Q2            |
| Ventilatore 2 di stazione                               | 3,5                                | 2,2                        | Q27           |
| Ventilatore 1 di stazione                               | 4                                  | 2,5                        | Q3            |
| Gruppo frigo condizionamento                            | 0                                  | 0                          | Q49           |

**Tabella 106 Misure spot effettuate sul QGBT della stazione metropolitana Porta Nuova il 26 giugno 2019**

Durante la campagna di misura del 27 giugno 2019 è stata effettuata una misura sui due trasformatori di stazione da 800kVA cadauno per valutare l'assorbimento totale della cabina. Si è potuto constatare un funzionamento al 10-15% della potenza nominale, con un valore di potenza di circa 144 kW.

Le misure eseguite in data 17 settembre sono riepilogate in tabella 107.

| <b>Utenza servita</b>                | <b>Misura<br/>(media tre fasi)</b> | <b>Potenza<br/>assunta</b> | <b>Quadro</b> |
|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|---------------|
|                                      | <b>A</b>                           | <b>kW</b>                  |               |
| Scala mobile 1                       | 20                                 | 12,5                       | Q7            |
| Scala mobile 2                       | 2                                  | 1,2                        | Q8            |
| Scala mobile 3                       | 1                                  | 0,6                        | Q31           |
| Scala mobile 4                       | 4                                  | 2,5                        | Q32           |
| Scala mobile 5                       | 20                                 | 12,5                       | Q9            |
| Scala mobile 6                       | 3                                  | 1,9                        | Q10           |
| Scala mobile 7                       | 20                                 | 12,5                       | Q33           |
| Scala mobile 8                       | 4                                  | 2,5                        | Q34           |
| QGA (T1)                             | 150                                | 93,4                       | QGA           |
| QGB (T2)                             | 100                                | 62,3                       | QGB           |
| QGA (T1) picco                       | 240                                | 149,5                      | QGA           |
| QGB (T2) picco                       | 205                                | 127,7                      | QGB           |
| Ventilatore pozzo 1                  | 11                                 | 6,9                        | Q2            |
| Ventilatore stazione 1               | 4                                  | 2,5                        | Q3            |
| Ascensore 7 banchina 2 (in funzione) | 50                                 | 31,1                       | Q36           |
| Ascensore 5 banchina 1 (in funzione) | 50                                 | 31,1                       | Q12           |
| Ascensore 6 banchina 1 (in funzione) | 50                                 | 31,1                       | Q13           |

**Tabella 107 Misure spot effettuate sul QGBT della stazione metropolitana Porta Nuova il 17 settembre 2019**

Si è riscontrato un valore anomalo di consumi per le scale mobili 1, 5 e 7. Sembra che l'inverter non sia in funzione, per cui il motore non si regola in base ai passeggeri da trasportare ma funziona in continuo alla potenza nominale. Infatti la pinza amperometrica misurava sempre 20 A.

### 18.3 Energia elettrica ripartizione consumi della stazione Porta Nuova

Dai rilevamenti effettuati si è potuto constatare che il carico di base della stazione (dovuto principalmente alla ventilazione e all'illuminazione, oltre che al condizionamento dei locali tecnici) risulta sostanzialmente indipendente dall'utenza.

Durante le misurazioni si sono evidenziati dei picchi di carico in corrispondenza dell'arrivo dei treni alla stazione. Il picco è dovuto principalmente all'utilizzo degli ascensori e, in parte, all'incremento dei consumi delle scale mobili nei momenti di trasporto passeggeri. Per estrapolare i consumi annui globali della singola stazione si è proceduto come descritto:

- Calcolo delle ore medie giornaliere di utilizzo della stazione sulla base degli orari settimanali della metropolitana forniti da GTT
- Calcolo delle corse medie giornaliere dei treni per ogni tratta (Lingotto-Fermi e ritorno) in base alle frequenze dei treni per fasce orarie (da sito web di GTT)
- Misura della durata del carico di picco ad ogni arrivo del treno in stazione

| Ore medie giornaliere di funzionamento delle stazioni | Passaggi medi giornalieri dei treni nelle stazioni | Durata del picco di assorbimento elettrico |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>17,94 ore</b>                                      | <b>552</b>                                         | <b>15 secondi</b>                          |

Tabella 108 Dati per la stima dei consumi globali di stazione

In base alle misure effettuate è stato possibile stimare i consumi annuali di base delle stazioni della Metro.

Poiché il carico di base rimane pressoché costante per tutto l'anno (le misure effettuate hanno restituito sempre pressoché lo stesso valore al netto dei picchi di assorbimento), è stato possibile stimare i consumi annuali di base delle stazioni della Metro.

La potenza di base, letta dal QGA e dal QGB, moltiplicata per le ore di attività giornaliera della stazione e per i giorni annuali di funzionamento ha fornito la stima del consumo di energia elettrica di base della stazione.

Il consumo elettrico di base della Stazione Porta Nuova risulta pari a circa **1.020.000 kWh/anno**.

Il consumo di energia elettrica dovuto ai picchi di utilizzo della stazione è pari a circa **87.300 kWh/anno**.

La ventilazione rimane in funzione 24 ore al giorno, anche oltre l'orario di funzionamento della stazione.

L'illuminazione di stazione, invece, rimane attiva anche dopo la chiusura delle stazioni per permettere le

pulizie. Non essendo stato possibile contabilizzare le ore di accensione fuori orario della stazione, si è ritenuto verosimile un ulteriore prolungamento dell'orario di utilizzo di un'ora dopo chiusura e di un'ora prima dell'apertura. Da queste valutazioni si ricavano dei consumi ulteriori che per la stazione di Porta Nuova sono circa **93.300 kWh/anno**.

Il consumo totale della stazione Porta Nuova è stimata pari a circa **1.202.000 kWh/anno**.

In tabella 109 viene riportata la ripartizione dei consumi dei 3 POD del comprensorio Collegno/Metro per evidenziare il peso che ha la stazione Porta Nuova sulla bolletta.

| <b>CONSUMI TOTALI [kWh/anno]</b> | <b>Consumo medio annuo</b> |
|----------------------------------|----------------------------|
| Trazione treni                   | 16.544.808                 |
| Porta Nuova                      | 1.202.078                  |
| Le altre stazioni Metro          | 13.285.309                 |
| Sito Collegno                    | 2.057.421                  |

Tabella 109 Riassunto consumo di energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno

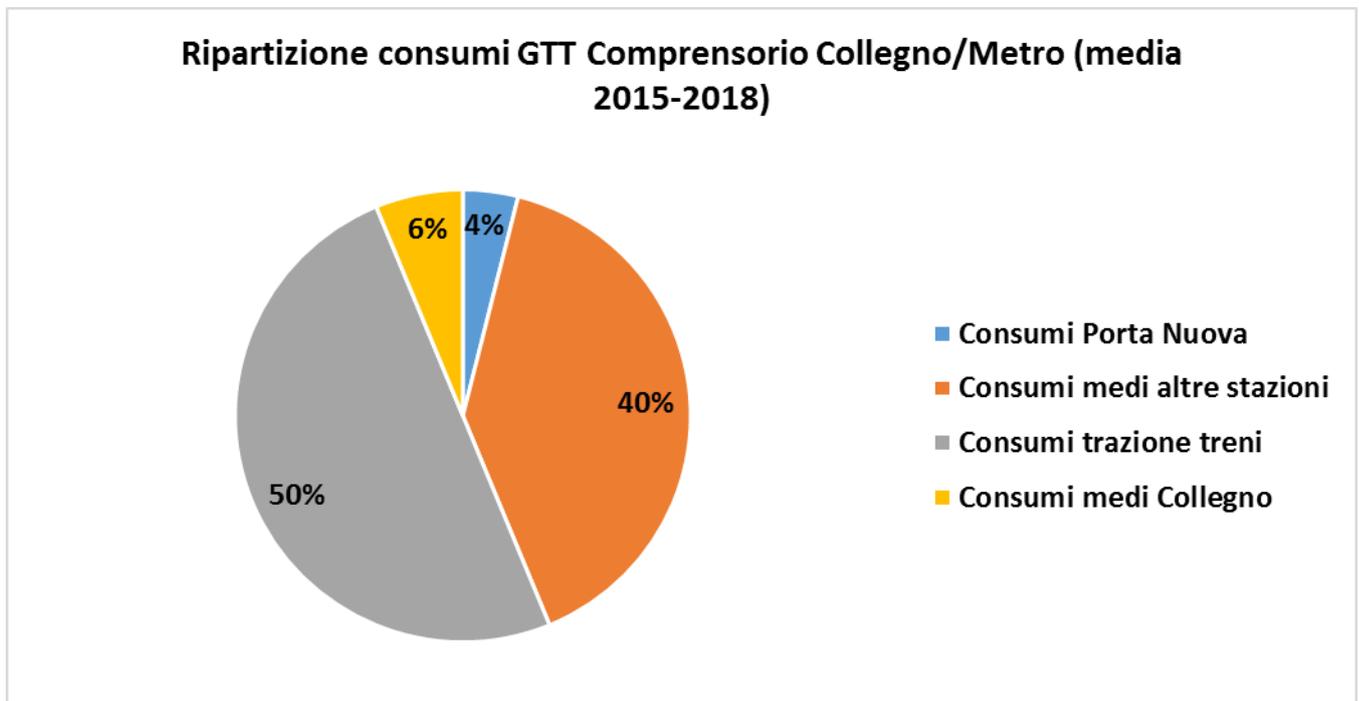


Figura 124 Ripartizione percentuale consumi energia elettrica comprensorio Metropolitana/Collegno

Il consumo globale della stazione è stato poi ripartito tra le principali utenze elettriche presenti in sito.

Le utenze principali, come anticipato, sono:

- Illuminazione di stazione e di galleria
- Ascensori
- Scale mobili
- Ventilazione di pozzo e di stazione
- Tornelli, erogatrici biglietti e distributori di alimenti
- Condizionamento locali tecnici

A queste utenze si sommano i carichi dovuti alle perdite di trasformazione, all'alimentazione dei locali tecnici quali il PET e il PR, all'alimentazione dell'UPS e al sistema di videosorveglianza e diffusione sonora.

### 18.3.1 Stima del consumo di energia elettrica per illuminazione stazione

La potenza assunta per il calcolo del consumo per illuminazione di stazione è 65 kW come dalle tabelle delle lampade fornite da GTT.

Attualmente non è possibile conoscere di preciso quante ore stia acceso il sistema di illuminazione di Stazione, ma dalle indicazioni fornite da GTT le luci rimangono accese per più ore rispetto all'orario di funzionamento delle Stazioni anche durante la notte per il periodo necessario alle operazioni di pulizia e di manutenzione.

Nella presente diagnosi è stato assunto un orario di funzionamento delle luci di Stazione di 20 ore al giorno per tutti i corpi illuminanti presenti, considerando le 18 ore di funzionamento della Metro e altre 2 ore per tenere conto che alcune sono tenute accese oltre l'orario di funzionamento delle Stazioni, per consentire le operazioni di pulizia e di eventuale manutenzione.

Il consumo per illuminazione è quindi stato stimato pari a circa **486.600 kWh/anno**.

### 18.3.2 Stima del consumo di energia elettrica degli ascensori oleodinamici

L'assorbimento base dell'ascensore, pur essendo molto basso, ha un impatto rilevante nei consumi dell'apparecchio. Questo è dovuto al fatto che, per la maggior parte del tempo, gli ascensori non sono in funzione e gli elevati assorbimenti registrati nella fase di discesa e risalita sono circoscritti ad un tempo ridotto nella giornata.

Per valutare l'utilizzo degli ascensori, vista l'impossibilità di prevedere il numero di corse giornaliere, si è assunto un valore medio di utilizzo. Gli ascensori di banchina, che nella stazione di Porta Nuova sono 4, 2 per ciascuna direzione, visto l'elevato numero di passeggeri che utilizzano la stazione sono considerati come sempre utilizzati con un verosimile dato di impiego di 3 ascensori su 4 ad ogni passaggio di treno. Questa stima non considera le volte in cui si effettuano più corse tra un passaggio di treno e l'altro, ma allo stesso tempo sovrastima l'impiego degli ascensori nei periodi di minor utilizzo della stazione. Per quanto riguarda i due ascensori di superficie si è misurato un valore medio di circa 230 corse al giorno, un valore che si discosta molto dall'impiego ipotizzato per gli altri ascensori, ma che risulta giustificato dal maggior utilizzo delle uscite tradizionali con scale e scale mobili.

Il consumo giornaliero è stato calcolato moltiplicando la potenza misurata in servizio dell'ascensore (47 A, 21 kWe) per il tempo della corsa (variabile a seconda della lunghezza del percorso) e per il numero medio di corse giornaliere valutate come scritto in precedenza. Il valore di potenza è ottenuto dalle misure in continuo su ascensore oleodinamico.

La stima del consumo annuale degli ascensori, quando in funzione, è stata fatta moltiplicando il consumo giornaliero per i giorni dell'anno di operabilità della stazione.

Il consumo imputabile agli ascensori della Stazione metropolitana di Porta Nuova è stato quindi stimato pari a circa **88.700 kWh/anno**.

### 18.3.3 Stima del consumo di energia elettrica delle scale mobili

Dalle misure effettuate, si è potuto constatare che le potenze di targa delle scale mobili non vengono mai raggiunte anche in situazione di pieno carico di passeggeri.

Le scale sono dotate d'inverter e la potenza viene modulata a seconda del carico di passeggeri da trasportare e a seconda della velocità della scala; le scale infatti hanno una velocità massima nel momento in cui sono utilizzate, e una velocità minima che scatta dopo circa 30 secondi dall'inizio della salita dell'ultimo passeggero trasportato. All'aumentare del carico di passeggeri, aumenta di conseguenza la potenza richiesta al motore della scala.

L'utilizzo delle scale mobili non è prevedibile, né si può considerare costante.

In linea con ciò si è constatata una grande variabilità dei valori di corrente assorbita misurati.

Per avere una descrizione accurata della realtà è necessaria una misura in continuo (per almeno tutto l'anno) che, per essere esaustiva, dovrebbe coinvolgere ogni singola scala mobile, visto che l'utilizzo varia anche a seconda della posizione e della lunghezza della scala.

Fatte queste considerazioni, per il calcolo si è assunto un dato di assorbimento medio di potenza che coincide con il valore misurato a scala mobile scarica, ma a massima velocità.

Questa assunzione è dettata dal fatto che per la maggior parte del tempo le scale mobili vanno a velocità massima, poiché si attivano per circa 30 secondi ogni qualvolta anche solo un passeggero le utilizza.

La configurazione appena descritta corrisponde ad una richiesta di potenza pari circa al 10% di quella nominale, valore non di molto inferiore alla stazione di Re Umberto (dato confermato dalle misure effettuate).

Questo valore (circa 10,4 kW totali a fronte di una potenza totale delle 8 scale mobili di circa 134 kW) è stato assunto come il consumo base delle scale mobili della stazione.

I picchi di consumo, conseguenti al trasporto dei passeggeri, hanno dei valori molto più elevati di quello base ma sono ascrivibili ad un periodo molto ristretto rispetto al totale di funzionamento giornaliero della scala.

Vista l'alta variabilità dei consumi di picco si è assunto un carico medio di picco che si presenta per ogni scala mobile per circa 1 minuto ad ogni passaggio del treno in stazione (in media circa 4-5 kW a seconda della scala mobile).

Il consumo annuo di energia elettrica complessiva delle scale mobili è stato calcolato sulla base delle assunzioni sopra descritte ed è risultato pari a circa **146.000 kWh/anno**.

#### 18.3.4 Stima del consumo di energia elettrica per la ventilazione

Per la valutazione dei consumi attribuibili alla ventilazione (di pozzo e di stazione) sono state effettuate delle misure per ogni singolo ventilatore e si è assunto che la potenza assorbita sia circa costante per tutto il giorno, anche negli orari di chiusura delle stazioni, per tutti i giorni dell'anno. Le misure effettuate in orari e giorni diversi hanno restituito sempre indicativamente lo stesso valore.

Per una valutazione più precisa del consumo di energia elettrica per la ventilazione sarebbe necessaria una misura in continuo (per tutto l'anno) sul singolo ventilatore.

La ventilazione gioca un ruolo importante sul totale di consumi della stazione e un risparmio energetico è molto dipendente dalle logiche di regolazione impostate e applicate.

Il consumo di energia elettrica imputabile alla ventilazione è stimato pari a circa **164.000 kWh/anno**.

#### 18.3.5 Stima del consumo di energia elettrica per il condizionamento

Il condizionamento risente poco dei cambiamenti stagionali di temperatura esterna poiché i locali sono interrati e gli effetti della variazione di temperatura esterna sono fortemente stemperati.

La potenza nominale dei condizionatori non viene mai raggiunta nell'operazione di contrasto ai carichi termici dei locali tecnici. Il condizionamento dei locali tecnici della Stazione Porta Nuova avviene con un unico gruppo frigorifero che ha un assorbimento di targa di 27 kW. Per il calcolo dei consumi si è assunta una potenza elettrica media di circa 16 kW

La potenza media assunta è stata considerata costante per 24 ore al giorno, simulando la situazione per cui il gruppo frigo durante la giornata può avere degli incrementi o dei decrementi. I locali tecnici con alti carichi endogeni vengono infatti condizionati tutto l'anno.

Il consumo di energia elettrica per il condizionamento dei locali tecnici è stimato pari a circa **142.000 kWh/anno**.

#### 18.3.6 Stima del consumo di energia elettrica per i tornelli e le erogatrici biglietti

I tornelli e le erogatrici di biglietti sono alimentati dal quadro elettrico dell'atrio. I carichi sono pressoché invariati durante tutte le ore di funzionamento della stazione. Con riferimento alla potenza del quadro Q43 su QGB del QGBT pari a 10 kW si assume che l'assorbimento dell'utenza rappresentata sia circa l'80% del valore assegnato all'interruttore sul quadro. Si è stimato quindi il consumo moltiplicando tale carico per tutte le ore dell'anno, poiché è presumibile che rimangano in funzione anche negli orari di chiusura.

La stima di consumi per le utenze dell'atrio è di circa **70.000 kWh/anno**.

### 18.3.7 Altri consumi di energia elettrica

Tra i consumi di energia elettrica della Stazione ci sono altre utenze non collegabili alle utenze principali e presenti in tutte le stazioni della linea metropolitana. I carichi ad esse collegate non sono stati misurati, perciò una quantificazione precisa non è stata possibile.

I consumi non misurati sono legati a:

- Perdite a vuoto dei trasformatori che si possono stimare da scheda tecnica. Per i trasformatori da 800 kVA sono quantificabili allo 0,3% della potenza nominale. La perdite sono presenti per tutta la vita dei trasformatori.
- Sistema di videosorveglianza delle stazioni
- Sistema di diffusione sonora delle stazioni
- Alimentazione locali tecnici PET
- Alimentazione locali tecnici PR e UPS
- Televisori di banchina e monitor
- Distributori di alimenti

Gli altri consumi di energia elettrica della stazione sono pari circa a **70.000 kWh/anno**.

### 18.3.8 Riepilogo ripartizione consumi energia elettrica stazione Porta Nuova

Si riportano in tabella 110 i consumi annui elettrici, parzializzati per le principali utenze individuate precedentemente:

| Utenza elettrica                      | Consumo annuo stimato |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Illuminazione di stazione e galleria: | 486.641 kWh/anno      |
| Ascensori:                            | 88.671 kWh/anno       |
| Scale mobili:                         | 146.288 kWh/anno      |
| Ventilazione:                         | 163.672 kWh/anno      |
| Condizionamento locali tecnici:       | 141.912 kWh/anno      |
| Tornelli, erogatrici biglietti        | 70.080 kWh/anno       |
| Perdite per trasformazione            | 35.000 kWh/anno       |
| Altro                                 | 69.814 kWh/anno       |

Tabella 110 Ripartizione consumi di energia elettrica stazione Porta Nuova

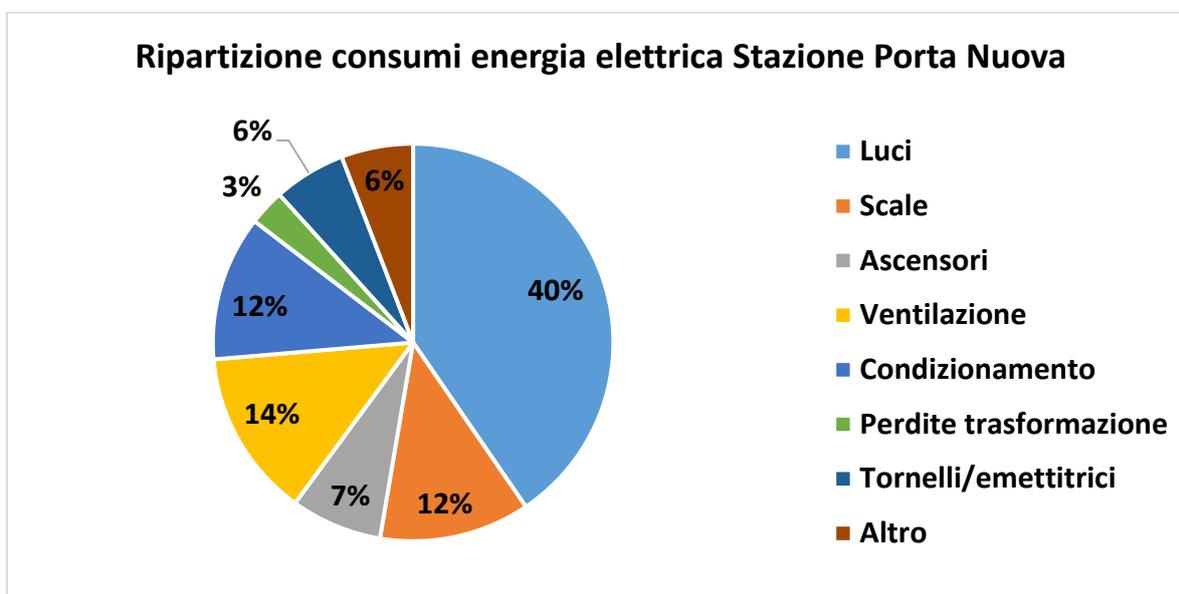


Figura 125 Ripartizione percentuale consumi di energia elettrica stazione metropolitana Porta Nuova

Risulta evidente come il principale responsabile dei consumi di energia elettrica nella stazione Porta Nuova risulti essere l'impianto di illuminazione; si consiglia un intervento di sostituzione degli apparecchi esistenti con LED.

Come indicato per la stazione Re Umberto, anche la stazione Porta Nuova dovrebbe essere considerata come ausiliaria del servizio di trasporto metropolitano (intesa come attività principale).

Volendo però rappresentare i consumi della stazione Porta Nuova secondo la suddivisione tra servizi generali, attività principali e servizi ausiliari, sono state fatte le seguenti considerazioni.

Le utenze relative alle attività principali di stazione sono quelle destinate alla fruibilità della stazione per consentire a tutti i passeggeri di entrare, uscire dalla stazione e usufruire del servizio di trasporto (ascensori, scale mobili...)

Le utenze elettriche identificabili, invece, come servizi generali sono l'illuminazione di stazione e di galleria, la climatizzazione, che è presente solo nei locali tecnici, e la ventilazione, sia di stazione che di galleria.

Sono stati considerati come servizi ausiliari per la stazione le attività a servizio della clientela come i display di atrio e di banchina, i televisori di stazione, la diffusione sonora e il distributore di bevande. In questa categoria sono considerate anche le perdite di trasformazione. Non è stato possibile determinare i consumi ascrivibili alla diffusione sonora e ai distributori di alimenti essendo collegati allo stesso quadro dei tornelli. In ogni caso il peso dei servizi ausiliari è stimabile in pochi punti percentuali.

La ripartizione dei consumi tra i settori di consumo energetico è visualizzata in Fig. 126.

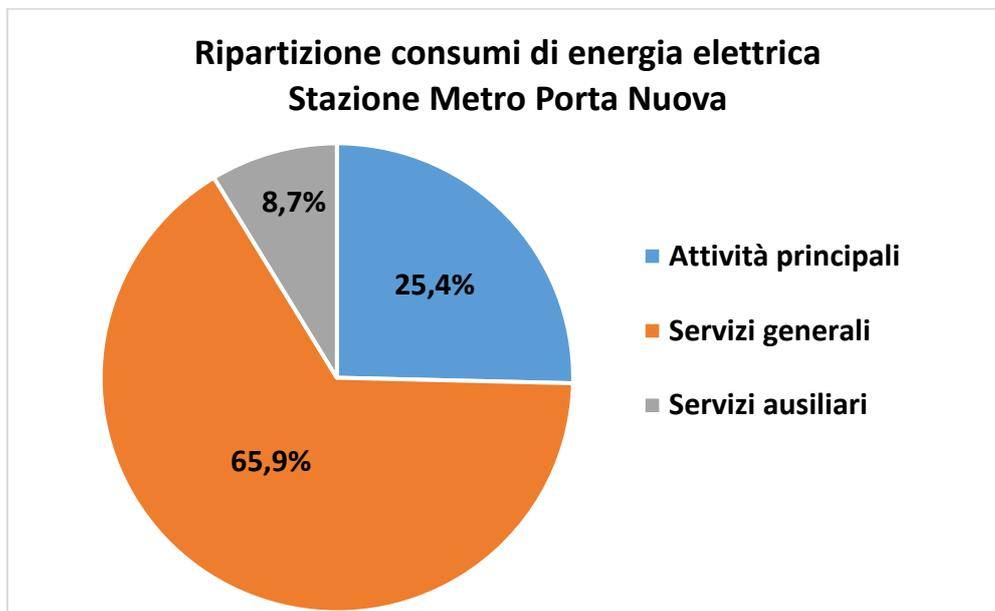


Figura 126 Ripartizione percentuale consumi di energia elettrica settori stazione Porta Nuova

Nella stazione Porta Nuova i servizi generali, ossia l'illuminazione e la ventilazione sono le fonti di consumo maggiori, il loro peso è preponderante sul totale (65,9%).

Tra le attività principali il consumo maggiore è invece certamente ascrivibile alle scale mobili, come mostrato nella figura seguente. Esse infatti incidono per il 48% sul totale dei consumi delle attività principali. Questo è dovuto alla potenza installata e al massiccio impiego di questa utenza. Nella voce tornelli rientrano anche le altre apparecchiature alimentate dal quadro dell'atrio come i distributori di alimenti e gli erogatori di biglietti.

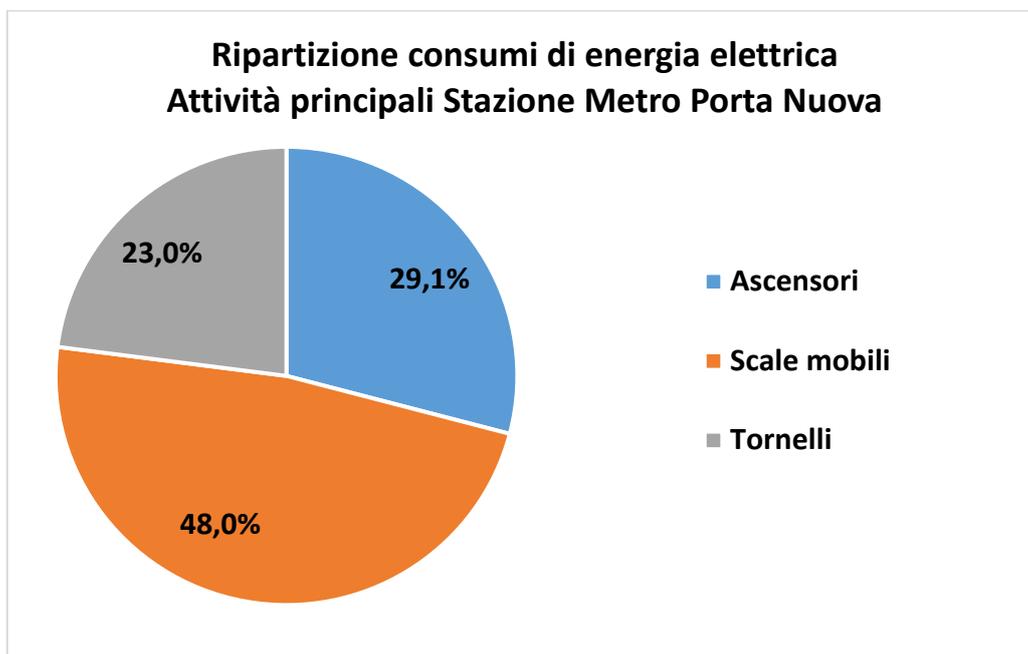


Figura 127 Ripartizione percentuale consumi di energia elettrica per attività principali stazione Porta Nuova

La stazione di Porta Nuova ha un consumo non trascurabile di tornelli e utenze dell'atrio poiché visti i due ingressi tutta la strumentazione è raddoppiata.

Data la grande dimensione della stazione e l'ingente potenza installata, i consumi per l'illuminazione sono quelli che incidono maggiormente sui consumi totali di stazione. Se già il consumo energetico imputabile alle luci è preponderante per l'intero sistema stazione, nel settore dei servizi generali il loro peso è ancora più evidente.

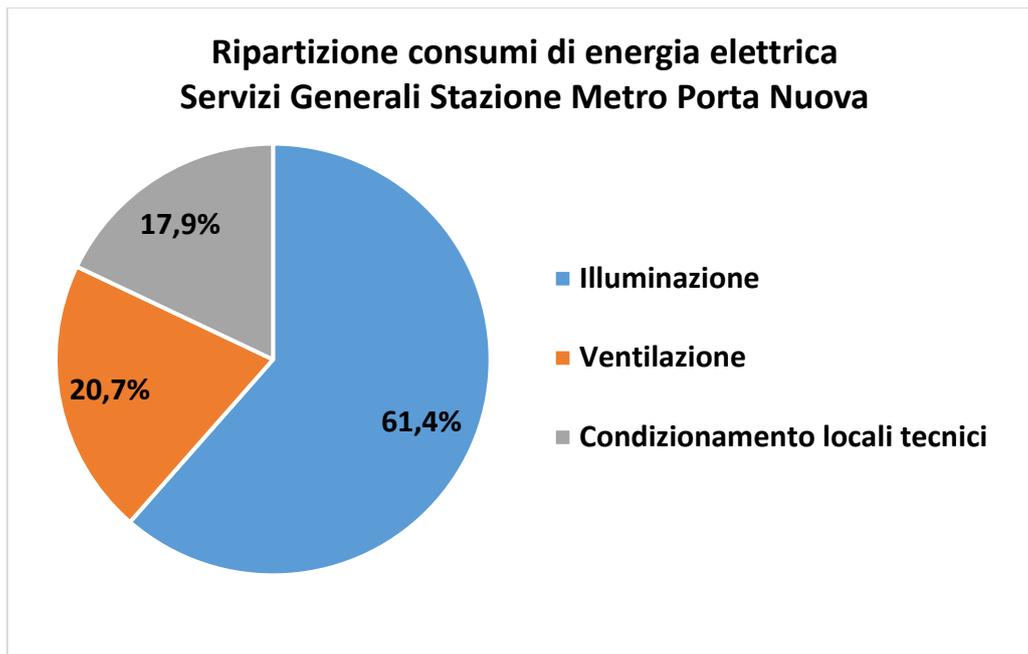


Figura 128 Ripartizione percentuale consumi di energia elettrica per servizi generali stazione Porta Nuova

A differenza del caso della stazione Re Umberto, in questa stazione sono state sostituite soltanto poche lampade e questo è il motivo per cui, per questa stazione, il consumo dovuto all'illuminazione ha un peso preponderante.

## 19. Indicatori di consumo stazioni metro e costruzione di una baseline

Le stazioni metropolitane hanno la finalità di accogliere l'utenza in attesa ed in transito. Qualsiasi indicatore energetico dovrebbe essere rapportato quindi al numero di passeggeri/anno.

Dall'analisi compiuta si può affermare come i consumi siano quasi completamente indipendenti dall'utenza, anche perché i maggior consumi della stazione sono attribuibili ai servizi generali. Pertanto, a meno di sostituzione di apparecchiature più efficienti (ad esempio LED), i consumi energetici risultano costanti negli anni e di conseguenza la spesa energetica. Mettere in relazione il consumo energetico con il numero di passeggeri della stazione può però dare indicazione sul rientro economico effettivo che garantisce la stazione al netto delle inevitabili spese di funzionamento.

Gli indicatori calcolati per l'individuazione di una baseline sono:

- consumo di energia elettrica di stazione annua per passeggero [kWh/a per passeggero]
- consumo di energia elettrica per l'illuminazione di stazione annua a metro quadrato [kWh/m<sup>2</sup>]

## 19.1 Indicatore di consumo di energia elettrica annua di stazione per passeggero

Nelle tabelle 111 e 112 si riportano i dati mensili di passeggeri delle stazioni metropolitane Re Umberto e Porta Nuova.

| <b>Numero passeggeri mensili stazione Re Umberto</b> |                  |                  |                  |                  |
|------------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                      | <b>2016</b>      | <b>2017</b>      | <b>2018</b>      | <b>Media</b>     |
| <b>MESE</b>                                          | <b>REU</b>       | <b>REU</b>       | <b>REU</b>       | <b>REU</b>       |
| <b>Gennaio</b>                                       | 113.995          | 111.944          | 120.778          | 115.572          |
| <b>Febbraio</b>                                      | 128.681          | 120.355          | 120.977          | 123.338          |
| <b>Marzo</b>                                         | 129.661          | 142.576          | 134.497          | 135.578          |
| <b>Aprile</b>                                        | 126.498          | 110.822          | 116.841          | 118.054          |
| <b>Maggio</b>                                        | 134.080          | 135.905          | 135.565          | 135.183          |
| <b>Giugno</b>                                        | 107.848          | 111.368          | 110.427          | 109.881          |
| <b>Luglio</b>                                        | 100.726          | 90.516           | 90.902           | 94.048           |
| <b>Agosto</b>                                        | 54.235           | 48.517           | 46.417           | 49.723           |
| <b>Settembre</b>                                     | 113.377          | 108.837          | 108.261          | 110.158          |
| <b>Ottobre</b>                                       | 132.667          | 132.314          | 138.680          | 134.554          |
| <b>Novembre</b>                                      | 141.497          | 130.467          | 132.369          | 134.778          |
| <b>Dicembre</b>                                      | 118.529          | 111.665          | 115.451          | 115.215          |
| <b>Totale</b>                                        | <b>1.401.794</b> | <b>1.355.286</b> | <b>1.371.165</b> | <b>1.376.082</b> |

Tabella 111 Numero passeggeri mensili stazione Re Umberto

| <b>Numero passeggeri annui stazione Porta Nuova</b> |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                                     | <b>2016</b>      | <b>2017</b>      | <b>2018</b>      | <b>Media</b>     |
| <b>MESE</b>                                         | <b>PNU</b>       | <b>PNU</b>       | <b>PNU</b>       | <b>PNU</b>       |
| <b>Gennaio</b>                                      | 547.690          | 543.782          | 592.571          | 561.348          |
| <b>Febbraio</b>                                     | 565.418          | 543.335          | 560.757          | 556.503          |
| <b>Marzo</b>                                        | 606.049          | 673.282          | 655.596          | 644.976          |
| <b>Aprile</b>                                       | 602.842          | 562.569          | 600.132          | 588.514          |
| <b>Maggio</b>                                       | 612.679          | 635.493          | 657.218          | 635.130          |
| <b>Giugno</b>                                       | 519.886          | 535.142          | 567.178          | 540.735          |
| <b>Luglio</b>                                       | 469.913          | 480.175          | 489.056          | 479.715          |
| <b>Agosto</b>                                       | 301.585          | 304.509          | 309.437          | 305.177          |
| <b>Settembre</b>                                    | 557.595          | 522.239          | 545.117          | 541.650          |
| <b>Ottobre</b>                                      | 614.158          | 665.394          | 674.955          | 651.502          |
| <b>Novembre</b>                                     | 622.491          | 649.124          | 683.204          | 651.606          |
| <b>Dicembre</b>                                     | 640.049          | 623.278          | 667.576          | 643.634          |
| <b>Totale</b>                                       | <b>6.660.355</b> | <b>6.738.322</b> | <b>7.002.797</b> | <b>6.800.491</b> |

Tabella 112 Numero passeggeri mensili stazione Porta Nuova

Nei grafici in Fig. 129 e 130 sono mostrati i valori dell'indicatore di prestazione considerato [kWh/passeggero], per gli anni 2016, 2017, 2018, dal quale si evince una minima variabilità per entrambe le Stazioni Metro oggetto di diagnosi.

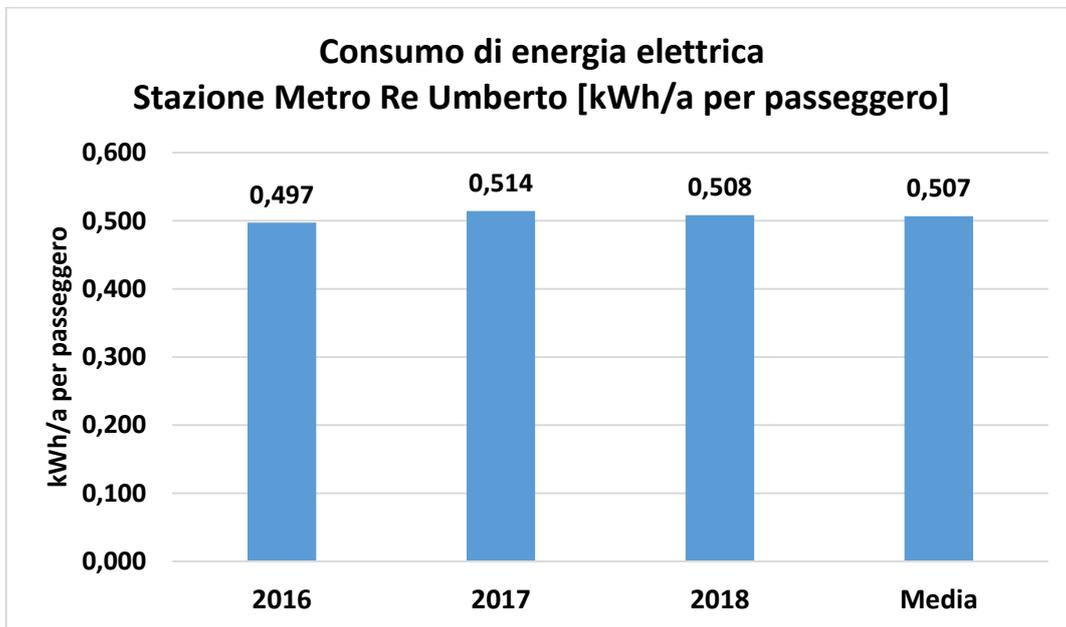


Figura 129 Indicatore consumo di energia elettrica a passeggero stazione Re Umberto

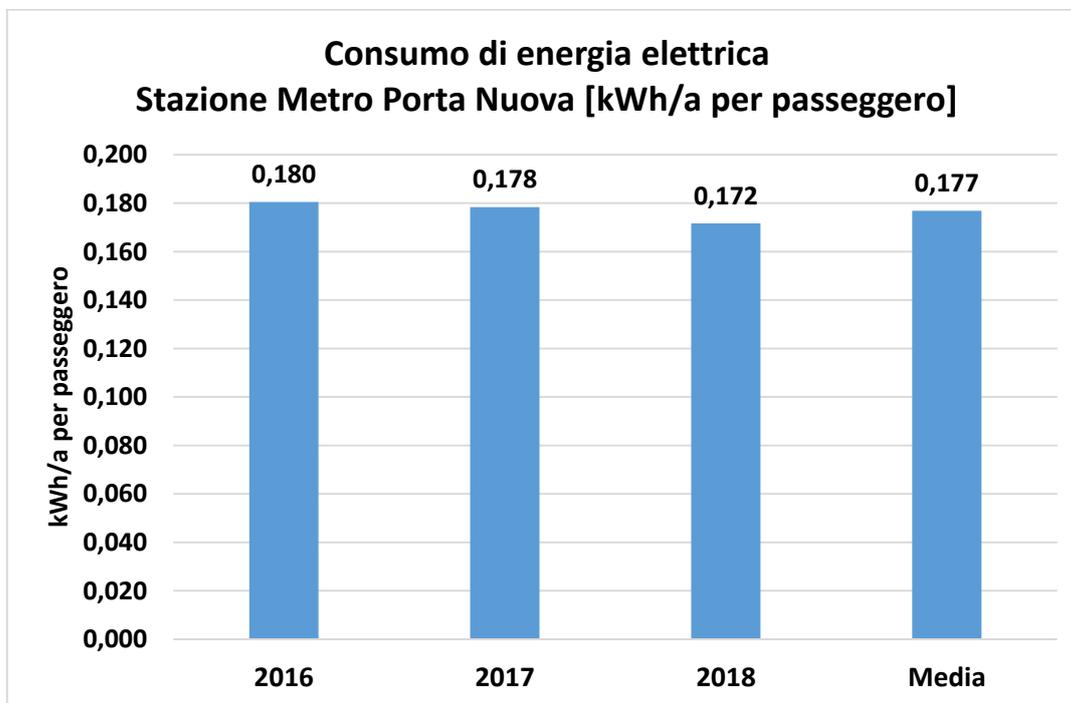


Figura 130 Indicatore consumo di energia elettrica a passeggero stazione Porta Nuova

L'andamento degli indicatori segue fedelmente la variazione dell'utenza delle stazioni.

Per la Stazione Re Umberto, il consumo per passeggero minore si misura per l'anno 2016 in cui la stazione ha avuto un'affluenza maggiore rispetto a tutti gli anni considerati.

Per la Stazione Porta Nuova il consumo per passeggero è in costante diminuzione poiché negli anni analizzati il numero di passeggeri è in continua crescita a parità di consumi.

Può essere utile confrontare il rapporto consumi/passeggeri serviti delle stazioni analizzate (Re Umberto e Porta Nuova) con lo stesso indicatore medio calcolato per tutta la linea 1 della Metropolitana di Torino.

Si può notare che la stazione di Re Umberto ha dei consumi superiori in rapporto agli utenti. Questo risultato è dettato dal fatto che, dal punto di vista dei passeggeri serviti, la stazione Re Umberto è una delle meno frequentate rispetto alla media, nonostante abbia i consumi in linea con le altre stazioni.

La stazione di Porta Nuova ha invece dei consumi inferiori in rapporto agli utenti perché, nonostante sia la stazione più energivora, è allo stesso tempo la stazione di gran lunga più utilizzata dell'intera linea.

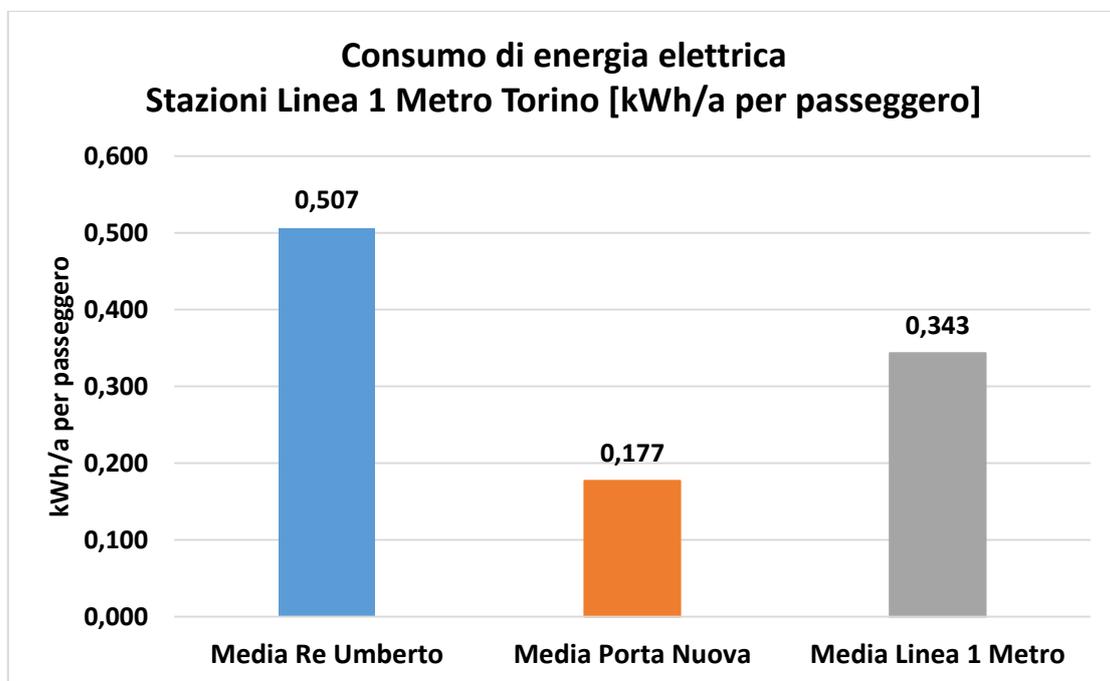


Figura 131 Indicatore consumi annui energia elettrica per passeggero

Si può notare in Fig. 131 come i consumi elettrici per passeggero della Linea 1 della metropolitana di Torino sia a metà tra i valori di Porta Nuova e di Re Umberto. Questo è dovuto al fatto che le stazioni analizzate hanno un valore di utenza che si discosta dalla media, in eccesso per Porta Nuova e in difetto per Re Umberto, mentre in consumi sono pressoché nella media.

## 19.2 Indicatore di consumo di energia elettrica annua per illuminazione di stazione a m<sup>2</sup>

E' stato poi calcolato un indicatore di prestazione energetica relativo ai consumi di energia elettrica per illuminazione delle due Stazioni oggetto di diagnosi (al netto del consumo delle luci del tratto di galleria di pertinenza). L'indicatore analizzato è pari al consumo annuo di energia elettrica per illuminazione per metro quadro [kWh/m<sup>2</sup>].

L'energia annua per l'illuminazione di stazione si attesta sui circa 474.500 kWh a Porta Nuova, stazione unica e differente da tutte le altre, mentre è circa 86.999 kWh per la stazione di Re Umberto che, per dimensioni e caratteristiche, è simile alla maggior parte delle stazioni (19 stazioni su 21).

Le superfici di stazione invece sono circa 4.070 m<sup>2</sup> per la stazione Porta Nuova e circa 1.880 m<sup>2</sup> per la Stazione Re Umberto.

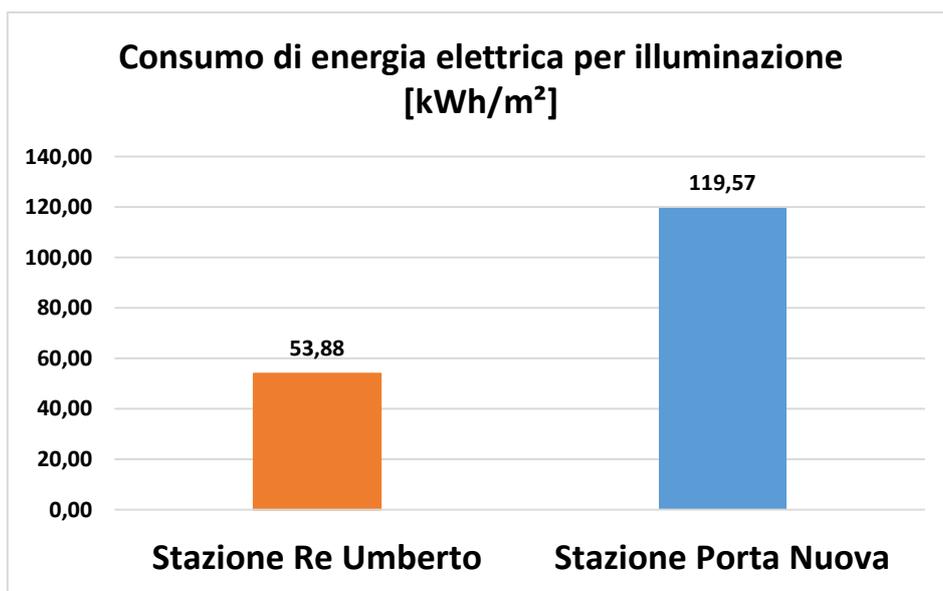


Figura 132 Indicatore consumi di energia elettrica per illuminazione [kWh/m<sup>2</sup>]

Lo scarto è determinato dall'ingente riduzione di potenza installata attuata a Re Umberto grazie alla sostituzione degli apparecchi più energivori con LED. Questo tipo d'intervento è quasi del tutto assente a Porta Nuova, perciò i consumi sono molto più elevati.

### 19.3 Tabella riassuntiva indicatori delle stazioni

Si riporta in tabella 113 un riassunto degli indicatori calcolati su base annua per le stazioni metropolitane

| Indicatore                                                                                                      | Baseline |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Consumo di energia elettrica di stazione Re Umberto per passeggero [kWh/a per passeggero]                       | 0,507    |
| Consumo di energia elettrica di stazione Porta Nuova per passeggero [kWh/a per passeggero]                      | 0,177    |
| Consumo di energia elettrica di stazione media Linea 1 per passeggero [kWh/a per passeggero]                    | 0,343    |
| Consumo di energia elettrica per l'illuminazione di stazione Re Umberto a metro quadrato [kWh/m <sup>2</sup> ]  | 53,88    |
| Consumo di energia elettrica per l'illuminazione di stazione Porta Nuova a metro quadrato [kWh/m <sup>2</sup> ] | 119,57   |

Tabella 113 Indicatori di consumo calcolati per le stazioni della metropolitana

## 20. Criticità e spunti di miglioramento riscontrati nell'analisi

La principale criticità del Comprensorio Metro Collegno e quindi anche delle Stazioni della Metropolitana è legata all'impossibilità di avere un quadro energetico preciso.

Il consumo di energia elettrica del comprensorio metropolitana di Collegno e delle stazioni è molto alto e la maggior parte di esso è attribuibile alla trazione e alle Stazioni.

Si ritiene pertanto necessario installare dei misuratori in continuo dei consumi di energia elettrica, con intervallo di campionamento almeno ogni 15 minuti, su tutti i quadri principali del Sito di Collegno, delle stazioni della Metropolitana (almeno alcune) e sulla cabina di alimentazione dei treni di Collegno.

Tale installazione appare necessaria proprio perché i tre contatori generali che alimentano il Comprensorio di Collegno, le stazioni della metro e la linea di trasporto sono in parallelo. Su stima di GTT, attualmente si è proceduto a dividere la somma dei consumi totali dei tre contatori assegnando il 50% del consumo alla trazione ed il restante 50% alle utenze elettriche delle stazioni e del Comprensorio di Collegno. Sulla base delle analisi fatte in questa sede, questa percentuale si ritiene possa anche essere diversa: per la trazione dei treni la quota di consumo potrebbe essere inferiore al 50% del totale, ovvero intorno al 40%, proprio perché il consumo energetico delle stazioni risulta essere la parte più consistente.

Analizzando gli assorbimenti di alcuni giorni tipo (feriali ed estivi) del Comprensorio Metro/Collegno risulta evidente la differenza tra i carichi registrati nelle ore diurne e quelli delle ore notturne, quando i treni della

linea metropolitana non sono in funzione. Negli assorbimenti notturni non sono presenti gli assorbimenti della trazione ma sono presenti i consumi di tutte le stazioni (ventilazione e, in parte, illuminazione) e del Sito di Collegno.

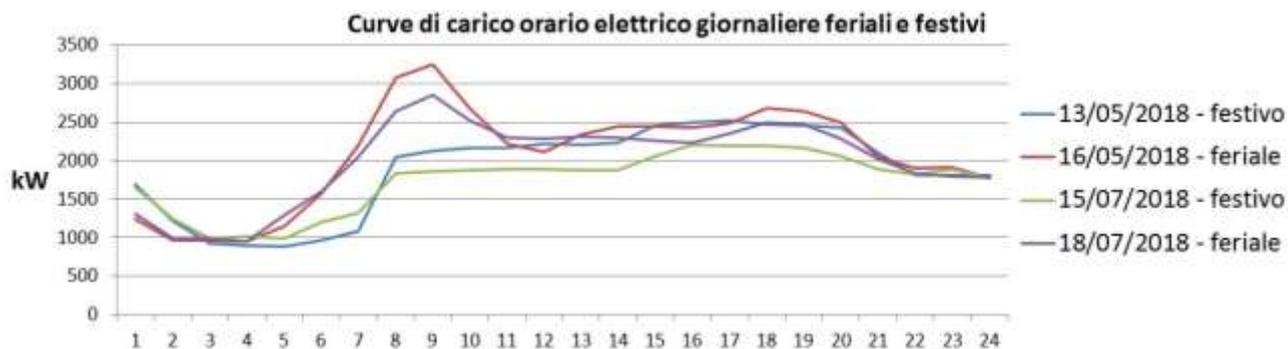


Figura 133 Andamento curve di carico orario elettrico giornaliero feriali e festive – rif. giornate tipo in primavera/estate

Dalle considerazioni scaturite dalla diagnosi, una criticità che riguarda il Sito specifico di Collegno è legata ai consumi per climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti che incidono per il 57,2% sui consumi totali del Sito. Una migliore gestione degli impianti di riscaldamento e soprattutto di raffrescamento è da prendere in considerazione

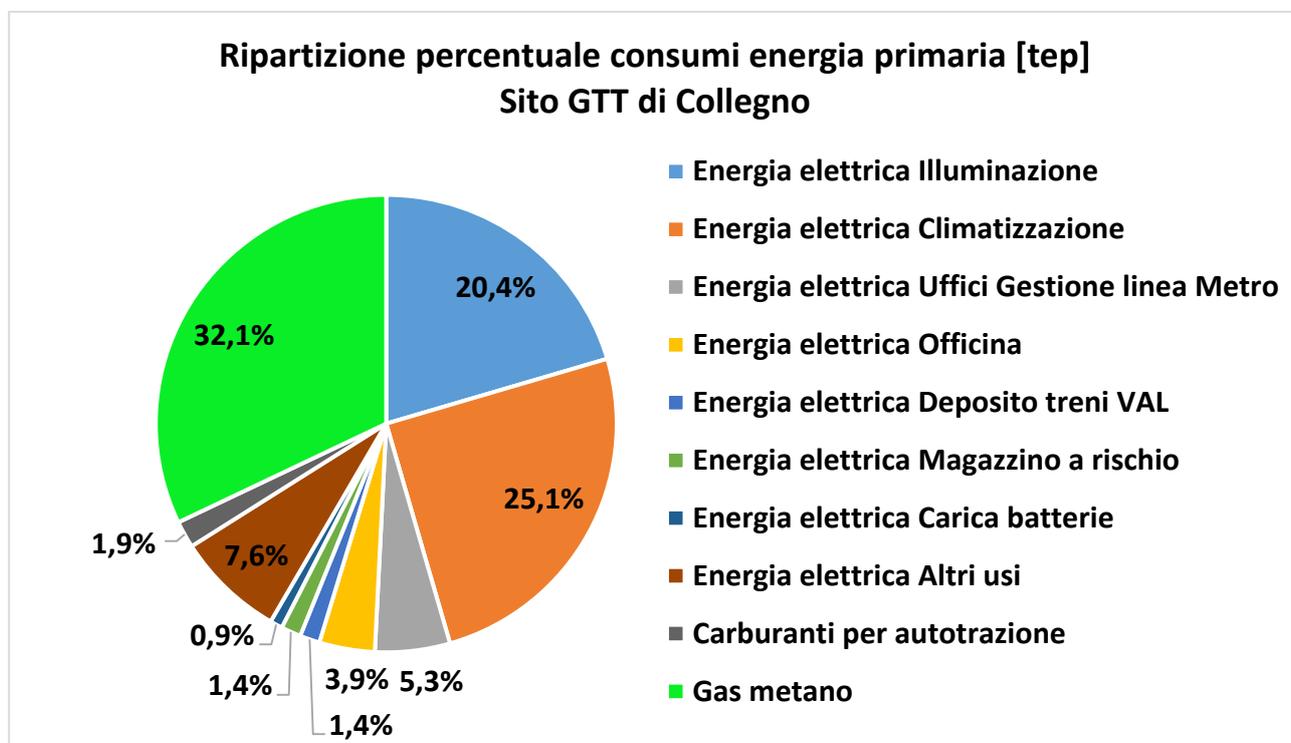


Figura 134 Ripartizione percentuale consumi di energia primaria sito GTT di Collegno

Un'altra criticità è legata all'assorbimento notturno del Sito di Collegno evidenziato dalle letture effettuate nel periodo notturno sul quadro principale QGBT1 del Sito di Collegno. Sarebbero da approfondire quali utenze sono responsabili di tale assorbimento e se su di esso influisca il funzionamento dei gruppi frigoriferi per il condizionamento che magari vengono lasciati accesi (anche solo per il condizionamento delle utenze 24h su 24 e dei locali tecnici con alti carichi endogeni).

Le principali criticità relative al comportamento energetico delle Stazioni della Metro, già in parte evidenziate nel delineare il quadro energetico delle stazioni, sono sintetizzate nel seguito:

- La mancanza di una misura in continuo delle utenze delle stazioni, che sono caratterizzate da consumi fortemente variabili (soprattutto per quanto riguarda i consumi delle scale mobili e degli ascensori), non permette una descrizione accurata del reale profilo di carico, limitando la possibilità di individuare interventi mirati per la riduzione dei consumi.
- A seguito delle misure effettuate a Porta Nuova, si è rilevato che tre scale mobili di stazione, in particolare le numero 1, 5 (QGA) e 7 (QGB) presentano un assorbimento costante di 20 A a differenze delle altre che presentano un carico variabile a seconda della modalità di funzionamento e del carico di persone che trasportano (variabile da 1 A praticamente ferme a 4 A, 7,5 A, etc...). Pare dunque che funzionino a potenza nominale e che quindi non funzioni l'inverter che dovrebbe regolare l'assorbimento in relazione alla velocità e al carico. Si consiglia di verificare la motivazione per cui si verifica questo, perché un assorbimento costante di 20 A di 3 scale mobili per tutto il tempo di funzionamento della Metro potrebbe essere responsabile di consumi energetici inutili.
- Le logiche di ventilazione sembrano essere discordanti con i profili di utilizzo delle stazioni e non è chiara l'applicazione di determinate logiche di gestione predefinite in fase di progetto. Secondo quanto riferito pare che la ventilazione stessa sembra essere in funzione anche nel periodo notturno di chiusura della stazione, determinando dei consumi non giustificabili.
- Anche l'illuminazione è responsabile di una buona quota dei consumi di energia elettrica delle Stazioni: a Re Umberto sono state sostituite lampade con LED e si è infatti evidenziato un abbassamento dei consumi di energia elettrica per illuminazione mentre la sostituzione non ha interessato Porta Nuova se non per quanto riguarda le lampade dei corridoi.  
Si ritiene che il passaggio all'illuminazione a LED sia un intervento da prendere in considerazione per tutte le stazioni della Metro.

Inoltre attualmente, per motivi di sicurezza, l'illuminazione di Stazione rimane accesa anche nel periodo notturno quando le stazioni sono chiuse e questo determina dei consumi energetici in più non legati all'utilizzo delle stazioni.

- Dalle misure effettuate per circa 4,5 giorni su un *ascensore della Stazione Porta Nuova* si evidenzia uno *sfasamento elevato tra corrente e tensione* che causa una quota significativa di potenza reattiva e di conseguenza di energia reattiva, responsabile di costi in bolletta.
- Dalle misure effettuate da GTT sugli assorbimenti elettrici di un ascensore elettrico (Stazione Marconi) e un ascensore oleodinamico (Stazione Porta Nuova) si è evidenziato che gli *assorbimenti elettrici degli ascensori oleodinamici* presenti in tutte le Stazioni della tratta Porta Nuova-Fermi, sono di gran lunga superiori a quelli degli ascensori elettrici presenti nella tratta Marconi-Lingotto.

## 21. Suggerimenti di interventi di efficienza energetica

La riduzione dei costi energetici può essere ottenuta intervenendo in vari modi. È necessario inoltre individuare i costi, i risparmi energetici ed i benefici economici ottenibili dalle varie soluzioni ipotizzate.

Nello specifico gli interventi adottabili possono essere:

- Interventi che non comportano modifiche agli impianti e sull'involucro edilizio ma prevedono soltanto azioni sulla conduzione/regolazione degli impianti;
- Interventi limitati ai grandi sprechi, relativi ad azioni di miglioramento dell'efficienza energetica dell'involucro edilizio e azioni di sostituzione dei macchinari obsoleti o non più efficienti secondo gli standard di consumo attuali dell'azienda;
- Interventi a larga scala sulle dotazioni impiantistiche e sui sistemi di produzione dell'energia che comprendono anche il ricorso a tecnologie innovative e alle fonti rinnovabili.

Il primo livello di intervento consiste nell'effettuare azioni di manutenzione, di regolazione e taratura degli impianti, nonché analisi dei contratti di fornitura di energia al fine di un'ottimizzazione. E' il caso, per esempio, dell'analisi della produzione di energia reattiva del proprio impianto, facilmente controllabile con conseguente miglioramento dei profili di consumo e di pagamento dell'energia elettrica. Rientrano in questa categoria anche il monitoraggio e il controllo mirato del funzionamento degli impianti e l'inserimento di contabilizzatori parziali di energia termica ed elettrica per individuare parametri di funzionamento migliori ed effettuare un'analisi più mirata ed efficiente dei consumi energetici ai fini di un uso più razionale dell'energia e un risparmio energetico.

Il secondo livello consiste nell'effettuare interventi mirati alla sostituzione di alcuni macchinari/impianti/apparecchiature obsoleti che presentano profili di consumo specifico troppo elevati in relazione a quelli che si potrebbero ottenere con analoghi macchinari/impianti/apparecchiature di più moderna concezione. Tali interventi riguardano soprattutto gli impianti e le apparecchiature più datate e comprendono anche la maggiore razionalizzazione dell'impianto termico e frigorifero.

Il terzo livello di intervento comprende interventi a larga scala che consistono in significative modifiche impiantistiche, il ricorso a tecnologie innovative per la produzione dell'energia, il ricorso a fonti energetiche rinnovabili e/o altri combustibili innovativi. A titolo esemplificativo rientrano in questo campo di interventi la realizzazione di un sistema di cogenerazione, l'introduzione di sistemi fotovoltaici o la modifica impiantistica per recuperare parte dell'energia termica di processo altrimenti dispersa.

Ad ogni livello, prima di passare alla fase di progettazione esecutiva e di realizzazione degli interventi, devono essere eseguiti studi di fattibilità di approfondimento per valutarne l'effettiva convenienza tecnica ed economica.

Vista la particolare condizione di alimentazione della rete del comprensorio di Collegno (indistinguibile in termini di consumi dalla trazione e dalle stazioni), si ritiene di dover indicare come primo e necessario intervento l'installazione di un sistema di misura dei consumi di energia elettrica delle principali utenze: trazione treni, stazioni della Metropolitana, quadri scale mobili, quadri ascensori, quadri di ventilazione e condizionamento locali tecnici.

L'individuazione di interventi di miglioramento dell'efficienza energetica della struttura, che possano essere valutati dal punto di vista tecnico ed economico, non può infatti prescindere dalla conoscenza dei consumi reali dei vari centri di consumo.

Gli interventi individuati e consigliati per una maggiore consapevolezza sui consumi e una maggior efficienza nell'utilizzo dei vettori energetici sono per il sito di Collegno:

- ***Letture mensili*** nel sito di Collegno del valore cumulato dei consumi energetici delle due sezioni dei quadri di Bassa tensione in Locale PEF (***QGBT1***) (intervento a costo zero limitato alla conoscenza dei consumi energetici totali del Sito)
- ***Installazione sistema di misura dei consumi di energia elettrica per le utenze del sito di Collegno*** più significative da un punto di vista energetico e per quelle a maggior variabilità di carico (intervento limitato alla conoscenza dei consumi energetici delle principali utenze del Sito)

- **Installazione di un impianto fotovoltaico** sulla copertura del sito di Collegno (eventuale intervento a larga scala che riguarda una nuova dotazione impiantistica basata sull'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili)

Per le stazioni metropolitane gli interventi consigliati sono:

- **Miglioramento della gestione impianto di illuminazione e impianti di climatizzazione** (intervento limitato a ridurre gli sprechi tramite azioni sulla conduzione degli impianti)
- **Installazione sistema di misura dei consumi di energia elettrica per le utenze delle stazioni** più significative da un punto di vista energetico e per quelle a maggior variabilità di carico (intervento limitato a ridurre gli sprechi tramite azioni sulla conduzione degli impianti)
- **Illuminazione a LED nella stazione Porta Nuova** in tutte le aree della stazione (intervento limitato a ridurre gli sprechi e che consistono nella sostituzione di apparecchiature con altre più efficienti).
- **Riduzione delle ore di funzionamento dell'illuminazione di stazione.** Si invita la committenza a verificare la possibilità di spegnere le luci di stazione nelle ore di inattività senza andare contro le normative di sicurezza previste. Un intervento del genere permetterebbe una riduzione del 25% dei consumi elettrici per illuminazione senza alcuna spesa (intervento limitato a ridurre gli sprechi tramite azioni sulla conduzione degli impianti a costo zero)
- **Ottimizzazione dei consumi legati al ventilazione** che risulta essere una delle principali utenze per consumi (intervento limitato a ridurre gli sprechi tramite azioni sulla conduzione degli impianti a costo nullo)
- **Verifica e rifasamento linea** (intervento limitato a ridurre gli sprechi tramite azioni su componenti impiantistiche)
- **Sostituzione ascensori oleodinamici con ascensori elettrici** (Intervento limitati ai grandi sprechi, tramite azioni di sostituzione dei macchinari obsoleti o poco efficienti)

Si precisa che i risultati che si possono ottenere con interventi di risparmio energetico e miglioramento dell'efficienza energetica, oltre che dalla scelta accurata di tecnologie ad alta efficienza e dalla buona realizzazione degli interventi stessi, dipendono dalla gestione e conduzione degli impianti e dal comportamento dell'utenza.

Una sensibilizzazione dell'utenza in materia di risparmio energetico e in relazione alla gestione dei sistemi impiantistici, soprattutto quando si interviene inserendo tecnologie innovative, è di fondamentale importanza all'interno dell'azienda.

## 21.1 Interventi di efficienza energetici suggeriti per il sito di Collegno

Nel seguente paragrafo si riportano gli interventi di efficienza energetica individuati a seguito dell'analisi svolta sul sito GTT di Collegno.

### 21.1.1 Monitoraggio in continuo del consumo di energia elettrica

Come più volte riportato in precedenza, i tre contatori di fornitura dell'energia elettrica al Comprensorio Metro di Collegno, alimentano sia il Sito di Collegno, sia le stazioni della metro sia la linea di trasporto della metropolitana e non è possibile quindi ripartire le tre diverse utenze a meno di fare delle ipotesi che, soprattutto per le stazioni della Metropolitana sono influenzate da tante variabili dipendenti dall'utilizzo delle stazioni stesse.

Sulla base degli approfondimenti fatti in questa diagnosi, sono stati individuati le principali utenze da misurare nel Sito di Collegno, prediligendo quelle a maggior impatto sui consumi energetici, che possano delineare un quadro energetico del sito più preciso e che abbiano un buon potenziale di risparmio energetico con interventi specifici.

Si propone di misurare la maggior parte delle utenze sui quadri di distribuzione QGBT nel locale PEF, accentrando il più possibile le misure in quel locale. Soltanto alcune misure potrebbero essere fatte più in locale presso determinate utenze.

Le utenze che si propone di misurare in cabina PEF sono riepilogate nel seguito.

Innanzitutto le prime misure riguardano l'interruttore generale del QGBT1 (entrambe le sezioni) per individuare i consumi energetici totali del Sito di Collegno e possono essere fatte, in attesa di installare il sistema di misura specifico, eseguendo delle **letture mensili sui display** dei quadri stessi, come è stato fatto per alcuni periodi nel corso di questa diagnosi.

| <b>Quadro</b> | <b>Denominazione</b>          |
|---------------|-------------------------------|
| QGBT1(QGA)    | Consumi globali sito Collegno |
| QGBT1(QGB)    | Consumi globali sito Collegno |

Tabella 114 Quadri generali di bassa tensione sito GTT di Collegno

Altre utenze da misurare sul QGBT1 sono:

| <b>Quadro</b> | <b>Denominazione</b>                      |
|---------------|-------------------------------------------|
| Q1            | QGBT2-QGA                                 |
| Q13           | QGBT2-QGB                                 |
| Q2            | Smistamento PCC ed uffici (QUFF)          |
| Q3            | Condizionamento PCC e uffici (CDZ1)       |
| Q4            | Carica batterie e carrelli elevatori      |
| Q5            | Deposito treni e magazzini annessi (QDEP) |
| Q6            | Magazzini a rischio                       |
| Q7            | Illuminazione esterna e guardiania        |
| Q14           | QOFF                                      |
| Q15           | QCDZ2                                     |
| Q16           | Lavaggio treni(QLAV)                      |
| QDL           | Luce deposito                             |

**Tabella 115 Quadri appartenenti ai quadri generali di bassa tensione sito GTT di Collegno**

Al fine di fare maggior chiarezza sui consumi per climatizzazione invernale ed estiva del Sito di Collegno che, in fase di diagnosi, sono stati ipotizzati sulla base dei risultati del modello termico e delle misure spot effettuate, si propongono anche alcune misure in locale presso alcuni quadri secondari di utenza (ovvero fuori dalla cabina PEF).

In particolare si ritiene interessante monitorare i consumi dei gruppi frigoriferi per poter valutare l'effettivo consumo del condizionamento estivo. I quadri di condizionamento QCDZ1 e QCDZ2 alimentano le due centrali termiche e non permettono un isolamento della misura del condizionamento estivo. Queste misure potrebbero portare ad individuare il consumo relativo al condizionamento estivo ma non a distinguerlo tra uffici e officina.

Si propone di misurare anche i quadri delle centrali termiche (QCT1, QCT2) che derivano dai quadri QCDZ1 e QCDZ2 e su questi quadri gli interruttori relativi ai gruppi frigo.

Le utenze da misurare sono riepilogate in tabella 116.

| <b>Quadro</b> | <b>Denominazione</b>      |
|---------------|---------------------------|
| QCDZ1         | QCT1 – Centrale termica 1 |
| QCDZ2         | QCT2 – Centrale termica 2 |
| CT1           | Gruppi frigo (n. 3)       |
| QCT2          | Gruppo frigo (n. 1)       |

**Tabella 116 Quadri elettrici condizionamento sito GTT di Collegno**

Per monitorare inoltre i consumi dell'Officina e poterli distinguere da quelli degli uffici, si propone un'ulteriore misura della seguente utenza in Officina:

| <b>Quadro</b> | <b>Denominazione</b>                           |
|---------------|------------------------------------------------|
| Q01           | Luce e forza officina, ventilatori e aerotermi |

Tabella 117 Quadro ventilatori e aerotermi officina sito GTT di Collegno

Infine un'ulteriore utenza da monitorare potrebbe essere il quadro di cabina PR di Collegno dedicata alla trazione dei treni.

|                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| Quadro cabina PR<br>Collegno | Consumi per la trazione |
|------------------------------|-------------------------|

Tabella 118 Quadro cabina PR consumi di trazione sito GTT di Collegno

Prima dell'installazione del sistema di monitoraggio in continuo GTT potrà conoscere tramite semplice lettura della cumulata visualizzabile sui display dei quadri QGA e QGB del Quadro Generale di Bassa Tensione 1 (QGBT1) nel locale PEF di Collegno il consumo del sito di Collegno, effettuando una lettura mensile (per avere un profilo mensile e valutare la variazione stagionali) oppure una lettura annuale.

La stessa cosa può essere fatta sui quadri dell'officina, QOFF, e degli uffici e del PCC, QUFF, che sono dotati dello stesso dispositivo con indicazione della cumulata di energia.

Queste letture risultano un intervento a costo zero per misurare i consumi di energia elettrica del Sito di Collegno.

Il sistema da realizzare è una rete di monitoraggio permanente che prevede misure su armadi elettrici con acquisizione dati ogni 15 minuti.

Dovrà essere valutata l'opportunità di fare misure soltanto in cabina o anche su quadri locali presso le utenze come sopra descritto. Questa opportunità va valutata dal punto di vista tecnico ed economico con progetto più approfondito.

### 21.1.2 Impianto fotovoltaico

Si propone di sfruttare la radiazione solare (energia rinnovabile) per produrre energia elettrica mediante un impianto fotovoltaico da realizzare sugli SHED presenti sulla copertura dell'Officina.



Figura 135 Area di consigliata per l'installazione impianto fotovoltaico sito GTT di Collegno

Si ipotizza, in base alla superficie disponibile (tenendo conto delle ombre generate dalla geometria delle falde), di realizzare un impianto di circa 330 kWp sugli shed della copertura dell'Officina, previa verifica delle caratteristiche del pannello coibentato di chiusura (minimo R30) e del sistema di fissaggio. La scelta della zona di installazione ha tenuto conto anche della posizione della cabina elettrica del Comprensorio, Indicativamente sono stati presi in considerazione, ai fini dei calcoli energetici, moduli fotovoltaici in Silicio policristallino di potenza pari a 275 Wp con un'inclinazione di 22° rispetto al piano orizzontale (moduli fotovoltaici integrati negli Shed). L'esposizione è sud/sud-est.

Ai fini della stima della producibilità annua dell'impianto fotovoltaico sono stati considerati i seguenti dati di riferimento:

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| Località di riferimento                      | Collegno                |
| Radiazione solare media su piano orizzontale | Secondo UNI 10349       |
| Potenza di picco dell'impianto               | 330 kWp                 |
| Tipologia moduli fotovoltaici                | Silicio policristallino |
| Potenza di picco dei moduli fotovoltaici     | 275 Wp                  |
| N° moduli                                    | 1200                    |
| Superficie occupata dall'impianto            | 1944 m <sup>2</sup>     |
| Inclinazione dei moduli fotovoltaici         | 22°                     |
| Esposizione                                  | Sud-Sud/Est (15° W)     |

Tabella 119 Dati e locazione impianto fotovoltaico sito GTT di Collegno

L'impianto fotovoltaico sarà costituito da diversi sottocampi di moduli fotovoltaici per ognuna delle due zone di copertura, costituiti da stringhe di moduli collegati in serie, un inverter per la connessione in parallelo alla rete elettrica dell'energia elettrica prodotta dai moduli, quadri di stringa e quadro di interfaccia per la connessione dell'impianto alla rete elettrica interna alla struttura.

Per potenze installate inferiori a 200 kW<sub>e</sub> l'impianto potrà operare secondo il meccanismo dello scambio sul posto per cui l'energia prodotta e non immediatamente utilizzata può essere immessa in rete per poi essere prelevata in un secondo momento.



Figura 136 Percorso della corrente elettrica fotovoltaica

L'energia potenzialmente prodotta dall'impianto fotovoltaico è riportata in tabella 120.

| Mese          | Energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico $E_{el,pv,out}$ [kWh] |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Gennaio       | 15.585,9                                                                  |
| Febbraio      | 20.561,0                                                                  |
| Marzo         | 30.720,2                                                                  |
| Aprile        | 35.686,6                                                                  |
| Maggio        | 41.123,1                                                                  |
| Giugno        | 44.324,5                                                                  |
| Luglio        | 49.088,0                                                                  |
| Agosto        | 44.411,0                                                                  |
| Settembre     | 35.095,0                                                                  |
| Ottobre       | 25.242,4                                                                  |
| Novembre      | 14.324,8                                                                  |
| Dicembre      | 14.044,0                                                                  |
| <b>TOTALE</b> | <b>370.206,5</b>                                                          |

Tabella 120 Produzione mensile prevista fotovoltaica sito GTT di Collegno

La produzione annua di energia elettrica stimata è di circa 370.206 kWh/anno che, valorizzata al costo medio dell'energia elettrica di 0,14 €/kWh, corrisponde ad un risparmio economico annuo di circa 51.830 €/anno.

La copertura media annuale dei consumi di energia elettrica del Sito sarebbe pari a circa il 23%.

Il costo dell'investimento è stimato pari a 594.000 € e il tempo di ritorno semplice dell'investimento è valutato in circa 11,5 anni.

L'intervento potrebbe beneficiare del finanziamento attraverso un bando pubblico.

La presente proposta è un'ipotesi di massima che va approfondita con un progetto specifico di livello più dettagliato.

## 21.2 Interventi di efficienza energetica suggeriti per le stazioni metropolitane

Nel seguente paragrafo si riportano gli interventi di efficienza energetica individuati a seguito dell'analisi svolta sulle stazioni metropolitane Re Umberto e Porta Nuova.

### 21.2.1 Monitoraggio in continuo del consumo di energia elettrica

Per quanto riguarda invece le stazioni, sulla base degli approfondimenti fatti in questa tesi, sono state individuate le principali utenze da misurare presso le Stazioni Re Umberto e Porta Nuova, prediligendo quelle a maggior impatto sui consumi energetici, che possano delineare un quadro energetico del sito più preciso e che abbiano un buon potenziale di risparmio energetico con interventi specifici.

Si propone di misurare le utenze sul quadro di distribuzione QGBT nel locale PEF di Stazione.

Le utenze che si propone di misurare in cabina PEF sono riepilogate nel seguito.

Per ogni stazione le prime misure riguardano l'interruttore generale del QGBT (entrambe le sezioni, QGA e QGB) per individuare i consumi energetici totali della Stazione, dei profili giornalieri e stagionali.

| <b>Quadro</b> | <b>Denominazione</b>               |
|---------------|------------------------------------|
| QGBT (QGA)    | Consumi globali Stazioni REU e PNU |
| QGBT (QGB)    | Consumi globali Stazioni REU e PNU |

Tabella 121 Quadri generali di bassa tensione stazione Re Umberto e Porta Nuova

Altre utenze da misurare sul QGBT sono le utenze a carico variabile (scale mobili, ascensori, ventilatori di stazione) per poter avere una descrizione più precisa del loro comportamento nel corso dell'anno:

| <b>Quadro</b> | <b>Sottoquadro</b> | <b>Denominazione</b>      |
|---------------|--------------------|---------------------------|
| Q8            | QGA                | Scala mobile mezzanino 1  |
| Q10           | QGA                | Scala mobile accesso nord |
| Q14           | QGA                | Scala mobile banchina 1   |
| Q34           | QGB                | Scala mobile accesso sud  |
| Q35           | QGB                | Scala mobile mezzanino 2  |
| Q45           | QGB                | Scala mobile banchina 2   |
| Q6            | QGA                | Ventilatore di stazione 1 |
| Q30           | QGB                | Ventilatore di stazione 2 |

Tabella 122 Sottoquadri dei quadri generali di bassa tensione stazione Re Umberto

| <b>Quadro</b> | <b>Sottoquadro</b> | <b>Denominazione</b>      |
|---------------|--------------------|---------------------------|
| Q7            | QGA                | Scala mobile 1            |
| Q8            | QGA                | Scala mobile 2            |
| Q9            | QGA                | Scala mobile 5            |
| Q10           | QGA                | Scala mobile 6            |
| Q31           | QGB                | Scala mobile 3            |
| Q32           | QGB                | Scala mobile 4            |
| Q33           | QGB                | Scala mobile 7            |
| Q34           | QGB                | Scala mobile 8            |
| Q3            | QGA                | Ventilatore di stazione 1 |
| Q27           | QGB                | Ventilatore di stazione 2 |

**Tabella 123 Sottoquadri dei quadri generali di bassa tensione stazione Porta Nuova**

Il sistema da realizzare è una rete di monitoraggio permanente che prevede misure su armadi elettrici con acquisizione dati ogni 15 minuti.

Dovrà essere valutata l'opportunità di fare misure soltanto in cabina o anche su quadri locali presso le utenze come sopra descritto. Questa opportunità va valutata dal punto di vista tecnico ed economico con progetto più approfondito.

### 21.2.2 Illuminazione a LED

L'illuminazione a LED permette di risparmiare dal 50% al 80% sui consumi di energia elettrica, riducendo sensibilmente i costi di manutenzione, grazie alla sua durata e alla sua efficienza a lungo termine.

I LED hanno un degrado nel tempo del 20% circa, contro il 50% delle tradizionali lampadine e la loro durata può superare le 50.000 ore mentre le comuni lampadine hanno invece una durata media che va dalle 3.000 ore per le alogene, fino alle 12.000-15.000 ore per quelle fluorescenti (compatte o lineari).

Lo smaltimento dei LED è inoltre molto più semplice ed economico e le lampade a LED non hanno la fastidiosa lentezza delle fluorescenti compatte nell'accendersi.

In linea con la tendenza attuale che vedono progressivamente il passaggio a sistemi di illuminazione a LED in ogni contesto, e con riferimento ad alcuni interventi di sostituzione già effettuati da GTT presso la Stazione Re Umberto, si propone la sostituzione degli apparecchi di illuminazione esistenti nelle Stazioni della Metro con sistemi a LED. Tale intervento può essere eseguito gradualmente, procedendo per stazioni e spalmando quindi l'investimento nel tempo.

Questo intervento è particolarmente consigliato per la stazione di Porta Nuova, meno di interesse per Re Umberto dove gli apparecchi illuminanti più energivori sono già stati sostituiti. Per Porta Nuova è

l'operazione più significativa in quanto coinvolgerebbe un grande numero di corpi illuminanti e sarebbe mirato a più che dimezzare i consumi dell'utenza più energivora di stazione (circa il 41% sul totale).

L'intervento di sostituzione delle lampade nelle stazioni sembra essere più praticabile rispetto alla sostituzione delle luci di galleria in quanto permette di circoscrivere la zona di intervento senza dover chiudere aree della stazione durante l'orario di funzionamento della metropolitana (quindi con ridotti costi di posa).

Questo tipo di intervento è fortemente consigliato gradualmente anche per tutte le altre Stazioni soprattutto in relazione al fatto che le luci rimangono accese per 20 ore al giorno e che i consumi per illuminazione sono una voce importante dei consumi di energia elettrica delle stazioni.

In particolare, per la Stazione di Porta Nuova si propone di sostituire le seguenti lampade:

- n. 278 lampade (“soffitto circolare”) da 42 W con altre a LED da 20 W
- n. 168 lampade (“conchiglie”) da 156 W con altre a LED da 29 W.

In Fig. 137 si riporta un confronto tra i consumi e i costi attuali imputabili all'illuminazione rispetto alla previsione con sostituzione luci a LED.

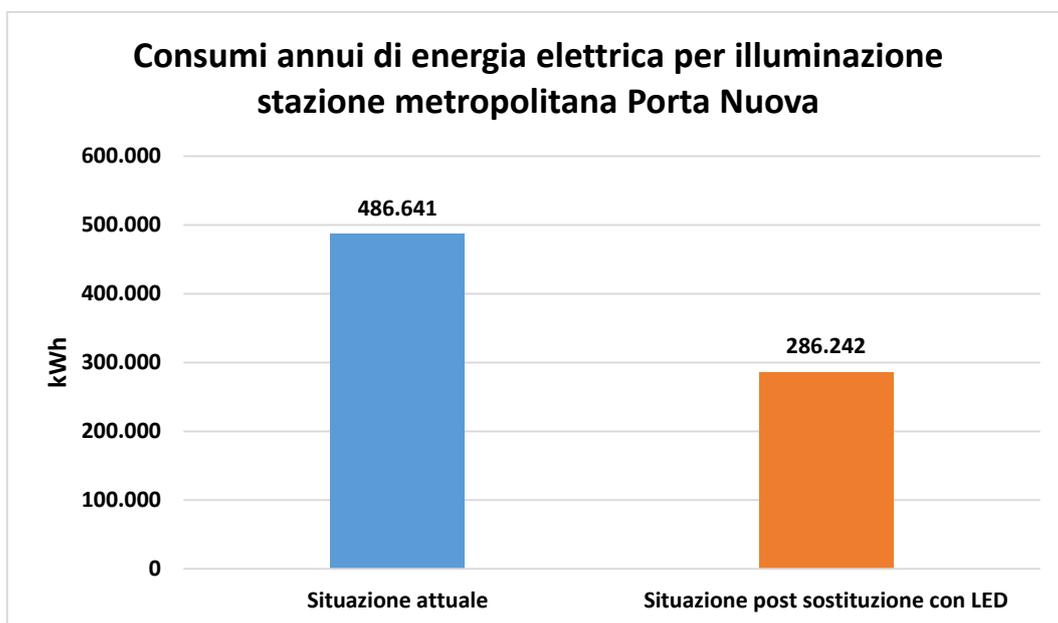


Figura 137 Consumi annui di energia elettrica per illuminazione stazione metropolitana Porta Nuova

Per il confronto sui costi si è adottato come prezzo al kWh la media degli anni tra il 2015 e il 2018 per ogni singolo POD. Il prezzo indicato è di circa **0.141€/kWh**.

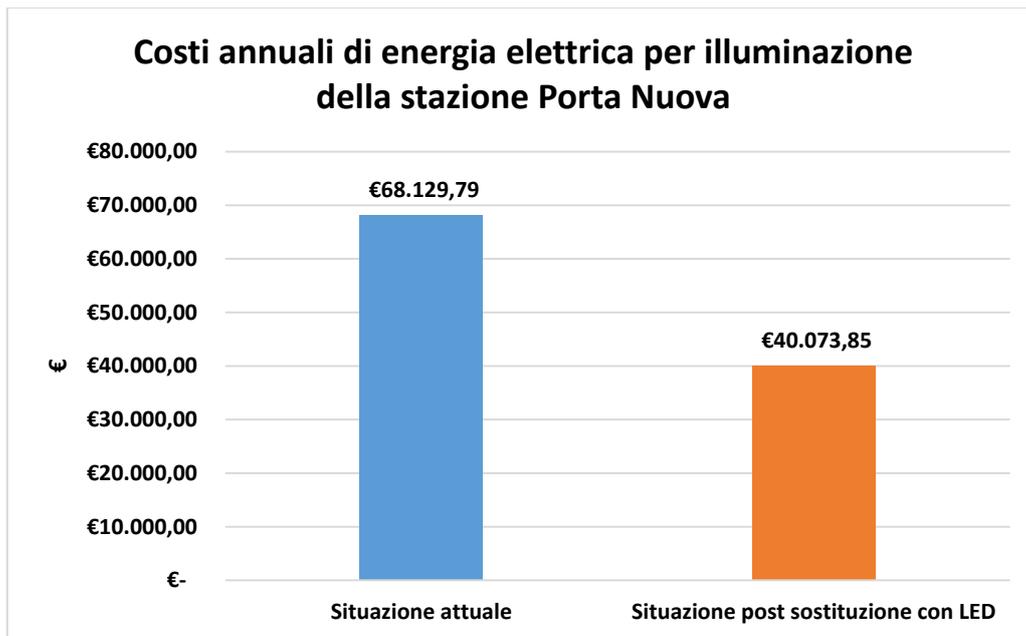


Figura 138 Costi annui di energia elettrica per illuminazione stazione metropolitana Porta Nuova

In Fig. 138 si può notare che l'intervento di sostituzione degli apparecchi illuminanti con luci LED comporta una riduzione considerevole sia dei consumi elettrici annui che dei costi annui per l'illuminazione.

Il costo di intervento per le lampade di cui sopra è stimato pari a circa 135.000€.

Si stima un risparmio cautelativo del 42% sui consumi totali stimati per illuminazione, che corrisponde a circa **200.400 kWh/anno** di energia elettrica.

Considerando un costo medio dell'energia pari a **0,141 €/kWh**, tale risparmio energetico si traduce in circa **28.000 €/anno**.

Il tempo di ritorno semplice dell'investimento è valutato di circa 5 anni.

### 21.2.3 Riduzione delle ore di funzionamento dell'illuminazione di stazione

Attualmente non è possibile conoscere di preciso quante ore stia acceso il sistema di illuminazione di Stazione, ma si sa per certo che le luci rimangono accese per più ore rispetto all'orario di funzionamento delle Stazioni. Talvolta pare rimangano accese per 24 ore su 24 e di sicuro esse sono accese anche durante la notte per il periodo necessario alle operazioni di pulizia e di manutenzione.

Nella presente diagnosi è stato assunto un orario di funzionamento delle luci di Stazione di 20 ore al giorno per tutti i corpi illuminanti presenti, considerando le 18 ore di funzionamento della Metro e altre 2 ore per tenere conto che alcune sono tenute accese oltre l'orario di funzionamento delle Stazioni, per consentire le operazioni di pulizia e di eventuale manutenzione.

E' chiaro che un risparmio energetico si può ottenere ottimizzando e gestendo gli orari di accensione dell'illuminazione di Stazione, riducendo le ore di accensione programmando il numero di lampade che devono rimanere accese per le operazioni di pulizia e gestendo gli orari in funzione delle reali esigenze di utilizzo degli spazi, tenendo anche conto dei requisiti di sicurezza.

Questa azione, se realizzabile, è consigliato per tutte le stazioni, il che andrebbe ad avere un impatto non indifferente sui consumi per illuminazione non richiedendo alcun costo aggiuntivo.

Il risparmio energetico è valutabile soltanto conoscendo quanto tempo stanno accese realmente le lampade nelle diverse zone e in funzione delle logiche di accensione/spengimento che si adotteranno.

Si è presa ad esempio la stazione di Porta Nuova. Si è considerato un orario di funzionamento di 20 ore per 104 giorni, i giorni all'anno in cui avvengono le pulizie di stazione, di 24 ore per 12 giorni all'anno in cui avvengono le manutenzioni previste, e di 18 ore per i restanti giorni dell'anno. I consumi per illuminazione di stazione si riducono di circa **30.000 kWh** all'anno, corrispondenti a circa **4.000 €** se si assume un costo di **0,14 €/kWh**.

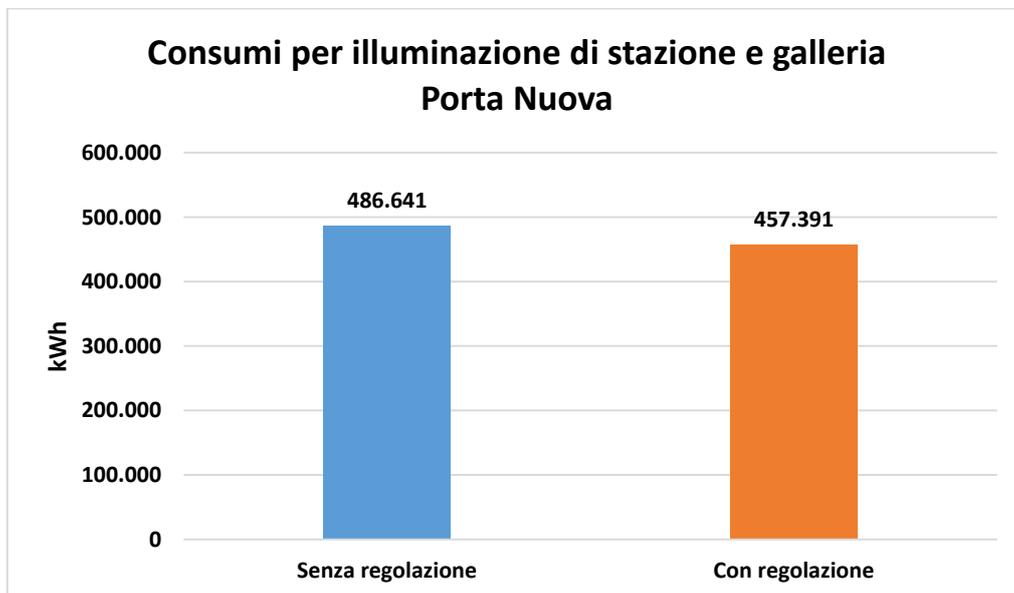


Figura 139 Confronto consumi annuali per illuminazione stazione Porta Nuova con e senza regolazione

#### 21.2.4 Regolazione della ventilazione

Si invita GTT a fare una verifica sull'effettivo valore di ricircolo dell'aria previsto da legge nelle Stazioni per poter valutare un'operazione di ottimizzazione del sistema di circolazione dell'aria sia di stazione che di pozzo.

Sarebbe opportuno inoltre valutare se l'attività in continuo dei ventilatori è giustificabile anche negli orari di chiusura della stazione, in modo da impostare eventualmente la fermata dei ventilatori di stazione nel periodo notturno di chiusura della Metropolitana o almeno valutare la possibilità di ridurre al minimo la portata di aria immessa in stazione. Questo intervento potrebbe contribuire a risparmiare energia senza richiedere un investimento economico.

#### 21.2.5 Rifasamento

Un intervento normalmente abbastanza semplice da eseguire è il rifasamento dell'impianto elettrico. In termini di tempo di ritorno è sicuramente un intervento molto efficace, in quanto mediamente sono sufficienti pochi mesi per ripagare i costi sostenuti per l'adeguamento impiantistico.

Dalle misure effettuate per 4,5 giorni su un ascensore della Stazione Porta Nuova si evidenzia uno sfasamento elevato tra corrente e tensione che causa una quota significativa di potenza reattiva e di conseguenza di energia reattiva, responsabile di costi in bolletta. La stessa cosa si evidenzia dalle misure effettuate sull'ascensore elettrico della Stazione Marconi.

Un motore elettrico, essendo sede di fenomeni magnetici, crea sempre uno sfasamento della corrente in ritardo rispetto alla tensione. Nel caso delle misure di assorbimento elettrico dell'ascensore di Porta Nuova si è rilevato mediamente un fattore di potenza molto basso, intorno a 0,64 ( $\cos\Phi$ ).

L'intervento di rifasamento dell'impianto elettrico consiste in tutte quelle attività che servono a ridurre il valore della potenza reattiva induttiva che deve essere fornita dal gestore del servizio elettrico locale, portando così alla riduzione o al totale abbattimento degli addebiti per eccessivo assorbimento di potenza reattiva ed al miglioramento dell'impianto.

Il rifasamento dell'impianto elettrico consentirebbe un migliore funzionamento dell'impianto stesso e all'azienda di ridurre la quota di spesa in bolletta, se pure minima in confronto alla bolletta totale, dovuta all'energia reattiva. Si deve ipotizzare di riportare il valore di  $\cos\Phi$  ad un valore pari almeno a 0,95.

### 21.2.6 Sostituzione ascensori

Un intervento decisamente più impegnativo è quello di sostituire gli ascensori oleodinamici presenti nelle Stazioni di Porta Nuova e Re Umberto con nuovi ascensori di tipo elettrico che già sono presenti nelle stazioni della linea Metro da Porta Nuova a Lingotto.

Gli ascensori elettrici, oltre ad assorbire molta meno energia per il loro funzionamento rispetto a quelli oleodinamici, hanno spese di manutenzione decisamente ridotte.

Secondo quanto riferito dalla Committenza, per la sostituzione dell'olio idraulico degli ascensori oleodinamici, il contratto di manutenzione attuale di GTT prevede un importo per il lotto Schindler, pari a € **1.720,00** ad ascensore.

Nella stazione Porta Nuova ci sono 6 ascensori per un costo totale di **10.320 €/anno**, mentre nella Stazione Re Umberto ci sono 3 ascensori per un costo di **5.160 €/anno**.

Il risparmio energetico è molto elevato, in quanto al risparmio economico dovuto al fatto che non occorre più la sostituzione dell'olio, si aggiunge il risparmio economico dovuto al risparmio energetico che è di circa il 70%. Infatti un ascensore elettrico, sulla base delle misure effettuate, consuma mediamente il 70% in meno dell'energia elettrica consumata da uno oleodinamico.

Dalle misure effettuate infatti si è rilevato un assorbimento elettrico di circa 21 kW per l'ascensore oleodinamico (misurato a Porta Nuova) e di circa 4 kW per l'ascensore elettrico (misurato alla Stazione Marconi).

Per le due stazioni oggetto di diagnosi si stimano i seguenti risparmi energetici:

- Stazione Porta Nuova: circa **67.000 kWh/a** corrispondente a circa **9.400 €/a**
- Stazione Re Umberto: circa **60.000 kWh/a** corrispondente a circa **8.400 €/a**

Ad esso si deve aggiungere il costo evitato della sostituzione dell'olio e si ottengono i seguenti risparmi:

- Stazione Porta Nuova: circa **19.700 €/a**
- Stazione Re Umberto: circa **13.600 €/a**

Il costo di intervento è però a sua volta elevato in quanto il costo di sostituzione di un ascensore oleodinamico con uno elettrico è stimato indicativamente pari a circa **25.000-30.000 €/ascensore**.

Il costo totale di intervento per la Stazione di Porta Nuova è pari a circa **180.000 €/a** mentre per la stazione Re Umberto si stima pari a circa **90.000 €**.

I tempi di ritorno semplici degli investimenti sono stimati pari a:

- Stazione Porta Nuova: 9 anni
- Stazione Re Umberto: 7 anni.

La differenza tra le due stazioni sta nel fatto che per la stazione Porta Nuova dove ci sono 6 ascensori, per il calcolo dei consumi energetici si è assunto un utilizzo medio giornaliero di 5 ascensori su 6, mentre a Re Umberto si è assunto un utilizzo di tutti e 3 gli ascensori (in relazione al posizionamento degli stessi).

Come tutti gli interventi valutati per le due stazioni oggetto di diagnosi, anche questo intervento è estendibile alle altre stazioni della linea Metro (quelle da Porta Nuova a Fermi dove ci sono ascensori oleodinamici).

## 22. Conclusioni

La presente tesi è stata sviluppata presso l'azienda GTT a seguito di un percorso di tirocinio ed è basata sulla diagnosi energetica elaborata con la ditta MCDUE Engineering.

Al termine dell'analisi dei consumi energetici del Sito GTT di Collegno e delle stazioni metropolitane Re Umberto e Porta Nuova si è potuta estrapolare una ripartizione dei vettori energetici del Comprensorio e dei consumi di stazione.

Si riportano in Fig. 140, 141 e 142 i diagrammi di flusso energetico del Comprensorio Metropolitana Collegno e delle stazioni metropolitane Re Umberto e Porta Nuova.

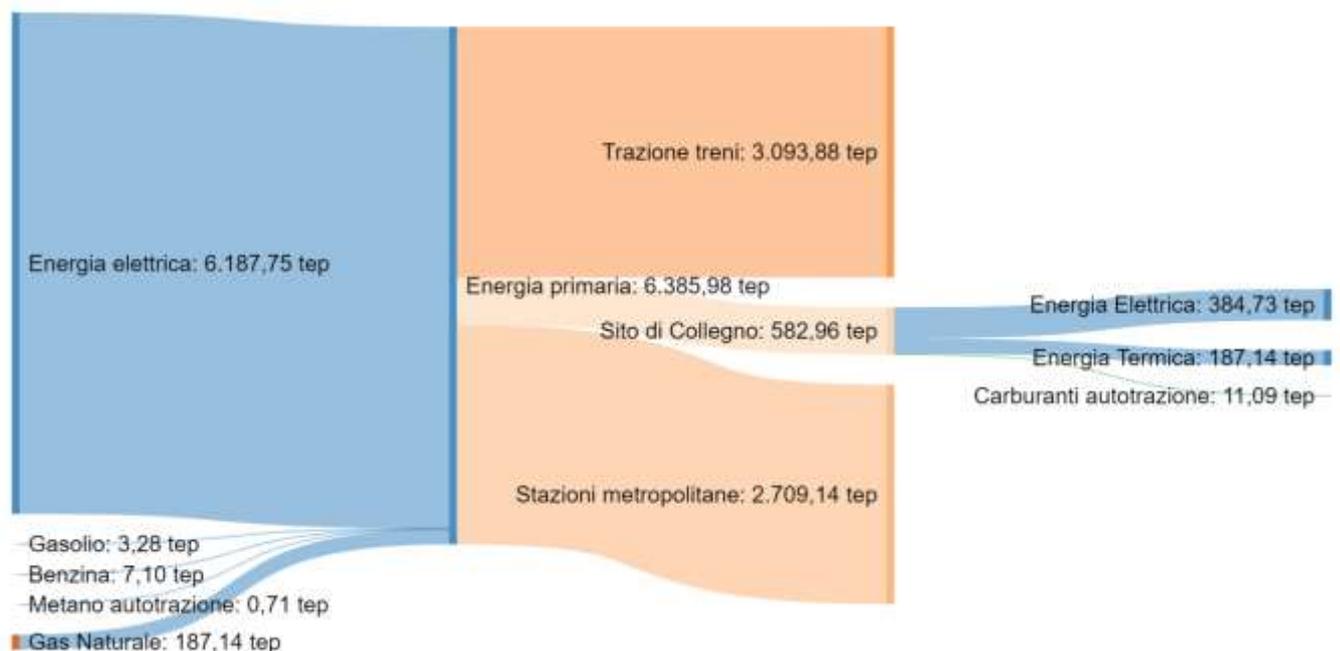


Figura 140 Diagramma di flusso energetico Comprensorio Metropolitana Collegno

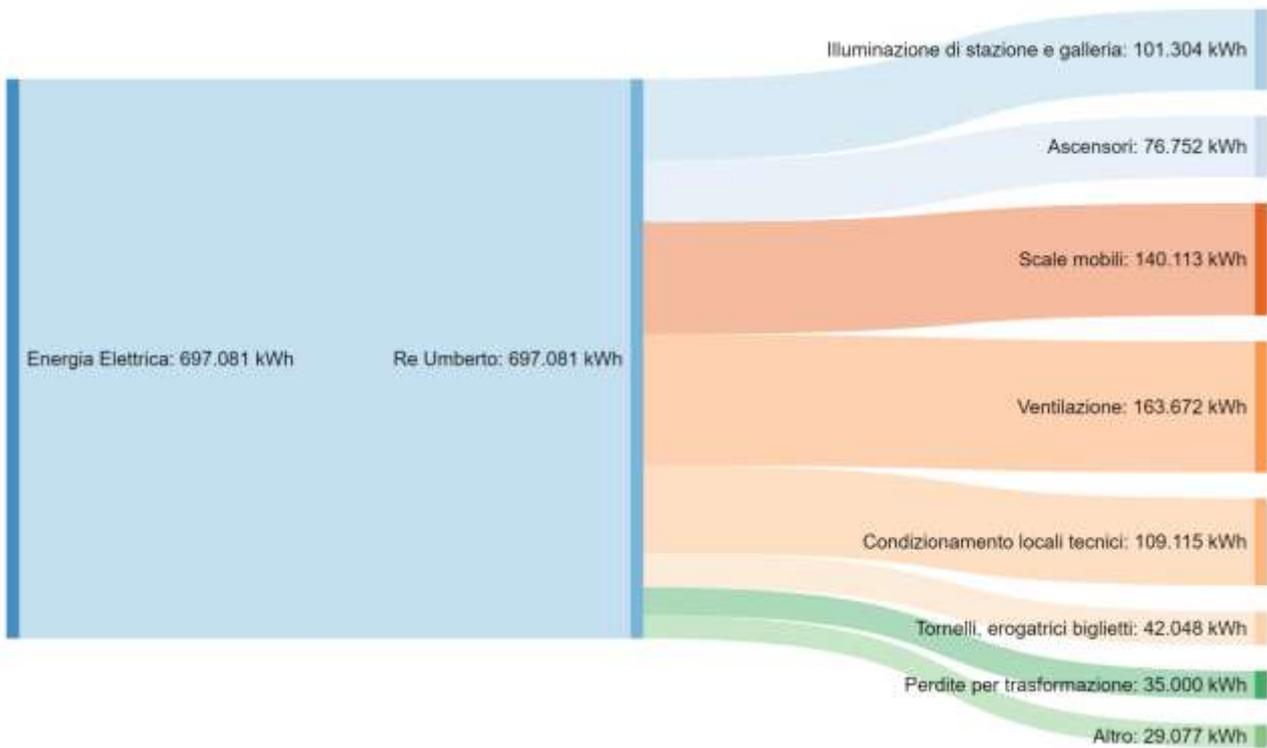


Figura 141 Diagramma di flusso energetico stazione Re Umberto

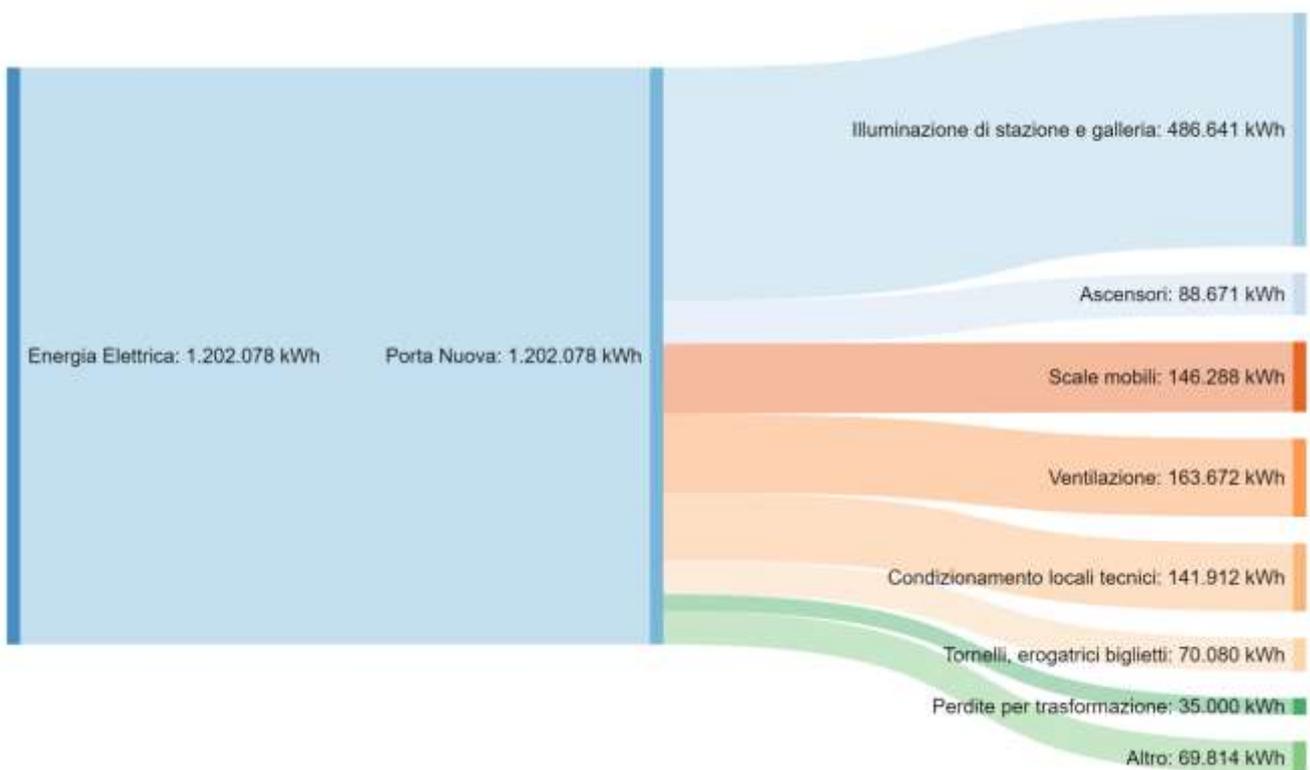


Figura 142 Diagramma di flusso energetico stazione Porta Nuova

A seguito dello studio effettuato, inoltre, si è evidenziato:

- L'importanza del monitoraggio in continuo dei consumi energetici del Comprensorio per la ripartizione tra le varie utenze.
- L'importanza del monitoraggio in continuo dei consumi energetici delle utenze del sito di Collegno, soprattutto per quanto riguarda le utenze fortemente variabili costituite dall'officina, dal condizionamento estivo e del PCC.
- L'importanza di una verifica della gestione dell'impianto di climatizzazione invernale ed estiva del Sito di Collegno in relazione all'opportunità di gestire meglio gli orari di funzionamento in base alle effettive necessità delle diverse aree/utenze.
- L'importanza del monitoraggio in continuo dei consumi energetici delle Stazioni, soprattutto per quanto riguarda le utenze fortemente variabili costituite dalle scale mobili, gli ascensori e la ventilazione di stazione.
- La possibilità di risparmio elettrico per illuminazione di stazione con una diversa gestione degli orari di funzionamento
- L'opportunità di un intervento di sostituzione delle lampade con lampade a LED gradualmente in tutte le Stazioni
- L'importanza di una verifica della gestione dell'impianto di ventilazione delle Stazioni per individuare eventuali azioni di riduzione degli orari di funzionamento di tali impianti nel periodo notturno quando le stazioni sono chiuse.
- L'opportunità di un intervento di sostituzione graduale degli ascensori oleodinamici in tutte le stazioni della tratta Fermi-Porta Nuova con ascensori elettrici che per consumi e manutenzione risultano fortemente preferibili

Sono stati individuati interventi che, pur avendo un costo di intervento nullo o molto ridotto, possono portare a risparmi rilevanti e che interessano la migliore gestione dei consumi energetici (grazie al monitoraggio) e la migliore gestione degli impianti per un uso più razionale dell'energia.

Tra questi si cita anche il monitoraggio dell'energia elettrica recuperata tramite frenata elettrica dal sistema Siemens per aggiornare il confronto tra energia dissipata dal banco di carico ed energia rigenerata in frenata.

Inoltre altri interventi che possono portare a interessanti risparmi energetici, anche se non quantificabili a priori sono quelli legati al comportamento degli utenti nei confronti dell'uso razionale dell'energia. Si tratta della cosiddetta efficienza energetica partecipata in cui l'utente prende coscienza dell'importanza dell'energia e si adopera in prima persona per una riduzione dei consumi energetici anche con azioni molto semplici tese a annullare gli sprechi. Per far scattare questa consapevolezza è necessario sia eseguire

un'attività di formazione sul personale, sia renderlo partecipe dei risparmi conseguiti attraverso modalità di incentivazione.

## 23. Bibliografia

1. World Population Prospects. <https://population.un.org>, visitato il 7 novembre 2019.
2. World Energy Outlook 2018: The Future is Electrifying., IEA, 2018.
3. Energy Efficiency 2018 and World Energy Outlook 2018, Lane, K. IEA, 2018.
4. Direttiva (EU/27/2012) – Efficienza energetica. 1–56, Europeo, P., 2012.
5. Attuazione della direttiva 2012 / 27 / UE sull ' efficienza energetica , che modifica le direttive. 1–47, Presidente, I. L. & Repubblica, D., 2019.
6. Normativa UNI CEI EN 16247 Diagnosi energetiche parte 1: Requisiti generali, UNI CTI CEI, 2012.
7. Normativa UNI CEI EN 16247 Diagnosi energetiche parte 2: Edifici, UNI CTI CEI, 2014.
8. Normativa UNI CEI EN 16247 Diagnosi energetiche parte 3: Processi, UNI CTI CEI, 2014.
9. Normativa UNI CEI EN 16247 Diagnosi energetiche parte 4: Trasporto, UNI CTI CEI, 2014.
10. Normativa UNI CEI EN 16247 Diagnosi energetiche parte 5: Competenze dell'auditor energetico, UNI CTI CEI, 2015.
11. Diagnosi Energetiche art 8 del D.Lgs. 102/2014 Linee Guida e Manuale Operativo Clusterizzazione, il rapporto di diagnosi ed il piano di monitoraggio., 2019.
12. LINEE GUIDA PER L'ESECUZIONE DELLA DIAGNOSI ENERGETICA NEL TRASPORTO PUBBLICO AI SENSI DEL D. LGS 102/2014 – Il nuovo portale ENEA, ENEA, 2016.
13. Bilancio d'esercizio al 31 dicembre 2014. 1–6, GTT, 2014.